

**JESSICA BORGES DA VEIGA**

**FERTILIDADE E ELEMENTOS-TRAÇO EM SOLOS  
SOB VEGETAÇÃO PRIMÁRIA EM ALTA  
FLORESTA, MATO GROSSO**

**Dissertação de Mestrado**

**ALTA FLORESTA-MT**

**2016**



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



**JESSICA BORGES DA VEIGA**

**FERTILIDADE E ELEMENTOS-TRAÇO EM SOLOS  
SOB VEGETAÇÃO PRIMÁRIA EM ALTA  
FLORESTA, MATO GROSSO**

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

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli

**ALTA FLORESTA-MT**

**2016**

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Roberta Maria Miranda Caetano CRB 1 / 2914

V426f VEIGA, Jessica Borges da  
Fertilidade e elementos-traço em solos sob vegetação primária em Alta Floresta, Mato Grosso./ Jessica Borges da Veiga. – Alta Floresta-MT, 2016.  
60 f. : il. Algumas color.  
Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos. Área de Concentração: Agroecossistemas Amazônicos) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias.  
Orientação: Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli.  
1. Amazônia Meridional. 2. Solos tropicais. 3. Valores de Referência de Qualidade. I. Título.

CDD 631.4

# FERTILIDADE E ELEMENTOS-TRAÇO EM SOLOS SOB VEGETAÇÃO PRIMÁRIA EM ALTA FLORESTA, MATO GROSSO

**Jessica Borges da Veiga**

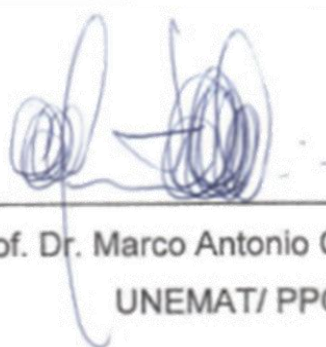
Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_



---

Profa. Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli  
Orientadora – UNEMAT/ PPGBioAgro



---

Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho  
UNEMAT/ PPGBioAgro



---

Profa. Dra. Sayonara Andrade do Couto Moreno Arantes  
UFMT

## **DEDICATÓRIA**

A minha mãe Sebastiana e as minhas irmãs Bruna e Ágata Vitória,  
pelo incentivo, carinho e por sempre torcerem por meu sucesso.

## AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial a minha mãe Sebastiana Tropaldi pelo exemplo de mulher, mãe e amiga. As minhas irmãs Bruna Borges da Veiga e Ágata Vitória Tropaldi de Araujo pelo incentivo e companheirismo mesmo através da distância.

Ao Antônio Carlos Silveiro da Silva, pelo companheirismo, paciência, carinho, as caronas para Universidade e sua ajuda nas coletas de solo, na utilização do software R e na construção do mapa.

A professora Maria Aparecida Pereira Pierangeli, pela confiança e orientação no desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores Marco Antonio Camillo de Carvalho e Roney Berti de Oliveira, pela ajuda e disposição nas coletas e identificação dos solos, os quais contribuíram muito para a realização desse trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), pela concessão de bolsa.

Ao Laboratório de Solos e Análise Foliar do campus de Alta Floresta, em nome dos técnicos Guilherme Ferreira Ferbonink e Lauvir Telles, e ao professor Gustavo Caioni por cederem o espaço e me auxiliarem nas análises de fertilidade e textura dos solos.

Ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, em nome de todos os professores que contribuíram com minha formação.

Aos colegas de Mestrado pelos momentos agradáveis proporcionados durante as aulas, e não poderia de deixar de falar dos lanches dos intervalos e confraternizações que renderam uns quilinhos a mais.

Ao secretário do Programa, Diego Cardoso, pela paciência e prontidão no atendimento aos alunos durante estes dois anos de Mestrado.

Ao professor Edgley Pereira da Silva, pela oportunidade de realizar o estágio docência em sua disciplina e a realização de um minicurso na semana da agronomia, muito obrigada pela confiança.

A todos muito obrigada.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
3. CAPÍTULOS .....	8
3.1 FERTILIDADE E TEXTURA DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO REMANESCENTE NO NORTE MATO-GROSSENSE: DISTRIBUIÇÃO POR CLASSES PEDOLÓGICAS.....	8
Resumo .....	9
Abstract .....	9
Introdução .....	10
Material e Métodos.....	12
Resultados e Discussão.....	18
Conclusões.....	33
Referências Bibliográficas.....	34
3.2 VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE PARA ELEMENTOS- TRAÇO, Fe e Mn EM SOLOS DE ALTA FLORESTA - MT.....	39
Resumo .....	40
Abstract .....	40
Introdução .....	41
Material e Métodos.....	43
Resultados e Discussão.....	47
Conclusões.....	54
Referências Bibliográficas.....	55
4. CONCLUSÃO GERAL.....	60

## LISTA DE TABELAS

TABELAS	Página
CAPÍTULO 1	
1. Descrição ambiental dos vinte pontos de amostragem do município de Alta Floresta, Mato Grosso. ....	14
2. Atributos químicos e textura de solos (n=20) sob vegetação remanescente no município de Alta Floresta, Mato Grosso.....	18
3. Atributos químicos e textura de solos por classes pedológicas no município de Alta Floresta, Mato Grosso .....	21
4. Classe textural das amostras de solo sob vegetação remanescente em Alta Floresta, Mato Grosso, segundo triangulo textural de Santos et al. (2005).....	24
5. Componentes principais (CP) da análise multivariada dos atributos físico-químicos das amostras de solo em área de vegetação remanescente em Alta Floresta, Mato Grosso.....	28
6. Componentes principais da análise multivariada dos atributos físico-químicos dos solos em área de vegetação remanescente em Alta Floresta, Mato Grosso.....	32
CAPÍTULO 2	
1. Descrição ambiental dos vinte pontos de amostragem do município de Alta Floresta, Mato Grosso. ....	44
2. Recuperação dos elementos-traço e Mn no solo de referência padrão ERM <sup>®</sup> -CC 141.....	47
3. Teores naturais de elemento-traço, Fe e Mn para solos (n = 20) de Alta Floresta, Mato Grosso .....	48
4. Valores de referência de qualidade (VRQs) para os solos de Alta Floresta, Mato Grosso (n= 20), em relação a alguns estados brasileiros.....	51



5. Teores naturais e valores de referência de qualidade (VRQ) de elementos-traço, Fe e Mn para solos de Alta Floresta, Mato Grosso, por classes pedológicas.....	52
--	----

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
CAPÍTULO 1	
1. Localização da área de estudo, destacando o estado de Mato Grosso e o município de Alta Floresta com os pontos de amostragem e suas respectivas classes pedológicas (P = Argissolo, L = Latossolo, RL = Neossolo Litólico, RQ = Neossolo Quartzarênico, F = Plintossolo).....	12
2. Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico aglomerativo evidenciando a formação de grupos, segundo as variáveis físico-químicas (a); químicas (b); texturais (c) e média das variáveis físico-químicas (d), das classes de solo de Alta Floresta, Mato Grosso .....	26
3. Resumo das componentes principais, segundo as variáveis físico-químicas (a); químicas (b); texturais (c) e média das variáveis físico-químicas (d), de classes de solo de Alta Floresta, Mato Grosso .....	29
4. Gráfico <i>biplot</i> resultante da análise de componentes principais, segundo as variáveis físico-químicas (a); químicas (b); texturais (c) e média das variáveis físico-químicas (d), das classes de solo de Alta Floresta, Mato Grosso. $T = CTC_{potencial}$ ; $t = CTC_{efetiva}$ . .....	30
CAPÍTULO 2	
1. Localização da área de estudo, destacando o estado de Mato Grosso e o município de Alta Floresta com os pontos de amostragem e suas respectivas classes pedológicas (P = Argissolo, L = Latossolo, RL = Neossolo Litólico, RQ = Neossolo Quartzarênico, F = Plintossolo).....	43
2. Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico aglomerativo evidenciando a formação de grupos, de acordo com os teores de Cd, Cu, Pb e Zn, para solos de Alta Floresta (AF) e outras	

regiões. CCC= Coeficiente de Correlação Cofenético, significativo a 5%. China, USA e Austrália: Chen et al. (1991); Mundo: Guilherme et al. (2005); PR: Licht & Plawiak (2005); Irlanda: Salonen & Korkka-Niemi (2007); MG: Caires (2009); ES: Paye et al. (2010); PE: Biondi (2010); MT/RO: Santos & Alleoni (2013); RN: Preston et al. (2014); Cuba: Alfaro et al. (2015).....50

## RESUMO

VEIGA, Jessica Borges da. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, Março de 2016. **Fertilidade e elementos-traço em solos sob vegetação primária em Alta Floresta, Mato Grosso**. Orientadora: Maria Aparecida Pereira Pierangeli.

O solo é um recurso natural resultante da ação integrada do clima e dos organismos sobre a rocha matriz, constituindo um sistema dinâmico de entrada e saída de material. Esses fatores, além do relevo e tempo operam diretamente nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, proporcionando uma gama de diversidade pedológica. No entanto, a modificação da paisagem causada pelo homem tem alterado os atributos naturais deste compartimento, colocando em risco sua qualidade e sustentabilidade. Nesta perspectiva, buscou-se com este trabalho fazer um levantamento da fertilidade e dos teores de elementos-traço em solos sob floresta primária no norte mato-grossense. Assim, o trabalho encontra-se dividido em dois capítulos. O primeiro apresenta uma descrição das condições naturais de fertilidade e textura dos solos, enquanto o segundo traz os teores naturais de elementos-traço, Fe e Mn e estabelece seus respectivos valores de referência de qualidade (VRQs) para Alta Floresta. As amostras de solos foram coletadas em áreas de mata nativa no município de Alta Floresta, Mato Grosso. Coletou-se um total de vinte amostras deformadas na camada de 0,00-0,20 m, distribuídas aleatoriamente e igualmente em cinco classes pedológicas típicas da região (Argissolo, Latossolo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico e Plintossolo). Em laboratório foram determinados os valores de  $\text{pH}_{\text{água}}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H+Al}$ , P,  $\text{P}_{\text{rem}}$ , matéria orgânica e calculados os valores de somas de bases, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, saturação por base e por alumínio, percentual de areia, silte e argila, e teores de As, Cd, Fe, Mn, Pb, e Zn. Os dados gerados foram submetidos à estatística descritiva e multivariada, enquanto, o estabelecimento dos VRQs seguiu a metodologia proposta pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Os solos do município de Alta Floresta apresentaram ampla variação nos valores químicos de fertilidade e granulometria, tanto dentro como entre as classes pedológicas. As principais variáveis responsáveis pela discriminação desses solos foram à saturação por bases e a fração areia.

Da mesma forma, foram observadas diferenças nos teores de elementos-traço a nível regional, estadual, nacional e internacional, apresentando a seguinte ordem decrescente: Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > As > Cd. As prováveis causas destas variações espaciais podem estar relacionadas aos diferentes tipos de material de origem, classes pedológicas e fertilidade destes solos, por isto, é pertinente a determinação dos teores de elementos-traço em escala regional. De forma geral, os solos do município de Alta Floresta, Mato Grosso, apresentam baixa fertilidade natural, elevada acidez e os seguintes VRQs ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): Fe (26.172,50), Mn (348,07), Zn (17,30), Pb (<5,51), As (<2,33), Cu (<9,01), Cd (<0,14).

Palavras-chave: Amazônia meridional, Solos tropicais, Valores de referência de qualidade.

## ABSTRACT

VEIGA, Jessica Borges da. M.S. Universidade do Estado de Mato Grosso, March 2016. **Fertility and trace elements in soil under vegetation in primary Alta Floresta, Mato Grosso.** Adviser: Maria Aparecida Pereira Pierangeli.

Soil is a natural resource resulting integrated climate action and bodies on the rock matrix, forming a dynamic system of input and output material. These factors, in addition to relief and time operate directly in the chemical, physical and biological soil providing a range of pedological diversity. However, the landscape changes caused by humans has changed the natural properties of this compartment putting at risk their quality and availability for the following generations. In this perspective, we sought this work was to survey the fertility and the levels of trace elements in soils under primary forest in Mato Grosso north. Thus, the work is divided into two chapters. The first provides a description of natural conditions of soil fertility, while the second brings the natural levels of trace elements and establishes their quality reference value (QRV) to Alta Floresta. Soil samples were collected in native forest areas in the municipality of Alta Floresta, Mato Grosso. Collected a total of twenty deformed samples at a depth of 0.00-0.20 m, occur randomly and equally into five typical soil classes of the region (Ultisol, Oxisol, Udorthent, Quartzipsamment and Plinthosol). In lab were determined  $\text{pH}_{\text{water}}$  values,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}+\text{Al}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{P}_{\text{rem}}$ , organic matter and calculated values bases sums, effective and potentially cationic exchange capacity, saturation base and aluminum to fertility; percentage sand, silt and clay for texture; and levels of As, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb, Se and Zn for trace elements. The data generated were submitted to descriptive and multivariate statistics, while establishing quality benchmarks followed the methodology proposed by the National Environmental Council (CONAMA). The Alta Floresta soils present a wide variation in the chemical values of fertility and grain size, both within and between the soil classes. The main variables responsible for the differentiation of these soils were to base saturation and the sand fraction. Similarly, differences were observed in the concentration of trace elements at regional, state, national and international, with the following descending order of concentration:  $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} >$

As> Cd. The probable causes of the variations may be related to different types of source material, soil classes and fertility of these soils, therefore, is relevant to determining the levels of trace elements in regional scale. In general, the municipality of soil Alta Floresta, Mato Grosso, have low fertility, high acidity and the following VRQs (in mg kg<sup>-1</sup>): Fe (26172.50), Mn (348.07), Zn (17.30), Pb (<5.51), As (<2.33), Cu (<9.01), Cd (<0.14).

Key-words: Amazon southern, Tropical soils, Quality reference values.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O uso sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo, tem-se constituído em tema de crescente relevância na sociedade moderna, em razão dos valiosos serviços ambientais prestados para a manutenção do equilíbrio ecológico e a garantia de qualidade de vida. Porém, a dinâmica natural dos ecossistemas tem sido alterada pela ação antropogênica, muitas vezes de forma negativa. Por esta razão, nas últimas décadas cresce a preocupação com a preservação da qualidade dos solos e a necessidade de se conhecer os impactos causados pelas atividades humanas neste compartimento.

Entretanto, para se fazer este diagnóstico de maneira adequada é necessário conhecer os atributos químicos, físicos e biológicos naturais dos solos sob diferentes condições, pois é sabido que a ação conjunta dos fatores de formação do solo (material de origem, clima, organismos vivos, relevo e tempo) são responsáveis por sua classificação, textura e fertilidade. Dessa forma, solos sob vegetação nativa podem informar muito sobre uma região e sua fertilidade natural, constituindo um testemunho das condições encontradas antes de sua conversão (SKORUPA et al., 2012).

Para a região amazônica, estudos revelam que 50% das classes de solos encontradas são formadas por Latossolos seguidos de Argissolos na faixa dos 30-35% (DEMATTÊ, 1988; VALE JÚNIOR et al., 2011), onde a maior parte apresentam baixa fertilidade decorrente, principalmente, do fator climático e tempo (VALE JÚNIOR et al., 2011). No entanto, os atributos do solo sob a floresta são principalmente influenciados pela vegetação associadas a sua serrapilheira, atividade da raiz e microclima (OLLINGER et al., 2002; TSUI et al., 2004; KARA & BOLAT, 2008). Logo, estes representam ecossistemas frágeis, extremamente vulneráveis às ações antrópicas, e que sofrem de forma acentuada os efeitos das técnicas de manejo não adequadas (TOLEDO et al., 2008).

Esse conhecimento sobre os solos amazônicos, embora importante, é generalista comparado com a extensão territorial que a Amazônia brasileira ocupa, sendo necessário a realizações de levantamentos pedológicos em



áreas com características geológicas, geomorfológicas, edafoclimáticas e de fitofisionomias distintas para um diagnóstico mais representativo de suas condições naturais, pois nas regiões tropicais, cada classe de solo possui atributos físico-químicos e morfológicos específicos (TOLEDO et al., 2008, QUESADA et al., 2010). Nesta perspectiva, um levantamento dos atributos físico-químicos dos solos ao nível de gradientes ambientais ou taxonômico é interessante para compreender a dinâmica dos nutrientes e a dinâmica dos contaminantes ambientais.

Os contaminantes do solo serão aqui chamados por elementos-traço (ETs), em substituição ao antigo termo “metal pesado”. A expressão metal pesado nunca foi definida por nenhum órgão oficial da área de química e, de acordo com Fadigas et al. (2002), a terminologia elementos-traço engloba metais, semimetais, não-metais, e também é utilizado para aqueles elementos que são encontrados em maiores concentrações no solo, a exemplo do Mn e Fe.

Quando se refere a ETs presentes no solo, estes são encontrados naturalmente mesmo que não haja perturbação antrópica. O aumento em sua concentração pode ocorrer tanto em razão de processos naturais quanto por atividades antropogênicas (GUILHERME et al., 2005). Os teores naturais de ETs em solo são de origem geogênica, produtos do intemperismo das rochas e de processos pedogenéticos. Enquanto as fontes antropogênicas estão associadas, principalmente, a atividades de mineração e industriais (CAMARGO et al., 2001).

Dentre os principais ETs presentes no solo estão cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn), sendo alguns essenciais as plantas (Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) e aos animais (Cr, Cu, Fe, Mn e Zn) (ABREU et al., 2001). Contudo, o importante não é apenas a presença destes elementos no solo, mas a sua concentração e efetiva disponibilidade, uma vez que os ETs são classificados em essenciais e não essenciais (PIERANGELI et al., 2005). A diferença primordial entre os dois grupos é que os ETs essenciais são tóxicos apenas quando em concentrações elevadas. Já para os elementos não essenciais, isso

não é a regra, já que baixas concentrações são capazes de oferecer efeitos deletérios, a exemplo do chumbo e mercúrio (ASTDR, 2007).

A alta concentração de ambos os ETs no solo caracterizam fenômenos ecotoxicológicos, os quais poderão desencadear uma toxicidade a nível trófico nos ecossistemas, principalmente por absorção, ingestão, inalação ou mesmo por contato dérmico (ASTDR, 2007). Este acúmulo progressivo dos ETs de um nível trófico a outro, ao longo da cadeia alimentar, dá origem a outro fenômeno chamado de biomagnificação, que pode trazer prejuízos a saúde, tais como doenças e até a morte dos organismos que sofreram este tipo de exposição (HYLANDER et al., 2006).

Outro problema associado à contaminação por ETs é a sua capacidade de bioacumulação. A persistência de ETs no solo é muito maior do que em outros compartimentos da biosfera, sendo perdidos lentamente por lixiviação, absorção pelas plantas e erosão (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001). Em detrimento a esta característica, os ETs tóxicos ou em níveis tóxicos, podem colocar em risco a saúde humana e ambiental (BAIRD, 2008).

Diante disso, a determinação de ETs é fundamental para subsidiar estudos com objetivos de estimar a qualidade química dos solos de determinada região. Todavia, é importante ressaltar que as concentrações naturais dos ETs no solo são influenciadas por processos geoquímicos, demonstrando a necessidade de um levantamento de dados específico para regiões distintas (FADIGAS et al., 2002). Dessa forma, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu de acordo com a Resolução nº420/2009 que os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) deveriam ser definidos por cada estado brasileiro em um período de quatro anos após a publicação da normativa (CONAMA, 2009), sendo posteriormente prorrogado por mais um ano de acordo com a Resolução nº460/2013 (CONAMA, 2013).

Os VRQ são utilizados para caracterizar a ocorrência natural de elementos em solos sem influência antrópica, visando à prevenção e o controle das funções do solo (GOUGH et al., 1994). Estes são determinados com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos (CONAMA, 2009). O estabelecimento de cada substância pode ser realizado com base no percentil 75, onde existe a tentativa

de normalizar a distribuição dos dados, pela exclusão dos 25% dos valores mais elevados, que são considerados anomalias (CETESB, 2001), ou percentil 90 onde 10% dos valores superiores são considerados como anômalos.

Assim como muitos estados brasileiros o Mato Grosso ainda não disponibilizou os resultados dos ETs para a região. O que existe disponível na literatura são alguns trabalhos científicos publicados em periódicos ou mesmo em forma de trabalhos acadêmicos, os quais pouco aborda o estabelecimento de VRQ. Recentemente, Santos & Alleoni (2013) publicaram um artigo com os VRQ para os solos dos estados de Mato Grosso e Rondônia, no entanto, os pontos de amostragens concentrados na região norte mato-grossense levaram em consideração apenas uma classe de solo (Latossolo) desconsiderando outras manchas que ocorrem na região. Deste modo, para o norte de Mato Grosso existe uma escassa disponibilidade de resultados sobre a determinação desses valores em diferentes classes.

Diante deste cenário, o presente trabalho teve por objetivo determinar os atributos relacionados à fertilidade e teores de ETs, Fe e Mn presentes em solos típicos do município de Alta Floresta - MT e estabelecer VRQ de alguns elementos para esses solos em área de vegetação nativa.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A. A.; ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C. Determinação de cobre, ferro, manganês zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (org.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

ASTDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTER. **Toxicological profile for arsenic**. Atlanta: ASTDR, 2007. 559p.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 622p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 89-124.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo. 2001. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em: 2 nov. 2014.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420/2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov/port/conama/legiabre.cfm.htm>>. Acesso em: 29 Jan. 2014.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 460/2013**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>>. Acesso em: 18 Abr. 2016.

DEMATTE, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmido da região amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215p.

FADIGAS, F. S.; AMARAL-SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p.151-159, 2002.

GOUGH, L. P.; SEVERSON, R. C.; JACKSON, L. L. Baseline element concentrations in soils and plants, Bull Island, Cape Romain Wildlife Refuge, South Carolina, USA. **Water Air Soil Pollution**, Heidelberg, v. 74, n. 1, p. 1-17, 1994.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANE, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA,

A. P. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 345-390.

HYLANDER, L. D.; GRÖHN, J. TROPP, M.; VIKSTRÖN, A.; WOLPHER, H.; SILVA, E. C.; MEILI, M.; OLIVEIRA, L. J. Fish mercury increase in Lago Manso, a new hydroelectric reservoir in tropical Brazil. **Journal of Environmental Management**, s.l., v. 81, n. 1, p. 155-166, 2006.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KARA, Ö.; BOLAT, I. Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the northwestern Turkey. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 19, n. 4, p. 421–428, 2008.

OLLINGER, S. V.; SMITH, M. L.; MARTIN, M. E.; HALLET, R. A.; GOODALE, C. L.; ABER, J. D. Regional variation in foliar chemistry and N cycling among forests of diverse history and composition. **Ecology**, Washington, v. 83, n. 2, p. 339–355, 2002.

PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; COSTA, E. T. S. Efeito do pH na adsorção e dessorção de cádmio em Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 523-532, 2005.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATIÑO, S.; BAKER, T. R.; CZIMCZICK, C.; FYLLAS, N. M.; MARTINELLIR, L.; NARDOTO, G. B.; SCHMERLER, J.; SANTOS, A. J. B.; HODNETT, M. G.; HARRERA, R.; LUIZÃO, F. J.; ARNETH, A.; LLOYD, G.; DEZZEO, N.; HILKE, I.; KUHLMANN, I.; REASSLER, M.; BRAND, W. A.; GEILMANN, H.; MORAES FILHO, J. O.; CARVALHO, F. P.; ARAUJO FILHO, R. N.; CHAVES, J. E.; CRUZ JUNIOR, O. F.; PIMENTEL, T. P.; PAIVA, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. **Biogeosciences**, s.l., v.7, p.1515–1541, 2010.

SANTOS, S. N.; ALLEONI, L. R. F. Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht v. 185, n. 1, p. 5737–5748, 2013.

SKORUPA, A. L. A.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, C. P. C.; SCOLFORO, J. R. S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Propriedades de Solos sob Vegetação Nativa em Minas Gerais: Distribuição por Fitofisionomia, Hidrografia e Variabilidade Espacial. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 11-22, 2012.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008. p. 139-166.

TSUI, C. C.; CHEN, Z. S.; HSIEH, C. F. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p.131–142, 2004.

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

### **3. CAPÍTULOS**

#### **3.1 FERTILIDADE E TEXTURA DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO REMANESCENTE NO NORTE MATO-GROSSENSE: DISTRIBUIÇÃO POR CLASSES PEDOLÓGICAS**

**Resumo** – O conhecimento dos atributos químicos e físicos do solo em área nativa torna-se um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento da qualidade ambiental. Teve-se como objetivo avaliar a fertilidade e textura natural de algumas classes de solo do município de Alta Floresta, região norte do Estado de Mato Grosso. Foram coletadas aleatoriamente quatro amostras de Argissolo, Latossolo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico e Plintossolo, na profundidade de 0,00-0,20 m, totalizando vinte amostras. A fertilidade foi estabelecida pelos valores de  $\text{pH}_{\text{água}}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H+Al}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{P}_{\text{rem}}$ , matéria orgânica, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, percentual de saturação por base (V) e por alumínio (m) e somas de base (SB); e a textura. Os resultados foram submetidos à estatística descritiva, análise de agrupamento hierárquico aglomerativo (utilizando-se a distância Euclidiana e o método de Ward) e análise de componentes principais (PCA). Foram verificados valores elevados de acidez do solo ( $\text{pH}$  4,57) e baixos teores de base trocáveis (SB igual a 2,10  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ). Entretanto, somente o Argissolo apresentou saturação por alumínio superior a 50%. Não houve similaridade dos atributos físico-químicos entre as classes pedológicas pela análise de agrupamento. Porém, foram detectados pela PCA os descritores saturação por base e areia como responsáveis pela similaridade entre as amostras de cada classe de solo. Os dados apresentados evidenciam a importância da realização de trabalhos em diferentes classes pedológicas para uma melhor descrição da fertilidade e textura dos solos.

Palavras-chave: Alta Floresta, Bioma Amazônia, Solos tropicais.

**Abstract** – Knowledge of the chemical and physical soil properties in native area becomes an important tool in the control functions, supervision and monitoring of environmental quality. Had as objective to evaluate the fertility and natural texture of some soil types in the municipality of Alta Floresta, northern Mato Grosso. They were randomly collected four samples of Argisol, Oxisol Udorthent, Quartzipsamment and Plinthosol at a depth of 0.00 to 0.20 m, totaling twenty samples. Fertility was established by  $\text{pH}_{\text{water}}$  values,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H+Al}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{P}_{\text{rem}}$ , organic matter, effective and potential cation exchange capacity of base saturation percentage (V) and Aluminium (m) and base sums (BS); and texture. The results were submitted to descriptive statistics, agglomerative hierarchical cluster analysis (using the Euclidean distance and Ward's method) and principal component analysis (PCA). High values were found soil acidity ( $\text{pH}$  4.57) and low levels exchangeable bases (BS equal to 2.10  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ). However, only Argisol presented m above 50%. There was no similarity of physical and chemical attributes of the soil classes by cluster analysis. However, they were detected by PCA descriptors base saturation and sand as responsible for the similarity between samples of each soil class. The data presented demonstrate the importance of undertaking work in different soil classes for a better description of fertility and soil texture.

Key-words: Alta Floresta, Amazon Biome, Tropical soils.



## Introdução

O solo é um componente fundamental do ecossistema terrestre mantido por um delicado equilíbrio entre seus constituintes, a planta e a atmosfera. O qual exprime características e propriedades próprias em decorrência da ação conjunta de sua mineralogia, hidrologia, biota e cobertura vegetal, além dos fatores clima e tempo. Assim, subentende-se que existam diferentes solos, com níveis naturais de fertilidade, textura, cobertura e profundidade distintas, tornando-o um sistema complexo (QUESADA et al., 2010). Contudo, a natureza de um solo é grandemente modificada quando rompido seu ciclo natural.

Grande parte da cobertura pedológica da região amazônica é naturalmente caracterizada por altos teores de alumínio, baixo conteúdo de fósforo e baixa capacidade de troca de cátions (COCHRANE & SANCHEZ, 1982; LOPES, 1984; FURLEY, 1999), apesar disto, concentram uma das maiores florestas tropicais do mundo. Tal fato só é possível devido à interação do sistema solo-planta-atmosfera. De acordo com Ferreira et al. (2006), sua exuberância é fundamentada num processo de reciclagem de nutrientes com ciclo quase fechado, que se contrapõem à lixiviação das bases no perfil do solo pelas precipitações intensas e frequentes. Todavia, a retirada da cobertura florestal coloca em risco este equilíbrio. Primavesi (2014) explica que nenhum fator da natureza pode ser mudado ou extinto sem que todos os outros fatores do ciclo sofram uma profunda modificação, para atingir um novo equilíbrio. Assim, a sustentabilidade dos agroecossistemas tropicais tem estreita relação com a qualidade do solo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009) e a manutenção do ciclo biogeoquímico natural.

Diante disto, o conhecimento prévio dos atributos naturais dos solos poderá se tornar um instrumento para elaboração de manejos mais adequados para as condições edafoclimáticas específicas de uma região e propiciar, também, um maior conhecimento para proteção dos remanescentes florestais ainda existentes. Meurer (2007) salienta que os atributos físico-químicos do solo têm estreita relação com a capacidade de suporte do solo à produção

vegetal, o que segundo Araújo et al. (2012) interfere diretamente no crescimento das plantas.

Nesta perspectiva, o enfoque deste manuscrito foi trabalhar com solos sob remanescentes de Floresta Amazônica presentes no município de Alta Floresta-MT, procurando fazer um levantamento das condições de fertilidade e textura desses solos. Na região, as classes de solos predominantes são os Latossolos e Argissolos, com ocorrência de outras classes pedológicas em pequenas áreas espalhadas de acordo com a topografia e geologia local. Devido a isto, foi realizado um levantamento a nível pedológico escolhendo-se cinco diferentes classes de solo para o estudo. Dessa forma procurou-se responder as seguintes questões: (1) os solos de Alta Floresta são ácidos e pobres em nutrientes? (2) Os atributos químicos e texturais são semelhantes entre e dentro as classes de solo? Trabalhou-se com a hipótese de que os solos do município de Alta Floresta-MT apresentam fertilidade semelhante ao descrito para o resto da região Amazônica, no entanto, para cada classe de solo espera-se encontrar um comportamento peculiar em relação aos atributos químicos e texturais, assim como, espera-se que as amostras de cada classe pedológica apresentem um comportamento similar.

## Material e Métodos

### Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Alta Floresta, localizado ao norte do estado de Mato Grosso (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen a região apresenta clima Tropical de monções (ALVARES et al., 2013) com temperatura média anual entre 24,3 e 24,8 °C (BUTTURI et al., 2013) e pluviosidade de 2.000 a 2.300 mm (SEPLAN, 2006).

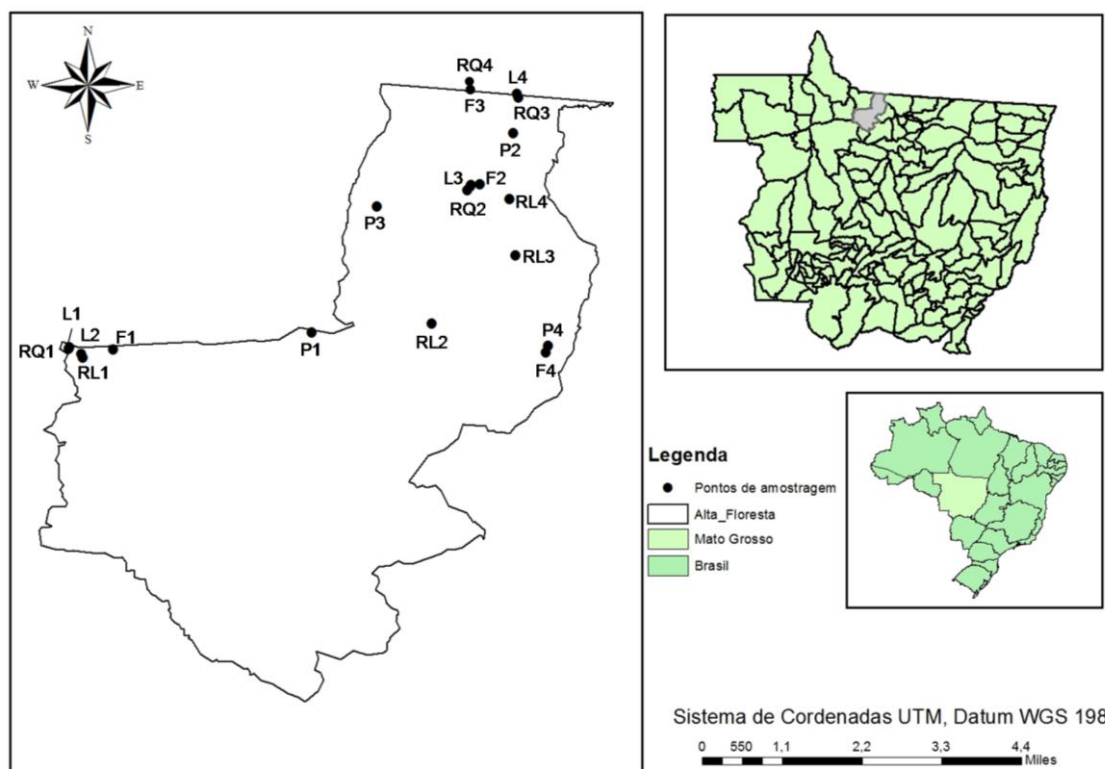


Figura 1. Localização da área de estudo, destacando o estado de Mato Grosso e o município de Alta Floresta com os pontos de amostragem e suas respectivas classes pedológicas (P = Argissolo, L = Latossolo, RL = Neossolo Litólico, RQ = Neossolo Quartzarênico, F = Plintossolo).

As classes de solo predominantes no município são os Argissolos e Latossolos, com pequena ocorrência de outras classes pedológicas ao longo da paisagem (MOREIRA & VASCONCELOS, 2007). Os compartimentos do relevo da região correspondem ao Planalto Apíacás - Sucurundi e a Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional (BUTTURI et al., 2013). Os domínios

morfoestruturais compreendem as Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas (IBGE, 2006).

A região se desenvolveu sob rochas granítico-gnáissicas, xistos, anfíbolitos e granitos muito intemperizados, com recobrimento de solos que evoluíram devido a processos de latossolização e podzolização. Pontilham, nesta superfície, elevações residuais, associadas a quartzitos e rochas metassedimentares, capeadas por solos pouco desenvolvidos (MOREIRA & VASCONCELOS, 2007).

Alta Floresta está inserida no bioma Amazônia, fazendo parte da Amazônia Meridional. A vegetação predominante caracteriza-se por floresta ombrófila, com encaves de savana e áreas de contato de floresta ombrófila/floresta estacional (MOREIRA & VASCONCELOS, 2007). A descrição dos pontos de amostragem, quando a geologia e ao tipo de vegetação, encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição ambiental dos vinte pontos de amostragem do município de Alta Floresta, Mato Grosso.

<b>Geologia<sup>1</sup></b>	<b>Amostra</b>	<b>Classe pedológica</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Vegetação<sup>2</sup></b>
ALCALINAS RIO CRISTALINO – riebeckita-aegirina-sienitos e sienitos com megacristais de anfibólio sódico, associadas a brechas de intrusão com xenólitos angulares de rochas vulcânicas.	RL 4	Neossolo Litólico	254	Floresta Ombrófila Aberta
COMPLEXO FAZENDA MOGNO – enderbitos, noritos, gabros, gabros-dioritos, metapiroxenitos, tremolita-talco-xistos, sillimanita-cordierita-gnaisses, rochas supracrustais submetidas a metamorfismo das fácies anfibolito alto e granulito.	L 1	Latossolo	261	Floresta Ombrófila Aberta
	L 2	Latossolo	264	Floresta Ombrófila Aberta
	RL 1	Neossolo Litólico	294	Floresta Ombrófila Aberta
	RQ 1	Neossolo Quartzarênico	229	Floresta Ombrófila Aberta
	F 1	Plintossolo	245	Floresta Ombrófila Aberta
FORMAÇÃO COLIDER – riolitos, riocacitos, andesitos, tufos e brechas vulcânicas de natureza calcialcalina.	L 3	Latossolo	256	Floresta Ombrófila Aberta
	RQ 2	Neossolo Quartzarênico	247	Floresta Ombrófila Aberta
	F 2	Plintossolo	267	Floresta Ombrófila Aberta
GRUPO BENEFICENTE – arenitos quartzosos, arenitos feldspáticos, siltitos, argilitos, calcário e dolomitos estromatolíticos ou não, dolarenitos, folhelhos, conglomerados, cherts e tufos.	L 4	Latossolo	331	Contato Savana Fl. Ombrófila
	RQ 3	Neossolo Quartzarênico	320	Contato Savana Fl. Ombrófila
	RQ 4	Neossolo Quartzarênico	218	Contato Savana Fl. Ombrófila
	F 3	Plintossolo	281	Contato Savana Fl. Ombrófila
SUÍTE INTRUSIVA JURUENA – biotita-granitos, biotita-monzonitos, quartzo-dioritos, granodioritos e tonalitos de natureza calcialcalina.	P 1	Argissolo	295	Floresta Ombrófila Aberta
	P 3	Argissolo	254	Floresta Ombrófila Aberta
	RL 3	Neossolo Litólico	306	Floresta Ombrófila Aberta
SUÍTE INTRUSIVA TELES PIRES – granitos alcalino, granitos pórfiros, riebeckita-granitos, granitos rapakivi e granófiros.	P 2	Argissolo	276	Contato Savana Fl. Ombrófila
SUÍTE INTRUSIVA PARANAÍTA – granitos tipo I oxidados, calcialcalinos, incluindo biotita-granitos, monzogranitos e monzonitos. Geralmente porfiríticos e enclaves de composição diorítica.	P 4	Argissolo	267	Floresta Ombrófila Aberta
	RL 2	Neossolo Litólico	280	Floresta Ombrófila Aberta
	F 4	Plintossolo	281	Floresta Ombrófila Aberta

<sup>1</sup>Classificação de acordo com o mapa geológico do estado de Mato Grosso elaborado pelo IBGE (2009). <sup>2</sup>Classificação de acordo com o mapa de cobertura primitiva do estado de Mato Grosso do RadamBrasil (1980) citado por Lima et al. (2007).

## Coleta e análise dos solos

As amostras de solo foram coletadas nos meses de junho a setembro de 2015 em áreas de remanescentes florestais sem interferência antrópica. A escolha das áreas foi realizada aleatoriamente, no entanto, procurando-se locais com diferentes classes de solos. Os solos dos remanescentes florestais foram identificados inicialmente por sondagens com trado holandês (SANTOS et al., 1995) na profundidade do perfil diagnóstico (horizonte B), e posteriormente foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013), com a ajuda de um especialista em pedologia. Trabalhou-se com as classes de solo com maior extensão e distribuição na Amazônia Brasileira (MENDONÇA-SANTOS et al., 2008): Latossolo, Argissolo, Plintossolo, Neossolo Quartzarênico e Neossolo Litólico.

Para formação das amostras deformadas de solo foram coletadas aleatoriamente dez amostras simples para cada composta, na camada de 0,00–0,20 m (CONAMA, 2009). Foram realizadas quatro repetições a campo para cada classe de solo, espacializadas aleatoriamente dentro do município, totalizando vinte amostras deformadas. Estas foram secas ao ar, passadas em peneiras com malha de 2 mm e submetidas às análises químicas e física (textura). Todas as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Solos e Análise Foliar (LaSAF) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Alta Floresta.

As análises foram realizadas conforme Embrapa (2009):  $\text{pH}_{\text{água}}$  foi determinado em proporção de 1:2,5 (solo:água);  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis, extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por titulometria;  $\text{K}^+$  e P disponíveis foram extraídos com reagente de Mehlich<sup>-1</sup> e determinados por fotometria de chama e colorimetria, respectivamente;  $\text{P}_{\text{rem}}$  foi determinado após agitação por uma hora da amostra de solo com  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P, na relação solo:solução 1:10; H + Al foi extraído com acetato de cálcio 1 mol L<sup>-1</sup> em pH 7,0 e titulado com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. O  $\text{H}^+$  foi obtido pela diferença da acidez potencial e  $\text{Al}^{3+}$  trocável; matéria orgânica (MO) foi determinada pelo método de Walkley-Black. Com os resultados das análises

químicas, foram calculados os valores de soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica potencial (T), percentual de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). A textura foi determinada pelo método da pipeta.

Os resultados obtidos nessas análises de solo compuseram um conjunto de variáveis descritoras do ambiente e os objetos representados pelas classes pedológicas, para fins de análise estatística.

### **Análise estatística dos dados**

Para avaliar os atributos do solo, todos os dados foram submetidos à análise descritiva, com e sem estratificação por classe pedológica. Consideraram-se os parâmetros: média aritmética, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação e o terceiro quartil.

A similaridade foi verificada através da análise de Agrupamento Hierárquico Aglomerativo (AHA), usando-se a distância Euclidiana e o método de agrupamento de Ward. Foram construídos quatro dendrogramas para verificar o pressuposto de similaridade entre as amostras de cada classe pedológica e a dissimilaridade entre as classes (média das amostras) em relação aos atributos físico-químicos do solo. Este método tem por objetivo agrupar um conjunto de indivíduos com base na similaridade de seus atributos, buscando detectar possíveis padrões e ordem através da redução e exploração de um grupo de dados (FELFILI et al., 2011; LATTIN et al., 2011; VALENTIN, 2012).

Após a construção dos dendrogramas verificou-se o Coeficiente de Correlação Cofenético (CCC). Este coeficiente é utilizado para verificar a confiabilidade do dendrograma criado. É medido através da distorção entre a matriz original e a matriz cofenética, assim quanto mais próximo de 1,0 menor será a distorção e mais confiável será o dendrograma (SOKAL & ROHLF, 1962; FELFILI et al., 2011; VALENTIN, 2012). Realizou-se também o teste de aleatorização de Mantel ( $p < 0,01$ ), com 1.000 permutações, para verificar se os CCC foram significativos usando o índice de correlação de Pearson ao nível de significância de 5% (MANLY, 2008). O teste de Mantel é um procedimento

estatístico de correlação entre duas matrizes (MANTEL, 1967), frequentemente usado para correlacionar a variável distância com outra variável qualquer (MANLY, 1986).

De forma a identificar as variáveis que melhor explicassem as divisões de grupos formadas pelo AHA, realizou-se uma análise de ordenação. Esta tem como objetivo organizar os dados ao longo de eixos de um diagrama, de forma a reduzir a dimensionalidade deles e permitir melhor interpretação do universo amostral estudado, gerando um gráfico bidimensional (FELFILI et al., 2011; LATTIN et al., 2011; VALENTIN, 2012). Foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) com todas as variáveis físico-químicas do solo para cada dendrograma.

Todas as análises de dados foram realizadas no software R versão 3.2.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015), utilizando-se os pacotes vegan (OKASAMEN et al., 2015) para análise de agrupamento e o pacote FactoMineR (HUSSON et al., 2015) para ordenação.



## Resultados e Discussão

### Caracterização geral dos solos

A síntese dos resultados analíticos globais para os atributos químicos e textura dos solos é apresentada na Tabela 2. Os solos sob vegetação remanescente do município de Alta Floresta apresentaram grande amplitude na disponibilidade de nutrientes e outros atributos, como teor de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e textura, provavelmente pela diferença de classes pedológicas avaliadas.

Tabela 2. Atributos químicos e textura de solos (n=20) sob vegetação remanescente no município de Alta Floresta, Mato Grosso.

Atributo <sup>1</sup>	Mínimo	Máximo	Mediana	Média <sup>2</sup>	CV %	3º Quartil
pH <sub>água</sub>	3,68	6,00	4,54	4,57 ± 0,71	15,46	4,95
MO	8,78	32,80	20,44	21,09 ± 6,99	33,19	25,93
Ca <sup>2+</sup>	0,10	11,50	0,49	1,57 ± 2,74	175,05	1,36
Mg <sup>2+</sup>	0,05	1,37	0,32	0,42 ± 0,38	90,30	0,51
K <sup>+</sup>	0,04	0,46	0,19	0,20 ± 0,10	52,19	0,27
SB	0,24	13,16	1,08	2,18 ± 3,13	143,40	2,13
Al <sup>3+</sup>	0,00	4,55	0,94	1,23 ± 1,09	97,05	1,64
H <sup>+</sup>	2,23	6,04	3,65	3,95 ± 1,27	32,05	5,22
H+Al	2,23	7,70	4,01	5,10 ± 1,86	36,63	6,78
P	1,57	10,94	3,23	3,72 ± 2,26	60,75	3,79
P <sub>rem</sub>	7,99	59,21	32,80	29,89 ± 13,40	44,84	39,23
CTC <sub>efetiva</sub>	1,00	13,20	2,40	3,31 ± 2,79	84,08	3,25
CTC <sub>potencial</sub>	4,10	17,30	6,85	7,25 ± 2,92	40,36	8,20
V	3,93	76,06	14,40	25,70 ± 23,63	91,95	35,70
m	0,00	90,00	56,79	46,04 ± 32,56	70,71	74,71
Areia	12,60	92,70	55,35	54,65 ± 22,36	40,92	67,00
Silte	1,30	51,90	17,85	20,28 ± 13,01	64,16	28,05
Argila	3,20	57,80	24,30	25,07 ± 15,04	59,99	28,22

<sup>1</sup>MO (matéria orgânica) em g kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SB (soma de base), Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>, H+Al (acidez potencial), CTC<sub>efetiva</sub>, CTC<sub>potencial</sub> em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P em mg dm<sup>-3</sup>; P<sub>rem</sub> em mg L<sup>-1</sup>; V (saturação por bases), m (saturação por alumínio), argila, silte, areia em %. <sup>2</sup>Média ± Desvio padrão.

Os teores médios de bases trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) encontrados foram classificados como médio a baixo de acordo com Ribeiro et al. (1999). Contrariamente, foi relatado para o sudoeste do estado de Mato Grosso a ocorrência de solos com valores ótimos de bases trocáveis, sendo este comportamento atípico para a maioria dos solos brasileiros, no entanto, tal fato foi atribuído a sua posição geográfica ser em área de deposição de materiais

(PIERANGELI et al., 2009). Contudo, foi verificado no presente trabalho um valor máximo de  $11,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para o  $\text{Ca}^{2+}$ , podendo este fato, aparentemente, estar ligado à geologia local, uma vez que foi coletada em Neossolo Litólico sob o Complexo Fazenda Mogno (Tabela 1).

O Complexo Fazenda Mogno é formado por rochas compostas essencialmente por minerais do grupo dos plagioclásios ricos em cálcio, como anortita e labradorita. Somado a isto, Quesada et al. (2010) salienta que os solos mais férteis na região Amazônica estão intimamente relacionados com níveis mais baixos de pedogênese e com o material de origem ainda sendo uma fonte de nutrientes. Essa constatação pode explicar o alto teor de  $\text{Ca}^{2+}$  em uma das amostras de Neossolo Litólico avaliadas, pois são solos pouco desenvolvidos, com contato lítico dentro dos primeiros 50 cm (ALHO et al., 2007).

Os valores médios encontrados para a acidez ativa dos solos, representados pelos valores de pH, estão em consonância aos reportados para região Amazônica (DEMATTE & DEMATTE, 1993), variando entre fortemente ácido a acidez fraca. Em relação à acidez potencial foi encontrado média de  $5,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , teores estes também registrados por Camargo et al. (2010), para área de mata ciliar no município de Alta Floresta. Os teores de  $\text{Al}^{3+}$ , responsável pela acidez trocável, não ocorreram em todos os solos amostrados, mas apresentou valor máximo de  $4,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , sendo considerado muito alto pela classificação de Ribeiro et al. (1999).

Para Brady (1989) e Primavesi (2014) solos ácidos são comuns em regiões tropicais devido as elevadas precipitações que são capazes de lixiviar quantidades apreciáveis de bases trocáveis da camada superficial do solo. No entanto, em solos tropicais, sob vegetação nativa, os teores de  $\text{Al}^{3+}$  podem favorecer a agregação, o que é importantíssimo para a penetração da água e do ar e, especialmente, o desenvolvimento das raízes (PRIMAVESI, 2014).

Maiores percentuais de areia foram encontrados para as amostras de solos avaliadas, seguido de argila e silte. Solos muito arenosos podem prejudicar o desenvolvimento das plantas, devido a sua baixa capacidade de retenção de cátions, os quais são facilmente perdidos por lixiviação, resultando em solos com baixa fertilidade. Além disso, expõe os vegetais ao estresse

hídrico durante a seca, por apresentarem baixa capacidade de retenção de água. Grande parte da região Amazônica está estabelecida em solos arenosos e pobres em nutrientes minerais (MOREIRA & MALAVOLTA, 2002), no entanto, para conservar sua exuberância, a floresta sustenta-se sobre um processo denominado de equilíbrio dinâmico (POGGIANI & SCHUMACHER, 2004). Este equilíbrio é mantido pelos ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico, onde os nutrientes passam do meio biótico para o abiótico e vice-versa (GERALDES et al., 1995).

De acordo com a porcentagem de saturação por base (V) os remanescentes florestais apresentaram fertilidade natural baixa. Este resultado era esperado uma vez que foram verificados baixos teores de cátions básicos e altas concentrações de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  no solo. Primavesi (2014) ressalta que sob condições naturais os solos tropicais apresentam baixas concentrações de íons, o que favorece a absorção de água e nutrientes pela planta nas horas de maior calor. Segundo a autora a absorção de água e nutrientes é regulada pela “lei da osmose”, portanto, se existirem mais íons nutritivos na água do solo, a raiz perderá água para o solo, em lugar de absorvê-la. Isso porque nas horas mais quentes a fotossíntese baixa e as raízes recebem menos carboidratos, o que dilui a concentração de substâncias dentro da raiz.

Em termos gerais, 75 % dos solos sob vegetação remanescente de Alta Floresta mostraram-se arenosos com pH abaixo de 4,95, P disponível abaixo de  $3,79 \text{ mg dm}^{-3}$  e soma de base (SB) até  $2,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Estes atributos confirmam a expectativa generalizada sobre a baixa fertilidade de solos sob clima tropical, segundo parâmetros norte-americanos e europeus. Porém, para Primavesi (2014) o ecossistema tropical é exatamente do que as plantas necessitam em clima quente para produzir, sendo muito mais produtivo que o temperado quando respeitada suas condições.

### **Classes pedológicas**

Após a estratificação da base de dados foi possível observar os atributos químicos e a textura de cada classe de solo (Tabela 3). Apesar das características particulares de cada solo, os valores de pH mantiveram-se

baixos pela classificação de Ribeiro et al. (1999), porém foram registrados valores máximos próximos a neutralidade para as classes de Neossolo Litólico e Latossolo. As amostras de solos dessas classes pedológicas pertencem ao Complexo Fazenda Mogno (Tabela 1) e apresentaram as maiores médias de soma de bases, proporcionadas principalmente pelo teor de  $\text{Ca}^{2+}$  (Tabela3), o que pode ter influenciado em seus valores de pH.

Tabela 3. Atributos químicos e textura de solos por classes pedológicas no município de Alta Floresta, Mato Grosso.

Atributo <sup>1</sup>	Mínimo	Máximo	Mediana	Média <sup>2</sup>	CV %	3º Quartil
<b>Argissolos</b>						
pH <sub>água</sub>	3,81	4,94	4,03	4,20 ± 0,51	12,14	4,34
MO	17,36	32,80	28,16	26,62 ± 6,68	25,10	30,53
Ca <sup>2+</sup>	0,10	1,16	0,28	0,46 ± 0,48	104,98	0,51
Mg <sup>2+</sup>	0,05	0,60	0,18	0,25 ± 0,26	103,33	0,37
K <sup>+</sup>	0,08	0,26	0,20	0,19 ± 0,08	42,90	0,24
SB	0,24	1,99	0,67	0,89 ± 0,77	86,91	1,13
Al <sup>3+</sup>	0,37	1,89	1,32	1,22 ± 0,64	52,41	1,57
H <sup>+</sup>	2,76	5,18	4,11	4,04 ± 1,00	24,80	4,51
H+Al	3,93	6,64	5,24	5,26 ± 1,20	22,87	6,03
P	2,10	6,37	2,78	3,51 ± 1,96	55,93	3,96
P <sub>rem</sub>	16,76	39,46	30,77	29,44 ± 11,33	38,47	38,76
CTC <sub>efetiva</sub>	1,70	2,40	2,20	2,13 ± 0,31	14,57	2,33
CTC <sub>potencial</sub>	4,40	7,50	6,35	6,15 ± 1,30	21,18	6,83
V	3,93	30,15	11,16	14,10 ± 11,23	79,62	15,94
m	15,41	90,00	66,14	59,42 ± 31,50	53,01	74,11
Areia	31,40	65,20	59,55	53,92 ± 15,44	28,63	63,18
Silte	8,30	21,20	13,00	13,88 ± 5,77	41,57	17,00
Argila	22,20	53,00	26,80	32,20 ± 14,04	43,59	33,58
<b>Latossolos</b>						
pH <sub>água</sub>	3,68	6,00	4,83	4,83 ± 1,24	25,60	5,85
MO	19,98	25,73	22,91	22,88 ± 2,87	12,54	25,13
Ca <sup>2+</sup>	0,24	6,00	1,97	2,55 ± 2,81	110,58	4,26
Mg <sup>2+</sup>	0,13	1,10	0,64	0,63 ± 0,54	86,12	1,09
K <sup>+</sup>	0,10	0,46	0,14	0,21 ± 0,17	79,97	0,23
SB	0,47	7,55	2,76	3,38 ± 3,46	102,30	5,57
Al <sup>3+</sup>	0,00	2,56	0,81	1,04 ± 1,26	121,32	1,85
H <sup>+</sup>	2,23	5,87	3,92	3,98 ± 1,75	44,02	5,26
H+Al	2,23	7,61	5,13	5,03 ± 2,91	58,09	7,51
P	1,72	3,75	2,96	2,85 ± 0,96	33,55	3,58
P <sub>rem</sub>	8,93	36,49	23,80	23,26 ± 11,53	49,57	29,21
CTC <sub>efetiva</sub>	2,10	7,50	4,05	4,43 ± 2,35	53,14	5,55
CTC <sub>potencial</sub>	7,10	10,30	8,05	8,38 ± 1,36	16,30	8,73
V	5,94	73,30	38,23	38,92 ± 37,34	95,93	70,19
m	0,00	80,00	38,33	39,16 ± 45,24	115,52	77,50

Areia	26,30	65,00	48,95	47,30 ± 16,31	34,47	56,22
Silte	14,60	27,60	18,10	19,60 ± 5,72	29,16	21,60
Argila	18,40	54,10	29,95	33,10 ± 15,12	45,69	37,60

#### Neossolos Litólico

pH <sub>água</sub>	4,18	5,92	4,85	4,95 ± 0,73	14,78	5,24
MO	12,61	31,79	18,06	20,13 ± 8,24	40,92	22,33
Ca <sup>2+</sup>	0,20	11,50	0,70	3,27 ± 5,49	167,79	3,49
Mg <sup>2+</sup>	0,18	1,37	0,46	0,62 ± 0,52	84,52	0,69
K <sup>+</sup>	0,15	0,30	0,28	0,25 ± 0,07	27,51	0,29
SB	0,53	13,16	1,44	4,14 ± 6,03	145,63	4,45
Al <sup>3+</sup>	0,00	1,89	1,39	1,17 ± 0,86	73,60	1,77
H <sup>+</sup>	3,22	5,37	3,77	4,03 ± 0,99	24,48	4,47
H+Al	4,17	7,26	4,68	5,20 ± 1,41	27,19	5,53
P	3,00	10,94	4,38	5,68 ± 3,59	63,30	6,39
P <sub>rem</sub>	23,49	39,15	33,98	32,65 ± 6,97	21,34	37,39
CTC <sub>efetiva</sub>	2,30	13,20	2,90	5,33 ± 5,27	99,03	5,85
CTC <sub>potencial</sub>	5,50	17,30	7,25	9,33 ± 5,53	59,27	10,92
V	9,63	76,06	20,38	31,61 ± 30,15	95,36	36,38
m	0,00	75,21	49,66	43,64 ± 31,85	72,99	60,49
Areia	28,40	62,10	50,95	48,10 ± 14,38	29,89	56,10
Silte	21,40	44,10	32,75	32,75 ± 9,66	29,50	38,10
Argila	16,10	27,50	16,50	19,15 ± 5,57	29,09	19,25

#### Neossolos Quartzarênico

pH <sub>água</sub>	4,22	4,69	4,59	4,52 ± 0,21	4,64	4,65
MO	8,78	23,21	11,25	13,62 ± 6,54	48,04	14,96
Ca <sup>2+</sup>	0,15	1,55	0,82	0,83 ± 0,78	93,39	1,48
Mg <sup>2+</sup>	0,06	0,48	0,25	0,26 ± 0,23	89,04	0,45
K <sup>+</sup>	0,04	0,20	0,11	0,11 ± 0,07	61,32	0,15
SB	0,27	2,14	1,21	1,21 ± 1,07	88,64	2,13
Al <sup>3+</sup>	0,32	0,82	0,55	0,56 ± 0,25	44,13	0,75
H <sup>+</sup>	2,41	5,34	3,01	3,44 ± 1,30	37,78	3,66
H+Al	2,73	6,16	3,55	4,00 ± 1,51	37,68	4,41
P	2,55	7,56	3,38	4,22 ± 2,26	53,72	4,48
P <sub>rem</sub>	34,45	59,51	40,64	43,81 ± 10,88	24,84	45,88
CTC <sub>efetiva</sub>	1,00	2,50	1,75	1,75 ± 0,81	46,31	2,43
CTC <sub>potencial</sub>	4,10	6,40	5,10	5,18 ± 0,97	18,83	5,65
V	4,53	44,16	23,10	23,72 ± 21,08	88,85	40,75
m	13,33	74,54	43,60	43,77 ± 34,09	77,89	72,64
Areia	72,40	92,70	83,55	83,05 ± 10,85	13,07	92,25
Silte	1,30	14,50	7,20	7,55 ± 5,97	79,04	11,35
Argila	3,20	14,70	9,85	9,40 ± 5,42	57,64	13,50

#### Plintossolos

pH <sub>água</sub>	3,85	4,97	4,28	4,34 ± 0,51	11,63	4,63
MO	18,27	29,17	20,64	22,18 ± 4,94	22,28	23,87
Ca <sup>2+</sup>	0,30	1,33	0,64	0,73 ± 0,47	65,34	0,99
Mg <sup>2+</sup>	0,14	0,61	0,32	0,35 ± 0,20	56,52	0,39
K <sup>+</sup>	0,11	0,32	0,25	0,23 ± 0,09	39,05	0,28

SB	0,76	2,21	1,12	1,30 ± 0,67	51,83	1,61
Al <sup>3+</sup>	0,17	4,55	0,91	1,63 ± 1,99	121,69	2,01
H <sup>+</sup>	2,50	6,04	4,26	4,26 ± 1,71	40,07	5,53
H+Al	2,66	7,70	6,61	5,89 ± 2,27	38,50	7,33
P	1,57	3,60	2,18	2,38 ± 0,86	36,31	2,59
P <sub>rem</sub>	7,99	43,69	14,72	20,28 ± 16,09	79,35	24,08
CTC <sub>efetiva</sub>	1,60	5,30	2,45	2,95 ± 1,66	56,21	3,50
CTC <sub>potencial</sub>	4,10	8,50	8,10	7,20 ± 2,08	28,85	8,28
V	8,94	34,39	18,60	20,13 ± 12,55	62,35	28,81
m	10,62	85,84	40,20	44,22 ± 34,29	77,54	64,96
Areia	12,60	77,80	36,55	40,88 ± 29,67	72,59	58,00
Silte	9,90	51,90	24,35	27,62 ± 18,07	65,43	35,18
Argila	12,30	57,80	27,95	31,50 ± 19,06	60,52	36,58

<sup>1</sup>MO (matéria orgânica) em g kg<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SB (soma de base), Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>, H+Al (acidez potencial), CTC<sub>efetiva</sub>, CTC<sub>potencial</sub> em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P em mg dm<sup>-3</sup>; P<sub>rem</sub> em mg L<sup>-1</sup>; V (saturação por base), m (saturação por alumínio), argila, silte, areia em %. <sup>2</sup>Média ± Desvio padrão.

Baixo teor de matéria orgânica (MO) foi verificado para a classe de Neossolo Quartzarênico em relação aos demais solos avaliados. Para Brady (1989) a textura do solo parece exercer influência sobre a quantidade de matéria orgânica. O autor explica que um solo arenoso contém, em geral, menor quantidade de matéria orgânica do que em outro com textura mais fina. Isto, provavelmente, devido ao menor teor de umidade e à oxidação mais rápida ocorrerem em solos mais arenosos. Essa relação foi verificada no presente estudo, pois as amostras de Neossolo Quartzarênico apresentaram maior teor de areia e menor teor de argila em relação às demais classes.

As classes de Argissolo, Latossolo e Plintossolo apresentaram os maiores teores de matéria orgânica e argila, e menor quantidade de fósforo disponível para as plantas. Desta forma, os maiores teores de P foram encontrados nas classes de Neossolos, possivelmente, por serem solos mais jovens e ainda receberem forte influência do material de origem. De acordo com Santos et al. (2008), nestes solos ainda ocorre fósforo em minerais primários, sendo o mais comum a apatita, o qual é liberado pelo processo de intemperismo.

Os Argissolos e Plintossolos apresentaram porcentagem de saturação por bases semelhante às constatadas por Anjos et al. (2007) e menores do que aqueles em Latossolos e Neossolos. Contudo, todas as classes apresentaram porcentagem de saturação por bases menor que 50%. Inversamente, foram verificados altos percentuais de saturação por alumínio

em todas as classes pedológicas, contudo, somente o Argissolo apresentou média superior a 50%, sendo assim classificado como muito pobre (SANTOS et al., 2013).

Os Neossolos Quartzarênico apresentaram os mais altos teores de areia entre as classes amostradas, por comumente se originarem em depósitos arenosos, por exemplo, em áreas aluviais e/ou rochas areníticas (FRAZÃO et al., 2008); por apresentarem textura Franco arenosa e Areia (Tabela 4); e um teor de argila inferior a 15%. Esta característica granulométrica confere a estes solos baixa capacidade de adsorção das bases trocáveis, implicando em elevadas perdas de nutrientes por lixiviação (OLIVEIRA, 2008); aumento das reações do solo, podendo muitas vezes ser encontrado alumínio em alta concentração (COELHO et al., 2002); baixos teores de matéria orgânica e CTC (PRADO, 2008); apresentando também, menor capacidade de retenção de água e elevada erodibilidade. Além disso, a dominância da fração areia indica a presença de minerais residuais resistentes ao processo de alteração pedogenética como, por exemplo, o quartzo e os feldspatos (ALHO et al., 2007).

Tabela 4. Classe textural das amostras de solo sob vegetação remanescente em Alta Floresta-MT, segundo triangulo textural de Santos et al. (2005).

<b>Classes</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classe textural</b>
Argissolo	P 1	Franco argilo arenosa
Argissolo	P 2	Franco argilo arenosa
Argissolo	P 3	Franco argilo arenosa
Argissolo	P 4	Argila
Latossolo	L 1	Muito argilosa
Latossolo	L 2	Franco argilo arenosa
Latossolo	L 3	Franco argilo arenosa
Latossolo	L 4	Argila
Neossolo Litólico	RL 1	Franco arenosa
Neossolo Litólico	RL 2	Franca
Neossolo Litólico	RL 3	Franco arenosa
Neossolo Litólico	RL 4	Franca
Neossolo Quartzarênico	RQ 1	Franco arenosa
Neossolo Quartzarênico	RQ 2	Franco arenosa
Neossolo Quartzarênico	RQ 3	Areia
Neossolo Quartzarênico	RQ 4	Areia
Plintossolo	F 1	Franco argilo arenosa
Plintossolo	F 2	Franco siltosa
Plintossolo	F 3	Argila
Plintossolo	F 4	Areia franca

De modo geral, as cinco classes de solo amostradas para os remanescentes florestais do norte de Mato Grosso apresentaram teores distintos para os atributos do solo entre e dentre si, evidenciando uma grande heterogeneidade para alguns atributos edáficos, corroborando com a ideia de que a intensidade, velocidade e duração dos fatores e processo de formação influenciam em sua fertilidade e textura.

### **Classificação e ordenação dos atributos físico-químicos dos solos**

Por meio da análise de agrupamento hierárquico aglomerativo (AHA), verificou-se com melhor clareza que as classes pedológicas não apresentaram um padrão entre os atributos químicos e granulométricos em sua composição (Figura 2). Os grupos representados no dendrograma se mostram bastantes heterogêneos, podendo, de certo modo, este comportamento estar relacionado com as características ambientais locais (como vegetação, topografia, umidade, altitude, etc), com a gênese destes solos (como rocha matriz, mineralogia, intemperismo, etc) e/ou a ação conjunta destes fatores.

O coeficiente de correlação cofenético (CCC) obtido entre a matriz de distância Euclidiana e a matriz de distância cofenética para todos os *clusters* foram de média magnitude, porém significativos pelo Teste de Mantel ( $p = 0,001$ ), evidenciando a consistência dos agrupamentos. Levando-se em consideração uma distância Euclidiana média entre as classes de solo houve a formação de três grupos distintos (Figura 2a), apresentando um CCC de 0,71. O grupo 1 é o de maior número de amostras, formado por oito fusões, sendo representado pelos Latossolo 1 e 2, Neossolo Litólico 1 e 3, Neossolo Quartzarênico 1 e 2, Plintossolo 1 e 4 e Argissolo 4. Isto significa que estes solos compartilham maior semelhança entre si em relação às demais amostras, portanto, a fusão destes objetos (solo) proporcionou a menor variância intragrupo (VALENTIN, 2012). No entanto, verifica-se que os grupos 2 e 3 possuem maior similaridade, se fundindo antes de se agruparem ao grupo 1.



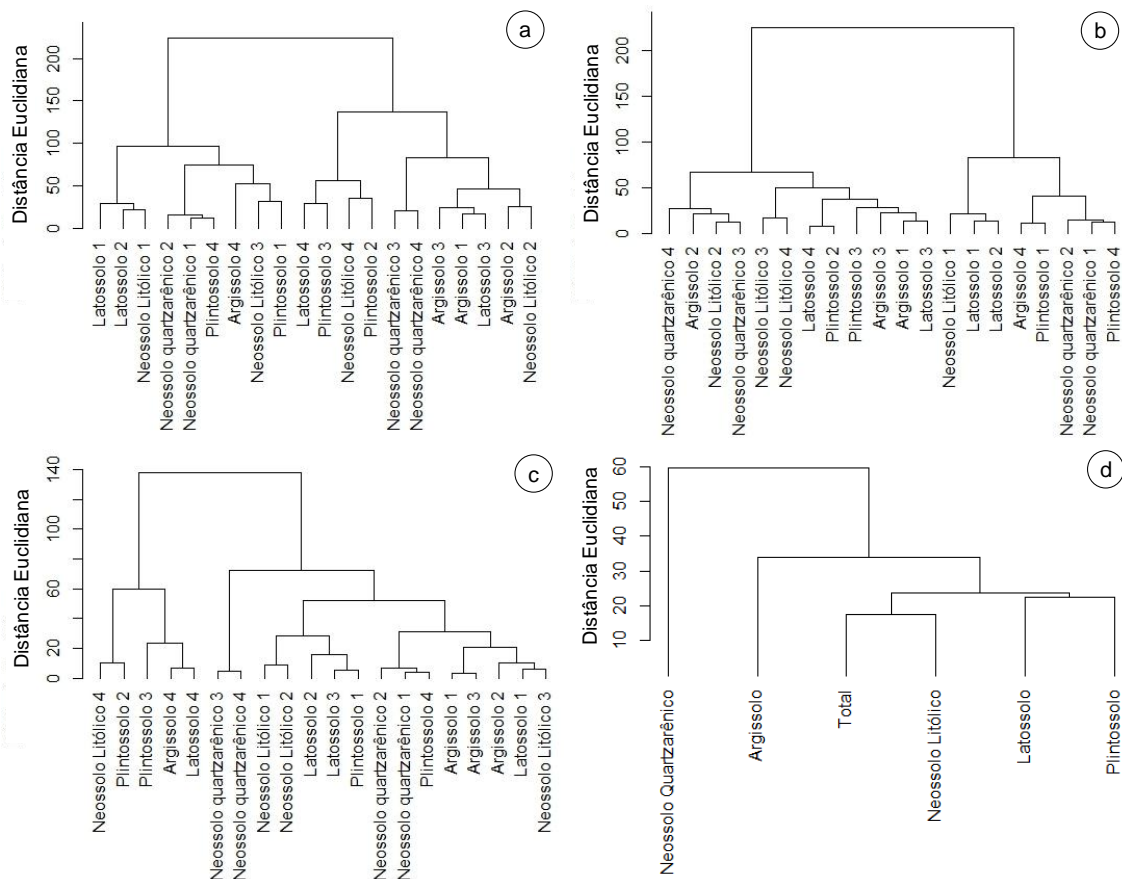


Figura 2. Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico aglomerativo evidenciando a formação de grupos, segundo as variáveis físico-químicas (a); químicas (b); texturais (c) e média das variáveis físico-químicas (d), das classes de solo de Alta Floresta-MT.

No dendrograma por atributos químicos do solo (Figura 2b) ocorreu a formação de dois grupos na distância média. O grupo 2 apresentou composição de amostras semelhante ao grupo 1 do primeiro dendrograma realizado (Figura 2a), havendo apenas a exclusão do Neossolo Litólico 3. Diante disto, pode-se inferir que as amostras pertencentes ao grupo 2 têm sua similaridade influenciada pelas variáveis químicas do solo, ao passo que o Neossolo Litólico 3 apresentou maior semelhança química com o grupo 1. Este AHA apresentou correlação cofenética de 0,82.

Por fim, o último agrupamento por amostra leva em consideração apenas a textura (Figura 2c). Para este foi encontrado um valor de 0,76 de CCC, sendo verificada a formação de três grupos em relação à distância Euclidiana média. Estes não apresentaram comportamento semelhante aos grupos formados pelos *clusters* anteriores, com exceção das amostras de Neossolo Quartzarênico 1 e 2, e Plintossolo 4, as quais se aglomeraram bem

próximas nos três dendrogramas, apresentando pequenas variações na distância de fusão. Isto indica que estas amostras são similares em relação a seus atributos físico-químicos. Inversamente, o grupo 2 mostrou maior dissimilaridade em relação aos demais, portanto, possuindo atributos granulométricos particulares.

Na análise de componentes principais (PCA) a partir de todos os atributos, foram extraídos os quatro primeiros componentes (Tabela 5). De acordo com Kaiser (1958) foram consideradas somente as variáveis com autovalores acima de 1, pois são aquelas que geram componentes com quantidade relevante de informação das variáveis originais. Esses componentes de forma acumulada explicaram 87% da variabilidade total dos dados (Figura 3a).

O primeiro componente explicou 42% da variabilidade total dos solos em área de vegetação remanescente (Figura 3a). Esse componente foi constituído pelos atributos  $\text{pH}_{\text{água}}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CTC}_{\text{potencial}}$  (T),  $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$  (t), V e SB para as classes pedológicas, onde apenas  $\text{Al}^{3+}$  e m apresentaram correlação negativa (Tabela 5). No segundo componente as intercorrelações entre as variáveis e os fatores estão positivamente ligadas aos atributos MO, H+Al, silte e argila, em oposição, projetaram-se negativamente as variáveis  $P_{\text{rem}}$  e areia (Tabela 5), explicando 27% (Figura 3a). Já para a terceira componente, houve explicação de 11% da variabilidade, sendo P responsável por esta variação e 7% foi explicado pelo  $\text{H}^+$  para a quarta componente, tendo ambos se correlacionado positivamente ao eixo (Tabela 5).

A representação gráfica *biplot* entre o componente 1 e o componente 2 (Figura 4a) indicaram que a saturação por bases foi o fator mais importante para a fusão dos grupos formados no primeiro dendrograma (Figura 2a), seguido de areia. O grupo 1 foi formado pelas amostras que apresentaram maior percentual de saturação por bases, já os grupos 2 e 3 apresentaram maior saturação por alumínio. Estes últimos se diferiram pela quantidade de fração areia, sendo o grupo 3 mais arenoso. Portanto, estando a saturação por bases (V) correlacionada ao eixo 1 (escores de 0,969) e a areia ao eixo 2 do *biplot* (escores de -0,930), explicando 69% da variação total dos dados (Figura 3a).

Tabela 5. Componentes principais (CP) da análise multivariada dos atributos físico-químicos das amostras de solo em área de vegetação remanescente em Alta Floresta-MT.

Descritores*	Físico-químico				Química			Textura	
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2
pH <sub>água</sub>	<b>0,92</b>	- 0,16	0,01	0,05	<b>0,91</b>	- 0,21	0,07	-	-
MO	0,32	<b>0,52</b>	0,34	0,20	0,34	<b>0,52</b>	- 0,33	-	-
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,93</b>	0,15	0,15	0,19	<b>0,93</b>	0,20	0,18	-	-
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,95</b>	0,14	- 0,03	0,02	<b>0,96</b>	0,09	- 0,01	-	-
K <sup>+</sup>	<b>0,55</b>	0,40	0,10	- 0,39	<b>0,56</b>	0,34	- 0,09	-	-
SB	<b>0,94</b>	0,16	0,13	0,16	<b>0,95</b>	0,19	0,15	-	-
Al <sup>3+</sup>	- <b>0,61</b>	0,52	0,37	- 0,30	- <b>0,61</b>	0,53	0,12	-	-
H <sup>+</sup>	- 0,35	0,53	0,02	<b>0,66</b>	- 0,33	<b>0,65</b>	0,15	-	-
H+Al	- 0,60	<b>0,67</b>	0,24	0,27	- 0,59	<b>0,75</b>	0,17	-	-
P	- 0,08	- 0,18	<b>0,75</b>	0,05	- 0,10	- 0,13	<b>0,83</b>	-	-
P <sub>rem</sub>	0,14	- <b>0,83</b>	0,41	0,21	0,11	- <b>0,70</b>	0,58	-	-
CTC <sub>efetiva</sub>	<b>0,82</b>	0,39	0,30	0,06	<b>0,82</b>	0,43	0,22	-	-
CTC <sub>potencial</sub>	<b>0,62</b>	0,60	0,30	0,34	0,63	<b>0,69</b>	0,28	-	-
V	<b>0,96</b>	- 0,07	- 0,09	- 0,10	<b>0,96</b>	- 0,14	- 0,08	-	-
m	- <b>0,85</b>	0,18	0,33	0,10	- <b>0,85</b>	0,27	0,27	-	-
Areia	0,06	- <b>0,93</b>	0,08	0,22	-	-	-	- <b>0,99</b>	0,01
Silte	0,09	<b>0,70</b>	0,45	- 0,45	-	-	-	<b>0,77</b>	0,63
Argila	- 0,17	<b>0,77</b>	- 0,51	0,06	-	-	-	<b>0,81</b>	- 0,57

\*Número em negrito indica maior correlação com a componente principal. MO (matéria orgânica), SB (soma de bases), H+Al (acidez potencial), V (saturação por bases) e m (saturação por alumínio).

O segundo gráfico *biplot* (Figura 4b) foi construído apenas com os atributos químicos do solo, havendo a ocorrência de três componentes com autovalores superior a 1 (Figura 3b), estes se encontram descritos na Tabela 5. Os dois primeiros componentes plotados explicaram 71% da variação dos dados, na qual o componente 1 contribuiu com 51% da explicação da variância (Figura 3b). Para este eixo (CP1, Tabela 5) projetaram-se positivamente pH<sub>água</sub>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, CTC<sub>efetiva</sub> (t), V e SB, sendo selecionada neste conjunto de dados a saturação por bases com maior carga fatorial (0,968). Em oposição, projetou-se negativamente Al<sup>3+</sup> e m, este último com maior escore negativo (-0,859). Portanto, essa primeira componente principal representa o efeito preponderante da saturação por bases do solo.

Na componente 2 (CP2, Tabela 5), projetaram-se positivamente MO, H+Al, H<sup>+</sup> e CTC<sub>potencial</sub> (T), sendo selecionado a acidez potencial com maior escores (0,754). Para o eixo negativo o P<sub>rem</sub> projetou-se apresentando carga fatorial de 0,703. Entre os 15 fatores principais, a saturação por bases foi o principal fator de fusão de grupo do segundo dendrograma da AHA (Figura 2b).

No entanto, também é observada uma tendência de formação ou separação para um terceiro grupo através da PCA, sendo propiciado pela variável acidez potencial. Assim, as amostradas plotadas nos quadrantes direito apresentam maior saturação por bases em relação às amostras do quadrante esquerdo e os solos presentes nos quadrantes superiores do *biplot* apresentam alta acidez potencial (Figura 4b).

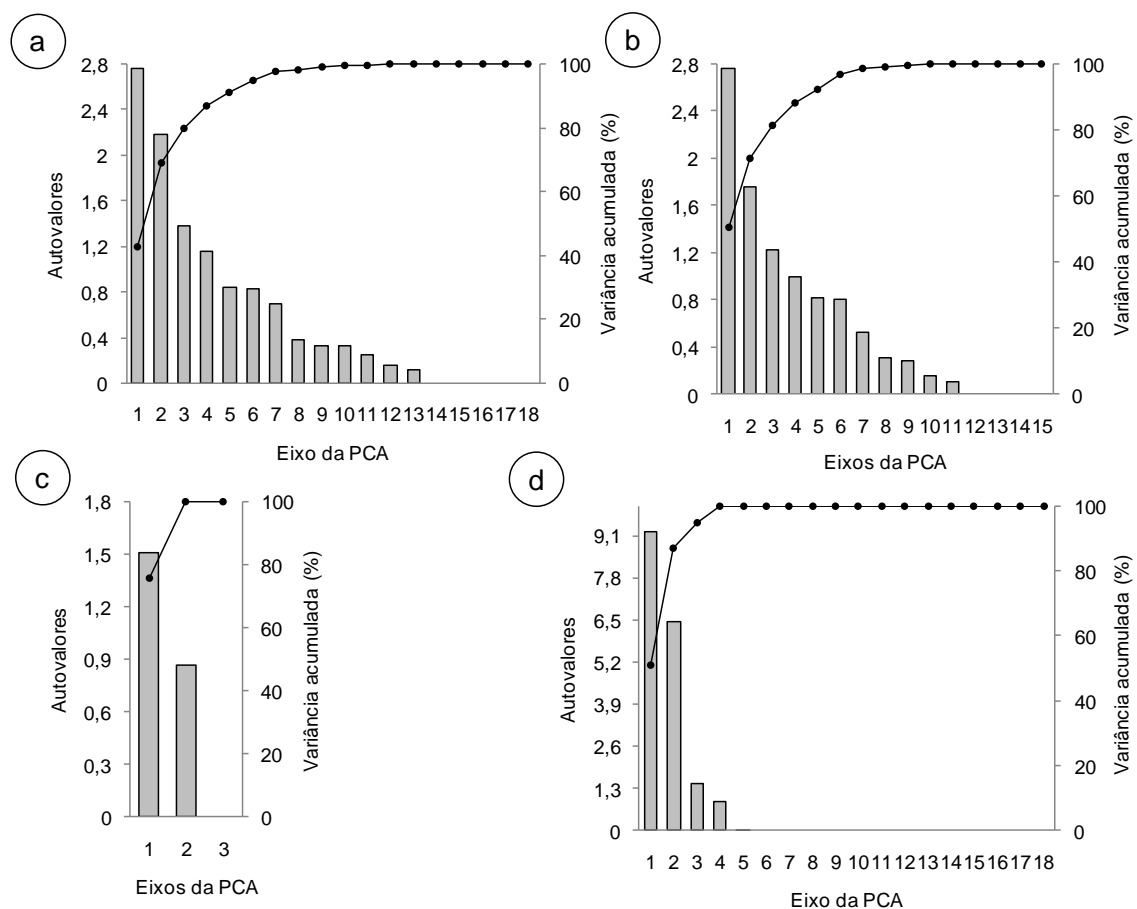


Figura 3. Resumo das componentes principais, segundo as variáveis físico-químicas (a); químicas (b); texturais (c) e média das variáveis físico-químicas (d), de classes de solo de Alta Floresta-MT.

Para a terceira PCA somente o primeiro componente explica todo o comportamento das amostras de solos em relação às frações granulométricas, uma vez que, verifica-se que não houve variáveis correlacionadas ao eixo dois da PCA (Tabela 5). Contudo, para maior visualização foram utilizadas duas componentes na construção do *biplot* (Figura 4c). Estes explicaram 100% da variação dos dados (Figura 3c), sendo a fração areia o principal fator (escores - 0,999) para discriminação das amostras de solos. Comparando-se os grupos

formados pelo terceiro dendrograma (Figura 2c) tem-se que as amostras de Neossolo Quartzarênico 3 e 4 são formadas por altos teores de areia, enquanto o grupo 3 por médio teor e o grupo 1 baixo teor de areia. Neste último os maiores teores foram de silte para Neossolo Litólico 4 e Plintossolo 2 e argila para Plintossolo 3, Argissolo 4 e Latossolo 4.

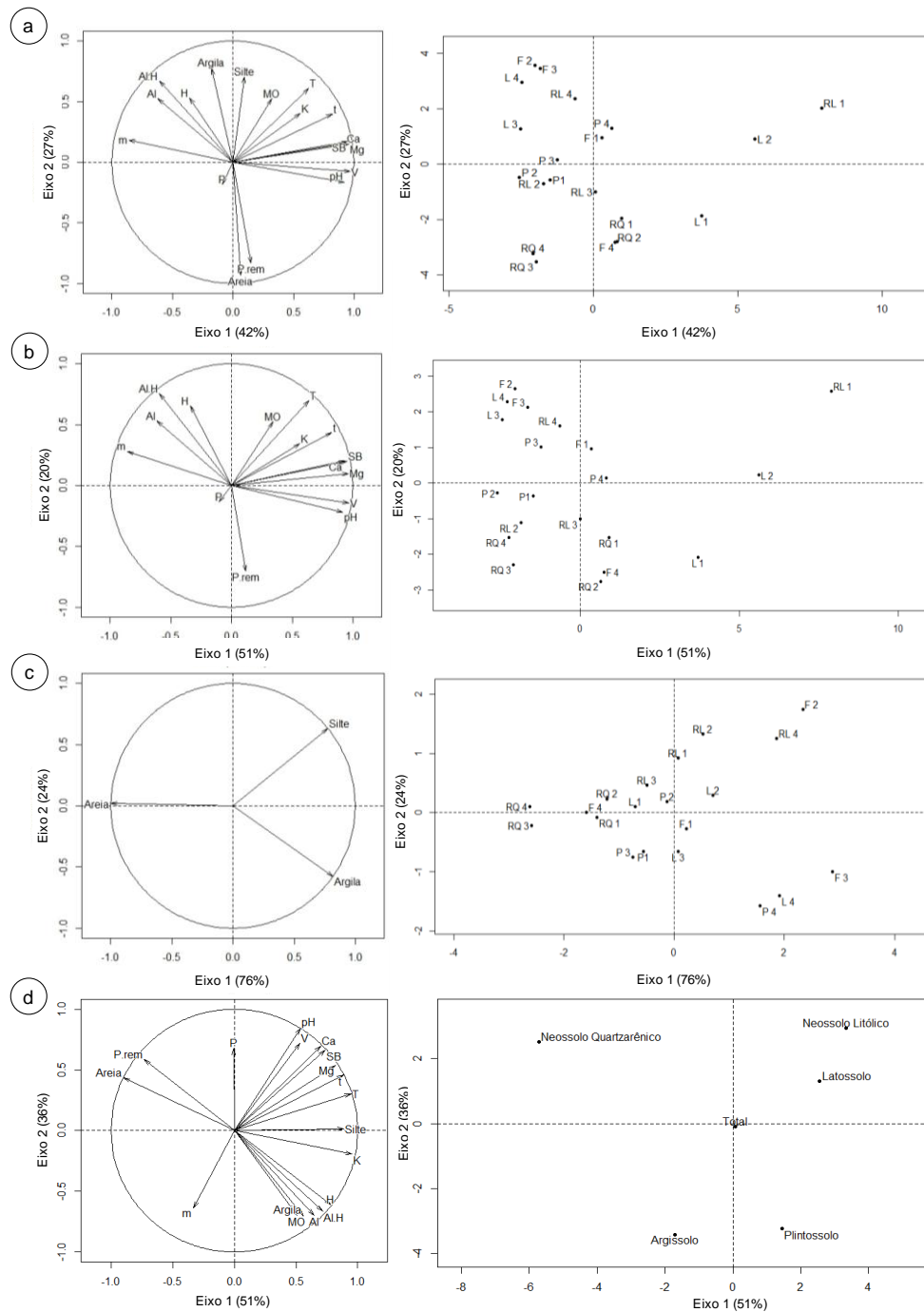


Figura 4. Gráfico *biplot* resultante da análise de componentes principais, segundo as variáveis físico-químicas (a); químicas (b); texturais (c) e média das variáveis físico-químicas (d), das classes de solo de Alta Floresta-MT. T= CTC<sub>potencial</sub>; t= CTC<sub>efetiva</sub>.

De forma geral, as três PCAs selecionaram como fatores importantes para discriminação das amostras de solos a saturação por bases e o teor de areia. A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo (RONQUIM, 2010), enquanto solos com altos teores de areia, ou seja, menores teores de argila apresentam baixa CTC, MO, retenção de P e capacidade de retenção hídrica (FAGERIA & STONE, 2006).

Para as médias gerais de cada classe de solo não foram encontradas grandes similaridades entre sua composição química e textural. Verificou-se que o Latossolo apresentou maior semelhança com a classe de Plintossolo, e o Neossolo Litólico com a média geral dos solos de Alta Floresta, enquanto o Neossolo Quartzarênico ficou mais distante das demais classes (Figura 2d). Este dendrograma expressou um valor de 0,92 para o coeficiente de correlação cofenético, sendo significativo pelo teste de Mantel ( $p = 0,005$ ). Houve a formação de três grupos na distância Euclidiana média.

A formação destes grupos foi explicada pela análise de ordenação, sendo extraídos os descritores capacidade de troca de cátions potencial (T) e  $\text{pH}_{\text{água}}$  como responsáveis pela fusão dos grupos (Figura 4d). Para esta PCA três componentes apresentaram autovalores superiores a 1 e juntas explicaram 95% da variação total dos dados (Figura 3d). Na Tabela 6 encontram-se os escores das variáveis e sua contribuição com cada eixo do *biplot*.

Algumas classes de solos expressaram nos eixos da PCA propriedades típicas de sua composição. O Neossolo Quartzarênico apresentou grandes percentuais de areia em sua textura, sendo um comportamento comum a esta classe. De acordo com Frazão et al. (2008) os solos quartzarênicos são comuns em áreas de vegetação de cerrado e floresta estacional, apresentam baixa coesão, elevada permeabilidade e baixa retenção de nutrientes, o que lhe confere elevada fragilidade. O Plintossolo e Argissolo são solos ácidos e, conseqüentemente, apresentaram os menores valores de saturação por bases, sendo esta uma característica destes solos (SANTOS et al., 2013). As médias dos atributos físico-químicos de cada classe pedológica podem ser verificadas na Tabela 2.

Tabela 6. Componentes principais da análise multivariada dos atributos físico-químicos dos solos em área de vegetação remanescente em Alta Floresta-MT.

Descritores*	Físico-químico		
	CP1	CP2	CP3
pH <sub>água</sub>	0,53	<b>0,84</b>	- 0,05
MO	0,51	<b>- 0,69</b>	0,07
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,70</b>	0,69	0,07
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,82</b>	0,54	- 0,14
K <sup>+</sup>	<b>0,95</b>	- 0,19	0,22
SB	<b>0,73</b>	0,66	0,55
Al <sup>3+</sup>	0,65	<b>- 0,69</b>	0,11
H <sup>+</sup>	<b>0,78</b>	- 0,61	0,09
H+Al	<b>0,72</b>	- 0,66	0,10
P	- 0,00	0,68	<b>0,73</b>
P <sub>rem</sub>	<b>- 0,73</b>	0,58	0,34
CTC <sub>efetiva</sub>	<b>0,88</b>	0,46	0,08
CTC <sub>potencial</sub>	<b>0,95</b>	0,30	0,09
V	0,53	<b>0,72</b>	- 0,42
m	- 0,33	<b>- 0,64</b>	0,54
Areia	<b>- 0,89</b>	0,43	0,01
Silte	<b>0,88</b>	0,01	0,28
Argila	0,56	<b>- 0,70</b>	0,29

\*Número em negrito indica maior correlação com a componente principal. MO (matéria orgânica), SB (soma de bases), H+Al (acidez potencial), V (saturação por bases) e m (saturação por alumínio).

Os resultados evidenciam a importância da realização de trabalhos em diferentes classes de solo para melhor compreensão de seus atributos químicos e texturais para fins de conservação e melhor manejo dos solos.

## **Conclusões**

Os solos de Alta Floresta-MT, sob remanescentes florestais, apresentam níveis de fertilidade semelhantes ao descrito para a região Amazônica, apresentando-se ácidos e com baixos teores de bases trocáveis. Contudo, são bastante heterogêneos em relação aos atributos físico-químicos não apresentando similaridade entre as classes pedológicas, exceto entre Latossolo e Plintossolo. Porém, houve similaridade entre as amostras de cada classe de solo. Esta similaridade entre as amostras foram proporcionadas, principalmente, pela saturação por base e a fração areia, as quais foram determinantes na discriminação dos grupos encontrados na análise de agrupamento.



## Referências Bibliográficas

- ALHO, D. R.; JÚNIOR, J. M.; CAMPOS, M. C. C. Caracterização física, química e mineralógica de Neossolos Litólicos de diferentes materiais de origem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.2, n.2, p.117-122, 2007.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. J.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711–728, 2013.
- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.1035-1044, 2007.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BUTTURI, W.; NUNES, E. J. S.; SILVA, E. P. Banco de dados geográfico aplicado ao cadastro ambiental rural do município de Alta Floresta – MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.11, n.1, p.1-8, 2013.
- CAMARGO, M. F.; ROQUE, C. G.; UMETSU, R. K.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, T. R. C. Fertilidade do solo da área ciliar da sub-bacia hidrográfica Mariana, para fins de conservação ambiental. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.5, n.1, p.57-67, 2010.
- COCHRANE, T. T.; SANCHEZ, P. A. Land resources, soils and their management in the Amazon region: a state of knowledge report. In: HECHT, S. B.; NORES, G. A.; SÁNCHEZ, P. A.; SPAIN, J. M.; TOENNIESSEN, G. (eds.). **Amazonia: Agriculture and land use research**. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1982. p.137-209.
- COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M. L. D. O Recurso Natural do Solo. In: MANZATTO, C. V. (Org.). **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p.1-12.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420/2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov/port/conama/legiabre.cfm.htm>>. Acesso em: 29 Jan. 2014.
- DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da Floresta Amazônica e do Cerrado do Brasil Central. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50, n.2, p.272-286, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Informação e Tecnologia, 2009. 627p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Qualidade do solo e meio ambiente**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 35 p. (Documentos 197).

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; LIBANO, A. M.; VENTUROLI, F.; PEREIRA, B. A. S.; MACHADO, E. L. M. Análise Multivariada: princípios e métodos em estudos de vegetação. In: FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. (org.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos**. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 556p.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. S. R.; VITAL, A. R. T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, Manaus, v.36, n.1, p.59-68, 2006.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.641-648, 2008.

FURLEY, P.A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, s.l., v.8, p.223-224, 1999.

GERALDES, A. P. A.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.55-60, 1995.

HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. (2015). **FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining**. R package version 1.31.4. <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Unidades de relevo**. 2006. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartogramas/relevo.html](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartogramas/relevo.html)>. Acesso em: 21 nov. 2015.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, s.l., v.23, p.187-200, 1958.

LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455p.

LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; TOREZAN, J. M. D.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R. Atualização cartográfica do mapa de cobertura do Mato Grosso através da integração de mapas provenientes de imagens TM e MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p.1711-1717.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado**: características, propriedades e manejo. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1984. 162p.

MANLY, B. F. J. Randomization and regression methods for testing for associations with geographical, environmental and biological distances between populations. **Researches on Population Ecology**, Tokyo, v.28, n.2, p.201-218, 1986.

MANLY, B. F. J. **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229p. (Tradução Sara Ianda Cormona).

MANTEL, N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. **Cancer Research**, Chestnut, v.27, n.2, p.209-220, 1967.

MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SANTOS, H.G.; COELHO, M.R.; BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O.A.; MANZATTO, C.V.; FIDALGO, E.C.C. Solos e ocupação das terras na Amazônia Brasileira. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Editora UFLA, 2008. p.67-116.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.67-90.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistema da Amazônia Ocidental (Amazonas)**. Piracicaba: USP-CENA, 2002. 79p.

MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T. N. N. **Mato Grosso**: solos e paisagens. Cuiabá: Entrelinhas, 2007. 271p.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; WAGNER, H. (2015). **vegan**: Community Ecology Package. R package version 2.3-1. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592 p.

PIERANGELI, M. A. P.; EGUCHI, E. S.; RUPPIN, R. F.; COSTA, R. B. F.; VIEIRA, D. F. Teores de As, Pb, Cd e Hg e fertilidade de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, Manaus, v.39, n.1, p.61-70, 2009.

PRADO, H. **Pedologia fácil**: Aplicações na agricultura. Piracicaba, 2008. 145p.

PRIMAVESI, A. **Pergunte ao solo e às raízes**: uma análise do solo tropical e mais de 70 casos resolvidos pela agroecologia. São Paulo: Nobel, 2014. 288p.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Nutrient cycling in native forests. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 285-306.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATIÑO, S.; BAKER, T. R.; CZIMCZICK, C.; FYLLAS, N. M.; MARTINELLIR, L.; NARDOTO, G. B.; SCHMERLER, J.; SANTOS, A. J. B.; HODNETT, M. G.; HARRERA, R.; LUIZÃO, F. J.; ARNETH, A.; LLOYD, G.; DEZZEO, N.; HILKE, I.; KUHLMANN, I.; REASSLER, M.; BRAND, W. A.; GEILMANN, H.; MORAES FILHO, J. O.; CARVALHO, F. P.; ARAUJO FILHO, R. N.; CHAVES, J. E.; CRUZ JUNIOR, O. F.; PIMENTEL, T. P.; PAIVA, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. **Biogeosciences**, s.l., v.7, p.1515–1541, 2010.

R CORE TEAM. (2015). **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

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

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 8).

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.576-586, 2008.

SANTOS, H. G.; HOCHMÜLLER, D. P.; CAVALCANTI, A. C.; RÊGO, R. S.; KER, J. C.; PANOSO, L. A.; AMARAL, J. A. M. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1995. 122p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro : Embrapa-SPI, 2013. 353p.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; KER, J. C.; SANTOS, H. G.; ANJOS, L. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2005. 100p.

SEPLAN - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Unidades Climáticas do Estado de Mato Grosso. In: **Zoneamento Sócio Econômico Ecológico**. 2001. Cuiabá: PRODEAGRO. CD Rom do Atlas Climatológico de Mato Grosso. Governo do Estado de Mato Grosso. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Laboratório de Climatologia. Universidade Federal do Estado de Mato Grosso, 2006.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, Berlin, v.11, n.1, p.30-40, 1962.

VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica**: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 168p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, n.33, p.743-755, 2009.

### **3.2 VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE PARA ELEMENTOS- TRAÇO, Fe e Mn EM SOLOS DE ALTA FLORESTA - MT**

**Resumo** – Diferenças entre os valores de referência de qualidade (VRQs) de elementos-traço em solos, estabelecidos a nível estadual e regional, são descritos na literatura. Neste contexto, teve-se como objetivo quantificar os teores naturais e estabelecer os VRQs para As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn em solos típicos do município de Alta Floresta, Mato Grosso. Foram coletadas vinte amostras de solos em área de mata nativa com o mínimo de influência antrópica, na camada de 0,00-0,20 m. A digestão das amostras foi realizada pelo método SW-846 3050B e a determinação dos teores desses elementos foram efetuadas por ICP-AES. Os resultados foram submetidos à análise descritiva e análise de agrupamento hierárquico aglomerativo (AHA). Os VRQs obtidos, a partir do percentil 75, para Fe (26.172,50), Mn (348,07), Zn (17,30), Pb (<5,51), As (<2,33), Cu (<9,01), Cd (<0,14), em mg kg<sup>-1</sup>, encontram-se abaixo daqueles obtidos para alguns solos brasileiros e internacionais. Contudo, através da AHA os solos de Alta Floresta apresentaram maior similaridade com os solos nacionais. Houve diferenças entre os VRQs estabelecidos para cada classe de solo e entre os valores estabelecidos para Mato Grosso e Rondônia. Estes resultados comprovam a superestimação ou a subestimação de elementos-traço em escala estadual e regional. Neste sentido, são indicados estudos regionalizados para a definição de VRQs, na tentativa de mitigar estes problemas.

Palavras-chave: Metal pesado, Monitoramento ambiental, Solos tropicais.

**Abstract** – Differences between quality reference values (QRV), established at the state and regional level, have been described in the literature. In this context, it had as objective to quantify the natural concentrations and establish QRV for As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn in typical soils municipality of Alta Floresta, Mato Grosso. Were collected twenty soil samples in native forest area with minimal human influence, the layer of 0.00 to 0.20 m. The digestion of the soil samples was based on the SW-846 3050B method, and the determination was carried out by ICP-AES. The results were submitted to descriptive analysis and agglomerative hierarchical cluster analysis (AHA). The QRV obtained from the 75th percentile to Fe (26172.50), Mn (348.07), Zn (17.30), Pb (<5.51), As (<2.33), Cu (<9.01), Cd (<0.14), in mg kg<sup>-1</sup>, are below those obtained for some Brazilian and international soil. However, by the AHA, Alta Floresta soils were similar to the national soil. There were differences between VRQs established for each soil class and between the values established for Mato Grosso and Rondônia. These results confirm the overestimation or underestimation of trace elements at the state and regional level. In this regard, regionalized studies are required to define QRV in order to mitigate these problems.

Key-words: Heavy Metal, Environmental monitoring, Tropical soils.

## Introdução

Os teores de elementos-traço presentes no solo, sob condições naturais, são influenciados, principalmente, por seu processo de formação (FADIGAS et al., 2010). Assim, solos originados de rochas básicas apresentam altos níveis de elementos-traço em relação a outras rochas, como gnaisses, arenitos e siltitos (TILLER, 1989; OLIVEIRA et al., 1999; FADIGAS et al., 2006a). Por outro lado, atividades antrópicas podem adicionar estes elementos aos solos e colocar em risco a qualidade dos ecossistemas (PAYE et al., 2010). Portanto, os teores de elementos-traço no solo consistem de uma fração geoquímica natural e uma fração antropogênica (ACOSTA et al., 2010; PIZARRO et al., 2010; NAMAGHI et al., 2011).

É sabido que teores elevados de elementos-traço no solo podem colocar em risco a segurança alimentar e a qualidade das águas para os seres humanos (MICÓ et al., 2006; KAIDAO et al., 2012; DUNG et al., 2013; ESMAEILI et al., 2014). Neste contexto, o conhecimento dos teores naturais desses elementos no solo é essencial para o estabelecimento de políticas ambientais em relação à saúde e proteção do meio ambiente (SILVA et al., 2015). Valores reguladores já foram estabelecidos para diversos países (CHEN et al., 1991; SALONEN & KORKKA-NIEMI, 2007; BINI et al., 2011; ALFARO et al., 2015).

Ao longo das últimas duas décadas, pesquisadores brasileiros têm trabalhado para quantificar os teores de elementos-traço que ocorrem naturalmente em solos do país (CETESB, 2001; LICHT & PLAWIAK, 2005; BIONDI et al., 2011; PAYE et al., 2010; SANTOS & ALLEONI, 2013; PRESTON et al., 2014; FERNANDES et al., 2015). Em 2009, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) propôs o estabelecimento de valores orientadores para cada estado brasileiro, em reconhecimento da diversidade litológica, topográfica e climática de cada região (CONAMA, 2009). A legislação brasileira reconhece três valores orientadores para elementos-traço no solo: os Valores de Referência de Qualidade (VRQ), os Valores de Prevenção (PV) e os Valores de Investigação (VI; CONAMA 2009).



As agências ambientais do estado de Mato Grosso ainda não disponibilizaram os valores orientadores de elementos-traço para os solos do estado. O que existe disponível na literatura é o resultado do trabalho de Santos & Alleoni (2013) sobre os teores de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn para os solos de Mato Grosso e Rondônia. No entanto, no estudo desses autores os pontos de amostragem concentrados na região norte mato-grossense não levaram em consideração a diversidade pedológica local, o que poderia superestimar ou subestimar os teores destes elementos no solo e os riscos associados.

Nesta perspectiva, o presente trabalho norteia-se na quantificação dos teores naturais de As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn presentes em cinco classes pedológicas do município de Alta Floresta, Mato Grosso. Tendo como objetivos: 1) estimar os níveis naturais desses elementos nos solos; 2) estabelecer seus valores de referência de qualidade para o município; 3) verificar as variações dos teores destes elementos entre as classes de solos e entre os resultados analíticos globais, e 4) verificar as variações nacionais e internacionais na abundância dos elementos-traço do solos em relação aos aqui encontrados.

## Material e Métodos

### Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Alta Floresta, localizado ao norte do estado de Mato Grosso (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen a região apresenta clima Tropical de monções (ALVARES et al., 2013) com temperatura média anual entre 24,3 e 24,8 °C (BUTTURI et al., 2013) e pluviometria de 2.000 a 2.300 mm (SEPLAN, 2006).

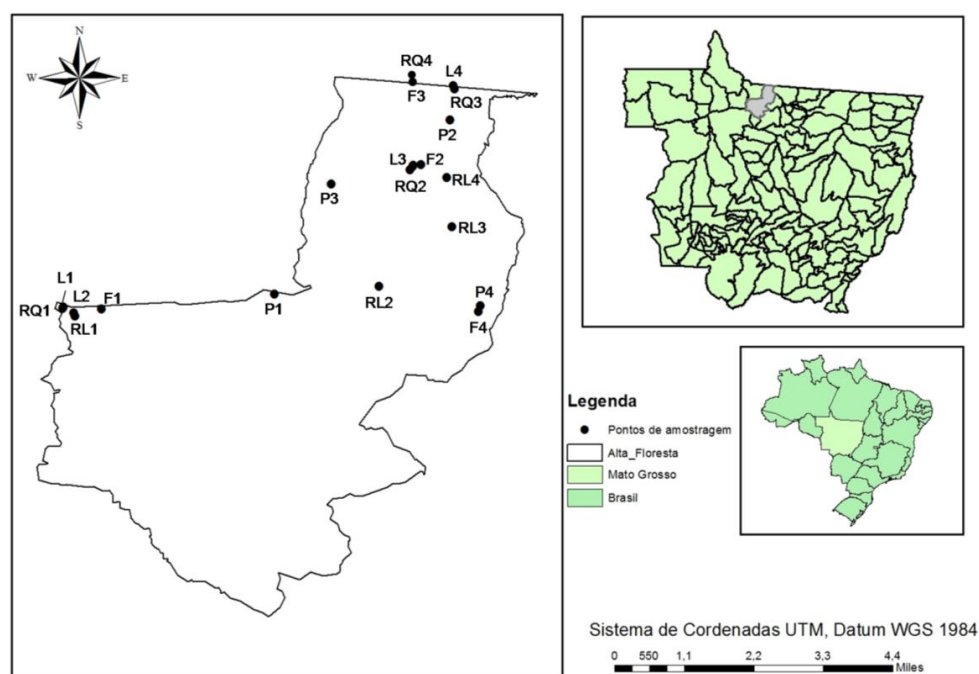


Figura 1. Localização da área de estudo, destacando o estado de Mato Grosso e o município de Alta Floresta com os pontos de amostragem e suas respectivas classes pedológicas (P = Argissolo, L = Latossolo, RL = Neossolo Litólico, RQ = Neossolo Quartzarênico, F = Plintossolo).

A descrição ambiental dos pontos de amostragem encontra-se na Tabela 1. O município está inserido no bioma Amazônia, fazendo parte da Amazônia Meridional. A região apresenta solos tipicamente ácidos e com baixa fertilidade, com predomínio das classes de Argissolo e Latossolo (MOREIRA & VASCONCELOS, 2007). A vegetação dominante é de floresta ombrófila, com encaves de savana e áreas de contato de floresta ombrófila/floresta estacional (MOREIRA & VASCONCELOS, 2007).

Tabela 1. Descrição ambiental dos vinte pontos de amostragem do município de Alta Floresta, Mato Grosso.

<b>Geologia<sup>1</sup></b>	<b>Amostra</b>	<b>Classe pedológica</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Vegetação<sup>2</sup></b>
ALCALINAS RIO CRISTALINO – riebeckita-aegirina-sienitos e sienitos com megacristais de anfibólio sódico, associadas a brechas de intrusão com xenólitos angulares de rochas vulcânicas.	RL 4	Neossolo Litólico	254	Floresta Ombrófila Aberta
COMPLEXO FAZENDA MOGNO – enderbitos, noritos, gabros, gabros-dioritos, metapiroxenitos, tremolita-talco-xistos, sillimanita-cordierita-gnaisses, rochas supracrustais submetidas a metamorfismo das fácies anfíbolito alto e granulito.	L 1	Latossolo	261	Floresta Ombrófila Aberta
	L 2	Latossolo	264	Floresta Ombrófila Aberta
	RL 1	Neossolo Litólico	294	Floresta Ombrófila Aberta
	RQ 1	Neossolo Quartzarênico	229	Floresta Ombrófila Aberta
	F 1	Plintossolo	245	Floresta Ombrófila Aberta
FORMAÇÃO COLIDER – riolitos, riodacitos, andesitos, tufos e brechas vulcânicas de natureza calcialcalina.	L 3	Latossolo	256	Floresta Ombrófila Aberta
	RQ 2	Neossolo Quartzarênico	247	Floresta Ombrófila Aberta
	F 2	Plintossolo	267	Floresta Ombrófila Aberta
GRUPO BENEFICENTE – arenitos quartzosos, arenitos feldspáticos, siltitos, argilitos, calcário e dolomitos estromatolíticos ou não, dolarenitos, folhelhos, conglomerados, cherts e tufos.	L 4	Latossolo	331	Contato Savana Fl. Ombrófila
	RQ 3	Neossolo Quartzarênico	320	Contato Savana Fl. Ombrófila
	RQ 4	Neossolo Quartzarênico	218	Contato Savana Fl. Ombrófila
	F 3	Plintossolo	281	Contato Savana Fl. Ombrófila
SUÍTE INTRUSIVA JURUENA – biotita-granitos, biotita-monzonitos, quartzo-dioritos, granodioritos e tonalitos de natureza calcialcalina.	P 1	Argissolo	295	Floresta Ombrófila Aberta
	P 3	Argissolo	254	Floresta Ombrófila Aberta
	RL 3	Neossolo Litólico	306	Floresta Ombrófila Aberta
SUÍTE INTRUSIVA TELES PIRES – granitos alcalino, granitos pórfiros, riebeckita-granitos, granitos rapakivi e granófiros.	P 2	Argissolo	276	Contato Savana Fl. Ombrófila
SUÍTE INTRUSIVA PARANAÍTA – granitos tipo I oxidados, calcialcalinos, incluindo biotita-granitos, monzogranitos e monzonitos. Geralmente porfiríticos e enclaves de composição diorítica.	P 4	Argissolo	267	Floresta Ombrófila Aberta
	RL 2	Neossolo Litólico	280	Floresta Ombrófila Aberta
	F 4	Plintossolo	281	Floresta Ombrófila Aberta

<sup>1</sup>Classificação de acordo com o mapa geológico do estado de Mato Grosso elaborado pelo IBGE (2009). <sup>2</sup>Classificação de acordo com o mapa de cobertura primitiva do estado de Mato Grosso do RadamBrasil (1980) citado por Lima et al. (2007).

A região se desenvolveu sobre rochas granítico-gnáissicas, xistos, anfíbolitos e granitos muitos intemperizados, com recobrimento de solos que evoluíram devido a processos de latossolização e podzolização. Pontilham, nesta superfície, elevações residuais, associadas a quartzitos e rochas metassedimentares, capeadas por solos pouco desenvolvidos (MOREIRA & VASCONCELOS, 2007).

### **Coleta e análise dos solos**

A área de estudo foi estabelecida com base em aspectos pedológicos e ambiental. Dessa forma, foram coletadas 20 amostras de solo em áreas de mata nativa com mínimo de interferência antrópica, sob cinco classes pedológicas identificadas a campo e distribuídas pelo município (Figura 1). As coletas seguiram a recomendação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009); na qual cada amostra composta foi formada por dez amostras simples de solo, coletadas na camada de 0,00–0,20 m de profundidade com auxílio de trado holandês de aço inoxidável. Trabalhou-se com as classes de solo de maior extensão e distribuição na Amazônia Brasileira: Latossolo (37%), Argissolo (31%), Plintossolo (9%), Neossolo Quartzarênico (5%) e Neossolo Litólico (4%) (MENDONÇA-SANTOS et al., 2008).

Em laboratório, os solos coletados foram secos ao ar, destorroados, homogeneizados e peneirados em malha de aço inoxidável de 2,0 mm. Posteriormente, foram pulverizados em gral de ágata até passarem inteiramente por uma peneira descartável de náilon de 150  $\mu\text{m}$ . Para extração dos teores de arsênio (As), cádmio (Cd), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), chumbo (Pb) e zinco (Zn) utilizou-se o método SW-846 3050B da *Environmental Protection Agency* (ABREU et al., 2001). O método utiliza aproximadamente 500 mg de material suspenso em 10 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado, as quais foram colocadas em bloco digestor aberto por 10 minutos a  $95\pm 5$  °C. Após esse período as amostras foram resfriadas e após a adição de mais 5 mL de  $\text{HNO}_3$ , novamente levadas ao bloco digestor para aquecimento a  $95\pm 5$  °C por mais 2 horas. Em seguida, foram resfriadas

novamente e adicionou-se 2 mL de água destilada e 3 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30%. A seguir, foram novamente conduzidas ao bloco digestor por mais 2 horas a 95±5 °C. Por fim, as amostras foram resfriadas e receberam 5 mL de HCl e 10 mL de água destilada e foram aquecidas por 5 minutos a 95±5 °C.

As determinação dos teores de As, Cd, Cu Fe, Mn, Pb e Zn foram realizadas por ICP-AES (ABREU et al., 2001). O controle de qualidade foi verificado utilizando-se amostra de solo com valores certificados pela *European Reference Materials* (ERM<sup>®</sup>-CC 141).

### **Análise estatística dos dados**

Para avaliar os teores de elementos-traço, Fe e Mn do solo, todos os resultados foram submetidos à análise descritiva, com e sem estratificação por classe pedológica. Consideraram-se os parâmetros: média aritmética, valores mínimos e máximos e desvio-padrão. O valor de referência de qualidade (VRQ) para cada elemento-traço foi calculado com base no percentil 75, de acordo com CONAMA (2009).

A similaridade dos teores de Cd, Cu, Pb e Zn para os solos de Alta Floresta em relação aos solos de alguns estados brasileiros e alguns países foram verificadas através da análise de agrupamento hierárquico aglomerativo (AHA). Este é um método multivariado que tem como objetivo agrupar um conjunto de indivíduos com base na similaridade de seus atributos, buscando detectar possíveis padrões e ordem através da redução e exploração de um grupo de dados (FELFILI et al., 2011; LATTIN et al., 2011; VALENTIN, 2012). Para a construção do dendrograma utilizou-se a distância Euclidiana e o método de agrupamento de Ward, e sua confiabilidade foi verificada através do Coeficiente de Correlação Cofenético (CCC). Este coeficiente é medido através da distorção entre a matriz original e a matriz cofenética, assim quanto mais próximo de 1,0 menor será a distorção e mais confiável será o dendrograma (SOKAL & ROHLF, 1962; FELFILI et al., 2011; VALENTIN, 2012).

Todas as análises de dados foram realizadas no software R versão 3.2.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015), utilizando-se o pacote vegan (OKASAMEN et al., 2015) para análise de agrupamento.

## Resultados e Discussão

As taxas de recuperação dos elementos-traço e Mn no solo de referência padrão ERM-CC141 em comparação com os valores determinados pelo método SW-846 3050B foram considerados satisfatórios para todos os elementos, variando de 93 a 120% (Tabela 2). O Fe não teve seu teor contemplado na amostra certificada ERM<sup>®</sup>-CC 141. Os elementos com melhores recuperações foram Cd, Cu, Pb, e Zn, ao passo que As mostrou a menor recuperação. Estes resultados indicam a confiabilidade do método utilizado na digestão das amostras e na determinação dos teores de elementos-traço em solo.

Tabela 2. Recuperação dos elementos-traço e Mn no solo de referência padrão ERM<sup>®</sup>-CC 141.

<b>Elemento-traço</b>	<b>Valor Certificado<sup>1</sup></b>	<b>Valor Determinado</b>	<b>Recuperação</b>
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- % -----
As	7,50	6,97	93
Cd	0,25	0,30	120
Cu	12,40	13,11	106
Fe	-	12.585,00	-
Mn	387,00	372,30	96
Pb	32,20	33,37	104
Zn	50,00	52,00	104

<sup>1</sup>Método de digestão por Água régia.

Os teores naturais de elementos-traço, Fe e Mn em solos de Alta Floresta, Mato Grosso, apresentaram a seguinte ordem: Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > As > Cd (Tabela 3). Em geral, a ordem dos teores de elementos-traço, Fe e Mn em solos deste município foram equivalentes aos relatados para solos de Pernambuco (SILVA et al., 2015) e Rio Grande do Norte (PRESTON et al., 2014), no entanto, os solos destes estados apresentaram teores mais elevados de chumbo em relação a cobre.

Os teores de Cd foram inferiores aos encontrados para os solos de Pernambuco (BIONDI, 2010) e superiores aos solos do Rio Grande do Norte (PRESTON et al., 2014), onde ambos apresentaram teores de 0,62 e 0,07 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Contudo, foi verificado que 20% das amostras de solos de Alta Floresta apresentaram teores abaixo do limite de quantificação (LQ). Segundo Paye et al. (2010) este fato está relacionado com os teores naturais

desse elemento na natureza, sendo reportado pela *Environmental Protection Agency* um teor médio de Cd no solo de 0,06 mg kg<sup>-1</sup> (USEPA, 1992). Valores baixos de Cd também estão associados ao pH do solo (NAIDU et al., 1994). Paye et al. (2010) explicam que sob condições ácidas, como a maioria dos solos Amazônicos, o Cd aumenta sua solubilidade e é muito pouco adsorvido pelos colóides orgânicos e minerais do solo, sendo facilmente lixiviado, principalmente devido à sua baixa afinidade com óxidos de Fe e Mn. Este pode ser um dos fatores limitantes para elevação dos teores de Cd nos solos de Alta Floresta.

Tabela 3. Teores naturais de elemento-traço, Fe e Mn para solos (n = 20) de Alta Floresta, Mato Grosso.

<b>Elemento-traço<sup>1</sup></b>	<b>Mínimo</b>	<b>Maximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio-padrão</b>
As	<LQ <sup>2</sup>	10,13	<2,25	2,65
Cd	<LQ	0,26	<0,12	0,03
Cu	<LQ	25,42	<6,44	10,66
Fe	1.413,00	52.920,00	16.112,00	16.137,97
Mn	9,30	2.663,70	348,40	1.213,74
Pb	<LQ	16,90	<3,61	3,32
Zn	4,30	65,10	18,02	26,11

<sup>1</sup>em mg kg<sup>-1</sup>. <sup>2</sup><LQ = menor que o limite de quantificação.

O As apresentou 10%, Cu 5% e Pb 45% dos resultados abaixo do limite de quantificação (LQ) do método de extração. Devido a isto, os teores médios desses elementos nas amostras de solo (Tabela 3), incluindo-se aí amostras com valores <LQ, ficaram abaixo dos teores registrados para a maioria dos solos brasileiros e de outras partes do mundo (CHEN et al., 1991, GUILHERME et al., 2005; LICHT & PLAWIAK, 2005; PRESTON et al., 2014; ALFARO et al., 2015).

Os teores médios de elementos-traço encontrados para Alta Floresta (MT) foram inferiores aos quantificados por Santos & Alleoni (2013), para o estado de Mato Grosso e Rondônia (Cd <LD; Cu = 16,50; Pb = 8,10; Zn = 6,80 mg kg<sup>-1</sup>), exceto para Zn que apresentou teores superiores (Tabela 3). Silva et al. (2015) também verificaram estas diferenças, entre escala estadual e regional, para os solos do estado de Pernambuco. Os autores associaram esta variabilidade nos teores de elementos-traço a condições edáficas e geológicas locais, o mesmo sendo verificado para Mato Grosso. De acordo com o mapa

geológico do IBGE (2009) o estado apresenta diferentes formações geológicas ao longo de sua extensão, que podem ter contribuído para esta diferença de valores. A geologia de todas as amostras de solos coletadas em Alta Floresta pode ser verificada na Tabela 1.

Diferenças nos teores de elementos-traço e Mn também foram registradas para os solos de Sorriso e Sinop em área de vegetação nativa (PIERANGELI et al. 2015), ambos localizados ao norte do estado de Mato Grosso, entre os valores encontrados para Alta Floresta. Estes solos apresentaram maiores teores de Pb, Mn e As (Pb = 6,90 e 6,75; Mn = 6,40 e 5,41; As = 4,10 e 3,41 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente), ao passo que os solos amostrados em Alta Floresta apresentaram maiores teores de Mn, Zn e Cu (Tabela 3).

De forma geral, os solos de Alta Floresta apresentaram maior similaridade, em relação aos teores de elementos-traço, com os solos nacionais do que com os solos internacionais (Figura 2). Por meio da análise de agrupamento verificou-se que os teores de Cd, Cu, Pb e Zn, encontrados no presente estudo, assemelham-se com os do Rio Grande do Norte, Espírito Santo e Pernambuco, provavelmente por estes solos, assim como os de Alta Floresta, serem derivados de rochas Cristalinas Pré-Cambrianas. Segundo Alfaro et al. (2015) solos derivados do escudo cristalino apresentam escassa disponibilidade de elementos-traço em seu material de origem, o que explica os baixos teores de elementos-traço verificados nestes estados (BIONDI, 2010; PAYE et al., 2010; PRESTON et al., 2014) e em Alta Floresta (Tabela 3). No entanto, os solos de Mato Grosso e Rondônia (SANTOS & ALLEONI, 2013) apresentaram maior similaridade com os solos de Minas Gerais. Em contrapartida, a uma distância Euclidiana média houve a formação de dois grupos, no qual, os solos da Austrália apresentaram maior distinção em relação às demais localidades avaliadas.

Apesar desta similaridade gerada pelo agrupamento hierárquico aglomerativo (AHA), os valores de referência de qualidade, para alguns elementos, calculados através do quartil superior (P 75) para Alta Floresta são inferiores em relação a algumas regiões brasileiras, conforme mostra a Tabela 4. Foram observados valores superiores de Cu, Pb e Zn para São Paulo e Rio



Grande do Norte. Em contraste, valores superiores de Fe e Mn foram verificados para os solos de Alta Floresta em relação aos solos do Espírito Santo e de Pernambuco. Isso se deve a ocorrência de rochas máficas na litologia de Alta Floresta, pois segundo Biondi et al. (2011) a ocorrência destas rochas estão associadas a maior abundância de Mn e Fe no solo.

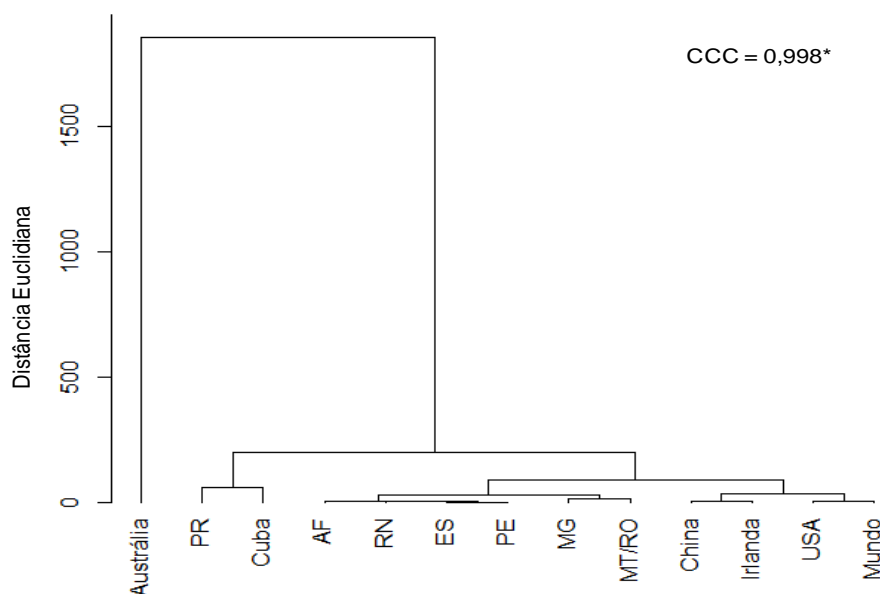


Figura 2. Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico aglomerativo evidenciando a formação de grupos, de acordo com os teores de Cd, Cu, Pb e Zn, para solos de Alta Floresta (AF) e outras regiões. CCC= Coeficiente de Correlação Cofenético, significativo a 5%. China, USA e Austrália: Chen et al. (1991); Mundo: Guilherme et al. (2005); PR: Licht & Plawiak (2005); Irlanda: Salonen & Korkka-Niemi (2007); MG: Caires (2009); ES: Paye et al. (2010); PE: Biondi (2010); MT/RO: Santos & Alleoni (2013); RN: Preston et al. (2014); Cuba: Alfaro et al. (2015).

Valores de referência de qualidade mais elevados foram estabelecidos para solos mato-grossenses e rondonienses (SANTOS & ALLEONI, 2013) em relação aos de Alta Floresta, com exceção do elemento Zn. Tal resultado compromete o monitoramento e estabelecimento dos teores naturais de elementos-traço nos solos, colocando em risco a manutenção ambiental deste compartimento em algumas regiões do estado e mesmo a saúde humana. Um exemplo são os teores de Cu e Zn nos solos de Alta Floresta, os quais apresentaram uma diminuição de aproximadamente 56% e um acréscimo de 477%, respectivamente, em relação ao estabelecido para o estado por Santos & Alleoni (2013; Tabela 4). Paye et al. (2010) explicam que

estas diferenças nos valores de referência de qualidade para elementos-traço são comuns nesse tipo de estudo, em razão das diferenças das técnicas analíticas empregadas para extração e determinação dos elementos-traço.

Por outro lado, foram encontradas diferenças nos teores e VRQs entre as classes pedológicas avaliadas neste trabalho (Tabela 5). Portanto, as diferenças nos valores, neste caso, estão mais condicionadas aos processos de formação dos solos do que metodológicos. Esse fato já foi verificado também por outros autores, tais como Chen et al. (1991), Amaral Sobrinho et al. (1997), Fadigas et al. (2002 e 2006b), Biondi et al. (2011) e Paye et al. (2010).

Tabela 4. Valores de referência de qualidade (VRQs) para os solos de Alta Floresta, Mato Grosso (n= 20), em relação a alguns estados brasileiros.

	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
AF	<2,33	<0,14	<9,01	26.172,50	348,07	<5,51	17,30
ES <sup>1</sup>	<12,83	<0,13	5,91	ND	137,80	<4,54	29,87
MT/RO <sup>2</sup>	ND <sup>6</sup>	<0,30	20,60	ND	ND	9,00	3,00
PE <sup>3</sup>	0,60	0,68	5,00	8.547,69	84,16	12,00	34,50
RN <sup>4</sup>	ND	0,10	13,69	ND	ND	16,18	23,85
SP <sup>5</sup>	3,50	<0,50	35,00	ND	ND	17,00	60,00

<sup>1</sup>Paye et al. (2010); <sup>2</sup>Santos & Alleoni (2013); <sup>3</sup>Biondi (2010); <sup>4</sup>Preston et al. (2014); <sup>5</sup>Cetesb, (2005); <sup>6</sup>ND= não determinado.

As amostras de Plintossolos e Latossolos apresentaram os maiores valores médios para os elementos-traço, Fe e Mn, exceto para Pb. Os maiores teores médios de Pb foram encontrados nas amostras de Neossolos Litólico e Neossolos Quartzarênico (Tabela 5), o mesmo sendo verificado para solos do Espírito Santo (PAYE et al., 2010). Isto é possível, pois a dinâmica do Pb na superfície terrestre é influenciada, principalmente, pelos processos pedogenéticos. De acordo com Cunha et al. (2014) as rochas ígneas e sedimentares são as principais fontes deste elemento químico no ambiente, o que reforça os resultados obtidos no presente estudo, pois os solos de Alta Floresta desenvolveram-se sob estas litologias. Maiores teores de Pb no Neossolo Litólico provavelmente está relacionado à geologia dos locais de coleta (Tabela 1).

Em geral, não foi possível determinar a sequência dos valores médios de elementos-traço, Fe e Mn por classe de solo para Alta Floresta, pois

uma mesma classe ora apresentava valores superiores para um elemento, ora valores inferiores para outro elemento, não sendo verificado um padrão nos teores para As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn entre as classes de solo avaliadas (Tabela 5).

Tabela 5. Teores naturais e valores de referência de qualidade (VRQ) de elementos-traço, Fe e Mn para solos de Alta Floresta, Mato Grosso, por classes pedológicas.

Classe <sup>1</sup>		As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
P	Média	1,30	0,12	<4,73	11.203,00	76,35	<1,41	10,53
	P 75 <sup>2</sup>	1,54	0,12	<6,76	14.912,00	95,05	<1,41	11,82
L	Média	3,82	<0,12	10,28	26.730,00	908,00	<2,28	27,02
	P 75	4,60	<0,15	13,38	36.032,50	1.248,67	<2,28	32,17
RL	Média	<1,17	<0,09	6,17	10.681,00	298,20	9,76	15,90
	P 75	<1,69	<0,13	6,92	12.651,50	339,70	11,33	19,37
RQ	Média	0,74	0,13	5,40	4.210,00	210,80	<3,34	12,82
	P 75	1,15	0,15	7,07	4.888,25	292,20	<4,75	15,10
F	Média	4,20	<0,14	5,59	27.738,00	248,40	<1,25	23,80
	P 75	5,20	<0,16	7,08	43.477,50	375,12	<1,83	31,12

<sup>1</sup>P= Argissolo; L= Latossolo; RL= Neossolo Litólico; RQ= Neossolo Quartzarênico; F= Plintossolo. <sup>2</sup>P 75= percentil 75 (CONAMA, 2009).

Valores de referência de qualidade abaixo do estabelecido para Alta Floresta (Tabela 4) foram registrados para as classes de: Argissolo (todos os elementos-traço), Latossolo (apenas para Pb), Neossolo Litólico (exceto para Pb e Zn), Neossolo Quartzarênico (exceto para Cd) e Plintossolo (apenas para Cu e Pb; Tabela 5). Reimann & Garrett (2005) explicam que a definição de um VRQ único para uma grande área está repleta de problemas por causa da heterogeneidade pedológica e geoquímica regional, o que poderia influenciar no monitoramento ambiental de certos solos. Contudo, a determinação de vários valores para um mesmo elemento em uma mesma região poderia dificultar a avaliação de risco de contaminação por parte das agências ambientais. Portanto, a determinação de VRQs a nível estadual ou municipal são as mais recomendáveis.

No presente estudo, os teores naturais e valores de referência de qualidade para elementos-traço anteriormente estabelecidos para os estados de Mato Grosso e Rondônia (SANTOS & ALLEONI, 2013) podem superestimar ou subestimar os valores observados para o município de Alta Floresta. Como resultado poderá haver áreas declaradas erroneamente contaminadas e ou

gerar esforços desnecessários para remediar certos elementos do solo. Portanto, recomenda-se a utilização dos VRQs de Alta Floresta, determinados no presente estudo, para o monitoramento de contaminação dos solos em áreas antropizadas no município, a fim de mitigar estes problemas.

## Conclusões

Os teores naturais de elementos-traço, Fe e Mn em solos de Alta Floresta, Mato Grosso, apresentam a seguinte ordem decrescente: Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > As > Cd. Os valores de referência de qualidade (VRQ) calculados para o município, a partir do percentil 75, foram os seguintes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): Fe (26.172,50) > Mn (348,07) > Zn (17,30) > Cu (<9,01) > Pb (<5,51) > As (<2,33) > Cd (<0,14).

Os solos de Alta Floresta apresentam maior similaridade com os solos de outros estados brasileiros em relação aos solos internacionais, para os seguintes elementos: Cd, Cu, Pb e Zn. As cinco classes de solos avaliadas apresentaram diferenças para os teores naturais de elementos-traço, Fe e Mn, sendo os Plintossolos e Latossolos da região mais ricos em Fe e Mn.

## Referências Bibliográficas

ABREU, M.F.; ABREU, C.A.; ANDRADE, J.C. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco, níquel, cádmio, cromo e chumbo em ácido nítrico usando métodos da US-EPA. In: RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p.251-261.

ACOSTA, J.A.; FAZ, A.; MARTINEZ, S.M. Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a typical Mediterranean city (SE Spain). **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v.169, p.519-530, 2010.

ALFARO, M.R.; MONTERO, A.; UGARTE, O.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; ACCIOLY, A.M.A.; BIONDI, C.M.; SILVA, Y.J.A.B. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v.187, n.1, p.4198-4208, 2015.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.J.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711–728, 2013.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.21, p.9-16, 1997.

BINI, C.; SARTORI, G.; WAHSHA, M.; FONTANA, S. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. **Journal of Geochemical Exploration**, Canadá, v.109, p.125-133, 2011.

BIONDI, C.M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco**. 67f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

BIONDI, C.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; FABRICIO NETA, A.B.; RIBEIRO, M.R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.1057-1066, 2011.

BUTTURI, W.; NUNES, E. J.S.; SILVA, E.P. Banco de dados geográfico aplicado ao cadastro ambiental rural do município de Alta Floresta – MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.11, n.1, p.1-8, 2013.

CAIRES, S.M. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade**. 2009. 321f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. **Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://solo.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/12/valores-orientadores-nov-2014.pdf>>. Acessado em: 10 Mar. 2016.

CHEN, J.; WEI, F.; ZHENG, C.; WU, Y.; ADRIAN, D.C. Background concentrations of elements in soils of China. **Water, Air, & Soil Pollution**, New York, v.57–58, p.699-712, 1991.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420/2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov/port/conama/legiabre.cfm.htm>>. Acesso em: 29 Jan. 2014.

CUNHA, C.S.M.; OLIVEIRA, D.P.; SILVA, C.P.; GARCIAL, K.G.V.; NASCIMENTO, C.D.V.; OLIVEIRA, E.T. Dinâmica do chumbo no ambiente terrestre. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v.10, n.3, p.01-10, 2014.

DUNG, T.T.T.; CAPPUYNS, V.; SWENNEN, R.; PHUNG, N.K. From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, s.l., v.12, p.335-353, 2013.

ESMAEILI, A.; MOORE, F.; KESHAVARZI, B.; JAAFARZADEH, N.; KERMANI, M. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran. **Catena**, Amsterdam, v.121, p.88-98, 2014.

FADIGAS, F.S.; SOBRINHO, N.M.B.A.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v.61, p.151-159, 2002.

FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C. Estimation of Reference Values for Cadmium, Cobalt, Chromium, Copper, Nickel, Lead, and Zinc in Brazilian Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, s.l., v.37, n.7-8, p.945-959, 2006a.

FADIGAS, F.S.; SOBRINHO, N.M.B.A.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.699-705, 2006b.

FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; ANJOS, L.H.C.; MAZUR, N. Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern region. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.1, p.53-59, 2010.

FELFILI, J.M.; CARVALHO, F.A.; LIBANO, A.M.; VENTUROLI, F.; PEREIRA, B.A.S.; MACHADO, E.L.M. Análise Multivariada: princípios e métodos em estudos de vegetação. In: FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P.V.; MELO, M.M.R. F.; ANDRADE, L.A.; MEIRA NETO, J.A.A. (org.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos**. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 556p.

FERNANDES, P.R.M.; GOMES, R.J.; SANTOS, C.G. (2015). **Banco de solos do estado de Minas Gerais**: Análise estatística para determinação de valores de referência de qualidade do estão de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/2015/SOLOS/analise%20estatistica%20vrqs.pdf>>. Acessado em: 12 Mar. 2016.

GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q.; CAMPOS, M.L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. (eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p.345-390.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geologia do estado de Mato Grosso**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geologia.htm>>. Acessado em: 10 Mar. 2016.

KAIDAO, F.U.; BIN, S.U.; DAMING, H.E.; XIXI, L.U.; JINGYI, S.; JIANGCHENG, H. Pollution assessment of heavy metals along the Mekong River and dam effects. **Journal of Geographical Sciences**, s.l., v.22, n.5, p.874-884, 2012.

LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455p.

LICHT, O.A.B.; PLAWIAK, R.A.B. **Geoquímica de solo – Horizonte B**: Relatório final de projeto. Curitiba: Mineropar, 2005. 453p.

MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SANTOS, H.G.; COELHO, M.R.; BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O.A.; MANZATTO, C.V.; FIDALGO, E.C.C. Solos e ocupação das terras na Amazônia Brasileira. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Editora UFLA, 2008. p.67-116.

MICÓ, C.; RECATALÁ, L.; PERIS, M.; SÁNCHEZ, J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. **Chemosphere**, s.l., v.65, p.863-872, 2006.

MOREIRA, M.L.C.; VASCONCELOS, T.N.N. **Mato Grosso**: solos e paisagens. Cuiabá: Entrelinhas, 2007. 271p.

NAIDU, R.; BOLAN, N.S.; KOOKANA, R.S.; TILLER, K.G. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.45, p.419-429, 1994.

NAMAGHI, H.H.; KARAMI, G.H.; SAADAT, S. A study on chemical properties of groundwater and soil in ophiolitic rocks in Firuzabad, east of Shahrood, Iran: With emphasis to heavy metal contamination. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v.174, n.1-4, p.573-583, 2011.



OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.H.; WAGNER, H. (2015). **vegan**: Community Ecology Package. R package version 2.3-1. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>

OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; CRUZ, C.D.; HORN, H.A. Metais pesados como indicadores de materiais de origem em uma topolitosequência do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1451-1465, 1999.

PAYE, H.S.; MELLO, J.W.V.; ABRAHÃO, W.A.P.; FERNANDES FILHO, E.I.; DIAS, L.C.P.; CASTRO, M.L.O.; MELO, S.B.; FRANÇA, M.M. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.34, p.2041-2051, 2010.

PIERANGELI, M.A.P., GUILHERME, L.R.G., CARVALHO, G.S., CARVALHO, C.A., SILVA, C.A., PIERANGELI, L.M.P. Elementos-traço em áreas de vegetação nativa e agricultura intensiva do estado de Mato Grosso determinados por fluorescência de raios-x por reflexão total. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.39, p.1048-1057, 2015.

PIZARRO, J.; VERGARA, P.M.; RODRÍGUEZ, J.A.; VALENZUELA, A.M. Heavy metals in northern Chilean rivers: Spatial variation and temporal trends. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.181, n.1-3, p.747-754, 2010.

PRESTON, W.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M.; SOUZA JUNIOR, V.S. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.1028-1037, 2014.

R CORE TEAM. (2015). **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

REIMANN, C.; GARRETT, R.G. Geochemical background concept and reality. **The Science of the Total Environment**, s.l., v.350, p.12-27, 2005.

SALONEN, V.P.; KORKKA-NIEMI, K. Influence of parent sediments on the concentration of heavy metals in urban and suburban soils in Turku, Finland. **Applied Geochemistry**, Oxford, v.22, n.5, p.906-918, 2007.

SANTOS, S.N.; ALLEONI, L.R.F. Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v.185, p.5737-5748, 2013.

SEPLAN - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Unidades Climáticas do Estado de Mato Grosso. In: **Zoneamento Sócio Econômico Ecológico**. 2001. Cuiabá: PRODEAGRO. CD Rom do Atlas Climatológico de Mato Grosso. Governo do Estado de Mato Grosso. Secretaria

de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Laboratório de Climatologia. Universidade Federal do Estado de Mato Grosso, 2006.

SILVA, Y.J.A.B.; NASCIMENTO, W.A.; CANTALICE, J.R.B.; SILVA, Y.J.A.B.; CRUZ, C.M.C.A. Watershed-scale assessment of background concentrations and guidance values for heavy metals in soils a semiarid and coastal zone of Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v.187, p.558-598, 2015.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, Berlin, v.11, n.1, p.30-40, 1962.

TILLER, K.G. Heavy metals in soil and their environmental significance. **Advances in Soil Science**, New York, v.9, p.113-142, 1989.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Batch-type Procedures for Estimating Soil Adsorption of Chemicals**. Washington: Technical Resource Document, EPA/530-SW-87-006-F, 1992. 99p.

VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica**: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 168p.

#### **4. CONCLUSÃO GERAL**

Os solos do município de Alta Floresta, Mato Grosso, apresentam naturalmente baixos teores de bases trocáveis, elevada acidez e alto teor de areia, características estas típicas de solos tropicais. Portanto, são solos que tem sua fertilidade afetada pelos intensos processos de intemperismo da região, principalmente ao alto índice pluviométrico, responsável pela lixiviação das bases do solo, e as elevadas temperaturas durante todo ano. De forma geral, as classes que apresentam maior fertilidade na região são os Neossolos Litólico e Latossolos, ao passo que os Neossolos Quartzarênico apresentam baixa fertilidade em relação às demais classes avaliadas devido sua textura mais arenosa.

Os teores naturais de elementos-traço, Fe e Mn encontrados foram relativamente inferiores a de outras partes do mundo, isto provavelmente pelo material de origem desses solos e elevados teores de areia em sua composição granulométrica. Assim, também se encontrou diferenças entre os teores estabelecidos em nível estadual e regional. Portanto, recomenda-se a utilização dos valores de referência de qualidade aqui estabelecidos para o monitoramento de áreas de risco dentro do município.

Ressalta-se que as classes de solos apresentaram variações entre e dentre si para as análises de fertilidade, textura e teores de elementos-traço, portanto, os solos de Alta Floresta são naturalmente heterogêneos em seus atributos químicos e granulométricos.