

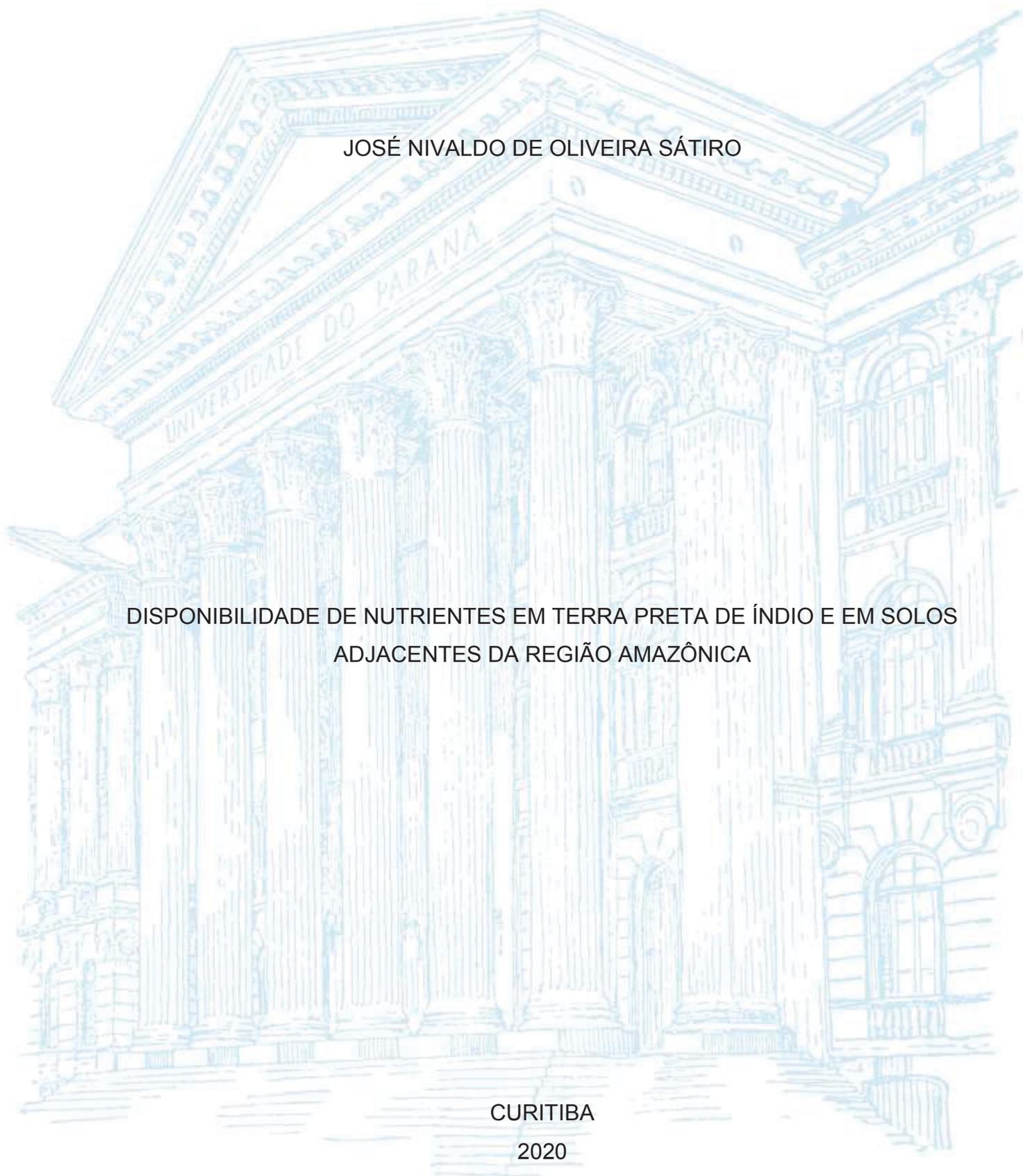
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOSÉ NIVALDO DE OLIVEIRA SÁTIRO

DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM TERRA PRETA DE ÍNDIO E EM SOLOS
ADJACENTES DA REGIÃO AMAZÔNICA

CURITIBA

2020



JOSÉ NIVALDO DE OLIVEIRA SÁTIRO

DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM TERRA PRETA DE ÍNDIO E EM SOLOS
ADJACENTES DA REGIÃO AMAZÔNICA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. George Gardner Brown

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta

CURITIBA

2020

Sátiro, Nivaldo de Oliveira

Disponibilidade de nutrientes em Terra Preta de Índio e em solos adjacentes da região amazônica. / José Nivaldo de Oliveira Sátiro. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: George Gardner Brown.

Coorientador: Antônio Carlos Vargas Motta.

1. Fertilidade do solo. 2. Solos – aspectos nutricionais. 3. Manejo do solo. I. Brown, George Gardner. II. Motta, Antônio Carlos Vargas. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

TERMO DE APROVAÇÃO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016D14P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de JOSÉ NIVALDO DE OLIVEIRA SÁTIRO intitulada: **DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM TERRA PRETA DE ÍNDIO E EM SOLOS ADJACENTES DA REGIÃO AMAZÔNICA**, sob orientação do Prof. Dr. GEORGE GARDNER BROWN, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Fevereiro de 2020.

GEORGE GARDNER BROWN

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSITY OF WISCONSIN)

NEWTON PAULO DE SOUZA FALCÃO

Avaliador Externo (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA)

ANTONIO CARLOS VIRGÁS MOTTA

Coordenador - Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

A minha mãe Maria José de Oliveira Sátiro e ao meu pai Nivaldo Sátiro, a minha avó Maria Bezerra de Oliveira Santos (*in memoriam*), e aos meus irmãos Nataneal de Oliveira Sátiro, Tânia de Oliveira Sátiro, Telma do Socorro de Oliveira Sátiro, Maria Tacilane de Oliveira Sátiro Barbosa e Nadja Maria de Oliveira Sátiro por todo o incentivo durante essa caminhada.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o apoio e compreensão durante todos esses anos.

A Cleosete Bedin e a Mayara Ramos pelo todo apoio durante a graduação e ao mestrado.

Ao meu orientador George Gardner Brown pelos ensinamentos e conhecimentos e por me dar a oportunidade de trabalhar neste projeto.

Ao meu coorientador Antônio Carlos Vargas Motta pelos ensinamentos e ajuda na realização deste trabalho.

A todos da nossa equipe de trabalho, em especial a Alessandra Santos, Liliane Maia, Talita Ferreira, Wilian Demetrio e Rodrigo Roani que em muito contribuíram durante a minha jornada.

Ao meu amigo Zieglenristen Calábria pelo grande apoio durante a Pós-Graduação.

Aos meus amigos Felipe G. Nadai, Camila O. A. Moraes, Iago F. Lopes e José A. Pochapski pela amizade durante o mestrado.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de cursar o mestrado, e por toda contribuição na minha formação.

A todos os laboratoristas e funcionários do Departamento de Solo e Engenharia Agrícola e aos do Departamento de Produção Vegetal.

A Embrapa Florestas e aos funcionários envolvidos direta e indiretamente neste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado.

A todos os amigos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo e a todos aqueles que de certa forma contribuíram durante todos esses anos.

Muito obrigado a todos!

“Não se deixe intimidar pela opinião dos outros. Só a mediocridade é segura, por isso corra seus riscos e faça o que deseja.”

Paulo Coelho

RESUMO

A paisagem da região amazônica tem sofrido grandes modificações ao longo do tempo, incluindo os assentamentos pré-colombianos e a criação das Terras Pretas de Índio (TPIs). Estes solos têm chamado atenção de pesquisadores e diversas características singulares das TPIs já foram avaliadas (mineralogia, atributos microbiológicos e a fertilidade do solo). Entretanto, até o presente momento poucos estudos avaliaram a disponibilidade de micronutrientes em TPIs sob diferentes sistemas de uso de solo, assim como o equilíbrio dos nutrientes no sistema solo-planta. Portanto, no presente trabalho avaliou-se a disponibilidade de cobre, ferro, manganês, níquel e zinco em TPI e solo adjacente, em diferentes sistemas de uso, a fim de determinar os efeitos antrópicos na fertilidade do solo, além do balanço nutricional em plantas cultivadas em TPI e solos adjacentes. Avaliaram-se solos provenientes de áreas com três níveis de perturbação humana: Floresta Ombrófila densa em fase intermediária ou avançada de regeneração – Floresta antiga (> 20 anos); Floresta densa em estágio inicial de sucessão – Floresta jovem (< 20 anos) e sistemas agrícolas, em três estados da Amazônia. Além disso, avaliou-se o balanço nutricional do arroz de sequeiro cultivado nos dois sistemas florestais. Utilizaram-se métodos padronizados de amostragem e de análise química do solo. Observaram-se níveis mais elevados de Zn e Mn nos solos das TPIs e de Fe nos solos adjacentes. Contudo, os níveis nas TPIs e as diferenças com os solos adjacentes variaram dependendo do local e sistema de uso. Em Iranduba, encontraram-se maiores níveis de Cu e Ni nas TPIs que nos solos adjacentes, mas não nos outros locais. Houve importante efeito da profundidade de coleta na disponibilidade de alguns dos micronutrientes (Zn, Mn), com menores teores em maior profundidade. Os solos avaliados proporcionaram adequado níveis de bases (Ca, Mg), P e S às plântulas de arroz, mas os níveis de N e K no tecido vegetal não foram adequados ao cultivo. As concentrações de micronutrientes (B, Zn, Fe, Ni e Cu) foram adequadas ao cultivo, contudo a maior disponibilidade de nutrientes nas TPIs não aumentou a massa do arroz em relação aos solos adjacentes. Encontrou-se desequilíbrio nutricional no arroz tanto nas TPIs quanto nos solos adjacentes, um fator importante a ser considerado no desenvolvimento das culturas agrícolas nos solos amazônicos.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, Balanço Nutricional, Manejo do solo.

ABSTRACT

The landscape of the Amazon region has undergone major changes over time, including pre-Columbian settlements and the creation of Amazonian dark earths (ADEs). These soils have attracted the attention of researchers and several unique characteristics of ADEs have already been evaluated (mineralogy, microbiological properties and soil fertility). However, until now, few studies evaluated soil micronutrient availability in ADEs under different land use systems, as well as nutrient balance in the soil-plant system. Therefore, the present study evaluated the availability of copper, iron, manganese, nickel and zinc in ADEs and adjacent soils, in different use systems, in order to determine anthropic effects on soil fertility, in addition to nutritional balance in rice plants grown in ADEs and adjacent soils. Soils from areas with three levels of human disturbance were evaluated: Dense Ombrophilous Forest in intermediate or advanced stage of regeneration - Old forest (>20 years); Dense Forest at an early stage of succession - Young forest (<20 years) and agricultural systems in three Amazonian states. In addition, the nutritional balance of upland rice cultivated in the two forest systems was evaluated. Standardized methods of sampling and chemical analysis of the soil were used. Higher levels of Zn and Mn were observed in the ADEs and of Fe in the adjacent soils. However, levels in ADEs and differences with adjacent soils varied depending on the location and land use system. In Iranduba, higher levels of Cu and Ni were found in ADEs than in adjacent soils, but not in other locations. There was an important effect of sample depth on the availability of some micronutrients (Zn, Mn), with lower levels at greater depth. The evaluated soils provided adequate levels of bases (Ca, Mg), P and S to rice seedlings, but the levels of N and K in the plant tissue were not suitable for cultivation. The concentrations of micronutrients (B, Zn, Fe, Ni and Cu) were suitable for cultivation, however the greater availability of nutrients in the ADEs did not increase the rice mass in relation to adjacent soils. Nutritional imbalance was found in rice both in ADEs and adjacent soils, an important factor to be considered in the development of agricultural crops in Amazonian soils.

Keywords: Soil fertility, Nutritional Balance, Soil management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 CAPÍTULO I: MICRONUTRIENTES DISPONÍVEIS EM TERRA PRETA DE ÍNDIO E SOLOS ADJACENTES DA REGIÃO AMAZÔNICA	13
2.1 RESUMO	13
2.2 ABSTRACT	14
2.3 INTRODUÇÃO	15
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.5 2.5 RESULTADOS.....	19
2.5.1 MUNICÍPIO DE IRANDUBA – AM.....	19
2.5.2 MUNICÍPIO DE BELTERRA - PA.....	19
2.5.3 PORTO VELHO – RO	22
2.6 DISCUSSÃO	24
2.7 CONCLUSÕES	28
2.8 REFERÊNCIAS.....	29
3 CAPÍTULO II: DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DO ARROZ DE SEQUEIRO CULTIVADO EM SOLOS TPI E ADJACENTE DA REGIÃO AMAZÔNICA	38
3.1 RESUMO.....	38
3.2 ABSTRACT	39
3.3 INTRODUÇÃO	40
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.5 RESULTADOS	46
3.5.1 MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA.....	46
3.5.2 MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO	52
3.6 DISCUSSÃO	59
3.7 CONCLUSÃO.....	63
3.8 REFERÊNCIAS.....	64
4 CONCLUSÃO GERAL.....	71
5 REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO GERAL

A bacia amazônica contém o maior trecho contínuo e relativamente bem preservado de floresta tropical do planeta (HOORN et al., 2010). A Floresta Amazônica ocupa cerca de 5,1 milhões de km² do território nacional, abrangendo os estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá, e também parte do território do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; INPE, 2003).

Os solos predominantes da região Amazônica são os Latossolos, Argissolos e Plintossolos, na maioria bastante intemperizados e com baixa fertilidade. As principais limitações de fertilidade dos solos amazônicos são: acidez elevada, deficiência de P, baixa capacidade de troca de cátions e deficiência de N, K, S, Ca, Mg, B, Cu e Zn, (FALCÃO; SILVA, 2004). O processo de ciclagem de nutrientes é o principal fator da manutenção da fertilidade dos solos da região amazônica (MOREIRA; FAGERIA, 2009; VALE JÚNIOR et al., 2011; MOLINE; COUTINHO, 2015). A interrupção deste processo pela retirada da vegetação nativa para o uso da terra para o cultivo e pastagem, rapidamente exaure a reserva dos nutrientes (MOREIRA; FAGERIA, 2009; MOLINE; COUTINHO, 2015).

Embora as taxas de desmatamento na Amazônia têm-se mostrado decrescentes na última década, atividades humanas na região ainda foram responsáveis por perdas de 7.900 km² de vegetação natural somente em 2018 (INPE, 2018). Muitas áreas florestais tornaram-se altamente fragmentadas e podem estar chegando a pontos críticos onde a biodiversidade e as funções do ecossistema podem ser dramaticamente afetadas (DECAËNS; JIMÉNEZ; GIOIA, 2018), podendo levar a efeitos em cascata que impactam os serviços ecossistêmicos em uma área muito maior (LAWRENCE; VANDECAR, 2015; LATHUILLIÈRE; DALMAGRO; BLACK, 2018).

Os padrões da biodiversidade da Amazônia foram modificados pelos homens ao longo de milhares de anos. Os índios criaram áreas com altas concentrações de árvores úteis e hiperdominância de algumas espécies, frequentemente associada a sítios arqueológicos (LEVIS; FLORES; MOREIRA, 2018). Além disso, ocupações de algumas sociedades indígenas, há pelo menos 6.500 anos, criaram solos antropogênicos férteis, chamados localmente de “Terra Preta de Índio” (TPI) (MCMICHAEL; PALACE; BUSH, 2014; CLEMENT; DENEVAN;

HECKENBERGER, 2015; WATLING; SHOCK; MONGELÓ, 2018). As TPIs ocupam até 3 % da superfície da Amazônia (MCMICHAEL; PALACE; BUSH, 2014), são solos com importantes alterações texturais, e definidos por apresentar um horizonte A com coloração escura, restos de material arqueológico (artefatos cerâmicos e líticos) e alta concentração de nutrientes (SMITH, 1980; EDEN; BRAY; HERRERA, 1984; KERN; KÄMPF, 1989). Os sítios TPIs tendem a apresentar altos teores de P, Ca e C pirogênico (LIMA; SCHAEFER; MELLO, 2002; SOMBROEK; RUIVO; FEARNSIDE, 2004; GLASER; BIRK, 2012), além de comunidades particulares de plantas e microrganismos do solo (TAKETANI; LIMA; CONCEIÇÃO JESUS, 2013; BROSSI; MENDES; GERMANO, 2014).

Contudo, apesar de haver muitos estudos comparando a química de solos TPIs e adjacentes, poucos estudos avaliaram os micronutrientes presentes nesses solos e sua disponibilidade para as plantas. Portanto, o presente estudo foi realizado para avaliar a disponibilidade de micronutrientes em solos de TPI e solos adjacentes. O trabalho foi realizado com o apoio financeiro de vários projetos de cooperação bilateral (Brasil-Reino Unido, Brasil-EUA), e teve a contribuição para a coleta de solo de um grande número de pesquisadores, estudantes e instituições do Brasil no exterior, como parte das atividades da Rede Terra Preta de Índio (TPI Network; <http://tpinet.org/>).

2 CAPÍTULO I: MICRONUTRIENTES DISPONÍVEIS EM TERRA PRETA DE ÍNDIO E SOLOS ADJACENTES DA REGIÃO AMAZÔNICA

2.1 RESUMO

As Terras Pretas de Índio (TPIs) são solos antropogênicos formados pelo assentamento de povos pré-colombianos por longos períodos de tempo. Apresentam horizonte A Antrópico de coloração escura e profundidade entre 10 e 200 cm. Possuem fertilidade notoriamente superior aos solos adjacentes, contudo há poucos estudos sobre a disponibilidade de micronutrientes em TPIs em diferentes sistemas de uso de solo. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a disponibilidade de cobre (Cu), níquel (Ni), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em Latossolo, Argissolo, Plintossolo e em TPIs na região Amazônica. O estudo foi realizado em três municípios: Iranduba – AM, Belterra – PA e Porto Velho – RO. As amostras de solo foram coletadas em três sistemas de uso: Floresta Ombrófila densa em fase intermediária ou avançada de regeneração (Floresta antiga); Floresta densa em estágio inicial de sucessão (Floresta jovem) e sistemas agrícolas (milho, soja e pastagem). O solo adjacente (Floresta antiga) de Iranduba teve maiores teores de Cu, atingindo o valor máximo de $0,84 \text{ mg kg}^{-1}$ na camada de 30 cm. A TPI do sistema de Floresta jovem e agrícola (Iranduba) apresentaram elevados teores de Ni em todas as profundidades. Os solos adjacentes dos municípios avaliados apresentaram maiores teores de Fe. Os teores de Zn e Mn diminuem à medida que aumenta a profundidade, e as TPIs tiveram teores elevados de Cu, Mn e Zn, e baixos teores de Fe, provavelmente relacionado às atividades antrópicas envolvidas na sua criação, especialmente a adição de matéria orgânica animal e vegetal, e o uso frequente do fogo. Ao contrário do esperado, não houve efeito negativo do uso das TPIs para a agricultura sobre os teores da maioria dos micronutrientes nos solos dos locais avaliados (apenas para Fe em Belterra e Mn em Porto Velho).

Palavras-chave: Atividade antrópica, elementos traços, manejo do solo.

2.2 ABSTRACT

Amazonian dark earths (ADE) are anthropogenic soils formed as a consequence of pre-Columbian settlement over long periods of time. These soils have an anthropic horizon with dark color and depth varying from 0.10 to 2 m. Their fertility is notably higher than adjacent soils but very few studies have evaluated the availability of micronutrients in ADEs in different land-use systems. Hence, the present study evaluated the availability of copper (Cu), nickel (Ni), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn) in Oxisol, Argisol, Plinthosol and ADEs in the Amazon region. The study was performed in three counties: Iranduba - AM, Belterra - PA and Porto Velho - RO. Soil samples were collected in three land use systems: Dense Ombrophilous Forest in intermediate or advanced regeneration phase (Old Forest); Dense forest in early succession stage (Young Forest) and agricultural systems (corn, soybean and pasture). The adjacent soil (Ancient Forest) of Iranduba had higher Cu content, reaching a maximum value of 0.84 mg kg⁻¹ in the 0.30 m layer, while recent agriculture and forests had higher levels of Ni at all depths. Adjacent soils of all counties showed higher Fe content. Zn and Mn contents decreased as depth increased and ADEs had higher levels of Cu, Mn, Zn and lower Fe, probably related to the anthropic activities involved in their creation, especially additions of plant and animal residues and the frequent use of fire. Contrary to the expected, there was no negative effect of the use of ADEs for agricultural production on the micronutrient contents in soils of most sites, except for Fe in Belterra and Mn in Porto Velho.

Keywords: Anthropic activity, trace elements, soil management.

2.3 INTRODUÇÃO

A abertura de novas áreas para agricultura na Região Amazônica tem enfático aumento temporário na fertilidade e disponibilidade dos nutrientes no solo, devido à maior solubilidade de nutrientes, causada pelo aquecimento do solo durante as queimadas, e a transformação da matéria orgânica do solo (MIYAZAWA; PAVAN; MARTIN NETO, 1993; MOREIRA; FAGERIA, 2009; MOLINE; COUTINHO, 2015). Porém, o manejo inadequado desses solos diminui seu potencial produtivo (MICHELON et al., 2019). Assim, Magalhães et al. (2013) observaram redução no estoque de nutrientes em profundidade e em diferentes sistemas de uso do solo (agroflorestal, agrossilvipastoril, floresta e pastagem) no município de Colorado do Oeste – RO.

Não obstante, existem, em muitos lugares da Amazônia onde houve ocupação indígena por longo tempo, a formação de solos altamente férteis e resilientes ao uso, chamados de Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta. Esses solos apresentam horizonte A Antrópico de cor mais escura, altos teores variáveis de nutrientes de uma região a outra, e profundidade variável (entre 10 a 200 cm). A formação deste tipo de solo se dá pela atividade dos povos pré-colombianos em cima das principais classes de solos da floresta Amazônica (HECKENBERGER et al., 2007; FALCÃO; MOREIRA, 2009; ARROYO-KALIN, 2012; GLASER; BIRK, 2012; CARSON et al., 2014; LINS, 2015, ROYO, 2015; VIANA et al., 2016). A maior fertilidade desses solos se deve, em grande parte ao teor de macronutrientes (especialmente fósforo, cálcio e magnésio), provenientes da deposição e decomposição de material de origem vegetal e animal, descartados no solo pelos povos pré-colombianos (KERN; KÄMPF, 1989; CUNHA et al., 2007; MOREIRA et al., 2009; FALCÃO; MOREIRA, 2009; SILVA et al., 2011; ROYO, 2015). Contudo, a disponibilidade de micronutrientes em TPIs em diferentes regiões e sistemas de uso de solo tem sido pouco estudada.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a disponibilidade de cobre, ferro, manganês, níquel e zinco em TPI e solos adjacentes, em diferentes sistemas de uso (Floresta Ombrófila densa em fase intermediária ou avançada de regeneração; Floresta densa em estágio inicial de sucessão e sistemas agrícolas) a fim de avaliar os efeitos antrópicos na fertilidade do solo amazônico. Previmos que (1) os solos de TPI proporcionariam maior disponibilidade de micronutrientes comparada aos solos

adjacentes, mas também que (2) o uso das TPIs para produção agrícola (produção de grãos e pastagem) causaria uma redução nos teores de micronutrientes nos solos.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em três regiões Amazônica: Iranduba – MA, na Amazônia Central, Belterra – PA na Baixa Amazônia e Porto Velho – RO no Sudoeste da Amazônia (Figura 1). As zonas climáticas da Região Amazônica, segundo a classificação de Köppen são tropical Am e Af, apresentando temperatura média de 24°C, com precipitação anual entre 2000 a 2280 mm (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; QUESADA et al., 2010; ALVARES et al., 2013).

Estima-se que a formação da TPI em Iranduba tenha iniciado, entre 950 e 1050 anos atrás (NEVES; PETERSEN; BARTONE, 2004); em Belterra entre 450 a 530 anos (MAEZUMI; ROBINSON; SOUZA, 2018), e em Porto Velho muito antes, aproximadamente 6500 anos (WATLING; SHOCK; MONGELÓ, 2018) atrás.

As amostras foram coletadas em três sistemas de uso do solo: Floresta Ombrófila densa secundária em fase intermediária ou avançada de regeneração (FLA) - Floresta nativa antiga (> 20 anos); Floresta densa recente em estágio inicial de sucessão (FLJ) – Floresta Jovem (< 20 anos) e sistemas agrícolas (AGR), sendo em Iranduba o cultivo de milho, em Belterra o cultivo de soja e em Porto Velho área de pastagem (Tabela 1).

Os cultivos de milho e soja foram implantados nas áreas há 4 e 8 anos, usando plantio convencional (Iranduba) e plantio direto (Belterra) respectivamente, e foi realizado calagem no preparo do solo para ambas as culturas, em torno de 3 meses antes do plantio. Os cultivos receberam doses de fertilizantes inorgânicos e manejo de pragas seguindo recomendações para o cultivo dessas lavouras na região (DEMETRIO, 2019). Em Porto Velho, a pastagem com TPI foi estabelecida há 9 anos com a forrageira Bahiagrass cv. Pensacola (*Paspalum notatum*), e a pastagem no solo adjacente, com *Urochloa sp.* (*Brachiaria*).

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM DA TERRA PRETA DE ÍNDIO E LATOSSOLO, ARGISSOLO E PLINTOSSOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE SOLO DA REGIÃO AMAZÔNICA. BELTERRA – PA = FLORESTA OMBRÓFILA Densa SECUNDÁRIA EM FASE INTERMEDIÁRIA OU AVANÇADA DE REGENERAÇÃO – FLORESTA ANTIGA (> 20 ANOS) E SISTEMA AGRÍCOLA (SOJA); IRANDUBA – AM = FLORESTA OMBRÓFILA Densa SECUNDÁRIA EM FASE INTERMEDIÁRIA OU AVANÇADA DE REGENERAÇÃO – FLORESTA ANTIGA (> 20 ANOS), FLORESTA Densa RECENTE EM ESTÁGIO INICIAL DE SUCESSÃO – FLORESTA JOVEM (< 20 ANOS) E SISTEMA AGRÍCOLA (MILHO); PORTO VELHO – RO = FLORESTA Densa RECENTE EM ESTÁGIO INICIAL DE SUCESSÃO – FLORESTA JOVEM (< 20 ANOS) E SISTEMA AGRÍCOLA (PASTAGEM).



As amostras de solo foram coletadas em TPI's e solos adjacentes em cada município, em cinco profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-60 e 60-90 cm), totalizando 434 amostras. As amostras foram coletadas até 30 cm, usando monólitos de 25 x 25 x 30 cm, seguindo o método padrão recomendado pelo Programa de Biologia e Fertilidade do Solo Tropical (TSBF) da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), descrita em ANDERSON e INGRAM (1993). As amostras até 60 e 90 cm foram retiradas do fundo dos monólitos, usando trado holandês. As amostragens foram realizadas em abril e maio de 2015 (Iranduba e Belterra) e em março de 2016 (Porto Velho).

Os solos adjacentes (ADJ) de Iranduba e Belterra foram classificados de acordo com a FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015), como *Distric Ferralsols* e *Acrisols*, e são os dois tipos de solos mais comuns na Região Amazônica (FAO/UNESCO, 1992). Os solos TPIs e ADJ da primeira Floresta Jovem de Porto Velho estavam sobre horizonte plíntico e o solo ADJ classificado como *Plinthosols*. Conforme a FAO todos os solos TPIs das regiões em estudo, foram classificados

como *Pretic Clayic Anthrosols*, com horizonte superficial escuro e rico em matéria orgânica, geralmente com profundidade igual ou superior a 20 cm (Tabela 1).

TABELA 1. INFORMAÇÕES SOBRE A LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA, USO DO SOLO E TIPOS DE SOLOS NOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM.

Região	Estado	Sistema de Uso	Código/área	Solo	Categoria do solo (WRB)	Coordenadas
Iranduba	AM	Floresta antiga	FLA	Adjacente	Xanthic Dystric Acrisol	3°14'49.00"S, 60°13'30.71"W
		Floresta antiga		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	3°15'11.05"S, 60°13'45.03"W
		Floresta Jovem	FLJ	Adjacente	Xanthic Dystric Acrisol	3°13'34.47"S, 60°16'23.60"W
		Floresta Jovem		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	3°13'49.23"S, 60°16'7.43"W
		Milho	AGR	Adjacente	Xanthic Dystric Acrisol	3°13'31.31"S, 60°16'29.18"W
		Milho		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	3°13'46.13"S, 60°16'7.32"W
Belterra	PA	Floresta antiga	FLA	Adjacente	Xanthic Dystric Ferralsol	2°47'4.59"S, 54°59'53.28"W
		Floresta antiga		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	2°47'3.25"S, 54°59'59.77"W
		Floresta antiga	FLA	Adjacente	Xanthic Dystric Acrisol	2°41'13.90"S, 54°55'3.30"W
		Floresta antiga		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	2°41'7.18"S, 54°55'7.11"W
		Soja	AGR	Adjacente	Xanthic Dystric Acrisol	2°41'3.56"S, 54°55'12.75"W
		Soja		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	2°41'3.79"S, 54°55'7.90"W
Porto Velho	RO	Floresta Jovem	FLJ	Adjacente	Xanthic Dystric Plinthosol	8°52'11.50"S, 64°3'18.16"W
		Floresta Jovem		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	8°51'51.92"S, 64°03'48.03"W
		Floresta Jovem	FLJ	Adjacente	Xanthic Dystric Ferralsol	8°50'49.52"S, 64°3'59.20"W
		Floresta Jovem		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	8°52'1.18"S, 64°4'3.07"W
		Pastagem	AGR	Adjacente	Xanthic Dystric Ferralsol	8°52'35.30"S, 64°03'58.58"W
		Pastagem		TPI	Pretic Clayic Anthrosol	8°51'56.53"S, 64°03'40.67"W

Antes da secagem das amostras de solo a 45°C, realizou-se a retirada dos resíduos vegetais mais grosseiros. Após a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) foi realizada a moagem e peneiramento do solo em malha de 2 mm para homogeneização, e posteriormente realizar a análise química dos solos.

A análise química de solo constituiu-se na determinação dos teores dos micronutrientes: cobre (Cu), níquel (Ni), manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe) das TPIs e dos solos adjacentes, através do espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (VARIAN, 720-ES). Os micronutrientes foram determinados usando o extrator Mehlich⁻¹, seguindo a metodologia descrita pela Embrapa (2009).

Os resultados foram testados quanto à normalidade por Shapiro-Wilk a 5% e após, pela ANOVA que avaliou duas categorias de solo (TPI e Adjacente) e três sistemas de uso (FLA, FLJ e AGR), seguida pelo teste de Tukey a $p < 0,05$, por meio do programa de análise estatística SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

2.5.2.5 RESULTADOS

2.5.1 MUNICÍPIO DE IRANDUBA – AM

As TPIs dos sistemas florestais apresentaram elevados teores de Cu em relação aos demais solos dos sistemas de uso (Figura 2A). A FLJ-TPI apresentou maior teor em profundidade (60 cm: 2,16 mg kg⁻¹; 90 cm: 2,37 mg kg⁻¹). Nos sistemas AGR, a diferença entre os solos TPI e ADJ se acentuou em profundidade, até os 60 cm.

A duas florestas com TPI tiveram tendência de maiores teores de Ni que os solos adjacentes em todas as profundidades, mas as diferenças foram significativas apenas aos 30-60 cm (Figura 2 B). Nessa camada, a área de milho na TPI também teve maior teor de Ni que o solo ADJ.

Os nutrientes Zn e Mn apresentaram teores significativamente maiores nas TPIs de ambos os sistemas florestais e no sistema AGR (Figuras 2C, 2D). Para o Zn, as diferenças entre TPI e ADJ foram para quase todo o perfil (menos na AGR na camada 60-90 cm). Já para os teores de Mn, os teores foram significativamente maiores apenas até os 30 cm, sendo que em maior profundidade não se encontraram diferenças entre as TPIs e os solos ADJ.

Em todos os sistemas de uso, os teores de Fe foram superiores nos solos ADJ que nas TPIs (Figura 2E), havendo um decréscimo acentuado nos teores a partir da profundidade 30 cm. O sistema AGR-ADJ teve os maiores teores de Fe na camada até 20 cm (10 cm: 226,35 mg kg⁻¹; 20 cm: 260,38 mg kg⁻¹). Não houve diferença significativa entre os sistemas de uso do solo (Figura 2), nos teores de todos os micronutrientes avaliados das TPIs e dos solos adjacentes.

2.5.2 MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA

Os teores de Cu nas TPIs de Belterra foram menores do que em Iranduba, e não houve tendência de maiores valores nas TPIs do que nos solos ADJ. A única diferença significativa observada foi para FLA-ADJ, que atingiu o valor máximo (0,84 mg kg⁻¹), e significativamente diferente que a TPI, na camada de 20-30 cm (Figura 3A). Na FLA-TPI e AGR-ADJ houve tendência de aumento nos teores de Cu em profundidade.

FIGURA 2. TEORES DISPONÍVEIS DE COBRE (A), NÍQUEL (B), MANGANÊS (C), ZINCO (D) E FERRO (E) MG KG^{-1} , EM SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO E ADJACENTE EM FLORESTA JOVEM, ANTIGA E SISTEMA AGRÍCOLA NO MUNICÍPIO DE IRANDUBA – AM. FLJ-TPI = FLORESTA JOVEM SOBRE SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO; FLJ-ADJ = FLORESTA JOVEM SOBRE SOLO ADJACENTE; FLA-TPI = FLORESTA NATIVA ANTIGA SOBRE SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO; FLA-ADJ = FLORESTA NATIVA ANTIGA SOBRE SOLO ADJACENTE; AGR-TPI = SISTEMA AGRÍCOLA SOBRE SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO; AGR-ADJ = SISTEMA AGRÍCOLA SOBRE SOLO ADJACENTE; LETRA MINÚSCULA = DIFERENCIA MÉDIA SIGNIFICATIVA ENTRE OS SOLOS DO MESMO SISTEMA DE USO; LETRA MAIÚSCULA = DIFERENCIA MÉDIA SIGNIFICATIVA ENTRE OS SOLOS (TPI X TPI E ADJ X ADJ) DOS SISTEMAS DE USO.

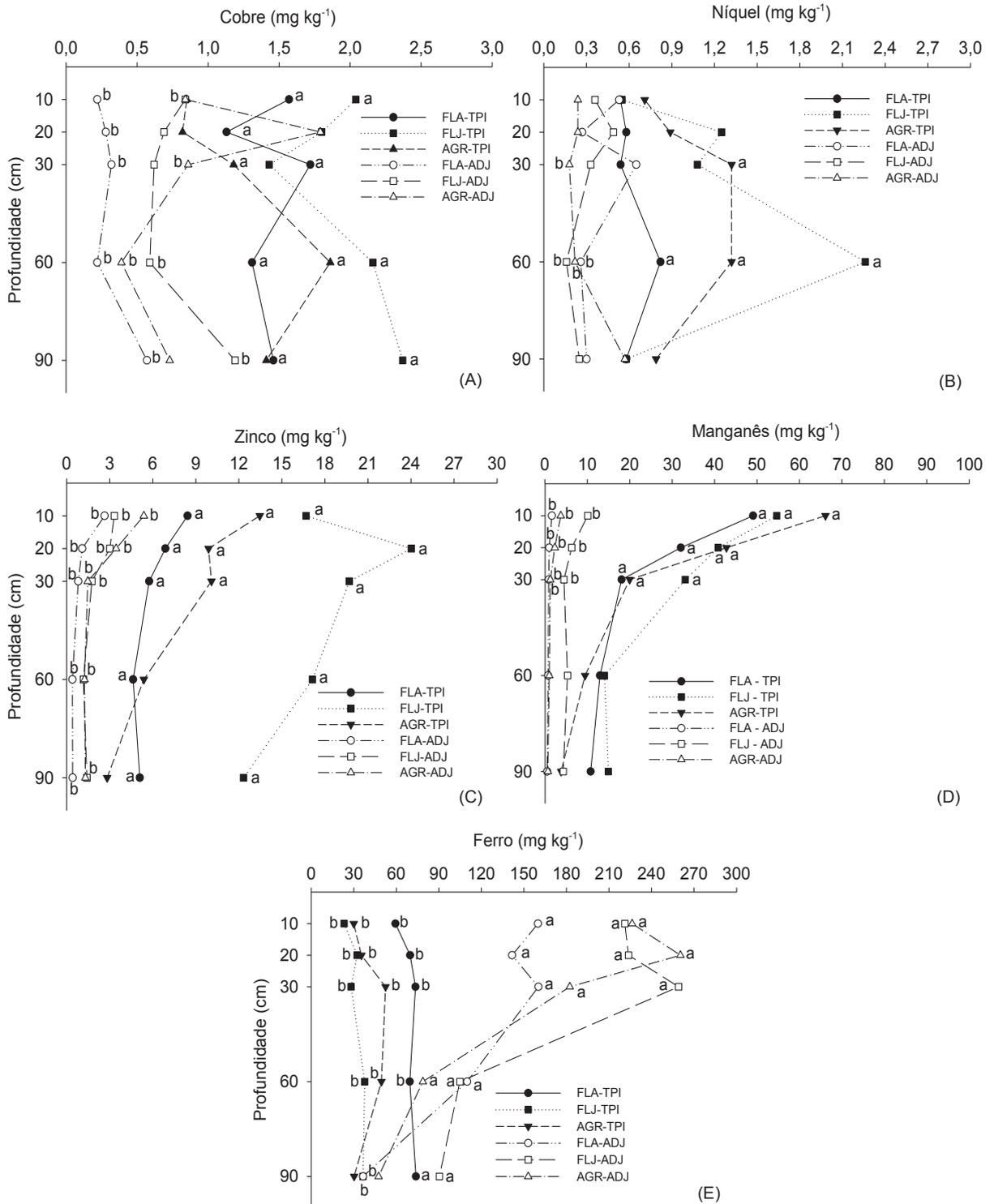
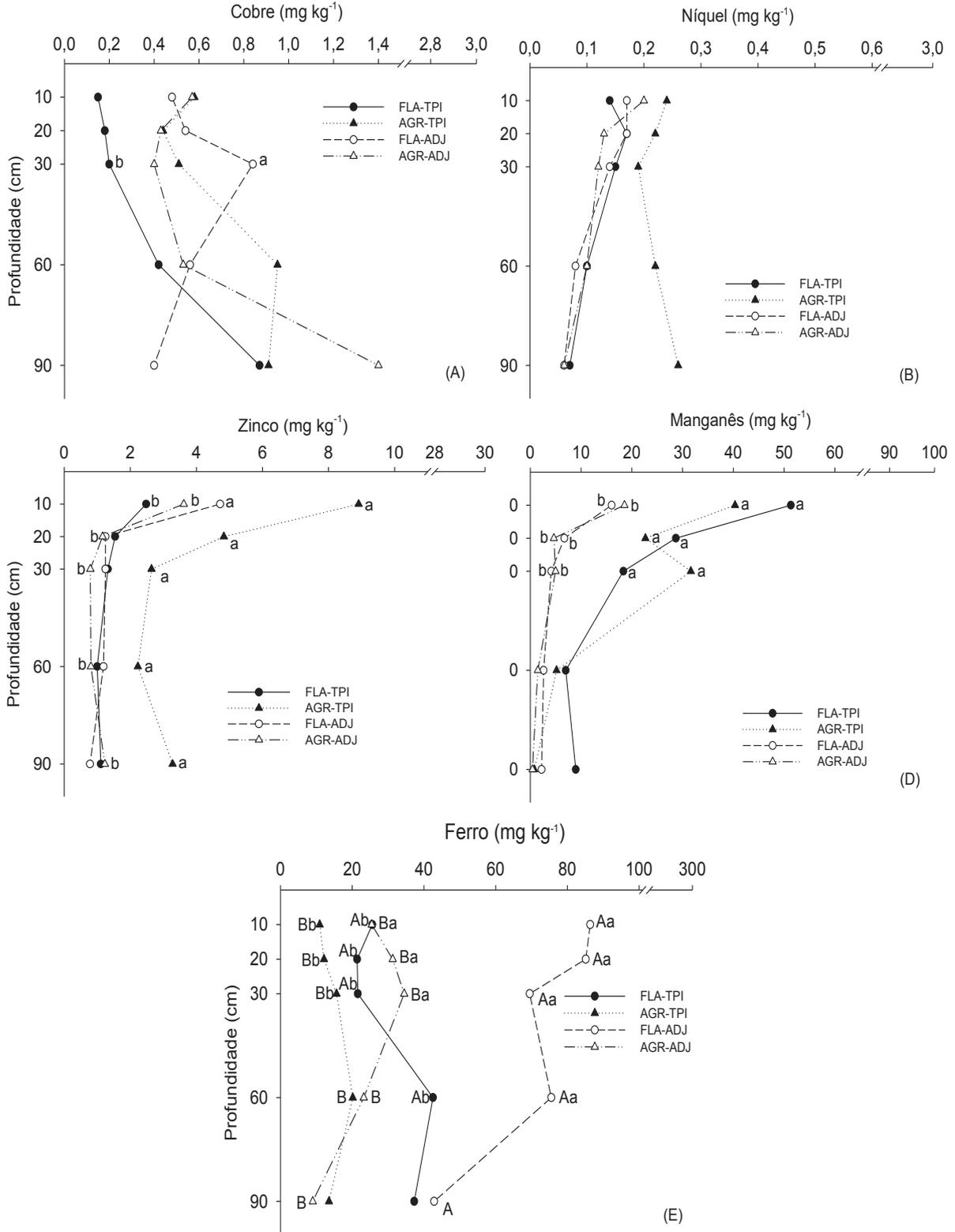


FIGURA 3. TEORES DISPONÍVEIS DE COBRE (A), NÍQUEL (B), MANGANÊS (C), ZINCO (D) E FERRO (E) MG KG^{-1} , EM SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO E ADJACENTE EM FLORESTA ANTIGA E SISTEMA AGRÍCOLA NO MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA. FLA-TPI = FLORESTA NATIVA ANTIGA SOBRE SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO; FLA-ADJ = FLORESTA NATIVA ANTIGA SOBRE SOLO ADJACENTE; AGR-TPI = SISTEMA AGRÍCOLA SOBRE SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO; AGR-ADJ = SISTEMA AGRÍCOLA SOBRE SOLO ADJACENTE; LETRA MINÚSCULA = DIFERENCIA MÉDIA SIGNIFICATIVA ENTRE OS SOLOS DO MESMO SISTEMA DE USO; LETRA MAIÚSCULA = DIFERENCIA MÉDIA SIGNIFICATIVA ENTRE OS SOLOS (TPI X TPI E ADJ X ADJ) DOS SISTEMAS DE USO.



Os teores de Ni apresentaram pouca variação em profundidade e não diferiram entre os sistemas de uso (Figura 3B), nem entre os tipos de solo, ao contrário do observado em Iranduba.

Os teores de Zn foram significativamente maiores nos solos de ambos os sistemas de uso nas TPIs em comparação com os solos ADJ, a 10 cm de profundidade, e para AGR-TPI eles foram superiores as AGR-ADJ em todas as profundidades avaliadas (Figura 3C). Os teores de Zn diminuíram até a camada de 20-30 cm de profundidade, sendo mais evidente nos solos de AGR-TPI (Figura 2C). Assim como observado em Iranduba, os teores de Mn foram maiores nos solos de ambas as TPIs até a camada de 30 cm de profundidade, chegando a ser 71 % maior em relação aos solos ADJ (Figura 3D). Os teores se reduziram em todos os solos até a camada de 30-60 cm de profundidade.

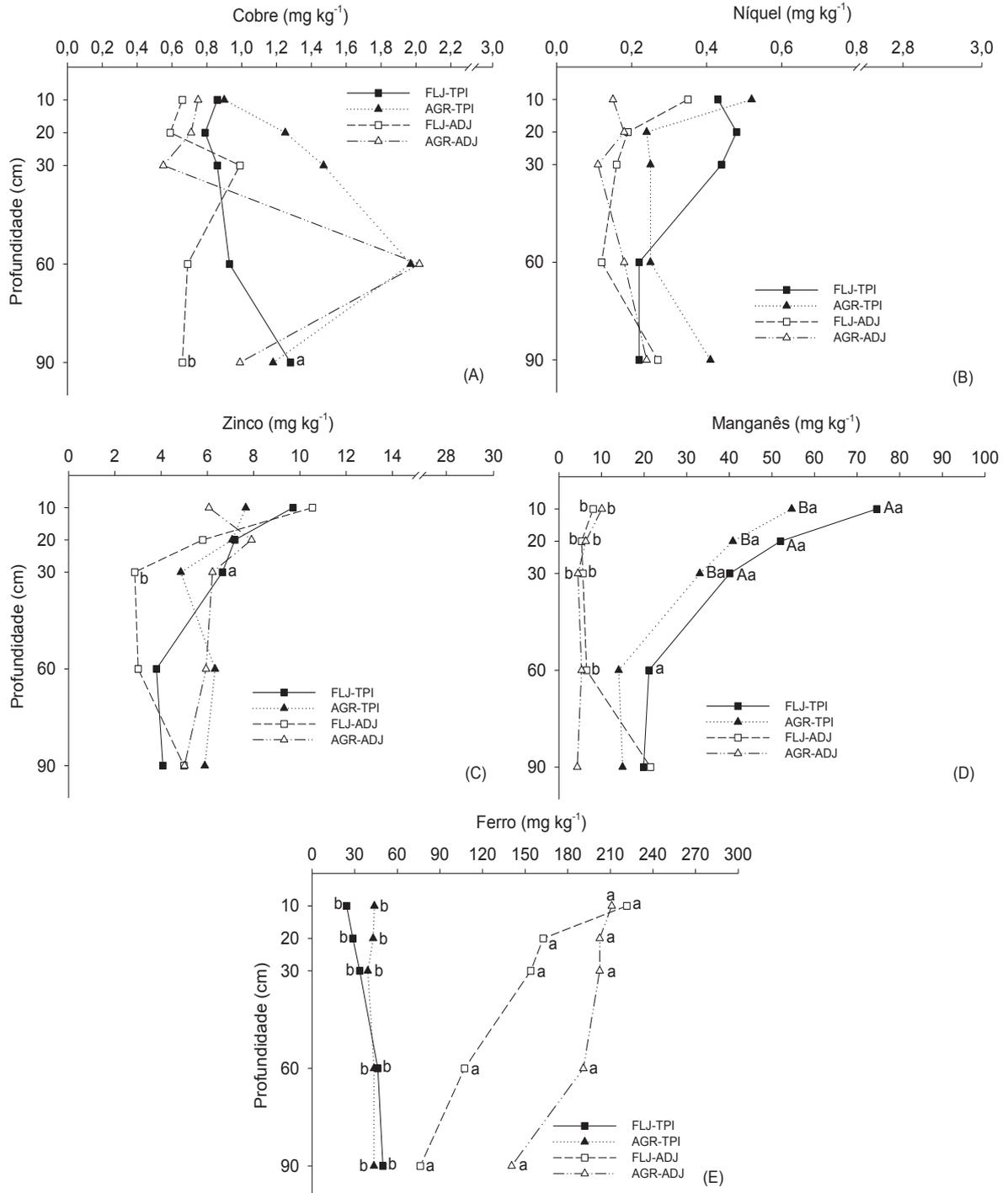
Em relação aos teores de Fe, assim como visto em Iranduba, os solos ADJ tiveram maiores teores em ambos os sistemas de uso, e as diferenças foram significativas até os 30 cm de profundidade para os sistemas agrícolas e até os 60 cm para FLA. Houve diferença significativa entre os sistemas de uso do solo para os teores de Fe, sendo maiores na FLA que em AGR em praticamente todas as profundidades (Figura 3E).

2.5.3 PORTO VELHO – RO

Os teores de Cu apresentaram alta variação em profundidade, e não apresentaram, em geral diferenças significativas entre TPI e solos adjacentes, com a exceção da FLJ-TPI, que apresentou maiores teores que a FLJ-ADJ, na profundidade de 90 cm (Figura 4A).

Apesar de haver uma leve tendência de maiores teores de Ni na TPI, não houve diferenças significativas entre os sistemas de uso, nem entre a TPI e solos ADJ (Figura 4B). Para o Zn, ao contrário do que foi observado nos outros locais de coleta (Iranduba e Belterra), encontraram-se diferenças significativas apenas entre FLJ-TPI, que apresentou maiores teores que a FLJ-ADJ, na camada de 20-30 cm de profundidade (Figura 4C). Entre os sistemas de uso, não houve diferenças significativas.

FIGURA 4. TEORES DISPONÍVEIS DE COBRE (A), NÍQUEL (B), MANGANÊS (C), ZINCO (D) E FERRO (E) MG KG^{-1} , EM SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO E ADJACENTE EM FLORESTA JOVEM E SISTEMA AGRÍCOLA NO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO. FLJ-TPI = FLORESTA JOVEM SOBRE SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO; FLJ-ADJ = FLORESTA JOVEM SOBRE SOLO ADJACENTE; AGR-TPI = SISTEMA AGRÍCOLA SOBRE SOLO DE TERRA PRETA DE ÍNDIO; AGR-ADJ = SISTEMA AGRÍCOLA SOBRE SOLO ADJACENTE; LETRA MINÚSCULA = DIFERENCIA MÉDIA SIGNIFICATIVA ENTRE OS SOLOS DO MESMO SISTEMA DE USO; LETRA MAIÚSCULA = DIFERENCIA MÉDIA SIGNIFICATIVA ENTRE OS SOLOS (TPI X TPI E ADJ X ADJ) DOS SISTEMAS DE USO.



Para o Mn, assim como observado nos outros municípios, encontraram-se diferenças significativas entre os teores nas TPIs e os solos adjacentes em todas as camadas até os 30 cm de profundidade (Figura 4D). Além disso, a diferença entre a FLJ-TPI e a AGR-TPI manteve-se significativa até os 60 cm. Houve clara tendência de diminuição nos teores de Mn com aumento da profundidade nas TPIs, mas não nos solos ADJ. Também houve diferença significativa nos teores de Mn entre os sistemas de uso nas TPIs, sendo maiores nas florestas jovens do que na pastagem.

Os teores de Fe foram significativamente maiores nos solos ADJ que nas TPIs em ambos os sistemas de uso. Contudo, ao contrário do observado em Belterra, não se encontraram diferenças entre os sistemas de uso enquanto aos teores de Fe. Houve clara tendência de diminuição nos teores em profundidade para os solos adjacentes, mas não nas TPIs (Figura 4E).

2.6 DISCUSSÃO

Os processos de formação das TPIs na Amazônia envolvem fenômenos de adição de materiais orgânicos frescos, incluindo ossos de peixe e mamíferos, restos vegetais e excrementos humanos, que frequentemente eram queimados a baixas temperaturas. Esse processo gera carbono pirogênico, modifica o pH e a disponibilidade de nutrientes no solo, além das formas de minerais e os teores de matéria orgânica do solo nos locais onde os indígenas pré-colombianos estiveram assentados durante períodos durando até centenas de anos (GLASER, 2007; AQUINO, 2017). Contudo, a Amazônia foi ocupada por muitos grupos indígenas diferentes, e os processos de ocupação não foram uniformes ao longo do tempo e do espaço (SANTOS, 2018). Além disso, as TPIs foram formadas em cima de diversos tipos de solo, com embasamentos geológicos diferentes. Esses fenômenos podem se refletir em características químicas diferentes, gerando TPIs com distintos teores de micronutrientes em diferentes regiões amazônicas (SMITH, 1980; EDEN; BRAY; HERRERA, 1984; KERN; KÄMPF, 1989; SEGALLA, 2017), como foi observado no presente caso.

Todas as TPIs avaliadas apresentaram maiores teores de Mn disponível que os solos ADJ em praticamente todas as profundidades avaliadas, confirmando estudos semelhantes realizados anteriormente (KERN; KÄMPF, 1989; FALCÃO; MOREIRA, 2009; MOREIRA et al., 2009). Tais acréscimos no Mn disponível foram

obtidos apesar do maior pH (MOTTA et al., 2007) encontrado nos mesmos sítios de TPI avaliados aqui (SEGALLA, 2017). Maiores teores de Mn total também têm sido observados em solos de TPI (BARBOSA et al., 2020), diminuindo em profundidade em relação ao solo original, assim como observado no presente estudo para Mn disponível. Ainda, a disponibilidade acompanha o decréscimo da matéria orgânica em profundidade, uma vez que Mn pode ser retido fortemente à MO (KERNDORFF; SCHNITZE, 1980), mas em menor grau que Cu, Fe, Zn e Ni, determinando assim uma maior disponibilidade.

Tais acréscimos no teor total e disponível de Mn pode ser resultado da adição de tecido vegetal de forma direta como folhas, lenho e outros. Tais tecidos florestais apresentam elevados teores de Mn (HEIDAK; SCHÖLER, 2014), que provavelmente foram adicionados indiretamente na forma de cinzas de tecido vegetal, que contem quantidade expressiva de Mn solúvel, quando obtido a temperaturas < 400° C (PEREIRA et al., 2011). O aquecimento do solo pelas queimadas realizadas pela ação antrópica pode resultar em aumento da disponibilidade de Mn, mesmo em valores elevados de matéria orgânica e pH (MIYAZAWA; PAVAN; MARTIN NETO, 1993), conforme observado neste trabalho. Finalmente, o manejo do solo, incluindo mudanças no uso da terra, resulta em diferenças no aporte de resíduos vegetais e geralmente reduz a acidez superficial do solo pela aplicação de calcário, influenciando nas formas solúveis do Mn na solução do solo (CASTRO et al., 1992; STEINER et al., 2011), e nas quantidades disponíveis pela exportação de material vegetal (capim, grãos) das áreas com uso agrícola. Portanto, observou-se menores teores de Mn na área de pastagem que a floresta em Porto Velho, mas não houve diferença entre os sistemas de uso do solo em Iranduba e Belterra.

Assim como o Mn, o Zn foi um bom indicador de ocupação antrópica, havendo teores significativamente maiores nas TPIs que nos solos ADJ. Normalmente há uma relação negativa entre Zn disponível e pH do solo (MOTTA et al., 2007), mas não foi observada essa relação nas TPIs, já que essas tiveram maior pH (SEGALLA, 2017). Contudo, maiores teores de Zn foram observados em apenas dois dos três municípios, e principalmente nas camadas mais profundas. Os maiores valores de Zn disponível podem estar relacionados também aos maiores valores de Zn total observados nas TPIs dos mesmos locais por Segalla (2017). O aumento no

teor total de Zn provavelmente seja devido à adição de restos animais ricos em Zn, incluindo pele e ossos de peixes e outros vertebrados (BARBOSA et al., 2020).

A disponibilidade de Cu foi altamente variável dependendo do município, o tipo de solo e a cobertura vegetal. Maiores valores de Cu disponível na TPI foram encontrados em somente um local (Iranduba), corroborando com os resultados de Moline e Coutinho (2015), realizados em Manacapuru, também no rio Solimões, a apenas 60 km de Iranduba. Contudo, o aumento nos teores de Cu disponível não acompanhou a variação do teor total de Cu observado ao longo do perfil por Segalla (2017) e Barbosa et al. (2020), que foi maior na superfície e diminuiu em profundidade. Ou seja, maiores teores totais de Cu na TPI, não indicaram necessariamente, maiores teores disponíveis. A combinação de maior teor de matéria orgânica e pH nas camadas superficiais podem estar relacionados com esta ausência de relação, visto que o Cu tem alta força de adsorção em pH próximo a 5,0 ($Fe = Cu > Ni = Zn > Mn$) (KERNDORFF; SCHNITZE, 1980).

Assim, como observado para o Cu, os teores de Ni foram maiores na TPI que em ADJ, apenas em Iranduba, e não nos outros locais. Além disso, a disponibilidade de Ni não acompanhou o aumento no teor total observado por Barbosa et al. (2020), principalmente nas camadas superficiais, já que não houve diferença significativa nas camadas superficiais.

A disponibilidade de Fe foi menor nas TPIs do que nos solos ADJ em todos os locais, apesar da elevada concentração desse elemento nos solos Ferralíticos amazônicos avaliados. Resultados similares também foram observados por Falcão e Moreira (2009) e Macedo et al. (2019) para teores disponíveis, e por Barbosa et al. (2020) para teores totais. A disponibilidade de Fe diminui em profundidade e acompanha o decréscimo da matéria orgânica no solo, que possui alta capacidade de adsorção de ferro (KERNDORFF; SCHNITZE, 1980). Logo, a participação da matéria orgânica na disponibilidade de Fe parece não ser conclusiva. Assim, outros fatores podem estar associados com esta variação, como a mudança nas formas de Fe nas TPIs. Diversos estudos apontam para um aumento na susceptibilidade magnética da TPI, ou seja, a formação de maghemita e magnetita, devido ao aquecimento (OLIVEIRA, 2017; MINERVINI et al., 2018). Logo, é provável que esta mudança mineralógica venha a diminuir a solubilidade dos compostos de Fe.

Ao contrário do esperado, os sistemas de uso do solo dos municípios de Belterra e Iranduba não apresentaram diferença significativa entre os

micronutrientes avaliados neste trabalho, exceto para o Fe em Belterra. Isso pode estar relacionado à adição de Mn, Zn e Ni nos solos agricultáveis via tratamento de sementes (SIQUEIRA; SIQUEIRA, 2016; SANTOS NETO et al., 2018). Já no cultivo de milho, a disponibilidade dos micronutrientes provavelmente esteja relacionada ao acúmulo de palhada, visto que esta cultura promove a manutenção da fertilidade química através da ciclagem de nutrientes (CAVALLI et al., 2018).

Os processos de criação de TPIs proporcionaram maior disponibilidade de alguns micronutrientes nesses solos. De modo geral, os teores de Mn e Zn foram elevados nas TPIs e mostraram-se ser ótimos indicadores da ocupação pré-colombiana. Já as TPIs de Iranduba apresentaram altos teores de Ni, enquanto o Cu, apresentou teores altamente variáveis dependendo do município, tipo de solo e cobertura vegetal. Para o Fe, as TPIs apresentaram menor disponibilidade, apesar da elevada concentração desse nutriente nos solos ferralíticos.

Poucos estudos têm focado os micronutrientes nos solos das TPIs, e em geral nos solos Amazônicos. Os micronutrientes são importantes para o desenvolvimento de muitas culturas agrícolas cultivadas na Amazônia, mas não há muita informação sobre potenciais limitações desses nutrientes, particularmente nas TPIs (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; ALMEIDA; GUIMARÃES, 2017; SANTOS-MOURA et al., 2019). As culturas agrícolas possuem diferentes demandas de micronutrientes (Motta et al., 2007), mas é importante considerar que a maior disponibilidade de muitos macro e micronutrientes nas TPIs poderia, eventualmente causar alguns desbalanços nutricionais nas culturas agrícolas. Maiores esforços são necessários para avaliar esses potenciais problemas para o desenvolvimento de culturas agrícolas de alto valor agregado na Amazônia, particularmente considerando o extenso uso das TPIs para atividades agrícolas na região.

2.7 CONCLUSÕES

1 – As atividades humanas pré-colombianas promovem modificações nas características químicas dos solos da região Amazônica, conforme observado pelos elevados teores de Cu, Zn e Mn dos horizontes A antrópicos. Entretanto, os teores de Cu foram influenciados pelo pH e matéria orgânica das TPIs de Belterra no sistema de floresta antiga;

2 – Os teores de Ni não apresentaram diferença significativa nas camadas superficiais nos ambientes estudados;

3 – Os solos adjacentes apresentaram maiores teores de Fe que as TPIs;

4 – As práticas agrícolas não diminuíram os teores de micronutrientes no solo, com exceção para o Fe em Belterra (plantio direto) e o Mn em Porto Velho (pastagem).

2.8 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift*, v.22, p. 711–728, 2013, doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALMEIDA, L. S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística para determinação e modelagem da variabilidade espacial de micronutrientes no solo cultivado com cafeeiro no município de Araguari–MG. *Cultura Agrônômica*, v. 26, p. 158-173, 2017.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2 ed. Wallingford: CAB International, 1993.

AQUINO, R. E. Assinatura espectral em terra preta de índio na amazônia brasileira. 2017.

Arroyo-Kalin, M. Slash-burn-and-churn: Landscape history and crop cultivation in pre-Columbian Amazonia. *Quaternary International*, v.249, p.4-18. 2012, doi:10.1016/j.quaint.2011.08.004.

BARBOSA, J. Z. et al. Elemental signatures of an Amazonian Dark Earth as result of its formation process. *Geoderma*, v. 361, n. March 2019, p. 114085, 2020.

BROSSI, M. J. L.; MENDES, L. W.; GERMANO, M. G. Assessment of bacterial bph gene in Amazonian Dark Earth and their adjacent soils. *Plos one*, v. 9, n. 6, p. 1–12, 2014.

CARSON, J. F.; WHITNEY, B. S.; MAYLE, F. E.; IRIARTE, J.; PRUÏMERS, H.; SOTO, J. D.; WATLING, J. Environmental impact of geometric earthwork construction in pre-Columbian Amazonia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 10497–10502, 2014, doi:10.1073/pnas.1321770111.

CASTRO, O.; HEITOR, C.; SIDNEY, R. V.; SONIA, C. F. D. Terores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois Latossolos sob plantio direto e convencional. **Bragantina**, Campinas, v. 51, p. 77-84, 1992.

CAVALLI, E. et al. Decomposition and release of nutrients from crop residues on soybean-maize cropping systems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. 1–8, 2018.

CLEMENT, C. R.; DENEVAN, W. M.; HECKENBERGER, M. JI. The domestication of Amazonia before European conquest. Proceedings of the **Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, p. 20150813, 2015.

DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J. J.; GIOIA, C. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S23–S38, 2006.

DEMETRIO, W. **Soil macroinvertebrates and soil quality in amazonian dark earths and adjacent soils**. 2019, 121 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

EDEN M. J; BRAY W; HERRERA L. “Terra Preta” soils and their archaeological context in the Caqueta basin of southeast Colombia. **American Antiquity**. v.49, p.125-140,1984.

Embrapa solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2009.

FALCÃO N. P.S.; SILVA J. R. A. Phosphorus adsorption characteristics in some Central Amazonian soils. **Acta Amazonica**. v.34, n.3, 2004, <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672004000300001>.

FALCÃO N.; MOREIRA A.; COMENFORD N.B. A Fertilidade dos solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central. Embrapa Pecuária Sudeste, In: TEIXEIRAS, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). As

terras pretas de índio da Amazona: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. **Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental**, p. 189-200, 2009.

FAO/UNESCO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). Soil map of the world - South America. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils/docs/Soil_map_FAOUNESCO/acrobat/South_America_IV.pdf>.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**. v.28, p.101–101, 1998, doi:10.1590/1809-43921998282126.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of Central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, p. 187-196, 2007.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de índio). **Geochim Cosmochim Acta**, v.82, p.39–51, 2012, doi:10.1016/j.gca.2010.11.029.

HECKENBERGER M. J.; RUSSEL J. C.; TONEY J. R.; SCHMIDT M. J. The legacy of cultural landscapes in the Brazilian Amazon: implications for biodiversity. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, p. 197-208, 2007.

HEIDAK, M. O.; GLASMACHER, U. A.; SCHÖLER, H. F. A comparison of micronutrients (Mn, Zn, Cu, Mo, Ni, Na) within rocks, soils, and leaves, from fallow agricultural lands and natural laurel forest areas (Tenerife, Canary Islands, Spain). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 136, p. 55–64, 2014.

HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; TER STEEGE, H.; BERMUDEZ, M.A.; MORA, A.; SEVINK, J.; SANMARTÍN, I.; SANCHEZ-MESEGUER, A.; ANDERSON, C.L.; FIGUEIREDO, J.P.; JARAMILLO, C.; RIFF, D.; NEGRI, F.R.;

HOOGHIEMSTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; SÄRKINEN, T.; ANTONELLI, A. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. **Science**, v.80. 330, p.927–931, 2010, doi:10.1126/science.1194585.

INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). Monitoring of the Brazilian Amazonian Forest by Satellite, 2004-2017. Disponível em: Acesso em: 1 ago. 2018.

INPE: pág. da internet http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2003
Jordan CF, Herrera, R. Les forêts ombrofiles tropicales: les elements nutritifs sontils réellement un facteur critique? *Nature et Ressources*, v. 17,p.8- 15. 2003.

IUSS WORKING GROUP WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: World Soil Resources reports, n. 106, 2015. World Soil.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná - Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.219-225, 1989.

KERNDORFF, H.; SCHNITZER, M. Sorption of metals on humic acid. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 44, n. 11, p. 1701–1708, Nov. 1980.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **International Plant Nutrition Institute**, v. 118, p. 1-24, 2007.

LATHUILLIÈRE, M. J.; DALMAGRO, Higo J.; BLACK, T. A. Rain-fed and irrigated cropland-atmosphere water fluxes and their implications for agricultural production in Southern Amazonia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256–257, p. 407–419, 2018.

LAWRENCE, D.; VANDECAR, K.. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 1, p. 27–36, 2015.

LEVIS, C.; FLORES, B. M.; MOREIRA, P. A. How people domesticated Amazonian forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, p. 1–21, 2018.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols”(“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, n. 1, p. 1–17, 2002.

LINS J. Terra Preta de Índio: uma lição dos povos pré-colombianos da Amazônia. **Revista Agricultura: experiências em agroecologia**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 37-4, 2015.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; SOUZA, A. C. G.; SILVA, F. W. R.; ENCINAS, O. C.; NEVES, E. G. Amazonian dark earths in the fertile floodplains of the Amazon River, Brazil: An example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. *Bol. do Mus. Para. Emilio Goeldi Ciencias Humanas*, v.14, p. 207–227. 2019, doi:10.1590/1981-81222019000100013.

MAEZUMI, S. Y.; ROBINSON, M.; SOUZA, J. New insights from pre-Columbian land use and fire management in Amazonian dark earth forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 1–23, 2018.

MAGALHÃES, S. S. A.; WEBER, O. L. S.; SANTOS, C. H.; VALADÃO, F. C. A. Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do oeste-RO. **Acta Amazônica**. 43, 63–72, 2013, doi:10.1590/S0044-59672013000100008.

MCMICHAEL, C H; PALACE, M W; BUSH, M B. Predicting preColumbian anthropogenic soils in Amazonia. **Proceedings of the Royal Society**, p. 2–9, 2014.

MICHELON, C. J. et al. Soil attributes and yield of corn cultivated in succession to winter cover crops. **Revista de Ciencias Agroveterinarias**, v. 18, n.

2, p. 230–239, 2019.

MINERVINI, M. G.; MORRÁS, H. J. M.; TABOADA, M. Á. Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. **Ecología Austral**, v. 28, n. 1, p. 012–027, 2018.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MARTIN NETO, L. Provável mecanismo em liberação do manganês no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 6, v. 28, p. 725-731, 1993.

MOLINE, E. F. DA V.; COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 1, p. 14–20, 2015.

MOLINE, E. F. V.; COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista. Ciências Agrárias**, v.58, p.14–20, 2015, doi:10.4322/rca.1683.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K. Soil chemical attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. V.40, p.2912–2925. 2009, doi:10.1080/00103620903175371.

MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Extratores e disponibilidade de micronutrientes em terra preta de índio da amazônia central. **Ciencia del Suelo**, v. 27, p.127–134, 2009.

MOTTA A. C. V.; SERRAT B. M.; REISSMANN C. B.; DIONÍSIO J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. 1 ed. Curitiba: Edição do autor, p.246, 2007.

NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B.; BARTONE, R. N. The timing of Terra Preta formation in the central Amazon: archaeological data from three sites. In: GLASER, Bruno; WOODS, W. I. (Orgs.). *Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time*. **Berlin: Springer**, p. 125–134, 2004.

OLIVEIRA, I. A. DE. Suscetibilidade magnética da terra preta arqueológica amazônica. 2017.

PEREIRA, P.; UBEDA, X.; MARTIN, D. Heavy metals released from leaf litter exposed to different fire temperatures. A laboratory experiment. **Sustainable Development Strategy and Practise**, v. 1, p. 137-154, 2011.

QUESADA, C.A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATIÑO, S.; BAKER, T.R.; CZIMCZIK, C.; FYLLAS, N.M.; MARTINELLI, L.; NARDOTO, G.B.; SCHMERLER, J.; SANTOS, A.J.B.; HODNETT, M.G.; HERRERA, R.; LUIZÃO, F.J.; ARNETH, A.; LLOYD, G.; DEZZEO, N.; HILKE, I.; KUHLMANN, I.; RAESSLER, M.; BRAND, W.A.; GEILMANN, H.; FILHO, J.O.M.; CARVALHO, F.P.; FILHO, R.N.A.; CHAVES, J.E.; CRUZ, O.F.; PIMENTEL, T.P.; PAIVA, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*. **South America Soil Map**, v. 7, p.1515–1541, 2010, doi:10.5194/bg-7-1515-2010.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena. 2015.

ROYO J. Terra Preta de Índio: Solo fértil e resistente na bacia Amazônica. Embrapa, 2015. Disponível em: <http://www.territoriorural.com.br/EMBRAPA/EMBRAPA_SOLOS/EMBRAPA_SOLO_S-11.html>. Acesso em 24 jul. 2018.

SANTOS NETO, V.; LIMA, L. C.; CARDOSO, A. F.; LANA, R. M. Q.; TORRES, J. L. R. Micronutrientes na cultura da soja em sistema plantio direto em solos do cerrado sob condições adversas. **Scientific Electronic Archives**, v. 11, p. 33-39, 2018.

SANTOS, A. L. C. **Mineralogia e matéria orgânica de Terra Preta arqueológica e solos adjacentes não antrópicos na Região do Apuí Amazonas**. 2018, 175f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

SANTOS-MOURA, S. S.; GONÇALVES, E. P.; VIANA, J. S.; PAIVA, L. G.; MOURA, M. F. Potencial fisiológico de sementes de feijão tratadas com micronutrientes. **Diversitas Journal**, v. 4, p. 1119-1129, 2019.

SEGALLA R. F. **Atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes da Amazônia**. 2017. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SILVA F. W. R.; LIMA H. N.; GERALDES T. W.; MOTTA M. B.; SANTANA R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.35, n.3, p.673-681, 2011.

SIQUEIRA P. R. E.; SIQUEIRA. P. B. Disponibilidade de Micronutrientes nas Lavouras de Soja da Região da Campanha. **Revista Jornada de pós-graduação e pesquisa**, p.1-8, 2010.

SMITH N. J. Anthrosols and human carrying capacity in Amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, p.553-566, 1980.

SOMBROEK, W; RUIVO, M L; FEARNSSIDE; PHILIP M. Anthropogenic Dark Earths as Carbon Stores and Sinks. In: LEHMANN, Johannes; KERN, D C; GLASER, B; et al (Orgs.). Amazonian Dark Earths: Origin, properties, management. **Dordrecht: Springe**, p. 125–139, 2004.

STEINER, F.; COSTA, M. S. S.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G. Disponibilidade de micronutrientes no sistema plantio direto, na presença e ausência de plantas de cobertura submetido a diferentes fontes de fertilizantes. **Global science and technology**, v. 4, p. 28-37, 2011.

TAKETANI, R. G.; LIMA, A. B.; CONCEIÇÃO JESUS, E. Bacterial community composition of anthropogenic biochar and Amazonian anthrosols

assessed by 16S rRNA gene 454 pyrosequencing. Antonie van Leeuwenhoek, **International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 104, n. 2, p. 233–242, 2013.

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 Agroambiente on-Line**, v. 5, p.158, 2011. doi:10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562.

VIANA, S.F.; CÉSAR, M.; CAMPOS, C.; MAURÍCIO, J.; BARROS, W. Variabilidade espacial dos atributos químicos em terra preta de índio cultivada na região de Novo Aripuanã, AM Spatial variability of chemical attributes in cultivated archeological dark earth in Novo Aripuanã region. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, p.53–58, 2016.

WATLING, J.; SHOCK, M. P.; MONGELÓ, G. Z. Direct archaeological evidence for Southwestern Amazonia as an early plant domestication and food production centre. **Plos One**, v. 13, n. 7, 2018.

3 CAPÍTULO II: DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DO ARROZ DE SEQUEIRO CULTIVADO EM SOLOS TPI E ADJACENTE DA REGIÃO AMAZÔNICA

3.1 RESUMO

O solo é o principal meio de nutrição mineral aos vegetais por liberar nutrientes da fase sólida e apresentar microrganismos capazes de decompor a matéria orgânica e estabelecer relações simbióticas com as raízes. Devido à notável concentração de nutrientes em Terra Preta de Índio (TPI), é importante estudar o balanço nutricional promovido pelas TPIs em relação aos solos adjacentes. Objetivou-se com este trabalho avaliar a disponibilidade de nutrientes (N-Total, Ca, Mg, K, P, S, B, Zn, Mn, Cu, Ni e Fe) e compreender o nível nutricional do arroz de sequeiro (*Oryza sativa L.*) em TPIs e solos adjacentes, em diferentes sistemas de uso do solo da região amazônica. No experimento foram usados solos provenientes dos municípios de Belterra – PA e Porto Velho – RO. As amostras de solo foram coletadas em dois sistemas de uso: Floresta Ombrófila densa em fase intermediária ou avançada de regeneração (Floresta antiga) e Floresta densa em estágio inicial de sucessão (Floresta jovem). Os teores de N e K no tecido vegetal apresentaram níveis inferiores ao adequado. Já os teores de Ca, Mg, P e S estiveram adequados ao cultivo. As plântulas de arroz de sequeiro apresentam concentrações de micronutrientes (B, Zn, Fe, Ni e Cu) acima da faixa ideal, entretanto, apresentando desbalanço nutricional. A produção de massa seca não mostrou diferença significativa entre os solos avaliados, mas o solo adjacente de Porto Velho apresentou melhor equilíbrio nutricional. Conclui-se que o desequilíbrio nutricional nas TPIs está relacionado aos altos teores de bases (Ca e Mg), como também aos micronutrientes (Mn, Zn e Fe) e os constituintes da matéria orgânica (N e S). E, que é fundamental o equilíbrio dos nutrientes no solo para que haja adequado desenvolvimento da cultura de arroz de sequeiro.

Palavras-chave: Terra Preta de Índio, Nutrição de plantas, manejo do solo.

3.2 ABSTRACT

Soil is the main means of mineral nutrition for vegetables by releasing nutrients from the solid phase and because it has microorganisms capable of decomposing organic matter and establishing symbiotic relationships with plant roots. Due to the remarkable concentration of nutrients in Amazonian dark earths (ADEs), it is important to study the nutritional balance promoted by ADEs in relation to adjacent soils. Hence the present study assessed nutrient (N-Total, Ca, Mg, K, P, S, B, Zn, Mn, Cu, Ni and Fe) availability and uptake in order to understand the nutritional level of upland rice (*Oryza sativa L.*) in ADEs and adjacent soils, in different land-use systems in the Amazon region. In the experiment, soils from the municipalities of Belterra - PA and Porto Velho - RO were used. The soil samples were collected in two land use systems: dense ombrophilous forest in intermediate or advanced regeneration phase (old forest) and dense forest in the initial succession stage (young forest). The levels of N and K in the plant tissue were less than adequate, while the levels of Ca, Mg, P and S were suitable for cultivation. The upland rice seedlings had micronutrient concentrations (B, Zn, Fe, Ni and Cu) above the ideal range, and showed nutritional imbalance. The production of dry mass was not significantly different between the soils tested, but the adjacent soil of Porto Velho showed better nutritional balance. We conclude that the nutritional imbalance in ADEs is related to their high levels of bases (Ca and Mg), and micronutrients (Mn, Zn and Fe), and the constituents of organic matter (N and S). Furthermore, that the balance of nutrients in the soil is essential for the adequate development of upland rice.

Keywords: Amazonian dark earth, Plant nutrition, soil management.

3.3 INTRODUÇÃO

As atividades humanas ao longo do tempo tem modificado grandemente a floresta Amazônica. Durante séculos de ocupação, os Ameríndios construíram novos habitats com vegetação e solos diferentes, dando origem às Terras Preta de Índio (TPIs). São solos que apresentam alta disponibilidade de nutrientes às plantas, em contraste aos solos altamente intemperizados da região Amazônica (SMITH, 1980; ROOSEVELT; KERN; KAMPF, 1989; SOMBÖREK, 1996; DOUGLAS; BROWN, 2002; KAMPF; KERN, 2005). Esses solos são procurados para a prática da agricultura na região Amazônica, porque possuem alto potencial produtivo, em relação aos solos adjacentes (GLASER; BIRK, 2012).

O solo é o principal meio para a nutrição mineral dos vegetais por liberar nutrientes da fase sólida e por apresentar microrganismos capazes de decompor rapidamente a matéria orgânica (RESENDE, 2005; ABREU; LOPES; SANTOS, 2007; TEIXEIRA et al. 2009; NATALE et al., 2012), e desenvolver relações simbióticas com as raízes das plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os altos teores de macronutrientes (fósforo, cálcio e magnésio) e micronutrientes (cobre, manganês e zinco) presentes nas TPIs, poderiam implicar em menor disponibilidade de alguns nutrientes às plantas, devido às interações entre os nutrientes, que afetam sua disponibilidade no solo e às plantas (MOTTA et al., 2007; TEIXEIRA et al., 2009; MOREIRA et al., 2009). Esta interação permite compreender o comportamento dos nutrientes no solo, bem como avaliar o estado nutricional das plantas (MOTTA et al., 2007). Contudo, a análise química do vegetal é o meio que permite verificar o que realmente está sendo adquirido e metabolizado pela planta, pois leva em conta a interferência de fatores bióticos e abióticos relacionados à absorção de nutrientes (NATALE; ROZANE, 2018).

O estabelecimento do equilíbrio entre os nutrientes no sistema solo-planta é mais importante do que a interpretação isolada das suas concentrações, como realizado na fertilidade do solo, pois não determina qual nutriente é o mais limitante entre os que se encontram em deficiência no solo (SILVA et al., 2004; PARENT, 2011). A análise da planta possibilita verificar o equilíbrio entre os nutrientes absorvidos, através do uso de metodologias que determinem valores de referência para a cultura em estudo. Dentre as metodologias disponíveis, a Diagnose da Composição Nutricional – CND está ganhando espaço atualmente por interpretar o

equilíbrio nutricional de uma cultura, através das relações multivariadas entre os teores/conteúdos dos nutrientes e a média geométrica dos teores/conteúdos nutricionais da matéria seca da amostra. Isto permite avaliar o estado nutricional das plantas em deficiência, equilíbrio ou excesso, através dos índices de base (negativo, zero ou positivo) (PARENT; DAFIR, 1992; ROZANE; PARENTE; NATALE, 2016; DIAS et al., 2017).

Diante da grande importância das TPIs para a produção agrícola na Amazônia, e sua notável concentração de nutrientes, resulta interessante estudar o balanço nutricional promovido pelas TPIs em comparação aos solos adjacentes. Portanto, no presente trabalho, avaliou-se a disponibilidade de nutrientes e composição nutricional do arroz de sequeiro (*Oryza sativa L.*) em TPIs e solos adjacentes, em diferentes sistemas de uso do solo na região amazônica.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os solos utilizados para o experimento eram provenientes dos municípios de Belterra – PA na Baixa Amazônia e Porto Velho – RO no Sudoeste da Amazônia (Figura 5). A zona climática da região Amazônica, segundo a classificação de Köppen, pertence aos tipos climáticos Am e Af e apresenta temperatura média de 24°C, com precipitação anual entre 2000 e 2280 mm (FISCH et al., 1998; QUESADA et al., 2010; ALVARES et al., 2013).

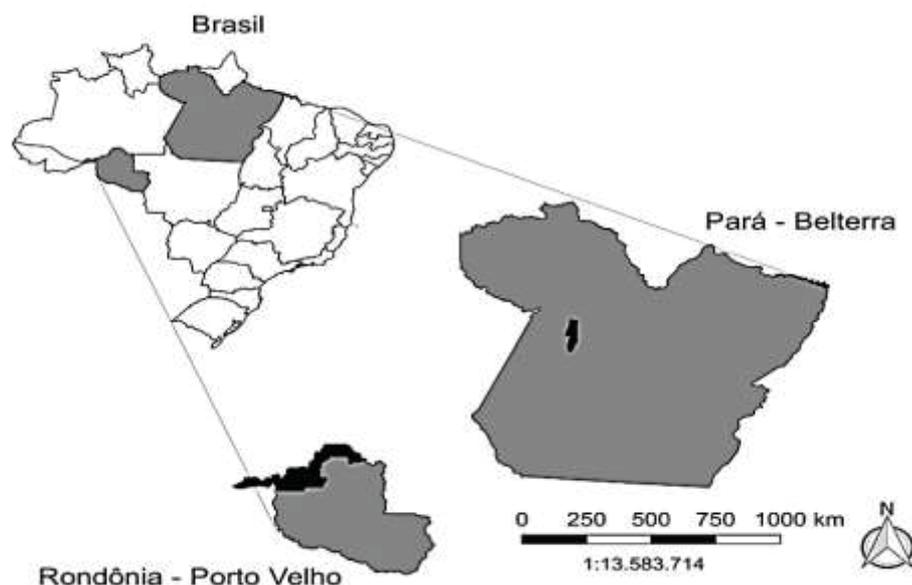
As amostras de TPI e solo adjacente foram coletadas em dois sistemas de uso: Floresta Ombrófila densa secundária em fase intermediária ou avançada de regeneração – Floresta Antiga (> 20 anos), em Belterra-PA; e Floresta densa recente em estágio inicial de sucessão – Floresta Jovem (< 20 anos), em Porto Velho-RO (Figura 5).

As amostras de solo foram coletadas em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm), usando monólitos de 25 x 25 x 30 cm, seguindo o Programa de Biologia e Fertilidade do Solo Tropical (TSBF) da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), descrita em Anderson e Ingram (1993).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm) usando TPI e solo adjacente, em cinco repetições. O experimento foi conduzido em triplicata numa câmara de germinação seguindo o método Neubauer, conforme descrito por Catani e Bergamin (1961) com

algumas adaptações (Figura 6). Em um recipiente de 250 mL, com diâmetro de 65 mm e altura de 80 mm, foram usados 50 g de solo misturado com 100 g de areia fina lavada (AFL), conforme a metodologia da Embrapa (2018). Sobre a mistura, foi espalhado 50 g de AFL e semeadas 50 sementes de arroz de sequeiro. Em seguida, foram cobertas por 10 g AFL. Em total utilizaram-se 180 recipientes. Após a semeadura adicionou-se 40 mL de água a cada recipiente, e posteriormente, cada um deles foi pesado para determinar a quantidade suficiente para manter a umidade do solo adequada ao crescimento do arroz. A pesagem dos recipientes foi realizada todos os dias antes de fornecer água às plantas.

FIGURA 5. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM DA TERRA PRETA DE ÍNDIO, LATOSSOLO E ARGISSOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO DA REGIÃO AMAZÔNICA. BELTERRA – PA = FLORESTA OMBRÓFILA Densa SECUNDÁRIA EM FASE INTERMEDIÁRIA OU AVANÇADA DE REGENERAÇÃO – FLORESTA ANTIGA (> 20 ANOS) E PORTO VELHO – RO = FLORESTA Densa RECENTE EM ESTÁGIO INICIAL DE SUCESSÃO – FLORESTA JOVEM (< 20 ANOS).

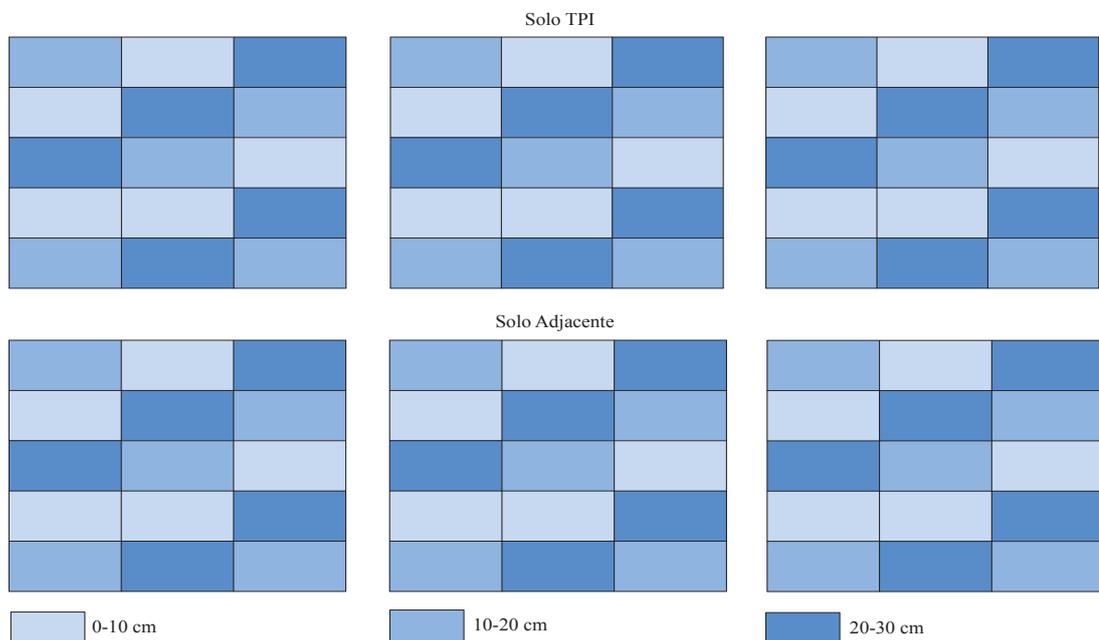


Durante o experimento a temperatura da câmara de germinação foi regulada a 25 °C, com umidade de 80% e com fotoperíodo de 12 h. Às 07h00 min ligava-se um terço das luzes, das 10h00 min às 14h00 min mantinha-se 100% da intensidade luminosa, após às 14h00 min reduzia-se a intensidade luminosa a 50%, e após as 19h00 min encerrava-se o fornecimento de luz às plantas.

Após 18 dias da emergência das plantas, todo o material vegetal (parte aérea e raízes) foi colhido. O material vegetal foi lavado com água corrente para retirar as partículas de solo e areia aderida às raízes sobre uma peneira, e na sequência realizou-se tríplice lavagem com água destilada. Em seguida, as

amostras foram secadas em estufa a 60 °C até atingir massa constante, conforme a metodologia da Embrapa (2009), e realizada a pesagem. Preparou-se o material vegetal seco para a determinação dos teores dos nutrientes, com a trituração das amostras através do moedor de café, e na sequência estas foram moídas em moinho mecânico, passadas em peneira de malha de 212 μm , e armazenadas em sacos plásticos.

FIGURA 6. CROQUI DO EXPERIMENTO DO MÉTODO DE NEUBAUER, COM TERRA PRETA DE ÍNDIO E SOLO ADJACENTE (LATOSSOLO E ARGISSOLO) EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE SOLO DA REGIÃO AMAZÔNICA.



Foram determinados os teores de Nitrogênio Total (N-Total), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Ferro (Fe) nas amostras de tecido de arroz de sequeiro.

Para determinar os teores de N-Total, as amostras moídas foram encapsuladas em folhas de estanho e realizou-se combustão via-seca, por meio do analisador elementar Vario El III. Os teores dos demais nutrientes foram obtidos por digestão via úmida em sistema fechado em forno de micro-ondas Mars 6TM (CEM), seguindo a metodologia da Embrapa (2009) com algumas adaptações. Transferiu-se 0,20 g da amostra moída para frasco de teflon de 100 mL, adicionou-se 4 mL de ácido nítrico (HNO_3), 3 mL de água ultra-pura ($18,2 \text{ m}\Omega \text{ cm}^{-1}$) e 1 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Posteriormente, os frascos de teflon foram acomodados no cilindro de aço do micro-ondas e submetidos ao programa de aquecimento de 10 min para atingir 170°C , 15 min a 170°C e 20 min de resfriamento. Após a digestão,

as amostras foram diluídas para 13 mL com água ultra-pura. A determinação foi por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivo (ICP-AES).

O diagnóstico nutricional do arroz de sequeiro, cultivado sobre solos TPI e adjacentes, foi determinado através da metodologia CND (PARENT; DAFIR, 1992), utilizando-se dados de produção de matéria seca da planta e do conteúdo de nutrientes presentes nas amostras. Optou-se por trabalhar com o conteúdo de nutrientes das amostras, pois avaliou a planta integralmente. O conteúdo foi determinado conforme a Equação 1:

$$C = \frac{MS}{1000} \times TN \quad (1)$$

onde: C – conteúdo de nutrientes da amostra (g ou mg); MS – matéria seca da amostra (g); TN – teor de nutrientes da amostra (g ou mg); 1000 – fator de conversão.

Para determinação dos índices CND das amostras, primeiramente converteu-se o conteúdo dos nutrientes para miligrama por quilograma (mg kg⁻¹), de maneira a facilitar os próximos cálculos. Os primeiros valores obtidos são aqueles que representam os componentes não determinados na matéria seca, representados por R (Equação 2).

$$R = 1000000 - \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

onde: R – valor de todos os componentes não determinados na análise da matéria seca (mg kg⁻¹); 1000000 – valor arbitrário utilizado para quantificar o total de matéria seca e não retornar um valor negativo (mg kg⁻¹); x_i – é o conteúdo de cada nutriente na matéria seca (mg kg⁻¹).

Posteriormente, calculou-se a média geométrica $g(x)$ dos conteúdos dos nutrientes na matéria seca. A Equação 3 engloba o conteúdo de todos os nutrientes mais o valor de enchimento, relacionando cada nutriente com todos os demais da amostra (PARENT; DAFIR, 1992).

$$g(x) = (x_N \cdot x_P \cdot x_K \cdot X_{Ca} \cdot \dots \cdot R)^{\frac{1}{D}} \quad (3)$$

onde: $g(x)$ – média geométrica dos conteúdos dos nutrientes na matéria seca; x_N , x_P , x_K , x_{Ca} ... - conteúdo de cada nutriente analisado na matéria seca; R – valor dos componentes não determinados na matéria seca; D – é o número de nutrientes analisados +1.

As variáveis multinutrientes são calculadas utilizando o logaritmo neperiano, possibilitando assim gerar melhor distribuição dos dados (BEVERLY, 1987).

$$Z_i = \ln\left(\frac{x_i}{G}\right) \quad (4)$$

onde: Z_i – valor das variáveis multinutrientes; G – média geométrica dos conteúdos nutricionais; x_i – conteúdo de cada nutriente na matéria seca.

Para identificar e excluir os outliers do banco de dados, utiliza-se a Equação 5 da Distância de Mahalanobis. O teste de χ^2 é calculado com base em D , excluindo-se as amostras com valor inferior a $p < 0,01$. Esta distância indica que quanto maior for o seu valor, maior será o desequilíbrio entre os nutrientes

$$D = \sum_{i=1}^n (\text{clr}_i - \overline{\text{clr}}_i)^T \text{COV}^{-1} (\text{clr}_i - \overline{\text{clr}}_i) \quad (5)$$

sendo: D – distância de Mahalanobis; clr_i - amostra a ser comparada; $\overline{\text{clr}}_i$ - média da população de referência; COV é a matriz de covariância da população.

A divisão da população em alta e baixa produtividade é realizada relacionando a produção de matéria seca e a função cumulativa dos valores de D , com ajuste da função cúbica. O ponto de inflexão dessa função e, por consequência, a divisão das populações é definido pela mudança de conformação da sua curva (KHIARI; PARENT; TREMBLAY, 2001).

Com a identificação do “ponto de corte” entre a população de alta e baixa, é possível definir os índices CND das variáveis multinutrientes (Equação 6).

$$I_i = \frac{(Z_i - \bar{Z}_i)}{\sigma_i} \quad (6)$$

sendo: I_i - índice de balanço do nutriente para determinar o CND; Z_i - valor da variável multinutriente das amostras avaliadas; \bar{Z}_i - média dos valores da variável multinutriente na população de referência; σ_i - desvio padrão da variável na população de referência.

A matriz de correlação de Pearson foi utilizada com o propósito de verificar a existência de correlações significativas na população de baixa produtividade das amostras do arroz sequeiro, nas diferentes profundidades do solo TPI e adjacente, e as variáveis multinutrientes. As correlações de Pearson foram classificadas em: fraca (0,10-0,30); moderada (0,40-0,60) e forte (0,70-1,0) (DANCEY; REIDY, 2006). A ordem de limitação dos nutrientes foi determinada pelo valor dos índices CND, através da ordenação decrescente dos valores dos índices.

Os resultados foram testados quanto à normalidade por Shapiro-Wilk a 5% e após, pela ANOVA, seguida pelo teste de Tukey a $p < 0,05$, por meio do programa de análise estatística SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

3.5 RESULTADOS

3.5.1 MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA

O solo TPI apresentou função acumulativa com ponto médio de inflexão, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, de 1,12; 1,18 e 1,0 g de MS, respectivamente (Tabela 2). Para o solo adjacente, o ponto médio de inflexão para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm foi de 1,07; 1,15 e 1,04 g de MS, respectivamente (Tabela 2). Os valores do ponto médio de inflexão foram adotados para a divisão das populações de alta (população de referências) e baixa produção de MS (Tabela 2).

TABELA 2. PONTO MÉDIO DE INFLEXÃO, NÚMERO DE AMOSTRAS DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) DO MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA.

Solo TPI						
Profundidade (cm)	Ponto médio de inflexão ^{1,2}	Nº Amostras ³	A.A. ⁴	%	A.B. ⁵	%
0-10	1,12	15	7	46,7	8,0	53,3
10-20	1,18	15	4	26,7	11,0	73,3
20-30	1,00	15	8	53,3	7,0	46,7
Solo Adjacente						
0-10	1,07	15	5	33,3	10	66,7
10-20	1,15	15	3	20,0	12	80,0
20-30	1,04	15	4	16,7	11	73,3

¹ Acima do ponto médio de inflexão = população de alta produtividade; ² Abaixo do ponto médio de inflexão = população de baixa produtividade; ³ Número de amostras avaliadas; ⁴ Amostras de alta produtividade e ⁵ Amostras de baixa produtividade.

Para a TPI, o crescimento das plântulas de arroz está positivamente relacionado à concentração de bases (Ca e Mg), micronutriente (B) e aos nutrientes constituintes da matéria orgânica do solo (N e S), em todas as profundidades avaliadas (Tabela 3). A mesma relação positiva foi observada em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) para o P, K e Ni. Já o Zn mostrou relação inversa com o crescimento, sendo também observado para o Cu, mas apenas na camada de 20-30 cm.

TABELA 3. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (PEARSON) ENTRE CONTEÚDO DOS NUTRIENTES E A BIOMASSA DO ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) DAS AMOSTRAS DE BAIXA PRODUTIVIDADE, NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM (N=8), 10-20 CM (N=11) E 20-30 CM (7) NA TPI DO MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA.

Biomassa (g kg ⁻¹)	Nutrientes											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
	---- 0-10 cm ----											
1,1	-0,75*	0,72*	0,95*	0,91*	0,97*	0,97*	0,90*	0,67	0,74*	0,69	0,77*	-0,81*
	---- 10-20 cm ----											
1,0	0,87*	0,64*	0,89*	0,65*	0,88*	0,78*	0,97*	0,45	0,60	0,57	0,69*	-0,26
	---- 20-30 cm ----											
1,0	0,90*	0,57	0,75	0,87*	0,86*	0,80*	0,81*	-0,80*	-0,15	0,38	0,68	0,11

* significativo a 5 % ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. As demais correlações de Pearson não foram significativas.

Para o solo adjacente, o componente orgânico (N e S) da camada de 0-10 cm esteve relacionado positivamente com o crescimento da plântula (Tabela 4). Também observou-se relação positiva com P e K na camada de 0-10 cm. Já a concentração de Fe e Mn no tecido da plântula esteve positivamente relacionada ao crescimento vegetal nas camadas de 10-20 cm e 20-30 cm, respectivamente. Logo, o crescimento das plântulas em solo adjacente apresentou menor relação em grau e número com os nutrientes, que a TPI, e essa esteve concentrada na camada superficial.

TABELA 4. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (PEARSON) ENTRE CONTEÚDO DOS NUTRIENTES E A BIOMASSA DE ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) DAS AMOSTRAS DE BAIXA PRODUTIVIDADE NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM (N=10), 10-20 CM (N=12) e 20-30 CM (11) EM SOLO ADJACENTE DO MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA.

Biomassa (g kg ⁻¹)	Nutrientes											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
	---- 0-10 cm ----											
1,0	0,69*	0,86*	0,75*	0,40	0,44	0,85*	0,26	0,57	0,13	0,22	0,33	0,61
	---- 10-20 cm ----											
1,0	0,23	0,26	0,34	-0,28	-0,12	-0,27	0,8	-0,15	0,81*	-0,03	0,21	-0,17
	---- 20-30 cm ----											
1,0	0,50	-0,06	0,40	-0,37	0,12	0,39	0,48	0,61	0,32	0,82*	0,13	-0,57

* significativo a 5 % ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. As demais correlações de Pearson não foram significativas.

Das 42 correlações significativas com o solo da TPI de baixa produtividade a 0-10 cm, apenas N-Mg; N-S; K-Zn; Ca-Zn; Mg-Zn e S-Zn apresentaram valor negativo e forte correlação linear (Tabela 5). Entre as 29 correlações significativas na profundidade de 10-20 cm, observaram-se duas correlações moderadas com valores negativos (P-Zn e Mn-Zn). Com as amostras da profundidade de 20-30 cm,

os nutrientes N-Cu, K-Cu, Ca-Cu, Mg-Cu, S-Cu e Cu-Ni apresentaram valor negativo e forte correlação linear.

TABELA 5. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (PEARSON) ENTRE O CONTEÚDO DOS NUTRIENTES E A BIOMASSA DE ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) DAS AMOSTRAS DE BAIXA PRODUTIVIDADE, NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM (N=8), 10-20 CM (N=11) E 20-30 CM (7) EM TPI DO MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA.

0-10 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	-0,75*	0,72*	0,95*	0,91*	0,97*	0,97*	0,90*	0,67	0,74*	0,69	0,77*	-0,81*
N	1	-0,36	-0,62	-0,62	-0,73*	-0,76*	-0,64	-0,42	-0,41	-0,35	-0,59	0,88*
P		1	0,87*	0,89*	0,80*	0,75*	0,92*	0,44	0,88*	0,99*	0,72*	-0,49
K			1	0,96*	0,97*	0,93*	0,96*	0,65	0,81*	0,84*	0,72*	-0,76*
Ca				1	0,97*	0,95*	0,96*	0,57	0,76*	0,85*	0,81*	-0,75*
Mg					1	0,98*	0,93*	0,68	0,71*	0,75*	0,76*	-0,82*
S						1	0,90*	0,66	0,69	0,70	0,84*	-0,84*
B							1	0,45	0,88*	0,92*	0,80*	-0,74*
Cu								1	0,39	0,35	0,43	-0,43
Fe									1	0,92*	0,78*	-0,40
Mn										1	0,71*	-0,46
Ni											1	-0,52
10-20 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	0,87*	0,64*	0,89*	0,65*	0,88*	0,78*	0,97*	0,45	0,60	0,57	0,69*	-0,26
N	1	0,33	0,83*	0,66*	0,85*	0,94*	0,86*	0,35	0,48	0,25	0,66*	0,14
P		1	0,67*	0,38	0,51	0,25	0,71*	0,65*	0,39	0,96*	0,39	-0,67*
K			1	0,86*	0,96*	0,82*	0,88*	0,70*	0,26	0,56	0,72*	-0,41
Ca				1	0,91*	0,72*	0,57	0,65*	-0,14	0,25	0,55	-0,34
Mg					1	0,88*	0,84*	0,58	0,17	0,40	0,63*	-0,31
S						1	0,79*	0,37	0,24	0,19	0,54	0,08
B							1	0,49	0,61*	0,66*	0,64*	-0,26
Cu								1	0,04	0,66*	0,61	-0,52
Fe									1	0,42	0,51	0,12
Mn										1	0,32	-0,61*
Ni											1	-0,27
20-30 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	0,90*	0,57	0,75	0,87*	0,86*	0,80*	0,81*	-0,80*	-0,15	0,38	0,68	0,11
N	1	0,78*	0,72	0,78*	0,78*	0,71	0,88*	-0,81*	-0,07	0,61	0,87*	-0,05
P		1	0,47	0,64	0,62	0,55	0,81*	-0,50	-0,17	0,97*	0,58	-0,56
K			1	0,84*	0,91*	0,97*	0,62	-0,98*	-0,58	0,28	0,71	-0,22
Ca				1	0,99*	0,93	0,67	-0,85*	-0,58	0,49	0,51	-0,30
Mg					1	0,96*	0,65	-0,90*	-0,63	0,45	0,56	-0,32
S						1	0,66	-0,93*	-0,63	0,38	0,60	-0,31
B							1	-0,68	0,06	0,71	0,80*	-0,08
Cu								1	0,49	-0,31	-0,79*	0,12
Fe									1	-0,13	0,06	0,68
Mn										1	0,42	-0,64
Ni											1	0,09

Biom.= Biomassa; * significativo a 5 % ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. As demais correlações de Pearson não foram significativas, n = número de amostras analisadas.

Para as amostras de baixa produtividade do solo adjacente da camada de 0-10 cm, foram encontradas 11 correlações lineares fortes entre os nutrientes N-K (0,85), P-S (0,81), K-B (0,73), Ca-Mg (0,94), Ca-S (0,71), Ca-Mn (0,78), Mg-S (0,74), Mg-Mn (0,92), B-Fe (0,97) e B-Ni (0,90) (Tabela 6). Também observaram-se seis correlações moderadas, sendo três positivas e três negativas. Na profundidade de 10-20 cm, foram determinadas 11 correlações significativas entre os nutrientes: Mn-Zn (0,81*) e P-Zn, K-Ni, Ca-Fe, Cu-Zn, Fe-Mn e Mn-Ni (negativas com moderada correlação). Na profundidade de 20-30 cm, apresentaram-se 19 correlações significativas, sendo uma com correlação fortemente negativa (Mn-Zn) e outra moderadamente negativa (Cu-Zn).

Encontraram-se diferenças significativas entre os solos TPI e adjacente para os nutrientes K, Ca, Mg, S (maiores na TPI) e Fe, Mn e Zn (menores na TPI) nas amostras de arroz (Tabela 7). Para os demais, não houve diferença significativa entre os dois solos. Os nutrientes K ($4,5 \text{ g kg}^{-1}$), Ca ($3,0 \text{ g kg}^{-1}$) e Mg ($3,5 \text{ g kg}^{-1}$) apresentaram elevados teores quando cultivadas em TPI na profundidade de 0-10 cm. Os teores de P, B, K, Mg, S e B obtidos do tecido vegetal nas diferentes profundidades e solos se encontram na faixa recomendada proposta pela NEPAR-SBCS (2019). O teor de S no tecido vegetal do solo TPI variou entre 1,7 e $2,2 \text{ g kg}^{-1}$, porém os teores de S das amostras do solo adjacente foram inferiores em todas as profundidades em relação do solo TPI (Tabela 7).

O Ni apresentou elevados teores na camada de 10 cm para ambos os solos. O Cu somente apresentou diferença entre os teores nos dois solos na camada de 20-30 cm, e, para o Fe nas camadas de 10-20 e 20-30 cm (Tabela 7). O Mn apresentou diferença nos teores do tecido vegetal nas camadas 0-10 e 10-20 cm entre os dois solos, sendo menor na TPI (0-10 cm: $270,2 \text{ mg kg}^{-1}$; 10-20 cm: $366,8 \text{ mg kg}^{-1}$) que no solo adjacente (0-10 cm: $578,4 \text{ mg kg}^{-1}$; 10-20 cm: $502,0 \text{ mg kg}^{-1}$). Os teores de Zn apresentaram diferenças entre os solos nas camadas de 0-10 e 30 cm. Entretanto, os teores de Cu, Fe, Mn e Zn das amostras de ambos os solos estão acima da faixa ideal para cultivo de arroz de sequeiro (NEPAR-SBCS, 2019).

TABELA 6. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (PEARSON) ENTRE OS NUTRIENTES E A BIOMASSA DE ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM (N=10) E 10-20 CM (N=12) EM SOLO ADJACENTE DO MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA.

0-10 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	0,69*	0,86*	0,75*	0,40	0,44	0,85*	0,26	0,57	0,13	0,22	0,33	0,61
N	1	0,57	0,85*	0,02	0,17	0,54	0,56	0,08	0,46	0,10	0,48	0,25
P		1	0,62	0,57	0,48	0,81*	0,19	0,57	0,06	0,18	0,20	0,68*
K			1	0,06	0,18	0,60	0,73*	0,15	0,62	0,02	0,68*	0,38
Ca				1	0,94*	0,71*	-0,54	0,47	-0,66*	0,78*	-0,59	0,13
Mg					1	0,74*	-0,49	0,34	-0,60	0,92*	-0,54	-0,07
S						1	-0,06	0,43	-0,22	0,56	0,03	0,47
B							1	-0,10	0,97*	-0,59	0,90*	0,30
Cu								1	-0,21	0,03	-0,21	0,64*
Fe									1	-0,66*	0,91*	0,19
Mn										1	-0,60*	-0,40
Ni											1	0,37

10-20 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	0,23	0,26	0,34	-0,28	-0,12	-0,27	0,80	-0,15	0,81*	-0,03	0,21	-0,17
N	1	-0,07	0,24	0,08	0,27	0,17	0,08	-0,35	-0,08	0,28	-0,41	-0,24
P		1	0,63*	0,43	0,44	0,37	0,23	0,27	0,08	-0,62*	0,03	0,53
K			1	-0,02	0,14	0,14	0,53	0,46	0,22	-0,19	-0,10	0,35
Ca				1	0,93*	0,89*	-0,57	0,13	-0,69*	-0,24	-0,08	0,42
Mg					1	0,95*	-0,40	0,08	-0,58*	-0,01	-0,24	0,25
S						1	-0,53	0,08	-0,68*	0,10	-0,38	0,21
B							1	0,16	0,92*	-0,01	0,31	-0,12
Cu								1	-0,10	-0,38	0,18	0,77*
Fe									1	0,00	0,34	-0,29
Mn										1	-0,27	-0,81*
Ni											1	0,06

0-30 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	0,50	-0,06	0,40	-0,37	0,12	0,39	0,48	0,61	0,32	0,82*	0,13	-0,57
N	1	0,38	0,31	0,17	0,42	0,51	0,38	0,53	0,35	0,42	0,50	-0,25
P		1	0,58	0,86*	0,93*	0,73*	0,46	0,07	0,56	0,19	0,75*	-0,28
K			1	0,28	0,78*	0,64*	0,88*	0,10	0,88*	0,34	0,32	-0,20
Ca				1	0,75*	0,62*	0,17	-0,29	0,34	-0,19	0,59	0,05
Mg					1	0,79*	0,60*	0,13	0,69*	0,29	0,76*	-0,33
S						1	0,57	0,31	0,60	0,39	0,66*	-0,26
B							1	0,07	0,97*	0,25	0,14	-0,03
Cu								1	-0,06	0,78*	0,53	-0,65*
Fe									1	0,10	0,18	0,07
Mn										1	0,47	-0,92*
Ni											1	-0,57

Prod. = Produtividade; * significativo a 5 % ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. As demais correlações de Pearson não foram significativas.

TABELA 7. BIOMASSA TOTAL E TEORES MÉDIOS DOS NUTRIENTES OBTIDOS DO TECIDO VEGETAL DE ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*), NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM, 10-20 CM E 20-30 CM EM SOLO TPI E ADJACENTE DO MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA.

Nutrientes	Solo TPI			Solo Adjacente		
	Profundidade					
	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Biomassa (g kg ⁻¹)	1,1 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa
N (g kg ⁻¹)	23,6 Aa	17,9 Aa	15,2 Aa	22,9 Aa	18,6 Aa	16,5 Aa
P (g kg ⁻¹)	2,0 Aa	2,0 Aa	2,1 Aa	1,6 Aa	1,5 Aa	1,6 Aa
K (g kg ⁻¹)	4,5 Aa	4,1 Ab	4,0 Ab	4,2 Ba	3,8 Bb	3,7 Bb
Ca (g kg ⁻¹)	3,0 Aa	2,8 Ab	2,6 Ab	2,0 Ba	1,7 Bb	1,6 Bb
Mg (g kg ⁻¹)	3,5 Aa	3,4 Aab	3,2 Ab	2,7 Ba	2,3 Bb	2,1 Bb
S (g kg ⁻¹)	2,2 Aa	2,0 Ab	1,7 Ac	1,9 Ba	1,6 Bb	1,5 Bb
B (mg kg ⁻¹)	7,4 Aa	6,5 Aa	6,2 Aa	7,1 Aa	7,0 Aa	6,9 Aa
Cu (mg kg ⁻¹)	28,1 Aa	26,0 Aa	30,8 Ba	29,2 Ab	28,6 Ab	39,18 Aa
Fe (mg kg ⁻¹)	1792,2 Aa	1775,0 Ba	1966,4 Ba	2216,0 Aa	2850,4 Aa	2990,2 Aa
Mn (mg kg ⁻¹)	270,2 Bb	366,8 Bb	533,9 Aa	578,4 Aa	502,0 Aab	414,4 Ab
Ni (mg kg ⁻¹)	17,1 Aa	13,9 Aab	12,9 Ab	16,7 Aa	15,6 Aa	15,0 Aa
Zn (mg kg ⁻¹)	197,5 Bb	297,3 Aab	305,1 Ba	465,0 Aa	471,1 Aa	475,0 Aa

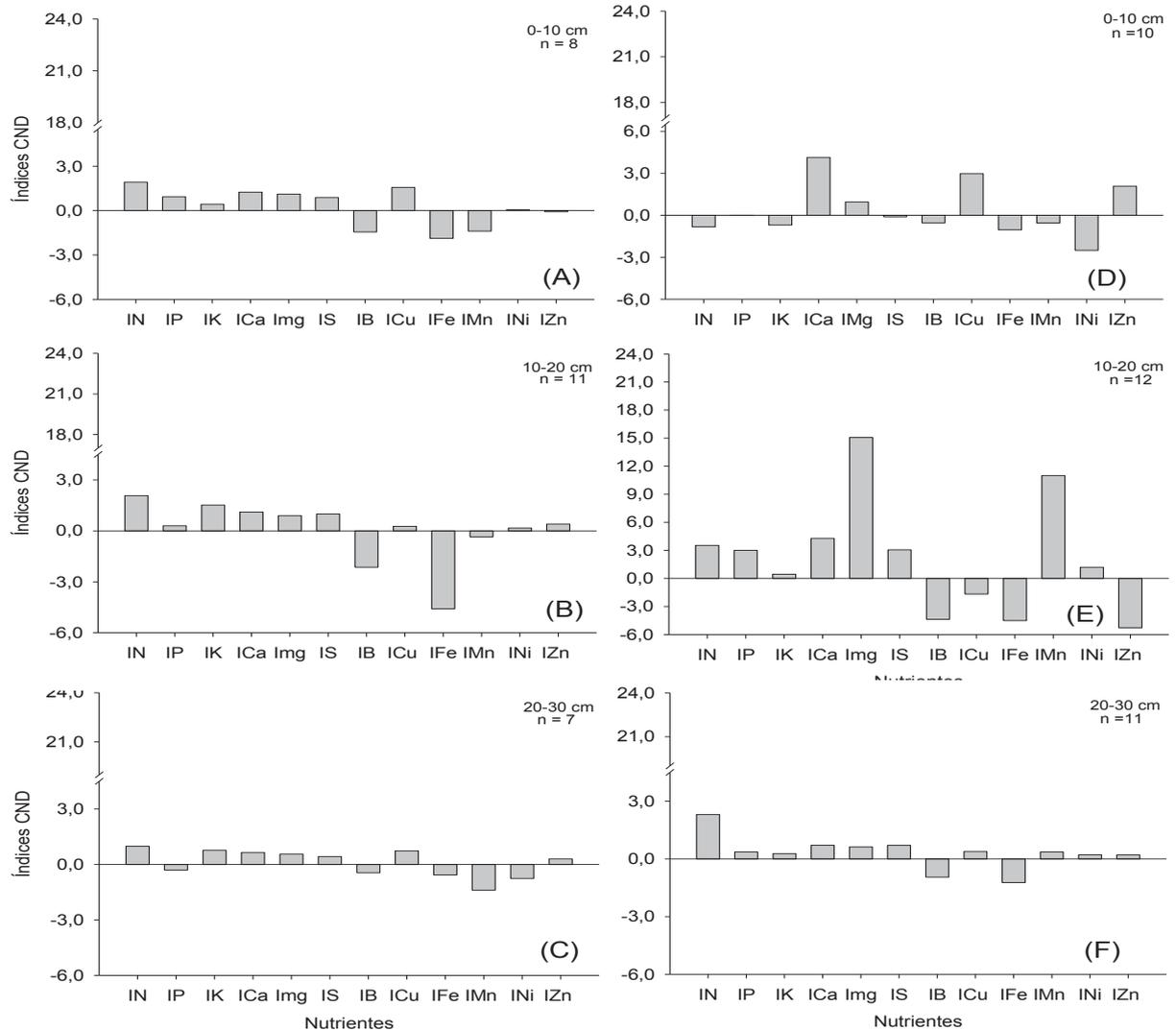
Letras maiúsculas = diferença significativa entre os solos e as letras minúsculas = diferença significativa entre as profundidades de cada solo.

A ordem de limitação dos nutrientes encontrados pelo índice CND na TPI, ficou, na camada de 0-10 cm: Fe > B > Mn > Zn > Ni > K > S > P > Mg > Ca > Cu > N; na camada de 10-20 cm, Fe > B > Mn > Ni > Cu > P > Zn > Mg > S > Ca > Cu > K > N; e na camada de 20-30 cm, Mn > Ni > Fe > B > P > Zn > S > Mg > Ca > Cu > K > N (Figura 3A, B, C). O Fe, B e Mn são os micronutrientes que apresentaram maior deficiência no tecido vegetal nas camadas de 0-10 e 10-20 cm da TPI (Figura 3A, B). Na camada de 20-30 cm, além do Fe e Mn, houve também deficiência em Ni (-0,76) (Figura 7C). O índice CND para N variou de 0,98 a 2,08; para Mg de 0,56 a 1,12; para Ca de 0,65 a 1,25; para K de 0,43 a 1,52 e para Cu, de 0,27 a 1,57, encontrando-se em excesso nas amostras de arroz da TPI.

Para o solo adjacente, a limitação dos nutrientes pelo índice CND seguiu a seguinte ordem, na camada de 0-10 cm: Ni > Fe > N > K > B = Mn > S > P > Mg > Zn > Cu > Ca; na camada de 10-20 cm, Zn > Fe > B > Cu > K > Ni > P > S > N > Ca > Mg > Mn e na camada de 30 cm, Fe > B > Ni = Zn > K > P = Cu = Mn > Mg > S = Ca > N (Figura 7D, E, F). As amostras de arroz da camada de 0-10 cm do solo adjacente apresentaram deficiência de Ni, Fe e N com os respectivos índices CND de -2,5; -1,0 e -0,8 (Figura 7D). Além disso, houve deficiência de Fe e B (camada de 10-20 e 20-30 cm) e Zn (camada de 10-20 cm) (Figura 7E, F). Com o índice CND foi

possível diagnosticar o excesso de Ca (4,1), Cu (3,0) e Zn (2,1) no tecido vegetal das plantas com a camada de 0-10 cm do solo adjacente, assim como o excesso de Mg, Mn e N em plantas dos solos de maior profundidade (Figura 7D).

FIGURA 7. MÉDIA DOS ÍNDICES CND DA POPULAÇÃO DE BAIXA PRODUTIVIDADE DE ARROZ DE SEQUEIRO EM SOLO (*ORYZA SATIVA L.*) TPI (A, B, C) E ADJACENTE (D, E, F) DO MUNICÍPIO DE BELTERRA – PA. FAIXA DE INTERPRETAÇÃO DO EQUILÍBRIO NUTRICIONAL = ÍNDICE CND ZERO (EQUILIBRADO), ÍNDICE CND POSITIVO (EXCESSO) E ÍNDICE NEGATIVO (DEFICIÊNCIA).



3.5.2 MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO

O solo TPI apresentou função acumulativa com ponto médio de inflexão para as profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm de 0,68; 0,69 e 0,87 g de MS, respectivamente. Para o solo adjacente, o ponto médio de inflexão para as

profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm foi de 0,91; 0,84 e 0,77 g de MS. Os valores do ponto médio de inflexão foram adotados para a divisão das populações de alta (população de referência) e baixa produtividade (Tabela 8).

TABELA 8. PONTO MÉDIO DE INFLEXÃO, NÚMERO DE AMOSTRAS DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE DO ARROZ SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO.

Solo TPI						
Profundidade (cm)	Ponto médio de inflexão ^{1,2}	Nº Amostras ³	A.P ⁴	%	B.P ⁵	%
0-10	0,68	15	14	93,3	1,0	6,7
10-20	0,69	15	12	80,0	3,0	20,0
20-30	0,87	15	4	26,7	11,0	73,3
Solo Adjacente						
0-10	0,91	15	9	60,0	6	40,0
10-20	0,84	15	6	40,0	9	60,0
20-30	0,77	15	9	60,0	6	40,0

¹Acima do ponto médio de inflexão = população de alta produtividade; ²Abaixo do ponto médio de inflexão = população de baixa produtividade; ³número de amostras avaliadas; ⁴Amostras de alta produtividade e ⁵Amostras de baixa produtividade.

Para a TPI na profundidade de 0-10 cm não foi possível verificar quais nutrientes estão relacionados ao crescimento das plântulas de arroz, em razão de apresentar somente uma amostra de baixa produtividade (Tabela 9). A concentração de Mg esteve positivamente relacionada ao crescimento das plântulas da camada de 10-20 cm. Já na camada de 20-30 cm encontrou-se relação positiva do crescimento vegetal com os constituintes da matéria orgânica do solo (N e S), os micronutrientes B, Fe e Zn e também a concentração de K (Tabela 9).

TABELA 9. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (PEARSON) ENTRE O CONTEÚDO DOS NUTRIENTES E A BIOMASSA DO ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) DAS AMOSTRAS DE BAIXA PRODUTIVIDADE, NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM, 10-20 CM E 20-30 CM EM SOLO TPI DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO.

Biomassa (g kg ⁻¹)	Nutrientes											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
	----- 0-10 cm -----											
0,8	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	----- 10-20 cm -----											
0,8	-0,39	0,99	0,91	0,92	1,00*	0,94	-0,98	0,17	0,68	0,27	0,26	0,83
	----- 20-30 cm -----											
0,8	0,75*	0,41	0,68*	0,33	0,41	0,75*	0,80*	0,39	0,68*	0,23	0,42	0,75*

* significativo a 5 % (p < 0,05) pelo teste de Tukey. As demais correlações de Pearson não foram significativas. ** Não apresentou correlação, em razão de apresentar somente uma amostra.

Para o solo adjacente, a concentração de Ca, Fe e Ni no tecido vegetal esteve positivamente envolvido no crescimento das plântulas, na camada de 10-20 cm, e a concentração de Mg e S, na camada de 20-30 cm (Tabela 10). O Zn teve relação direta com o crescimento das plântulas tanto na camada de 0-10 cm quanto na de 10-20 cm. Já para o Ni, foi observado comportamento inverso em superfície (Tabela 10).

TABELA 10. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (PEARSON) ENTRE O CONTEÚDO DOS NUTRIENTES E A BIOMASSA DO ARROZ (*ORYZA SATIVA L.*) DE SEQUEIRO NAS AMOSTRAS DE BAIXA PRODUTIVIDADE, NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM, 10-20 CM E 20-30 CM EM SOLO ADJACENTE DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO.

Biomassa (g kg ⁻¹)	Nutrientes											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
----- 0-10 cm -----												
0,90	-0,03	0,35	-0,78	0,68	0,57	0,72	0,69	-0,72	-0,31	-0,8	-0,86*	0,81*
----- 10-20 cm -----												
0,80	-0,54	0,02	-0,53	0,77*	0,24	-0,34	0,04	0,79	0,83*	-0,13	0,79*	0,80*
----- 20-30 cm -----												
0,80	0,33	0,8	0,68	0,70	0,87*	0,88*	0,05	0,01	-0,02	-0,14	0,06	0,46

* significativo a 5 % ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. As demais correlações de Pearson não foram significativas.

Na camada de 10-20 cm da TPI encontraram-se duas correlações entre os teores de nutrientes nas plântulas, com valor positivo e forte (Ca-S e Mn-Ni) (Tabela 11). Entre as 17 relações lineares significativas presentes na profundidade de 20-30 cm, somente 10 correlações foram fortemente positivas, sendo elas: N-S, P-K, P-Mg, K-S, Ca-Mg, Ca-S, Mg-S, S-B, B-Fe e Fe-Ni.

No solo adjacente foram determinadas 25 correlações lineares significativas na camada de 0-10 cm, sendo que 12 destas foram fortes e negativas entre os nutrientes: K-B (-0,89), Ca-Cu (-0,94), Ca-Mn (-0,97), Ca-Ni (-0,87), Mg-Cu (-0,88), Mg-Mn (-0,91), Mg-Ni (-0,84), S-Mn (-0,84), S-Ni (-0,97), Cu-Zn (-0,93), Mn-Zn (-0,97) e Ni-Zn (-0,96) (Tabela 12). Na profundidade de 10-20 cm, observaram 16 correlações significativas, mas apenas N-Zn e K-Zn foram negativas e com forte correlação. As demais correlações foram todas positivas, e a maioria delas moderadas ou fortes. Na profundidade de 20-30 cm encontraram-se 10 correlações fortemente positivas (K-N, P-Ca, B-N, Mn-N, Mn-B, Mn-Fe, Ni-B, Zn-Ca, Zn-Cu), e cinco correlações negativas (Cu-B, Zn-B, Cu-Mn, Cu-Ni e Mn-Zn).

TABELA 11. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (PEARSON) ENTRE O CONTEÚDO DOS NUTRIENTES E A BIOMASSA DO ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) DAS AMOSTRAS DE BAIXA PRODUTIVIDADE, NAS PROFUNDIDADES DE 10-20 CM E 20-30 CM EM SOLO TPI DO MUNÍCIPIO DE PORTO VELHO – RO.

10-20 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	-0,39	0,99	0,91	0,92	1,00*	0,94	-0,98	0,17	0,68	0,27	0,26	0,83
N	1	-0,53	0,02	-0,72	-0,45	-0,69	0,19	0,84	0,41	0,78	0,79	0,19
P		1	0,84	0,97	1,00	0,98	-0,93	0,01	0,55	0,12	0,10	0,73
K			1	0,68	0,88	0,71	-0,98	0,56	0,92	0,64	0,63	0,99
Ca				1	0,94	1,00*	-0,82	-0,23	0,34	-0,13	-0,14	0,55
Mg					1	0,96	-0,96	0,11	0,63	0,21	0,19	0,79
S						1	-0,85	-0,18	0,38	-0,08	-0,10	0,59
B							1	-0,37	-0,81	-0,47	-0,45	0,93
Cu								1	0,84	0,99	1,00*	0,69
Fe									1	0,89	0,88	0,97
Mn										1	1,00*	0,76
Ni											1	0,75

20-30 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	0,75*	0,41	0,68*	0,33	0,41	0,75*	0,80*	0,39	0,68*	0,23	0,42	0,75*
N	1	0,53	0,69*	0,56	0,65*	0,75*	0,47	-0,02	0,44	-0,16	0,29	0,28
P		1	0,81*	0,41	0,71*	0,63*	0,46	0,16	0,09	0,23	-0,40	0,17
K			1	0,33	0,66*	0,70*	0,52	0,46	0,29	0,19	-0,10	0,51
Ca				1	0,89*	0,79*	0,51	-0,13	0,57	-0,68*	0,46	-0,32
Mg					1	0,87*	0,55	0,01	0,50	-0,45	0,20	-0,14
S						1	0,76*	0,19	0,72	-0,23	0,39	0,28
B							1	0,30	0,83*	0,15	0,44	0,46
Cu								1	0,16	0,39	-0,11	0,64*
Fe									1	-0,20	0,78*	0,31
Mn										1	-0,52	0,67*
Ni											1	0,07

Biom. = Biomassa; * significativo a 5 % ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. As demais correlações de Pearson não foram significativas.

TABELA 12. MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (PEARSON) ENTRE O CONTEÚDO DOS NUTRIENTES E A BIOMASSA DO ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) NAS AMOSTRAS DE BAIXA PRODUTIVIDADE, NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM, 10-20 CM E 20-30 CM EM SOLO ADJACENTE DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO.

0-10 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	-0,03	0,35	-0,78	0,68	0,57	0,72	0,69	-0,72	-0,31	-0,80	-0,86*	0,81*
N	1	0,66	-0,08	0,58	0,64	0,45	0,51	-0,56	-0,45	-0,47	-0,37	0,45
P		1	-0,17	0,86*	0,94*	0,82*	0,40	-0,67	0,04	-0,71	-0,72	0,80
K			1	-0,51	-0,39	-0,34	-0,89*	0,54	0,22	0,64	0,56	-0,56
Ca				1	0,98*	0,87*	0,71	-0,94*	-0,24	-0,97*	-0,87*	0,97*
Mg					1	0,88*	0,62	-0,88*	-0,17	-0,91*	-0,84*	0,94*
S						1	0,51	-0,81	-0,33	-0,84*	-0,97*	0,93*
B							1	-0,77	-0,49	-0,80	-0,67	0,71
Cu								1	0,51	0,98*	0,83*	-0,93*
Fe									1	0,38	0,37	-0,29
Mn										1	0,89*	-0,97*
Ni											1	-0,96*
10-20 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	-0,54	0,02	-0,53	0,77*	0,24	-0,34	0,04	0,79	0,83*	-0,13	0,79*	0,80*
N	1	0,30	0,83*	-0,67	0,08	0,78*	0,39	-0,54	-0,22	0,64	-0,42	-0,82*
P		1	0,68	0,38	0,85*	0,67*	0,75*	0,23	0,20	0,52	0,28	-0,09
K			1	-0,32	0,54	0,90*	0,72*	-0,31	-0,13	0,78*	-0,17	-0,77*
Ca				1	0,62	-0,17	0,22	0,74*	0,61	-0,10	0,77*	0,74*
Mg					1	0,61	0,80*	0,43	0,47	0,61	0,56	-0,02
S						1	0,66	-0,27	-0,02	0,84*	-0,09	-0,64
B							1	0,29	0,50	0,82*	0,52	-0,36
Cu								1	0,79*	0,02	0,79*	0,65
Fe									1	0,32	0,89*	0,39
Mn										1	0,28	-0,59
Ni											1	0,48
20-30 cm												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Biom.	0,33	0,80	0,68	0,70	0,87*	0,88*	0,05	0,01	-0,02	-0,14	0,06	0,46
N	1	-0,09	0,87*	-0,43	0,01	0,32	0,87*	-0,81	0,75	0,86*	0,79	-0,64
P		1	0,26	0,87*	0,79	0,75	-0,33	0,48	-0,53	-0,50	-0,38	0,67
K			1	-0,03	0,47	0,57	0,75	-0,70	0,55	0,61	0,72	-0,33
Ca				1	0,81	0,59	-0,61	0,66	-0,58	-0,76	-0,62	0,90*
Mg					1	0,60	-0,07	0,10	-0,13	-0,31	-0,14	0,54
S						1	-0,09	0,15	-0,21	-0,21	0,12	0,49
B							1	-0,97*	0,83	0,96*	0,84*	-0,86*
Cu								1	-0,89	-0,93*	-0,88*	0,83*
Fe									1	0,87*	0,64	-0,73
Mn										1	0,80	-0,94*
Ni											1	-0,69

Biom. = Biomassa; * significativo a 5 % ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. As demais correlações de Pearson não foram significativas.

TABELA 13. BIOMASSA TOTAL E TEORES MÉDIOS DOS NUTRIENTES OBTIDOS DE 45 AMOSTRAS DE ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*), NAS PROFUNDIDADES DE 0-10 CM, 10-20 CM E 20-30 CM EM SOLO TPI E ADJACENTE DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO.

Nutrientes	Solo TPI			Solo Adjacente		
	Profundidade					
	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Biomassa. (g kg ⁻¹)	0,8 Aa	0,8 Aa	0,8 Aa	0,9 Ba	0,8 Aab	0,8 Aa
N (g kg ⁻¹)	29,6 Aa	21,4 Ab	17,6 Ac	21,1 Ba	18,5 Bab	16,8 Ab
P (g kg ⁻¹)	3,2 Aa	2,9 Aa	2,9 Aa	1,8 Ba	2,0 Ba	2,1 Ba
K (g kg ⁻¹)	5,7 Aa	4,8 Ab	4,3 Ab	4,0 Ba	4,0 Ba	3,9 Aa
Ca (g kg ⁻¹)	3,3 Aa	2,9 Aa	2,5 Ab	2,0 Ba	1,7 Ba	1,7 Ba
Mg (g kg ⁻¹)	3,7 Aa	3,1 Ab	2,7 Ac	2,2 Ba	2,0 Ba	2,0 Ba
S (g kg ⁻¹)	2,2 Aa	2,0 Ab	1,7 Ac	1,9 Ba	1,7 Ba	1,7 Ab
B (mg kg ⁻¹)	5,2 Aa	5,3 Aa	4,5 Aa	3,6 Ba	3,1 Ba	3,0 Ba
Cu (mg kg ⁻¹)	31,6 Aa	28,7 Ba	44,8 Aa	42,5 Aa	48,8 Aa	48,5 Aa
Fe (mg kg ⁻¹)	788,3 Ab	1047,2 Aab	1439,0 Ab	1158,0 Aa	972,9 Aa	867,9 Ba
Mn (mg kg ⁻¹)	579,8 Aa	416,6 Aa	403,8 Aa	318,3 Ba	159,3 Ba	178,4 Ba
Ni (mg kg ⁻¹)	10,6 Aa	13,7 Aa	17,7 Aa	13,8 Aa	11,7 Aa	10,8 Aa
Zn (mg kg ⁻¹)	230,7 Ba	309,3 Ba	307,7 Ba	547,9 Aa	589,4 Aa	640,8 Aa

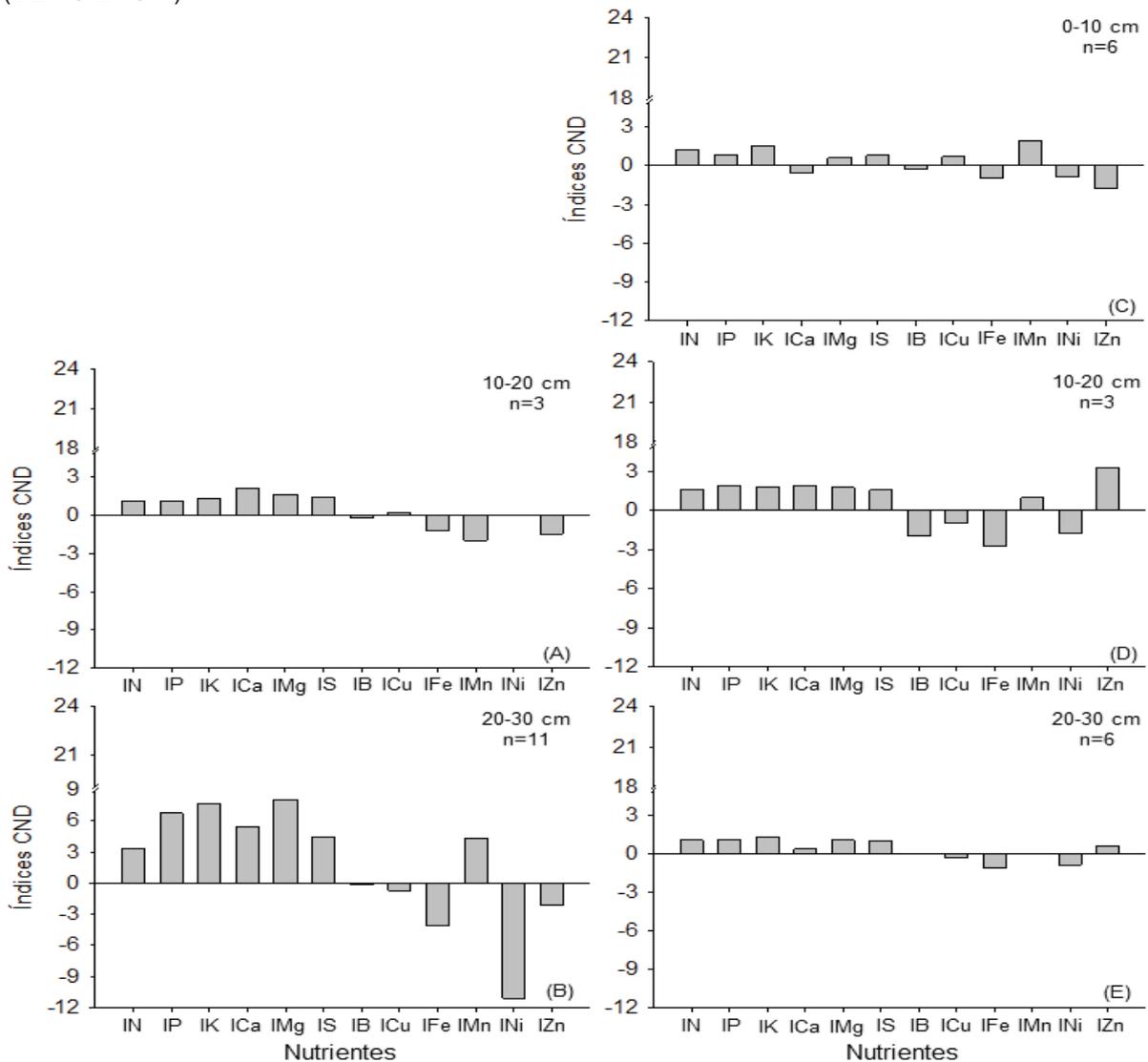
Letras maiúsculas = diferença significativa entre os solos e as letras minúsculas = diferença significativa entre as profundidades de cada solo.

P, Ca, Mg, Mn, B, Ni e Zn foram os nutrientes que apresentaram diferença significativa nos teores dos tecidos das plantas cultivadas nos dois solos, sendo maiores na TPI que no solo adjacente em todas as profundidades (Tabela 13). Os teores de Ca estiveram adequados ao arroz sequeiro enquanto os teores de P estavam acima dos recomendados pela NEPAR-SBSC (2019) nas amostras da TPI. O arroz sequeiro cultivado no solo TPI apresentou elevados teores de Mg e Mn comparado às plantas cultivadas no solo adjacente, em todas as profundidades (Tabela 13). Os teores de Mg nas profundidades de 0-10 (3,7 mg kg⁻¹) e 10-20 cm (3,1 mg kg⁻¹), estão acima do recomendado ao cultivo de arroz e o teor de Mn encontra-se em todas as profundidades muito acima do recomendado pela NEPAR-SBSC (2019). Entretanto, os teores de Mg estão adequados em todas as profundidades do solo adjacente e, para o Mn na profundidade de 10-20 cm.

Os teores de Cu, Fe e Zn obtidos no tecido do arroz em ambos os solos, estão acima, e os teores de K abaixo, da faixa recomendada pela NEPAR-SBSC (2019). Para os nutrientes N e S nas plantas de arroz, houve diferença significativa entre os solos para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, sendo maiores na TPI. Para o S os teores estavam adequados em todas as profundidades, mas para o N estes estiveram adequados somente para a camada de 0-10 cm (NEPAR-SBSC, 2019)

A ordem de limitação dos nutrientes para as plantas, determinados pela metodologia CND na TPI, para a camada de 10-20 cm, foi $Mn > Zn > Fe > B > Ni > Cu > N = P > K > S > Mg > Ca$, e para a camada de 20-30 cm, foi $Ni > Fe > Zn > Cu > B > N > Mn > S > Ca > P > K > Mg$ (Figura 8A, B). As amostras de arroz apresentaram deficiência de Zn (-1,44 e -2,10), Fe (-1,20 e -4,12), Mn (-1,97) na profundidade de 10-20 e 20-30 cm e também de Ni na camada de 20-30 cm (-11,10) (Figura 8A, B). Em maior profundidade as plantas apresentaram excesso dos macronutrientes Ca (2,15), Mg (1,67 e 8,05), S (1,43), K (1,36 e 7,69) e P (6,74) (Figura 8A, B).

FIGURA 8. MÉDIA DOS ÍNDICES CND DA POPULAÇÃO DE BAIXA PRODUTIVIDADE DE ARROZ DE SEQUEIRO (*ORYZA SATIVA L.*) EM SOLO TPI (A, B) E ADJACENTE (C, D, E) DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO – RO. FAIXA DE INTERPRETAÇÃO DO EQUILÍBRIO NUTRICIONAL = ÍNDICE CND ZERO (EQUILIBRADO), ÍNDICE CND POSITIVO (EXCESSO) E ÍNDICE NEGATIVO (DEFICIÊNCIA).



Para o solo adjacente a limitação dos nutrientes pela metodologia CND, nas plantas cultivadas na camada de 0-10 cm, foi $Zn > Fe > Ni > Ca > B > Mg > Cu > S > P > N > K > Mn$; na camada de 10-20 cm, foi $Fe > B > Ni > Cu > Mn > N > S > Mg > K > P = Ca > Zn$, e na camada de 20-30 cm, foi $Fe > Ni > Cu > B > Mn > Ca > Zn > S > N > Mg > P > K$ (Figura 8C, D, E). As amostras de arroz apresentaram deficiência de Fe em todas as profundidades no solo adjacente. Também houve deficiência de Ni (0-10 e 20-30 cm), Zn e Mn (0-10 cm), B (10-20 cm), e Cu (20-30 cm). De outro modo, houve excesso de Mn (1,93), K (1,55) e N (1,27) na profundidade de 0-10 cm (Figura 8C), e excesso de K (1,81 e 1,30), Zn (3,29), Ca (1,96), P (1,15 e 1,96) e Mg (1,08) no tecido vegetal das plantas crescidas nas camadas mais profundas do solo adjacente (Figura 8D, E).

3.6 DISCUSSÃO

As TPIs são conhecidas por terem alta fertilidade e um alto potencial produtivo (CUNHA et al., 2007; MOREIRA et al., 2009; FALCÃO; MOREIRA, 2009; SILVA et al., 2011; ROYO, 2015), mas a produção de massa seca do arroz sequeiro no presente experimento não apresentou diferença significativa entre a TPI e o solo adjacente. Isso pode ser devido ao pouco tempo de cultivo do arroz (apenas ~21 dias após a semeadura, e 18 dias após a emergência), quando grande parte dos nutrientes absorvidos pela planta ainda provém da semente (ZHAO et al., 2018). Além disso, nos primeiros 40 dias de cultivo a produção de massa no arroz é menor em relação aos demais estágios (MALAVOLTA et al., 1981; ALVARES et al., 2006). É provável que uma colheita mais tardia (maior tempo de cultivo) das plantas no presente experimento, levaria a diferentes resultados. Porém o método de Neubauer preconiza 18-20 dias, e o uso de um grande número de sementes/plantas (Figura 9A), visando exaurir o solo dos nutrientes em pouco tempo. De fato, as raízes das plantas já estavam amplamente ocupando o espaço disponível do solo+areia nos recipientes usados (Figura 9B).

FIGURA 9. EXPERIMENTO DO MÉTODO DE NEUBAUER (A), COM TERRA PRETA DE ÍNDIO E SOLO ADJACENTE (LATOSSOLO E ARGISSOLO) EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE SOLO DA REGIÃO AMAZÔNICA E O SISTEMA RADICULAR DO ARROZ DE SEQUEIRO (B).



(A)



(B)

Contudo, as plantas crescendo nos dois solos demonstraram diferenças tanto nos teores de nutrientes, quanto no balanço nutricional, avaliado pelo CND, evidenciando que os solos foram importantes para a nutrição do arroz, além do que estava nas sementes. Os nutrientes Mn, Fe e Zn foram absorvidos em menor quantidade em todas as profundidades da TPI de Belterra, mas somente o Zn foi afetado na TPI de Porto Velho em relação às plantas crescendo nos solos adjacentes. Curiosamente, o Mn é justamente um indicador de solos de TPI (CUNHA et al., 2007; MOREIRA et al., 2009; FALCÃO; MOREIRA, 2009; SILVA et al., 2011; ROYO, 2015, SEGALLA, 2017), sendo encontrado normalmente em maior quantidade nos solos das TPIs que nos solos adjacentes. Portanto, esperava-se que as plantas das TPIs tivessem maiores teores de Mn nas plantas. Este resultado

possivelmente esteja relacionado aos altos níveis de bases (Ca e Mg) e o micronutriente Zn das TPIs, os quais competem pelo sítio de absorção, por apresentarem propriedades químicas semelhantes (HERRERA, 2016).

O Fe é normalmente encontrado em menor quantidade nas TPIs, e por isso houve menor absorção desse elemento nesses solos que nos adjacentes. O Zn é às vezes encontrado em maior quantidade, e às vezes não é afetado nas TPIs, em relação aos solos adjacentes (FALCÃO; MOREIRA, 2009; MACEDO et al., 2019; BARBOSA et al., 2020), dependendo da região de origem da TPI. As razões para essas diferenças ainda não são bem conhecidas, e no presente caso, encontraram-se poucas diferenças nos teores de Zn disponível nos solos dos locais avaliados, que foram maiores no horizonte superficial (0-10 cm) da TPI em Belterra e em profundidade (20-30 cm) na TPI em Porto Velho (Capítulo 1, Tópico 2.5.2, 2.5.3), mas houve maior absorção nos solos adjacentes que nas TPI's (o contrário do que se esperaria havendo maior disponibilidade nas TPIs). Contudo, a relação de P/Zn inibe o desenvolvimento do sistema radicular, restringindo a absorção de nutrientes em um menor volume de solo, aumentando, também, a susceptibilidade ao déficit hídrico (RESENDE, 2005; SARMENTO et al., 2008). Nesse sentido, a alta disponibilidade de P na TPI de Belterra afetou negativamente a absorção de Zn em todas as camadas do solo, mas foi significativa apenas para a camada 20-30 cm. Contudo, no solo de Porto Velho, as interações, de forma geral, foram positivas, apesar de não serem significativas. Já para os solos adjacentes, as interações foram geralmente positivas, e significativas para o solo adjacente em Belterra na profundidade 0-10 cm.

Falcão e Borges (2006) avaliaram o estado nutricional e produtividade do mamão Havaí em solo TPI, e observaram um desbalanço nutricional, ocasionado pelos altos níveis de P, Ca e Mg, e pelo baixo teor de K, interferindo nos níveis de Zn e Mn.

O nível de fertilidade e disponibilidade de nutrientes, tanto macronutrientes quanto micronutrientes pode variar bastante entre TPIs de diferentes localidades (Moreira et al., 2009; Silva, 2017; Segalla, 2017). Isso deveria se refletir na capacidade de absorção, na nutrição e balanço nutricional das plantas crescendo em diferentes TPIs. Isso se confirmou no presente experimento, já que se encontraram diferenças no CND e na quantidade de alguns nutrientes absorvidos entre as regiões (Porto Velho vs. Belterra). Os índices CND e a biomassa do arroz

de sequeiro mostraram que a TPI de Porto Velho apresentou maior desequilíbrio nutricional, acentuado na profundidade de 20-30 cm. Isso possivelmente esteja relacionado aos teores de bases (Ca e Mg) e os constituintes da matéria orgânica (N e S) nesse solo (SEGALLA, 2017).

Observaram-se concentrações adequadas de P, Mg e S nas amostras de arroz de sequeiro (NEPAR-SBCS, 2019). Tais valores obtidos contrapõem a menor absorção destes nutrientes no estágio de plântula (MALAVOLTA et al., 1981). O acréscimo pode ser resultado dos teores de matéria orgânica dos solos florestais usados nesse experimento (SEGALLA, 2017), assim como as formas assimiláveis de fósforo (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}), enxofre (SO_4^{2-}) e magnésio (Mg^{2+}) presentes nos solos, influenciadas pelos valores do pH (SEGINK, 2003; SEGALLA, 2017; SILVEIRO, 2017), favorecendo maior absorção desses nutrientes pela planta.

As plântulas de arroz de sequeiro apresentaram teores de N e K inferiores aos recomendados ao cultivo (NEPAR-SBCS, 2019). A menor concentração do N no tecido vegetal é devido a sua baixa exigência no estágio inicial de desenvolvimento (ALVARES et al., 2006). Por outro lado, Hernandez et al. (2010) ao avaliar a folha bandeira, observaram teores de N-foliar próximos ao adequado ao cultivo do arroz. Similar ao observado para o N, a menor concentração de K pode ser devido ao estágio imaturo do arroz, já que é no estágio reprodutivo do arroz, na formação das panículas, que essa planta acumula maiores teores deste nutriente (MALAVOLTA et al., 1981). Semelhante ao N e K, a menor absorção de Ca acontece no início do desenvolvimento do arroz de sequeiro (MALAVOLTA et al., 1981). Entretanto, o nível de Ca encontrou-se adequado no tecido vegetal (NEPAR-SCBS, 2019). Possivelmente, este resultado esteja ligado aos altos teores deste nutriente presente nos solos de TPI usados neste trabalho (SEGALLA, 2017).

Os micronutrientes são exigidos em menor proporção pelas plantas. Entretanto, observou-se concentração de Cu, Fe, Mn, Ni e Zn acima do ideal ao cultivo do arroz de sequeiro (NEPAR-SBCS, 2019). A elevada concentração desses nutrientes está atrelada ao menor efeito de diluição por unidade de massa produzida (TOMIO et al, 2015). Nas profundidades avaliadas, houve menor absorção dos micronutrientes B, Fe, Zn, Ni e Cu pelas plântulas de arroz de sequeiro nos solos. Possivelmente, os altos teores de bases (Ca e Mg), P e S presente nas TPIs limitaram a absorção (SEGALLA, 2017), haja que, com o desequilíbrio dos nutrientes

no solo, aumenta o grau de interação antagônica, levando a menor disponibilidade às plantas (MOTTA et al., 2007).

A interação entre Zn e B tem sido exposta na literatura por alguns autores, como por exemplo: em porta-enxertos de caramboleira a absorção de P e S foi influenciada pela disponibilidade do B (XAVIER; NATALE, 2016). Já Araújo e Silva (2012), observaram que a disponibilidade de B influencia na concentração de Ca e Mg em raízes e frutos do algodoeiro (*Gossypium hirsutum L.*). Entretanto, Dursun et al. (2010) ao avaliar a cultura de pimenta, pepino e tomate, verificaram que o aumento de doses de B teve efeito negativo na disponibilidade de Ca e Mg às plantas. A relação Ca/B afeta a disponibilidade a vários nutrientes de forma antagônica e sinérgica. No caso do Fe afeta de forma negativa, mas para os nutrientes K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn o efeito é positivo (TARIQ; MOTT, 2006).

O desenvolvimento da agricultura na TPI deve tomar em conta possíveis desbalanços nutricionais nas lavouras, ocasionados pela alta disponibilidade de alguns macro e micronutrientes nesses solos. De modo geral, as bases (Ca e Mg), os constituintes da matéria orgânica (N e S) e micronutrientes (B, Fe, Zn e Mn) tiveram relação direta com crescimento das plântulas de arroz de sequeiro, mostrando a importância do equilíbrio nutricional dos nutrientes no solo e na planta.

3.7 CONCLUSÃO

1 – As bases (Ca e Mg), P e S apresentaram teores adequados, enquanto as concentrações de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) estiveram acima do recomendado ao cultivo de arroz de sequeiro;

2 – A biomassa do arroz de sequeiro esteve diretamente influenciada pelas bases (Ca e Mg), os constituintes da matéria orgânica (N e S) e os micronutrientes (Fe, Zn, Mn e B);

3 – Os altos teores de macronutrientes (Ca, Mg, P e S) contribuem ao desbalanço dos micronutrientes (B, Fe, Zn, Ni e Cu).

3.8 REFERÊNCIAS

ABREU C. A.; LOPES A. S.; SANTOS G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS R. F., ALVAREZ V. V. H., BARROS N. F., FONTES R. L. F., CANTARUTTI R. B., NEVES J. C. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, p. 645-736, 2007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift*, v.22, p. 711–728, 2013, doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVAREZ, R. C. F. et al. Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. **Científica**, Jaboticabal, v. 2, p. 162-169, 2005.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2 ed. Wallingford: CAB International, 1993.

ARAÚJO, É. D. O.; DA SILVA, M. A. C. Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. SUPPL, p. 720–727, 2012.

BARBOSA, J. Z. et al. Elemental signatures of an Amazonian Dark Earth as result of its formation process. **Geoderma**, v. 361, 2020.

BEVERLY, R. B. Fertilizer use efficiency modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of 'Valencia' oranges. **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v.10, n. 9-16, p. 1401-1408, 1987

CATANI R. A; BERGAMIN F. H. Sobre uma modificação no método de Neubauer. Piracicaba, p. 287-299, 1961.

CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 91–98, 2007.

DANCEY C. P; REIDY J. Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows. **Porto Alegre: Artmed**; 2006.

DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S.; PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; PEREZ, D.V.; SOUZA, F. R.; BERGAMIN, A. C.; DELARMELINDA, E. A. Normal nutrient ranges and nutritional monitoring of “Pêra” orange trees based on the CND method in different fruiting stages. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 52, n. 9, p. 776–785, 2017.

DURSUN, A. et al. Effects of boron fertilizer on tomato, pepper, and cucumber yields and chemical composition. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 13, p. 1576–1593, 2010.

EMBRAPA SOLOS. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, DF, 2009.

EMBRAPA. **Limpeza de Areia para Experimentos em Nutrição de Plantas**. Dourados: [s.n.], v. 232, 2018.

FALCÃO N.; MOREIRA A.; COMENFORD N.B. A Fertilidade dos solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central. Embrapa Pecuária Sudeste, In: TEIXEIRAS, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). As terras pretas de índio da Amazona: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. **Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental**, p. 189-200, 2009.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí (Carica papaya L.). **Acta Amazônica**, v. 36, p. 401-406, 2006.

FERREIRA, A. K. C. **Avaliação de métodos de análises químicas de nutrientes em tecido vegetal**. 2014. 91f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2014.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**. v.28, p.101–101, 1998, doi:10.1590/1809-43921998282126.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de índio). **Geochim Cosmochim Acta**, v.82, p.39–51, 2012, doi:10.1016/j.gca.2010.11.029.

HERNANDES, A. et al. Doses, sources and periods of nitrogen application in rice cultivars. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 307–312, 2010.

HERRERA, C. E. F. **Nutripriming, com cobre e manganês em sementes de trigo**. 2016. 85f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2016.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. **O solo como registro de ocupação humana pré-histórica na Amazônia**. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 277-320, 2005.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 219-225, 1989.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal**, v.93, p.802-808, 2001.

MACEDO, R.S., TEIXEIRA, W.G., LIMA, H.N., DE SOUZA, A.C.G., SILVA, F.W.R., Encinas, O.C., Neves, E.G. Amazonian dark earths in the fertile floodplains

of the Amazon River, Brazil: An example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v.14, p.207–227, 2019, doi:10.1590/1981-81222019000100013.

MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a nutrição mineral do arroz: XIII. efeitos das deficiências de micronutrientes nas variedades IAC-25 e IAC-47. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 38, n. 2, p. 669–686, 1981.

MOREIRA A.; TEIXEIRA W. G.; MARTINS G. C.; FALCÃO N. P. S. Métodos da caracterização química de amostras de horizontes antrópicos das Terras Pretas de Índio. In: Teixeira W. G., Kern D. C., editors. *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa, 1 ed. **Manaus: Doralice Campos Castro**, p. 201-211, 2009.

MOREIRA F. M. S; SIQUEIRA J. O. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Atual. e ampl. – Lavras: Editora UFLA, p. 729, 2006.

MOTTA A. C. V.; SERRAT B. M.; REISSMANN C. B.; DIONÍSIO J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. 1 ed. Curitiba: Edição do autor, 2007. 246 p.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENTE, S. E.; PARENT, L.E. Soil Acidity and Liming in Tropical Fruit Orchards. **Soil Fertility**, 2012.

NATALE, W.; ROZANE, D. E. Análise de solo, folhas e adubação de frutíferas. **Registro: Unesp**, p.124, 2018.

NEPAR-SBCS. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Núcleo Estadual do Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

PARENT L. E. Diagnosis of the nutriente compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p.321-334, 2011.

PARENT, L.E.; DAFIR, M. A theoretical concept of Compositional Nutrient Diagnosis. **Amican Society for Horticultural Science**, v.117, p.239-242, 1992.

QUESADA, C.A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATIÑO, S.; BAKER, T.R.; CZIMCZIK, C.; FYLLAS, N.M.; MARTINELLI, L.; NARDOTO, G.B.; SCHMERLER, J.; SANTOS, A.J.B.; HODNETT, M.G.; HERRERA, R.; LUIZÃO, F.J.; ARNETH, A.; LLOYD, G.; DEZZEO, N.; HILKE, I.; KUHLMANN, I.; RAESSLER, M.; BRAND, W.A.; GEILMANN, H.; FILHO, J.O.M.; CARVALHO, F.P.; FILHO, R.N.A.; CHAVES, J.E.; CRUZ, O.F.; PIMENTEL, T.P.; PAIVA, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*. **South America Soil Map**, v. 7, p.1515–1541, 2010, doi:10.5194/bg-7-1515-2010.

RESENDE A. V. Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas. **CETEM**, p. 37, 2005.

ROOSEVELT, A. C.; DOUGLAS, J.; BROWN, L. The migrations and adaptations of the first Americans: clovis and pré-clovis viewed from South America. In: JABLONSKI, N. (Ed.). *The first Americans, the pleistocene colonization of the new world*. San Francisco: **Memoirs of the California Academy of Sciences**, p. 159-235, 2002.

ROYO J. Terra Preta de Índio: Solo fértil e resistente na bacia Amazônica. Embrapa, 2015. Disponível em: <http://www.territoriorural.com.br/EMBRAPA/EMBRAPA_SOLOS/EMBRAPA_SOLO_S-11.html>. Acesso em 24 jul. 2018.

ROZANE, D. E. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Cientifica**, v. 44, n.1, p.102-112, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p102-112>.

SARMENTO, P. et al. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 1, p. 27–34, 2008.

SENGIK, E. S. OS macronutrientes e os micronutrientes das plantas, p. 1-22, 2003.

SEGALLA R. F. **Atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes da Amazônia.** 2017. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SILVA, J. J. C. Variabilidade Espacial Dos Atributos Do Solo Com Horizonte a Antrópico Sob Diferentes Usos No Sul Do Amazonas. p. 100, 2017.

SILVA, G. G. C. et al. Nutritional diagnosis for eucalypt by dris, m-dris, and cnd. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 507-515, 2004.

SILVÉRIO, J. M. DE O. O papel da marófito aquática emersa Montrichardia linifera (Araceae) na ciclagem de fósforo e na bioacumulação de metais pesad em um sistema fluvial sob efeitos da urbanização. p. 103, 2017. South America Soil Map. n. C, p. 1992, 1992.

SILVA F. W. R., LIMA H. N., GERALDES T. W., MOTTA M. B., SANTANA R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v.35, n.3, p.673-681, 2011.

SOMBRÖEK, W. G. Amazon soils: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. **Wageningen: Centre for Agricultural Publications and Documentation**, p.262, 1966.

SHAHBAZ, M.; KUZYAKOV, Y.; HEITKAMP, F. Decrease of soil organic matter stabilization with increasing inputs: Mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 304, p. 76–82, 2017.

SMITH, N. J. Anthrosols and human carrying capacity in Amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, p.553-566, 1980.

TARIQ, M.; MOTT, C. J. B. Influence of applied calcium-boron ratio on the

solubility of nutrient-elements in soil. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 1, n. 3, p. 1–7, 2006.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; MACEDO, R. S.; JUNIOR, A. F.; MOREIRA, A.; BENITES, V. M.; STEINER, C. **As propriedades físicas e hídricas dos horizontes antrópicos das Terras de Índio na Amazônia Central**. In: Teixeira W. G., Kern D. C., editors. *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa, 1 ed. Manaus: Doralice Campos Castro, p. 242-250, 2009.

TOMIO, D. B. et al. Antecipação da diagnose foliar em arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 250–258, 2015.

XAVIER, C. V.; NATALE, W. Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de caramboleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, p. 6-13, 2017.

ZHAO, M.; ZHANG, H.; YAN, H.; QIU, L.; BASKIN, C. C. Mobilization and role of starch, protein, and fat reserves during seed germination of six wild grassland species. **Frontiers in plant Science**, v.9, p.1–11, 2018.

4 CONCLUSÃO GERAL

As terras pretas da região Amazônica foram criadas ao longo dos anos por povos pré-colombianos, e apresentam características contrastantes em relação aos solos adjacentes. Como pode ser observado neste trabalho, as TPIs contêm maiores teores de Mn e Zn disponível, mas menores teores de Fe disponível que os solos adjacentes. O uso agrícola das TPIs não tem efeito muito grande na quantidade de micronutrientes no solo, havendo redução apenas de nos teores de Fe em Porto Velho e de Mn em Porto Velho. Devido à alta disponibilidade de alguns macro e micronutrientes nas TPIs, deve-se ter cuidado com relação a possíveis desbalanços nutricionais nas plantas cultivadas em TPIs. O arroz de sequeiro cultivado nas TPIs apresentou desequilíbrio nutricional, diretamente relacionado ao crescimento das plantas. Contudo, o arroz nos solos adjacentes também mostrou desbalanço nutricional, ressaltando a importância do equilíbrio dos nutrientes na solução do solo em ambos os solos, visando uma nutrição adequada das plantas.

5 REFERÊNCIAS

ABREU C. A.; LOPES A. S.; SANTOS G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS R. F., ALVAREZ V. V. H., BARROS N. F., FONTES R. L. F., CANTARUTTI R. B., NEVES J. C. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, p. 645-736, 2007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift*, v.22, p. 711–728, 2013, doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVAREZ, R. C. F. et al. Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. **Científica**, Jaboticabal, v. 2, p. 162-169, 2005.

ALMEIDA, L. S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística para determinação e modelagem da variabilidade espacial de micronutrientes no solo cultivado com cafeeiro no município de Araguari–MG. **Cultura Agrônômica**, v. 26, p. 158-173, 2017.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. **Wallingford: CAB International**, Berlim, 1992.

AQUINO, R. E. Assinatura espectral em terra preta de índio na amazônia brasileira. 2017.

Arroyo-Kalin, M. Slash-burn-and-churn: Landscape history and crop cultivation in pre-Columbian Amazonia. **Quaternary International**, v.249, p.4-18. 2012, doi:10.1016/j.quaint.2011.08.004.

ARAÚJO, É. D. O.; DA SILVA, M. A. C. Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. SUPPL, p. 720–727, 2012.

BARBOSA, J. Z. et al. Elemental signatures of an Amazonian Dark Earth as result of its formation process. **Geoderma**, v. 361, n. March 2019, p. 114085, 2020.

BROSSI, M. J. L.; MENDES, L. W.; GERMANO, M. G. Assessment of bacterial bph gene in Amazonian Dark Earth and their adjacent soils. **Plos one**, v. 9, n. 6, p. 1–12, 2014.

BEVERLY, R. B. Fertilizer use efficiency modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of 'Valencia' oranges. **Journal of Plant Nutrition**, [S.l.], v.10, n. 9-16, p. 1401-1408, 1987

CATANI R. A; BERGAMIN F. H. Sobre uma modificação no método de Neubauer. Piracicaba, p. 287-299, 1961.

CARSON, J. F.; WHITNEY, B. S.; MAYLE, F. E.; IRIARTE, J.; PRUMERS, H.; SOTO, J. D.; WATLING, J. Environmental impact of geometric earthwork construction in pre-Columbian Amazonia. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 10497–10502, 2014, doi:10.1073/pnas.1321770111.

CASTRO, O.; HEITOR, C.; SIDNEY, R. V.; SONIA, C. F. D. Terores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois Latossolos sob plantio direto e convencional. **Bragantina**, Campinas, v. 51, p. 77-84, 1992.

CAVALLI, E. et al. Decomposition and release of nutrients from crop residues on soybean-maize cropping systems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. 1–8, 2018.

CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 91–98, 2007.

CLEMENT, C. R.; DENEVAN, W. M.; HECKENBERGER, M. JI. The domestication of Amazonia before European conquest. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, p. 20150813, 2015.

DANCEY C. P.; REIDY J. Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows. **Porto Alegre: Artmed**; 2006.

DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J. J.; GIOIA, C. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S23–S38, 2006.

DEMETRIO, W. **Soil macroinvertebrates and soil quality in amazonian dark earths and adjacent soils**. 2019, 121 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S.; PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; PEREZ, D.V.; SOUZA, F. R.; BERGAMIN, A. C.; DELARME LINDA, E. A. Normal nutrient ranges and nutritional monitoring of “Pêra” orange trees based on the CND method in different fruiting stages. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 52, n. 9, p. 776–785, 2017.

DURSUN, A. et al. Effects of boron fertilizer on tomato, pepper, and cucumber yields and chemical composition. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 13, p. 1576–1593, 2010.

EDEN M. J; BRAY W; HERRERA L. “Terra Preta” soils and their archaeological context in the Caqueta basin of southeast Colombia. **American Antiquity**. v.49, p.125-140,1984.

Embrapa solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, DF, 2009.

EMBRAPA. **Limpeza de Areia para Experimentos em Nutrição de Plantas**. Dourados: [s.n.], v. 232, 2018.

FALCÃO N. P.S.; SILVA J. R. A. Phosphorus adsorption characteristics in some Central Amazonian soils. **Acta Amazonica**. v.34, n.3, 2004, <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672004000300001>.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí (*Carica papaya* L.). **Acta Amazônica**, v. 36, p. 401-406, 2006.

FALCÃO N.; MOREIRA A.; COMENFORD N.B. A Fertilidade dos solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central. Embrapa Pecuária Sudeste, In: TEIXEIRAS, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). As terras pretas de índio da Amazona: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. **Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental**, p. 189-200, 2009.

FAO/UNESCO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). Soil map of the world - South America. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils/docs/Soil_map_FAOUNESCO/acrobat/South_America_IV.pdf>.

FERREIRA, A. K. C. **Avaliação de métodos de análises químicas de nutrientes em tecido vegetal**. 2014. 91f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2014.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**. v.28, p.101–101, 1998, doi:10.1590/1809-43921998282126.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of Central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, p. 187-196, 2007.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de índio). **Geochim Cosmochim Acta**, v.82, p.39–51, 2012, doi:10.1016/j.gca.2010.11.029.

HECKENBERGER M. J.; RUSSEL J. C.; TONEY J. R.; SCHMIDT M. J. The legacy of cultural landscapes in the Brazilian Amazon: implications for biodiversity. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, p. 197-208, 2007.

HERNANDES, A. et al. Doses, sources and periods of nitrogen application in rice cultivars. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 307–312, 2010.

HERRERA, C. E. F. **Nutripriming, com cobre e manganês em sementes de trigo**. 2016. 85f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2016.

HEIDAK, M. O.; GLASMACHER, U. A.; SCHÖLER, H. F. A comparison of micronutrients (Mn, Zn, Cu, Mo, Ni, Na) within rocks, soils, and leaves, from fallow agricultural lands and natural laurel forest areas (Tenerife, Canary Islands, Spain). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 136, p. 55–64, 2014.

HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; TER STEEGE, H.; BERMUDEZ, M.A.; MORA, A.; SEVINK, J.; SANMARTÍN, I.; SANCHEZ-MESEGUER, A.; ANDERSON, C.L.; FIGUEIREDO, J.P.; JARAMILLO, C.; RIFF, D.; NEGRI, F.R.; HOOGHMESTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; SÄRKINEN, T.; ANTONELLI, A. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. **Science**, v.80. 330, p.927–931, 2010, doi:10.1126/science.1194585.

INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). Monitoring of the Brazilian Amazonian Forest by Satellite, 2004-2017. Disponível em: Acesso em: 1 ago. 2018.

INPE: pág. da internet http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2003
Jordan CF, Herrera, R. Les forêts ombrofiles tropicales: les elements nutritifs sontils réellement un facteur critique? *Nature et Ressources*, v. 17,p.8- 15. 2003.

IUSS WORKING GROUP WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: World Soil Resources reports, n. 106, 2015. World Soil.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. **O solo como registro de ocupação humana pré-histórica na Amazônia.** In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 277-320, 2005.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná - Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.219-225, 1989.

KERNDORFF, H.; SCHNITZER, M. Sorption of metals on humic acid. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 44, n. 11, p. 1701–1708, Nov. 1980.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **International Plant Nutrition Institute**, v. 118, p. 1-24, 2007.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal**, v.93, p.802-808, 2001.

LATHUILLIÈRE, M. J.; DALMAGRO, Higo J.; BLACK, T. A. Rain-fed and irrigated cropland-atmosphere water fluxes and their implications for agricultural production in Southern Amazonia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256–257, p. 407–419, 2018.

LAWRENCE, D.; VANDECAR, K.. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 1, p. 27–36, 2015.

LEVIS, C.; FLORES, B. M.; MOREIRA, P. A. How people domesticated Amazonian forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, p. 1–21, 2018.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols”(“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, n. 1, p. 1–17, 2002.

LINS J. Terra Preta de Índio: uma lição dos povos pré-colombianos da Amazônia. **Revista Agricultura: experiências em agroecologia**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 37-4, 2015.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; SOUZA, A. C. G.; SILVA, F. W. R.; ENCINAS, O. C.; NEVES, E. G. Amazonian dark earths in the fertile floodplains of the Amazon River, Brazil: An example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. *Bol. do Mus. Para. Emilio Goeldi Ciencias Humanas*, v.14, p. 207–227. 2019, doi:10.1590/1981-81222019000100013.

MAEZUMI, S. Y.; ROBINSON, M.; SOUZA, J. New insights from pre-Columbian land use and fire management in Amazonian dark earth forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 1–23, 2018.

MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a nutrição mineral do arroz: XIII. efeitos das deficiências de micronutrientes nas variedades IAC-25 e IAC-47. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 38, n. 2, p. 669–686, 1981.

MAGALHÃES, S. S. A.; WEBER, O. L. S.; SANTOS, C. H.; VALADÃO, F. C. A. Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do oeste-RO. **Acta Amazônica**. 43, 63–72, 2013, doi:10.1590/S0044-59672013000100008.

MCMICHAEL, C H; PALACE, M W; BUSH, M B. Predicting preColumbian anthropogenic soils in Amazonia. **Proceedings of the Royal Society**, p. 2–9, 2014.

MICHELON, C. J. et al. Soil attributes and yield of corn cultivated in succession to winter cover crops. **Revista de Ciências Agroveterinarias**, v. 18, n. 2, p. 230–239, 2019.

MINERVINI, M. G.; MORRÁS, H. J. M.; TABOADA, M. Á. Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. **Ecología Austral**, v. 28, n. 1, p. 012–027, 2018.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MARTIN NETO, L. Provável mecanismo em liberação do manganês no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília , n. 6, v. 28, p. 725-731, 1993.

MOLINE, E. F. DA V.; COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista de Ciências Agrarias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 1, p. 14–20, 2015.

MOREIRA F. M. S; SIQUEIRA J. O. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Atual. e ampl. – Lavras: Editora UFLA, p. 729, 2006.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K. Soil chemical attributes of Amazonas State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. V.40, p.2912–2925. 2009, doi:10.1080/00103620903175371.

MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Extratores e disponibilidade de micronutrientes em terra preta de índio da amazônia central. **Ciencia del Suelo**, v. 27, p.127–134, 2009.

MOREIRA A.; TEIXEIRA W. G.; MARTINS G. C.; FALCÃO N. P. S. Métodos da caracterização química de amostras de horizontes antrópicos das Terras Pretas de Índio. In: Teixeira W. G., Kern D. C., editors. As Terras Pretas de Índio da Amazônia:

sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa, 1 ed. **Manaus: Doralice Campos Castro**, p. 201-211, 2009.

MOTTA A. C. V.; SERRAT B. M.; REISSMANN C. B.; DIONÍSIO J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. 1 ed. Curitiba: Edição do autor, p.246, 2007.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENTE, S. E.; PARENT, L.E. Soil Acidity and Liming in Tropical Fruit Orchards. **Soil Fertility**, 2012.

NATALE, W.; ROZANE, D. E. Análise de solo, folhas e adubação de frutíferas. **Registro: Unesp**, p.124, 2018.

NEPAR-SBCS. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Núcleo Estadual do Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B.; BARTONE, R. N. The timing of Terra Preta formation in the central Amazon: archaeological data from three sites. In: GLASER, Bruno; WOODS, W. I. (Orgs.). *Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time*. **Berlin: Springer**, p. 125–134, 2004.

OLIVEIRA, I. A. DE. Suscetibilidade magnética da terra preta arqueológica amazônica. 2017.

PARENT L. E. Diagnosis of the nutriente compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p.321-334, 2011.

PARENT, L.E.; DAFIR, M. A theoretical concept of Compositional Nutrient Diagnosis. **Amican Society for Horticultural Science**, v.117, p.239-242, 1992.

PEREIRA, P.; UBEDA, X.; MARTIN, D. Heavy metals released from leaf litter exposed to different fire temperatures. A laboratory experiment. **Sustainable Development Strategy and Practise**, v. 1, p. 137-154, 2011.

QUESADA, C.A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATIÑO, S.; BAKER, T.R.; CZIMCZIK, C.; FYLLAS, N.M.; MARTINELLI, L.; NARDOTO, G.B.; SCHMERLER, J.; SANTOS, A.J.B.; HODNETT, M.G.; HERRERA, R.; LUIZÃO, F.J.; ARNETH, A.; LLOYD, G.; DEZZEO, N.; HILKE, I.; KUHLMANN, I.; RAESSLER, M.; BRAND, W.A.; GEILMANN, H.; FILHO, J.O.M.; CARVALHO, F.P.; FILHO, R.N.A.; CHAVES, J.E.; CRUZ, O.F.; PIMENTEL, T.P.; PAIVA, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*. **South America Soil Map**, v. 7, p.1515–1541, 2010, doi:10.5194/bg-7-1515-2010.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena. 2015.

RESENDE A. V. Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas. **CETEM**, p. 37, 2005.

ROYO J. Terra Preta de Índio: Solo fértil e resistente na bacia Amazônica. Embrapa, 2015. Disponível em: <http://www.territoriorural.com.br/EMBRAPA/EMBRAPA_SOLOS/EMBRAPA_SOLO_S-11.html>. Acesso em 24 jul. 2018.

ROOSEVELT, A. C.; DOUGLAS, J.; BROWN, L. The migrations and adaptations of the first Americans: clovis and pré-clovis viewed from South America. In: JABLONSKI, N. (Ed.). *The first Americans, the pleistocene colonization of the new world*. San Francisco: **Memoirs of the California Academy of Sciences**, p. 159-235, 2002.

ROZANE, D. E. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Cientifica**, v. 44, n.1, p.102-112, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p102-112>.

SANTOS NETO, V.; LIMA, L. C.; CARDOSO, A. F.; LANA, R. M. Q.; TORRES, J. L. R. Micronutrientes na cultura da soja em sistema plantio direto em solos do cerrado sob condições adversas. **Scientific Electronic Archives**, v. 11, p. 33-39, 2018.

SANTOS, A. L. C. **Mineralogia e matéria orgânica de Terra Preta arqueológica e solos adjacentes não antrópicos na Região do Apuí Amazonas**. 2018, 175f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

SANTOS-MOURA, S. S.; GONÇALVES, E. P.; VIANA, J. S.; PAIVA, L. G.; MOURA, M. F. Potencial fisiológico de sementes de feijão tratadas com micronutrientes. **Diversitas Journal**, v. 4, p. 1119-1129, 2019.

SARMENTO, P. et al. Sistema radicular do Panicum maximum Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 1, p. 27–34, 2008.

SEGALLA R. F. **Atributos químicos e físicos de Terras Pretas de Índio e solos adjacentes da Amazônia**. 2017. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SENGIK, E. S. OS macronutrientes e os micronutrientes das plantas, p. 1-22, 2003.

SILVA F. W. R.; LIMA H. N.; GERALDES T. W.; MOTTA M. B.; SANTANA R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.35, n.3, p.673-681, 2011.

SILVA, J. J. C. Variabilidade Espacial Dos Atributos Do Solo Com Horizonte a Antrópico Sob Diferentes Usos No Sul Do Amazonas. p. 100, 2017.

SILVA, G. G. C. et al. Nutritional diagnosis for eucalypt by dris, m-dris, and cnd. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 507-515, 2004.

SIQUEIRA P. R. E.; SIQUEIRA. P. B. Disponibilidade de Micronutrientes nas Lavouras de Soja da Região da Campanha. **Revista Jornada de pós-graduação e pesquisa**, p.1-8, 2010.

SILVÉRIO, J. M. DE O. O papel da marófito aquática emersa Montrichardia linifera (Araceae) na ciclagem de fósforo e na bioacumulação de metais pesad em um sistema fluvial sob efeitos da urbanização. p. 103, 2017. South America Soil Map. n. C, p. 1992, 1992.

SMITH N. J. Anthrosols and human carrying capacity in Amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, p.553-566, 1980.

SOMBROEK, W; RUIVO, M L; FEARNside; PHILIP M. Anthropogenic Dark Earths as Carbon Stores and Sinks. In: LEHMANN, Johannes; KERN, D C; GLASER, B; et al (Orgs.). Amazonian Dark Earths: Origin, properties, management. **Dordrecht: Springe**, p. 125–139, 2004.

SHAHBAZ, M.; KUZYAKOV, Y.; HEITKAMP, F. Decrease of soil organic matter stabilization with increasing inputs: Mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 304, p. 76–82, 2017.

STEINER, F.; COSTA, M. S. S.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G. Disponibilidade de micronutrientes no sistema plantio direto, na presença e ausência de plantas de cobertura submetido a diferentes fontes de fertilizantes. **Global science and technology**, v. 4, p. 28-37, 2011.

TAKETANI, R. G.; LIMA, A. B.; CONCEIÇÃO JESUS, E. Bacterial community composition of anthropogenic biochar and Amazonian anthrosols assessed by 16S rRNA gene 454 pyrosequencing. *Antonie van Leeuwenhoek*, **International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 104, n. 2, p. 233–242, 2013.

TARIQ, M.; MOTT, C. J. B. Influence of applied calcium-boron ratio on the solubility of nutrient-elements in soil. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 1, n. 3, p. 1–7, 2006.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; MACEDO, R. S.; JUNIOR, A. F.; MOREIRA, A.; BENITES, V. M.; STEINER, C. **As propriedades físicas e hídricas dos horizontes antrópicos das Terras de Índio na Amazônia Central**. In: Teixeira W. G., Kern D. C., editors. *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa, 1 ed. Manaus: Doralice Campos Castro, p. 242-250, 2009.

TOMIO, D. B. et al. Antecipação da diagnose foliar em arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 250–258, 2015.

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 Agroambiente on-Line**, v. 5, p.158, 2011. doi:10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562.

VIANA, S.F.; CÉSAR, M.; CAMPOS, C.; MAURÍCIO, J.; BARROS, W. Variabilidade espacial dos atributos químicos em terra preta de índio cultivada na região de Novo Aripuanã, AM Spatial variability of chemical attributes in cultivated archeological dark earth in Novo Aripuanã region. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, p.53–58, 2016.

WATLING, J.; SHOCK, M. P.; MONGELÓ, G. Z. Direct archaeological evidence for Southwestern Amazonia as an early plant domestication and food production centre. **Plos One**, v. 13, n. 7, 2018.

XAVIER, C. V.; NATALE, W. Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de caramboleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, p. 6-13, 2017.

ZHAO, M.; ZHANG, H.; YAN, H.; QIU, L.; BASKIN, C. C. Mobilization and role of starch, protein, and fat reserves during seed germination of six wild grassland species. **Frontiers in plant Science**, v.9, p.1–11, 2018.