



ARTIGO

Durval Nolasco das Neves Neto^{1*}
Antônio Clementino dos Santos¹
Sabino Pereira da Silva Neto²

¹Universidade Federal do Tocantins – UFT,
BR 153, Km 112, 77804-970,
Araguaína, TO, Brasil
²Instituto Federal do Tocantins – IFTO,
Gurupi, TO, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: durval.nolasco@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Amazônia Legal
Degradação de pastagem
Fertilidade do solo
Solo tropical
Uso do solo

KEYWORDS

Legal Amazon
Pasture degradation
Soil fertility
Tropical soil
Land use

Atributos físicos e químicos do solo em ecossistema de capim-mombaça na Amazônia Oriental

Physical and chemical attributes of soil in ecosiste of Mombaça grass in the eastern Amazon

RESUMO: A atividade pecuária figura como a base da produção da região amazônica; porém, as áreas destinadas às pastagens se encontram, na grande maioria, degradadas ou em processo de degradação em função de um conjunto de fatores: má formação das áreas, manejo inadequado, baixa fertilidade do solo da região, elevada acidez e alta toxicidade por alumínio. O objetivo deste trabalho foi caracterizar as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Amarelo distrófico típico, após conversão da mata secundária para pastagens de *Panicum maximum* cv. Mombaça, com diferentes idades de formação. Foram analisadas amostras de solo coletadas a 0-7 cm e 7-15 cm de profundidade, sob mata secundária e sob pastagens com um, dois e três anos de formação. O experimento foi realizado em arranjo fatorial quatro (tempo de formação) × dois (profundidade), com 20 repetições. Dentre as características químicas do solo, somente o potássio não foi afetado na profundidade e no tempo de formação das pastagens; todas as propriedades físicas do solo foram influenciadas pela profundidade e em relação à mudança nos sistemas de mata secundária e pastagens com um, dois e três anos de formação. A conversão da floresta, na Amazônia Oriental, em pastagens de capim-mombaça influenciou a maioria das características químicas e físicas do solo. As características químicas apresentaram uma ligeira melhoria, seguida de uma diminuição ao longo do tempo de formação das áreas de pastagens. As propriedades físicas do solo foram afetadas negativamente com o aumento do tempo de manejo dos pastos.

ABSTRACT: Cattle raising is the production basis of the Amazon region, but the land intended for grazing is, in most cases, degraded or under degradation process due to a combination of factors: inadequate formation, inappropriate handling, low fertility of the local soil, high acidity, and high aluminum toxicity. The purpose of this research was to characterize the influence of forage formation time on the chemical and physical characteristics of Ultisol after the conversion of secondary forest into pasture of *Panicum maximum* cv. Mombasa grass with different formation ages. Soil samples collected at 0-7 cm and 7-15 cm depths under secondary forest and pastures with one, two and three years of formation were analyzed. The experiment was carried out at four (formation time) × two (depth) factorial arrangement with 20 replications. Among the soil chemical characteristics, only potassium was not affected by the depth and formation time of pastures; all soil physical properties were influenced by depth and in relation to changes in the systems of secondary forest and pastures with one, two and three years of formation. The conversion of forest into Mombasa grass pasture in the eastern Amazon has influenced most of the chemical and physical characteristics of the local soil. The chemical characteristics presented a slight improvement, followed by a decrease over the time of pasture area formation. The physical properties of the local soil were negatively affected by the increase of pastures handling time.

Recebido: 23/01/2012

Aceito: 28/05/2012

1 Introdução

A região amazônica destaca-se por apresentar um mosaico de fatores que envolvem vários tipos de solos e de ambientes aquáticos, além de uma alta diversidade de fauna e flora, dando origem a um ecossistema complexo. Nesta região, há predominância dos Latossolos Amarelos e Argissolos, solos bem desenvolvidos, o que lhes confere boas características físicas; porém, há fortes limitações nutricionais, destacando-se a elevada acidez, os baixos níveis de fósforo (P), além da deficiência de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (VIEIRA; SANTOS, 1987; RODRIGUES, 1996). Na medida em que sua sustentabilidade é dependente do processo de mineralização dos resíduos vegetais e animais, essa condição torna esse ecossistema frágil ao uso agrícola ou pecuário (FERREIRA et al., 2006).

A modificação do sistema natural amazônico e a conversão das áreas de floresta em pastagens plantadas promovem modificações nas propriedades físicas e químicas do solo (CORREA; REICHARDT, 1995; MULLER et al., 2001; SALIMON et al., 2007; FARIA et al., 2010). Tais modificações, associadas a fatores bióticos, abióticos e antrópicos (DIAS-FILHO, 2011), acabam culminando na queda da produtividade dessas áreas, pouco tempo após sua formação. Nesse sentido, o entendimento do comportamento dos atributos físicos e químicos do solo sob pastagem, ao longo do seu tempo de utilização, pode apresentar contribuição significativa para o desenvolvimento socioeconômico da região e, ao mesmo tempo, poderá ter reflexos positivos sobre a qualidade ambiental.

O objetivo foi caracterizar as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Amarelo distrófico típico da Amazônia Oriental, após conversão da mata em pastagens de *Panicum maximum* cv. Mombaça, com diferentes idades de formação.

2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no município de Ulianópolis (03° 43' 19" S e 47° 28' 32" W), Estado do Pará, no período de setembro de 2008 a abril de 2009. De acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta clima tipo Am (quente úmido), com temperaturas médias máximas e mínimas anuais oscilando, respectivamente, entre 32 °C e 27 °C, e os totais anuais de brilho solar variando entre valores aproximados de 1.500 horas e 2.600 h. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico, textura média, relevo suave ondulado, muito profundo e bem drenado, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

As áreas destinadas ao trabalho são formadas por uma área de mata secundária, a qual já sofreu ação parcial de desmatamento, com mais de 15 anos de idade, e por três áreas de pastagens com um, dois e três anos de formação, nas quais não foram utilizados corretivos e fertilizantes no processo de conversão mata-pasto, tendo sido formadas com *Panicum maximum* cv. Mombaça e manejadas por meio do método de pastejo contínuo, com lotação média de 0,9 UA ha⁻¹. A estrutura experimental utilizada para as análises físicas e químicas do solo foi um arranjo fatorial 4 × 2, com 20 repetições, sendo os tratamentos primários constituídos de

solo sob mata secundária e solo sob pasto com diferentes períodos de formação (um, dois e três anos); os tratamentos secundários constituíram as amostragens a 0-7 cm e 7-15 cm de profundidade, e as repetições foram constituídas pelos pontos de amostragem. A amostra coletada sob mata secundária foi considerada como controle. Com o auxílio de um trado colador, foram coletadas 20 amostras à profundidade de 0-7 cm e 7-15 cm, as quais foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados. Cada amostra foi constituída por oito subamostras, as quais foram misturadas em um balde, sendo então retirada uma amostra de aproximadamente 500 g. As subamostras foram coletadas com aproximadamente 1 m de distância uma da outra para melhor caracterização das áreas.

Após as coletas, todas as amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de malha de 2,0 mm, obtendo-se assim amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) para posteriores análises químicas no Laboratório de Solo do Curso de Zootecnia/Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Tocantins – UFT. Foram determinados: o valor de pH em CaCl₂; os teores de P e K⁺ extraíveis em Mehlich-1; os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis extraídos em KCl 1 mol L⁻¹, e a matéria orgânica, de acordo com as recomendações da Embrapa (1999). Com os valores obtidos nas análises do solo, calculou-se: a capacidade de trocas de cátions (CTC) a pH 7,0; a CTC efetiva; a soma de bases trocáveis (SB); a porcentagem de saturação por alumínio (m%), e a porcentagem de saturação por bases (V%) (EMBRAPA, 1999). A densidade do solo, a densidade de partícula e a porosidade total foram determinadas conforme Embrapa (1997).

As análises foram realizadas com auxílio do software estatístico, sendo os resultados submetidos à análise estatística descritiva para caracterização dos dados e determinação da sua normalidade; seguiu-se a análise de variância e, quando significativos (p < 0,05), foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 Resultados e Discussão

Entre as 21 correlações feitas com os atributos químicos do solo, 15 foram significativas ou altamente significantes (Tabela 1). A correlação negativa do alumínio (Al³⁺) com o pH (r = -0,87) e com o cálcio (Ca²⁺) (r = -0,74), além da correlação positiva entre Ca²⁺ (r = 0,80) e magnésio (Mg²⁺) (r = 0,17) com o pH, confirmam os resultados encontrados por Perin, Cereta e Klamt (2003) em estudo de dois Latossolos, sob mata e campo nativo, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul; segundo esses autores, com a elevação do pH do solo, o Al³⁺ trocável precipita na forma de hidróxido e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ acabam influenciando os teores de pH.

O comportamento das propriedades químicas dos solos estudados pode ser explicado por meio das ligações entre os íons Al³⁺ e os colóides do solo, que são, predominantemente, do tipo eletrostáticas. Esse fato permite que os íons Al³⁺ sejam deslocados dos seus sítios de adsorção e substituídos por íons Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ pelo simples processo de troca iônica, sendo que, na medida em que se eleva o pH, esse processo é favorecido; note-se que, além disso, na região Amazônica, a elevação do pH é seguida pela elevação da saturação das bases

(Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺), favorecendo o processo de substituição iônica. É importante lembrar que, com o aumento da quantidade de matéria orgânica no solo, este passa a ter uma maior capacidade de adsorção dos íons Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, e do P (DEMATTE; DEMATTE, 1993; ARAÚJO et al., 2011).

Das 21 correlações feitas com as propriedades físicas do solo, sete demonstraram-se significativas (Tabela 2). A fração areia apresentou a maior correlação negativa com a fração argila ($r = -0,94$), seguida da correlação da densidade do solo com a porosidade total ($r = -0,93$). A maior correlação positiva foi obtida entre densidade de partícula e porosidade total ($r = 0,61$). Observando-se a matriz de correlação das propriedades físicas do solo, notou-se que, por meio do aumento da densidade aparente, tem-se um aumento da fração silte e uma diminuição da fração argila, possivelmente em razão da compactação do solo associando-se à diminuição da porosidade total, como fator a corroborar com o processo de compactação. O aumento da fração argila promove a elevação da porosidade total, visto que essa variável possui a capacidade de influenciar positivamente na estrutura do solo (MULLER et al., 2001). Com exceção da densidade de partícula, os atributos físicos estudados não mostraram correlação significativa com a matéria orgânica do solo.

A substituição da mata secundária por pastagens e o tempo de formação destas ocasionou diferenças ($p < 0,05$) na maioria das propriedades químicas analisadas. Os diferentes sistemas nos quais foram analisados os solos apresentaram efeito sobre o pH (Tabela 3). O pH apenas apresentou diferença significativa

($p < 0,05$) a partir do segundo ano de formação das pastagens; porém, quando comparado o pH nas profundidades, todos apresentaram diferença ($p < 0,05$). Os menores valores de pH foram encontrados na mata e na pastagem com um ano de formação, resultados condizentes com os encontrados por Araújo et al. (2004) e Barreto et al. (2006), ambos os grupos estudando diferentes sistemas de uso de um Argissolo Amarelo distrófico e de um Latossolo Vermelho Amarelo, respectivamente. O baixo pH encontrado na mata deve-se à mineralização da matéria orgânica do solo, em que há a transformação do material orgânico da parte aérea das árvores em substratos orgânicos (ácidos orgânicos e húmus) e substratos inorgânicos (nitratos, fosfatos, sulfatos amoniacais, entre outros) pelos exudados ácidos liberados pelas raízes das plantas e pela adsorção dos íons H⁺ aos colóides do solo (argila e húmus), em vez dos íons Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ (MOREIRA et al., 2005; BARRETO et al., 2006; MORETI et al., 2007).

Na pastagem com um ano de formação, o baixo valor de pH pode ser explicado pelo fato de esta ser uma área recém-aberta e ainda sofrer influência do poder tampão decorrente do ecossistema anterior à mata, que confere ao solo resistência às mudanças de pH (MOREIRA; COSTA, 2004), sendo que esse atributo aumentou com o tempo de formação das áreas de pastagens em relação à mata secundária (CORREA; REICHARDT, 1995; PERIN; CERETA; KLAMT, 2003). Com relação à profundidade, foram observados maiores valores de pH na camada superficial, decorrentes da menor concentração de Al³⁺ trocável e, conseqüentemente, da maior

Tabela 1. Matriz de correlação das propriedades químicas do solo.

VA\VA	Matriz de correlação das propriedades químicas						
	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ⁺ mmol _c dm ⁻³	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Al ³⁺
pH	-	0,06	0,14	0,24	0,80	0,17	-0,87
MO	ns	-	0,64	0,16	0,42	0,57	-0,08
P	ns	**	-	0,15	0,36	0,84	-0,15
K ⁺	**	*	ns	-	0,28	0,06	-0,25
Ca ²⁺	**	**	**	**	-	0,27	-0,74
Mg ²⁺	*	**	**	ns	**	-	-0,19
Al ³⁺	**	ns	ns	**	**	*	-

**significativo no nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). *significativo no nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). ns: não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 2. Matriz de correlação das propriedades físicas do solo.

VA\VA	Matriz de correlação das propriedades físicas						
	Ds g cm ⁻³	Dp g cm ⁻³	Pt	Areia %	Silte	Argila	MO g dm ⁻³
Ds	-	-0,28	-0,93	-0,02	0,14	-0,02	0,01
Dp	**	-	0,61	0,07	-0,10	-0,03	-0,16
Pt	**	**	-	0,04	-0,16	0,01	-0,07
Areia	ns	ns	ns	-	-0,06	-0,94	-0,13
Silte	ns	ns	*	ns	-	-0,27	0,11
Argila	ns	ns	ns	**	**	-	0,09
MO	ns	*	ns	ns	ns	ns	-

**significativo no nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). *significativo no nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). ns: não significativo ($p > 0,05$); Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partícula; Pt: porosidade total; MO: matéria orgânica; VA: variáveis analisadas.

concentração dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , proporcionando menor acidez à camada superficial; esse acréscimo do pH em camada superficial também foi observado por Silva, Silva Junior e Melo (2006) em Latossolo Amarelo, no Estado do Pará.

As concentrações de Al^{3+} trocável foram afetadas pelas diferentes ocupações do solo em estudo (Tabela 3). As maiores concentrações de Al^{3+} trocável foram encontradas na camada de 7-15 cm de profundidade, sendo que a pastagem com dois anos apresentou o menor valor, seguida da pastagem com três anos de formação, os quais diferiram ($p < 0,05$) significativamente entre si, além de ambos também diferirem da pastagem com um ano de formação e da mata secundária (ARAÚJO et al., 2004). Os valores obtidos na camada superficial apresentaram o mesmo comportamento, porém com menores valores de Al^{3+} trocável. Menores concentrações de Al^{3+} nas superfícies devem-se à maior concentração das bases Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ resultante da constante mineralização da matéria orgânica, sendo confirmada essa correlação negativa (Tabela 1).

Os valores de Al^{3+} trocável dentro dos sistemas estudados mostraram que – com exceção da mata e da pastagem com um ano de formação, as quais não apresentaram diferenças ($p > 0,05$) – tende a diminuir sua concentração com o tempo de formação das pastagens, corroborando com os resultados encontrados por Oliveira et al. (2008); estes observaram menores valores de Al^{3+} trocável em pastagem em relação a áreas reabilitadas mediante a implantação de povoamentos florestais sob Latossolo Vermelho Amarelo. No entanto, no presente estudo, observou-se que, após diminuição na concentração de alumínio na pastagem com dois anos de formação, houve aumento na concentração desse elemento na área com três anos de formação.

A saturação por alumínio (m%) foi outra propriedade influenciada pelos sistemas e profundidades estudados (Tabela 3). Os valores mais altos de m% foram observados na camada mais profunda, na qual todos os sistemas apresentaram diferenças ($p < 0,05$) em relação à camada superficial. Na camada de 7-15 cm de profundidade, todos os sistemas diferiram ($p < 0,05$), sendo que o menor valor de m% foi encontrado na pastagem com dois anos e o maior, na de um ano de formação. Já na camada de 0-7 cm de profundidade os valores encontrados na mata e na pastagem com um ano de formação não tiveram diferenças ($p > 0,05$) entre si.

A profundidade e os sistemas avaliados imprimiram alterações ($p < 0,05$) à acidez potencial (H+Al). Os valores de acidez potencial tiveram diferenças ($p < 0,05$) entre as profundidades analisadas, sendo que os maiores valores foram encontrados na profundidade de 7-15 cm (Figura 1a). A acidez potencial não apresentou diferença ($p > 0,05$) entre os valores encontrados no solo sob mata secundária e pastagem com um ano de formação, sendo que estes mostraram as menores concentrações dentro dos sistemas, diferenciando ($p < 0,05$) tanto para os valores encontrados no solo sob pastagem com dois anos quanto para pastagem com três anos de formação (Figura 1b).

Os valores encontrados mostram que a acidez potencial é menor na mata e cresce na medida em que aumenta o tempo de formação das pastagens, corroborando com resultados encontrados por Matias (2003), que observou maiores valores de acidez potencial em pastagem sob Latossolo Amarelo no Sudeste baiano. Tal comportamento pode ser atribuído ao tempo de formação das pastagens, visto que, de acordo com Marin et al. (2004) e Barreto et al. (2006), as propriedades químicas do solo tiveram alterações com o manejo das áreas.

Observando-se os resultados obtidos mediante as análises dos solos sob mata e da pastagem com um, dois e três anos de formação, constata-se que os teores de P disponível são mais elevados nas camadas superficiais, os quais diferenciaram ($p < 0,05$) em todos os sistemas estudados (Tabela 4). Tais resultados concordam com Carmo et al. (2010), avaliando as características químicas de um Argissolo sob diferentes usos em Rondônia, e com Araújo et al. (2011), em um estudo do impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono em um Argissolo no bioma Amazônico. Essa diferença entre as camadas de 0-7 e de 7-15 cm de profundidade é decorrente da decomposição do material orgânico de plantas e dejetos animais, promovendo a diminuição da fixação em função do menor contato com os constituintes inorgânicos do solo (MARQUES et al., 2004). Marin et al. (2004) sugerem que 15 a 80% do fósforo disponível provém da matéria orgânica, o que é corroborado neste estudo, tendo em vista que o P disponível apresentou correlação positiva com a matéria orgânica (Tabela 1).

Entre os sistemas (Tabela 4), foi observada, na camada de 0-7 cm de profundidade, uma tendência de acréscimo nos

Tabela 3. Valores de pH, acidez potencial, alumínio e saturação por alumínio em solo sob mata secundária e pastagens com um, dois e três anos de formação.

Local	pH (CaCl_2)		Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		m (%)	
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)			
	0-7	7-15	0-7	7-15	0-7	7-15
Mata	4,63aC	3,66bC	0,33bA	0,71aA	11,88bA	39,86aB
Pasto ano 1	4,62aC	3,68bC	0,36bA	0,75aA	10,35bA	48,63aA
Pasto ano 2	5,76aA	5,10bA	0,06aB	0,12aC	1,68bB	8,35aD
Pasto ano 3	4,98aB	3,67bB	0,15bB	0,50aB	4,33bB	28,89aC
CV%	4,51		32,17		34,49	
DMS linha	0,13		0,07		4,15	
DMS coluna	0,17		0,1		5,46	

Médias seguidas de mesma letra (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não diferem entre si para o teste de Tukey ($p < 0,05$) para cada elemento analisado.

valores de P disponível na medida em que se aumenta o tempo de formação das pastagens, com exceção para os valores encontrados na pastagem com dois anos de formação, os quais não diferiram ($p > 0,05$) daqueles observados na mata. Na camada superficial, o maior valor de P foi encontrado em pastagem de um ano, que apresentou diferença ($p < 0,05$) para o pasto de três anos de formação; este teve a segunda maior concentração de P, que diferiu ($p < 0,05$) dos outros dois sistemas. Na camada de 7-15 cm de profundidade – com exceção da pastagem de dois anos de formação, que obteve o menor valor de P –, não ocorreram diferenças significativas entre os demais sistemas. A menor concentração de P disponível no solo sob pastagem com dois anos de formação se deve ao maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, pois a maior produção, nesse sistema, não se restringe tão somente à parte aérea, o que possivelmente favoreceu maior exploração do solo e resultou em maiores extrações de P pela forrageira (SILVA NETO, 2009).

Os valores de Ca^{2+} trocável no solo foram influenciados pelas variações nos sistemas (Tabela 4). A concentração de Ca^{2+} trocável na camada superficial foi maior ($p < 0,05$) do que na camada subsuperficial independentemente do sistema estudado, o que pode estar associado à mineralização da matéria orgânica, presente em maior quantidade na superfície, e à lixiviação desse íon para as camadas subsuperficiais. Os

resultados de maior concentração superficial de Ca^{2+} trocável estão de acordo com Perin, Cereta e Klamt (2003), em estudo de dois Latossolos do Planalto Médio do Rio Grande do Sul em diferentes tempos de uso, e com Ferreira et al. (2006), avaliando os nutrientes na solução de um Latossolo Amarelo em floresta de terra firme na Amazônia Central.

Em ambas as camadas estudadas, a concentração de Ca^{2+} trocável mostrou o mesmo comportamento. Inicialmente, houve queda em sua concentração na pastagem de um ano de formação em comparação à mata secundária, sendo que, em seguida, houve um aumento na pastagem com dois e três anos de formação (ARAÚJO et al., 2004; BARRETO et al., 2006). Na camada de 0-7 cm, as maiores concentrações de Ca^{2+} trocável foram encontradas em solo sob pastagem de dois e três anos de formação, que não mostraram diferença entre si ($p > 0,05$), mas diferiram ($p < 0,05$) da mata; esta, por sua vez, diferiu ($p < 0,05$) da pastagem com um ano de formação, a qual teve o menor valor de Ca^{2+} trocável.

O comportamento dos valores de Mg^{2+} trocável, dentro dos sistemas estudados, mostra o mesmo comportamento do P disponível e do Ca^{2+} trocável (Tabela 4), em que a camada de 0-7 cm apresenta valores maiores e diferentes ($p < 0,05$) da camada de 7-15 cm de profundidade. Esse comportamento concorda com os resultados obtidos por Marques et al. (2004), ao avaliarem os parâmetros físicos, químicos e hídricos de um

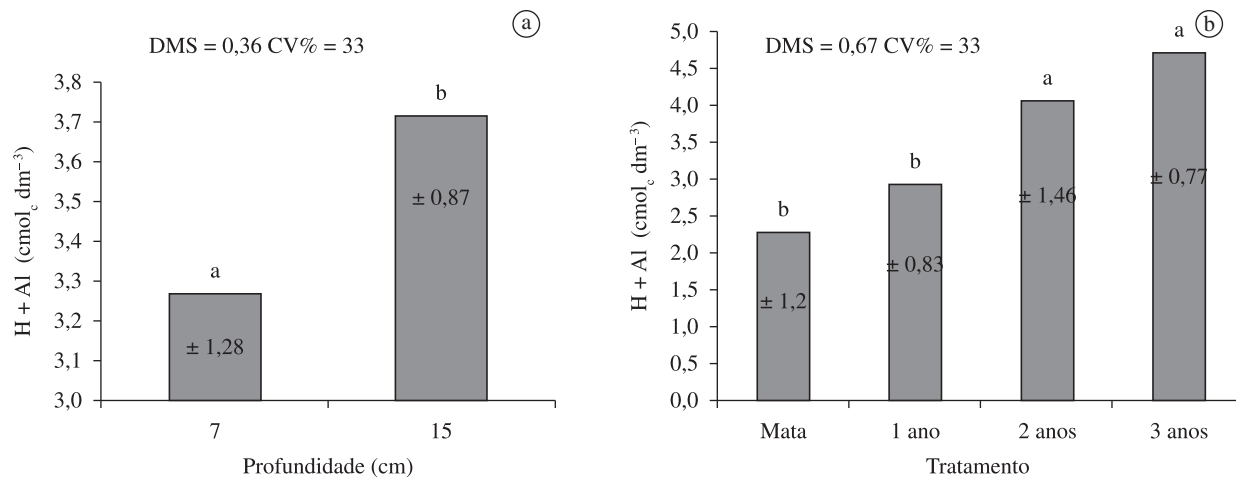


Figura 1. Acidez potencial (a) nas profundidades de 0-7 cm e 7-15 cm dentro dos quatro sistemas estudados e (b) em solo sob mata secundária e sob pastagens com um, dois e três anos de formação. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 4. Teores de fósforo, cálcio e magnésio em solo sob mata secundária e pastagens com um, dois e três anos de formação.

Local	P (mg dm ⁻³)		Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)		Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)			
	0-7	7-15	0-7	7-15	0-7	7-15
Mata	0,95aC	0,88bA	1,74aB	0,57bB	0,70aBC	0,48bB
Pasto ano 1	1,32aA	0,88bA	1,48aC	0,33bC	1,73aA	0,48bB
Pasto ano 2	0,91aC	0,80bB	2,78aA	0,87bA	0,65aC	0,49bB
Pasto ano 3	1,05aB	0,89bA	2,70aA	0,61bB	0,80aB	0,69bA
CV%	8,51		18,31		19,23	
DMS linha	0,05		0,16		0,09	
DMS coluna	0,07		0,21		0,12	

Médias seguidas de mesma letra (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não diferem entre si para o teste de Tukey ($p < 0,05$) para cada elemento analisado.

Latossolo Amarelo da Região Amazônica, e com Araújo et al. (2011), sendo esse resultado influenciado pela maior presença de matéria orgânica nas camadas superficiais e da lixiviação para as camadas subsuperficiais.

Os diferentes sistemas nos quais foram analisados os solos não apresentaram influência sobre o K^+ trocável (Figura 2). Mesmo não havendo diferença ($p > 0,05$), o K^+ trocável mostrou tendência, já observada nos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , de maior concentração na camada de 0-7 cm em relação à camada de 7-15 cm (Figura 2a). Em todos os sistemas em estudo, ficam evidenciadas as baixas concentrações de potássio.

Os baixos valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis em solo sob mata secundária mostram a eficiência desse sistema em retirar tais íons da solução do solo e a dependência desse ecossistema pelos produtos finais da mineralização da matéria orgânica para sua manutenção.

As mudanças nos sistemas estudados influenciaram a concentração de matéria orgânica no solo (Figura 3). Os valores de matéria orgânica mostraram-se superiores nas camadas superficiais, o que já havia sido observado por Marin et al. (2004), Araújo et al. (2004) e Silva, Silva Junior

e Melo (2006), se diferenciando ($p < 0,05$) das camadas subsuperficiais (Figura 3a).

O comportamento observado no presente estudo, cujos valores de matéria orgânica em solo sob pastagem foram superiores ao observado em mata secundária, com exceção da pastagem com dois anos de formação, que teve o menor valor dentre os sistemas (Figura 3b), pode ser explicado, em parte, pela alocação da produtividade primária das áreas de pastagens. Outra possibilidade, de acordo com Salimon, Wadt e Melo (2007), é a inclusão de raízes muito finas no processo de análise do solo.

A soma de bases foi afetada ($p < 0,05$) pelas profundidades e pelos sistemas avaliados (Tabela 5). Em todos os sistemas, a soma de bases trocáveis se mostrou superior na camada de 0-7 em relação à camada de 7-15 cm de profundidade, as quais diferiram ($p < 0,05$). O maior valor na camada superficial deveu-se à maior concentração dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ em superfície e de sua lixiviação das camadas subsuperficiais. A pastagem com dois anos de formação não diferiu ($p > 0,05$) da pastagem de um ano, as quais por sua vez, apresentaram diferença ($p < 0,05$) do valor encontrado sob mata secundária, que obteve o menor valor encontrado (BARRETO et al., 2006).

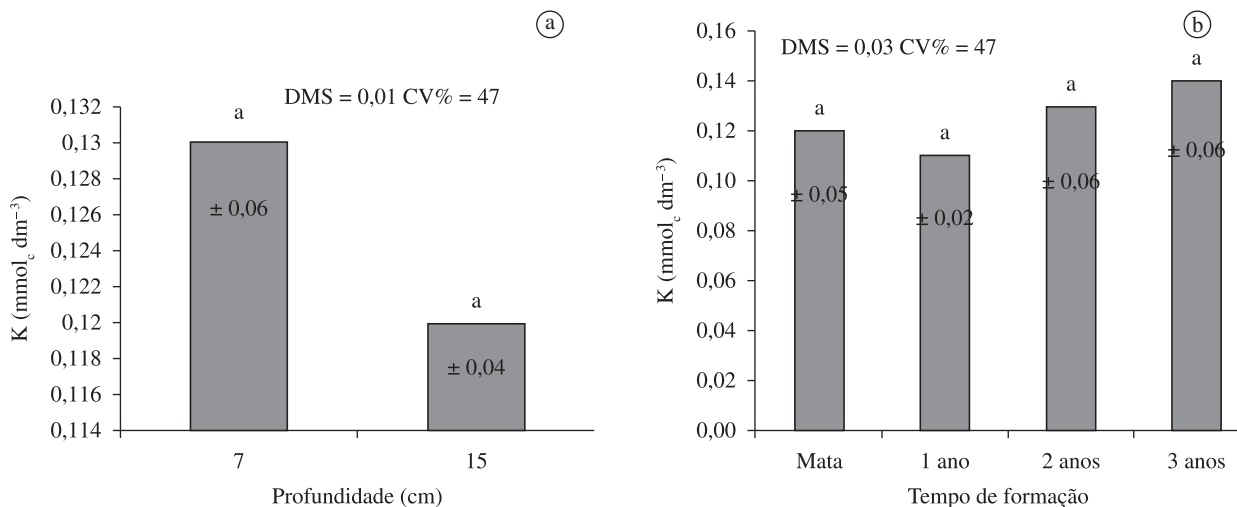


Figura 2. Teores de potássio (a) nas profundidades de 0-7 e 7-15 cm dentro dos quatros sistemas estudados e (b) em solo sob mata secundária e sob pastagens com um, dois e três anos de formação. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 5. Valores de soma de bases, capacidade efetiva de troca de cátions, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solo sob mata secundária e pastagens com um, dois e três anos de formação.

Local	SB ($cmol_c dm^{-3}$)		CTC _{ef} ($cmol_c dm^{-3}$)		V (%)	
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)			
	0-7	7-15	0-7	7-15	0-7	7-15
Mata	2,45aC	1,06bBC	2,79aB	1,77bA	59,14aA	33,37bA
Pasto ano 1	3,22aB	0,82bC	3,58aA	1,57bAB	57,46aA	20,03bB
Pasto ano 2	3,45aAB	1,37bA	3,50aA	1,49bB	50,29aAB	24,55bAB
Pasto ano 3	3,51aA	1,31bAB	3,66aA	1,81bA	43,90aB	21,99bB
CV%	4,51		12,07		28,06	
DMS linha	0,21		0,19		6,81	
DMS coluna	0,28		0,25		8,96	

Médias seguidas de mesma letra (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não diferem entre si para o teste de Tukey ($p < 0,05$) para cada elemento analisado.

Na camada subsuperficial, o maior valor foi encontrado sob pastagem com dois anos de formação, seguido da pastagem de três anos, sendo que não diferiram ($p > 0,05$).

A soma de bases na pastagem com três anos não diferenciou ($p > 0,05$) em relação à mata que, por sua vez, não diferiu da pastagem com um ano de formação, esta com o menor valor observado entre os sistemas avaliados. O presente estudo mostrou que a capacidade efetiva de troca de cátions foi afetada pela alteração na profundidade e pelo manejo (Tabela 5). Os altos valores de Al^{3+} trocável, em grande parte dos sistemas, fizeram com que, na camada de 0-7 cm de profundidade, as pastagens formadas com um, dois e três anos de formação não apresentassem diferença ($p > 0,05$). A exceção foi a mata secundária, que obteve o menor valor no presente estudo e mostrou diferença ($p < 0,05$) em relação aos demais sistemas. Na camada de 7-15 cm, também em razão dos altos valores de Al^{3+} trocável, os valores da capacidade efetiva de troca de cátions sob pastagem com três anos de formação, um ano de formação e mata secundária não diferiram ($p > 0,05$), sendo que a pastagem com um ano de formação não apresentou diferença ($p > 0,05$) da pastagem com dois anos, tendo esta obtido o menor valor. O comportamento observado, no qual os maiores valores da capacidade efetiva de troca de cátions foram encontrados na camada de 0-7 cm de profundidade e em solo sob pastagem com três anos de formação, está relacionado aos maiores valores de matéria orgânica (Figura 3) nesses sistemas. Esses resultados acabam corroborando com o estudo de Correa e Reichardt (1995), os quais avaliaram as alterações físicas e químicas de um Latossolo Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de formação em relação ao solo sob floresta da Amazônia. Esse fato se deve à influência que a matéria orgânica do solo exerce sobre a capacidade de troca de cátions.

Na camada de 0-7 cm, os valores da porcentagem de bases encontrados no solo sob mata secundária e pastagens com um e dois anos de formação foram os maiores e não diferiram ($p > 0,05$). A pastagem com dois anos de formação não apresentou diferença ($p > 0,05$) da pastagem com três anos de formação, a qual obteve o menor valor na camada superficial. Na camada de 7-15 cm, com exceção da mata

secundária que obteve o maior valor, os outros sistemas não diferiram ($p > 0,05$).

A capacidade de troca de cátions foi afetada ($p < 0,05$) pela alteração nas profundidades (Figura 4a) e nos sistemas (Figura 4b). Os maiores valores da soma de bases (Tabela 5) e os menores de acidez potencial (Figura 1) em superfície impulsionaram o maior valor da capacidade de troca de cátions na camada de 0-7 cm, a qual diferiu ($p < 0,05$) da camada de 7-15 cm de profundidade.

Dentre os sistemas de mata secundária e pastagens com um, dois e três anos de formação, o menor valor da capacidade de troca de cátions foi obtido em solo sob mata seguido dos solos sob pastagens com um, dois e três anos de formação, sendo que todos apresentaram diferenças ($p < 0,05$) entre si. Os maiores valores encontrados nas pastagens com dois e três anos de formação é em razão, principalmente, dos altos valores da acidez potencial (Figura 1), expressando a importante contribuição das cargas dependentes do pH oriundas da matéria orgânica e da soma de bases (Tabela 5).

A análise do solo sob mata secundária e pastagens com um, dois e três anos de formação mostrou que a maioria das características físicas do solo teve mudanças significativas ($p < 0,05$). Os valores da densidade de partícula encontrados (Tabela 6) mostram que entre as profundidades estudadas, com exceção da pastagem com dois anos de formação, todos os outros sistemas diferiram ($p < 0,05$) e apresentaram valores superiores nas camadas subsuperficiais, exceto no solo sob mata secundária, que apresentou maior valor na camada superficial.

Na camada de 0-7 cm de profundidade, o maior valor foi obtido em solo sob mata, que diferiu ($p < 0,05$) das pastagens com um e dois anos de formação, as quais não diferiram entre si ($p > 0,05$); entretanto, estas apresentaram diferença ($p < 0,05$) para a pastagem com três anos de formação, a qual obteve o menor valor. Na camada de 7-15 cm de profundidade o maior valor foi apresentado pela pastagem com um ano de formação, que não teve diferença ($p > 0,05$) dos outros sistemas estudados.

Com exceção da pastagem com dois e três anos de formação, os diferentes sistemas em estudo não diferenciaram ($p > 0,05$)

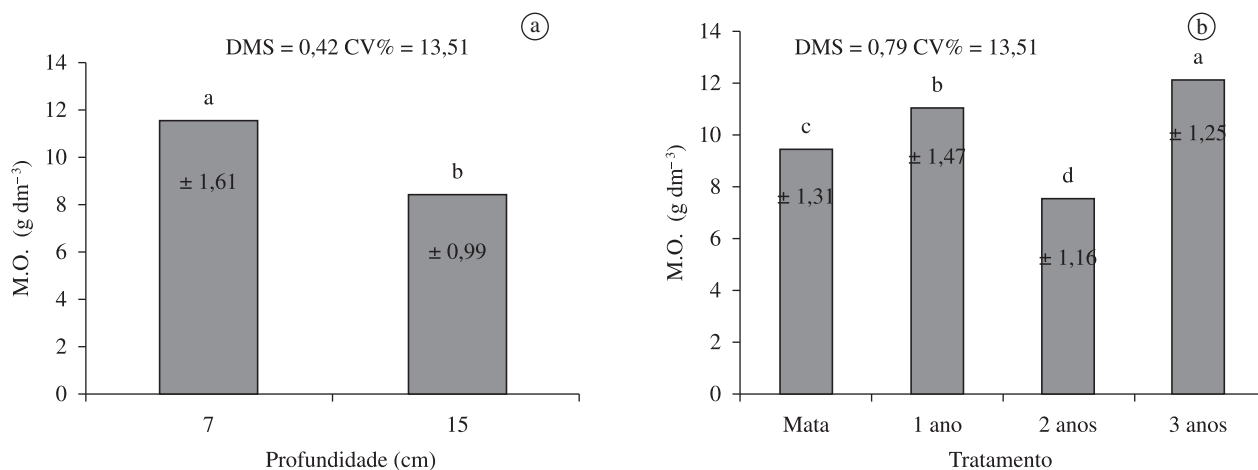


Figura 3. Matéria orgânica (a) nas profundidades de 0-7 e 7-15 cm dentro dos quatro sistemas estudados e (b) em solo sob mata secundária e sob pastagens com um, dois e três anos de formação. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si para o teste de Tukey ($p < 0,05$).

entre as camadas, no que diz respeito aos valores de densidade do solo (Tabela 6). Os maiores valores da densidade encontrada na camada de 0-7 cm de profundidade nas pastagens com dois e três anos de formação vêm corroborar com os resultados obtidos por Correa e Reichardt (1995). Moreira et al. (2005), estudando os atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho sob pastagens recuperada e degradada em área de Cerrado, também constataram que a densidade do solo aumenta com o tempo de formação das áreas de pastagens.

Entre os quatro sistemas avaliados, a mata secundária e a pastagem com um ano de formação apresentaram os menores valores e não diferenciaram ($p > 0,05$), fato esse que vem corroborar com a ideia de que a densidade do solo tende a aumentar com o tempo de formação das pastagens, uma vez que estas diferiram ($p < 0,05$) das pastagens com dois e três anos de formação; estas não diferenciaram ($p > 0,05$), tendo a pastagem com três anos o maior valor de densidade do solo. Esse comportamento, em que o solo sob mata secundária e pastagem com um ano de formação apresenta menores valores de densidade do solo em relação à pastagem com dois e três anos de formação (CORREA; REICHARDT, 1995; MULLER et al., 2001; SALIMON; WADT; MELO, 2007), se deve, principalmente, à compactação das áreas de pastagens,

causada esta pela diminuição da cobertura vegetal, processo que é potencializado pelo manejo inadequado das pastagens (ARAÚJO; TORMENA; SILVA, 2004; MOREIRA et al., 2005).

A densidade do solo possui alta correlação com a porosidade total (MULLER et al., 2001), como visto na Tabela 2, cujo coeficiente de correlação é 0,93 (Tabela 6). Os valores de porosidade total encontrados sob mata secundária e pastagem com um ano de formação não apresentam diferença ($p > 0,05$) e apresentam os dois maiores valores encontrados, porém diferem ($p < 0,05$) das pastagens com dois e três anos, sendo que estas somente apresentam diferenças ($p < 0,05$) na camada de 0-7 cm de profundidade. A pastagem com três anos de formação obteve o menor valor dentre os sistemas avaliados. Com exceção da pastagem com três anos de formação, a porosidade total não diferiu ($p > 0,05$) entre as profundidades de 0-7 e 7-15 cm, o que é justificado pelo pequeno tempo de formação das áreas (um e dois anos), visto que, em pastagens mais velhas, a porosidade total tende a crescer em subsuperfície, o que pôde ser observado na pastagem com três anos de formação. A diminuição da porosidade total das áreas com maior tempo de uso observada no presente estudo concorda com os resultados encontrados por Araújo, Tormena

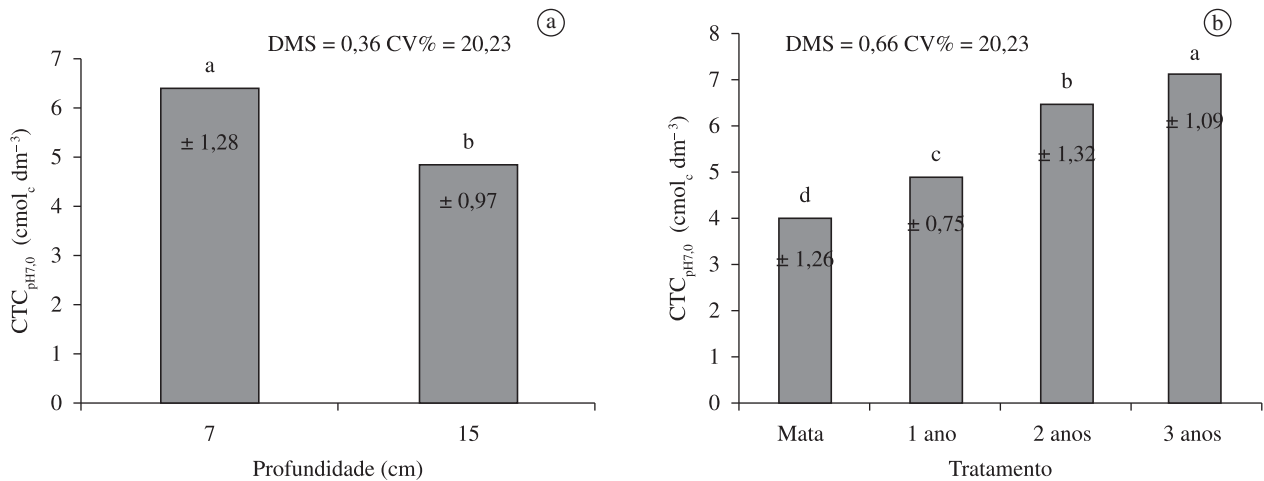


Figura 4. Capacidade de troca de cátions (a) nas profundidades de 0-7 e 7-15 cm dentro dos quatro sistemas estudados e (b) em solo sob mata secundária e sob pastagens com um, dois e três anos de formação. Médias seguidas de mesma letra (minúsculas nas colunas) não diferem entre si para o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 6. Valores de densidade de partícula, densidade do solo, porosidade total em solo sob mata secundária e pastagens com um, dois e três anos de formação.

Local	Dp (g cm ⁻³)		Ds (g cm ⁻³)		Pt (%)	
	Profundidade (cm)					
	0-7	7-15	0-7	7-15	0-7	7-15
Mata	2,65aA	2,60bA	1,24aB	1,22aB	53,25aA	53,03aA
Pasto ano 1	2,57bB	2,61aA	1,24aB	1,25aB	51,62aA	52,30aA
Pasto ano 2	2,58aB	2,57aA	1,38aA	1,35bA	46,38aB	47,39aB
Pasto ano 3	2,50bC	2,60aA	1,42aA	1,36bA	43,44bC	47,89aB
CV%	2,60		3,45		4,36	
DMS linha	0,05		0,04		1,77	
DMS coluna	0,04		0,03		1,35	

Médias seguidas de mesma letra (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não diferem entre si para o teste de Tukey ($p < 0,05$) para cada elemento analisado. CV%: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; Dp: densidade de partícula; Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total.

e Silva (2004), ao avaliarem as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo e mata nativa.

4 Conclusões

A conversão da floresta na Amazônia Oriental por pastagens de capim-mombaça influenciou a maioria das características químicas e físicas do Latossolo Amarelo Distrófico típico. As características químicas apresentaram uma ligeira melhoria, seguida de uma diminuição ao longo do tempo de formação das áreas de pastagens. As propriedades físicas do solo foram afetadas negativamente com o aumento do tempo de manejo dos pastos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à CAPES, pelas Bolsas concedidas, e à Universidade Federal do Tocantins, pelo apoio, que tornou este trabalho possível.

Referências

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo amarelo distrófico na Amazônia ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 307-315, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200009>

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazonica*, v. 41, n.1, p.103-114, 2011.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100010>

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. *Caatinga (Mossoró)*, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.

CARMO, S. B.; FERNANDES, A. R.; NORONHA, N. C.; SAMPAIO, F. A. R. Características químicas de um Argissolo sob diferentes usos em Ji-Paraná/RO. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 53, n. 2, p.143-149, 2010. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2011.020>

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo amarelo da Amazônia central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n. 1, p.107-114, 1995.

DEMATTE, J. L. I.; DEMATTE, J. A. M. Comparação entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta amazônica e do cerrado do Brasil central. *Scientia Agrícola*, v. 50, n. 2, p. 272-286, 1993. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161993000200016>

DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 243-252, 2011. Suplemento especial.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 412 p.

EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

FARIA, A. F. G.; SANTOS, A. C.; SANTOS, T. M.; BATISTELLA FILHO, F. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topossequência na bacia do Rio Araguaia, estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, p. 517-524, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200025>

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A. F.; SILVA, M. S. R.; VITAL, A. R. T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 1, p. 59-68, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000100008>

MARIN, A. M. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M. Impactos da implantação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. *Agropecuária Técnica*, v. 25, n. 1, 2004.

MARQUES, J. D. O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo da Região Amazônica. *Acta Amazonica*, v. 34, n. 2, p. 145-154, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672004000200002>

MATIAS, M. I. A. S. *Influência da cobertura vegetal na disponibilidade de nutrientes e na distribuição do sistema radicular em Latossolo Amarelo coeso de Tabuleiro Costeiro no município de Cruz das Almas*. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)-Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2003.

MOREIRA, A.; COSTA, D. G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 10, p. 1013-1019, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004001000009>

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um Latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 35, n. 3, p. 155-161, 2005.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000100017>

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 11. p. 1409-1418, 2001.

OLIVEIRA, C. M.; NAPPO, M. E.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, A. R. Comparação entre atributos físicos e químicos de solo sob floresta e pastagem. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, ano 7, n. 12, 2008.

PERIN, E.; CERETA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do Planalto médio do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 4, p. 665-674, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400011>

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.). *Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: UFV, 1996. p. 16-60.

SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do carbono na conversão de florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.

SILVA, G. R.; SILVA JUNIOR, M. L.; MELO, V. S. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo do Estado do Pará. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 2, p. 151-158, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000200004>

SILVA NETO, S. P. *Uso de resíduo líquido de frigorífico como alternativa para adubação de pastagem: produção vegetal e propriedades químicas do solo*. 61 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2009.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 416 p.