**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica do carbono no solo sob diferentes usos da terra em
Paragominas, PA**

Siglea Sanna de Freitas Chaves

Dissertação apresentada para obtenção do título
Mestra em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

Siglea Sanna de Freitas Chaves
Engenheira Agrônoma

**Dinâmica do carbono no solo sob diferentes usos da terra em
Paragominas, PA**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **KLAUS REICHARDT**

Dissertação apresentada para obtenção do título
Mestra em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

Piracicaba
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Chaves, Siglea Sanna de Freitas

Dinâmica do carbono no solo sob diferentes usos da terra em Paragominas, PA / Siglea Sanna de Freitas Chaves. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

85 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.
Bibliografia.

1. Amazônia 2. Sistema agroflorestal 3. Pastagem 4. Agropecuária de baixo carbono
5. Latossolo Amarelo I. Título

CDD 631.41
C512d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

A toda minha família maravilhosa que está sempre ao meu lado em todos os momentos, com atenção e amor, oferecendo apoio em todos os campos da minha vida. Obrigada por tudo meus queridos pais, irmãos, avós, tios, primos e meu namorado. Com vocês a minha felicidade está completa.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da ESALQ pela oportunidade de cursar o mestrado.

Ao Professor Klaus Reichardt pela orientação do trabalho.

À CAPES, à Embrapa Amazônia Oriental e ao projeto PECUS pela concessão da bolsa de mestrado. E aos projetos Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e Plantio Direto da Embrapa Amazônia Oriental pelo apoio no decorrer do trabalho.

Aos pesquisadores Lucieta Martorano, Paulo Fernandes e Luis Wagner Alves, da Embrapa Amazônia Oriental, pelo apoio, amizade e orientações oferecidas em todas as etapas desta pesquisa.

Aos professores Plínio Camargo e Luiz Antônio Martinelli pela confiança e orientações oferecidas para a construção do trabalho. Ao professor Carlos Tadeu Santos pela ajuda na realização das análises estatísticas.

Aos pesquisadores Fernando Fernandes, Jamil Chaar, Arystides Silva e Moacir Valente pela contribuição no estudo. Aos senhores Ronaldo, Daniel Mangas pela colaboração nas atividades de coletas de solo, e ao Sr. Orivan Teixeira pela realização das análises de solo.

Ao senhor Thales Barros, proprietário da Fazenda Vitória, pela parceria oferecida. A Secretaria de Agricultura do Município de Paragominas, em nome do secretário o Sr. Marcos Amaral pelo apoio durante as coleta de campo.

À equipe dos laboratórios de Análises de Solos da Embrapa Amazônia Oriental e Embrapa Solos pela atenção e contribuição na realização das análises.

Aos amigos do laboratório de Agrometeorologia - Andrezza Barbosa, Vitor Batista, Charles Wendel, Gabriel Maximo, Alice Abdon, Rodrigo Figueiredo, Afonso Henrique, Aline Barbosa, Jéssica Reis e Delma Campos - pela amizade e apoio nas atividades.

À equipe técnica do Laboratório de Ecologia Isotópica – Fabiana, Toninha, Geraldo, Edmar, Roberta – e aos amigos de estudo - Taciana, Robson, Thais, Cristiane, Rafaela, Natassia - pela amizade e contribuição no trabalho.

Aos amigos Silvia Madergan, Rita Freitas, Luiz Felipe Salemi e Rodrigo Muniz pelo apoio e conselhos durante a realização do trabalho.

Aos amigos Leila Lisboa, Daiana Monteiro, Denisson Lima e ao professor João Almiro Correa pelo apoio na realização dos mapas da área.

Aos amigos Adriele Biase e Marcelo Neiva pelo apoio na realização das análises estatísticas.

Às amigadas que foram formadas e experiências trocadas no decorrer da caminhada em Piracicaba. A todos os meus amados amigos pela transmissão de energia positiva em todos os momentos.

Em especial à minha grande e maravilhosa família, assim como ao meu incrível namorado pela atenção e companheirismo em todos os momentos.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Histórico de formação do município de Paragominas, PA	21
2.2 Produção agrícola em Paragominas	23
2.3 Dinâmica do carbono no solo da Amazônia	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Localização da área experimental.....	33
3.2 Caracterização de condições climáticas e edáficas em Paragominas	33
3.3 Caracterização da área experimental.....	34
3.4 Amostragem do solo	40
3.5 Análises de solo	42
3.7 Diluição isotópica	44
3.8 Análises estatísticas.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 Caracterização edafoclimática de Paragominas, PA.....	47
4.2 Teor de carbono e nitrogênio, relação C:N.....	52
4.3 Densidade do solo.....	56
4.4 Estoque de carbono e nitrogênio no solo	58
4.5 $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo nos diferentes sistemas de manejo.....	67
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS.....	75

RESUMO

Dinâmica do carbono no solo sob diferentes usos da terra em Paragominas,PA

A Amazônia brasileira apresenta grande importância no processo de ciclagem de carbono na atmosfera, pois representa uma significativa parcela das florestas tropicais remanescentes. Porém, nos últimos 50 anos a Amazônia Legal Brasileira passou por intenso processo de mudança no uso da terra, fato que ocasionou aumento do desflorestamento na região. No Estado do Pará, o município de Paragominas foi considerado um dos principais responsáveis pelo desflorestamento até o ano de 2007. Tal cenário foi modificado após iniciativas de instituições públicas e empreendedores ligados ao setor rural do município, que em ações conjuntas modificaram a produção agropecuária de Paragominas, implantando sistemas produtivos mais eficientes. Atualmente o município é reconhecido como pólo de produção agropecuário sustentável na Amazônia. Neste trabalho, objetivou-se avaliar a dinâmica do carbono no solo sob diferentes usos, em uma cronossequência, no município de Paragominas. O solo da área de estudo é classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura argilosa. A pesquisa foi realizada na Fazenda Vitória, Paragominas - PA, onde foram avaliadas duas cronossequências distintas: (i) floresta natural (em 1992)-floresta secundária (em 1992, com 16 anos)-floresta secundária (em 2013, com 37 anos); (ii) floresta natural-pastagem degradada (em 1992, com 23 anos)-pastagem em sistema agrossilvipastoril com plantio direto (em 2013, com 4 anos). Na segunda cronossequência também foram avaliados dados de um sistema lavoura-pecuária sem plantio direto conduzido na área entre 2005 e 2008. Foram avaliados os teores de carbono e nitrogênio, a relação C:N, a densidade do solo, os estoques de carbono e nitrogênio e a composição isotópica do solo das áreas de estudo, nas camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm. Observou-se que a floresta secundária, em pousio há 37 anos, apresentou os maiores incrementos de C e N, sendo superior ao encontrado no solo sob floresta nativa. Na mesma área, mesmo após 44 anos de condução de pastagem na mesma área, mais de 70% do carbono ainda era oriundo de plantas de ciclo fotossintético do tipo C₃. A reforma da pastagem proporcionou alterações positivas nas características edáficas, pois houve aumento no estoque de carbono no solo após o manejo em sistema agrossilvipastoril com plantio direto na palha, também foi observado diminuição da densidade do solo neste período. Conclui-se que a adoção de técnicas agropecuárias, que fazem uso racional dos recursos naturais, são viáveis e ambientalmente corretas, pois observou-se que após a mudança no manejo da área ocorreu aumento do estoque de carbono no solo, sendo este um indicador de sustentabilidade em agropecuária de baixa emissão de carbono no Brasil.

Palavras-chave: Amazônia; Sistema agroflorestal; Pastagem; Agropecuária de baixo carbono; Latossolo Amarelo

ABSTRACT

Soil carbon dynamics under different land-use management systems in Paragominas, PA

The Amazon region plays a great role in the process of cycling carbon within the atmosphere because it represents a significant portion of the remaining tropical forests. However, in the last 50 years, several municipalities have passed through changes in land-use management which led to a significant increase in deforestation. In 2007, the municipality of Paragominas was considered one of the main areas responsible of the deforestation of the State of Para, Brazil. After many joint actions of public institutions and agricultural entrepreneurs, Paragominas went through a process of change of the scenario in its agricultural production system. Today this municipality is recognized as a responsible agricultural and livestock production center in the Amazon. The aim of this study was to assess the dynamics of soil carbon under different land-use management systems in a chronosequence. The soil of the site is classified as a clayey oxisol (dystrophic yellow Latosols, in the Brazilian classification system). The study was carried out in the ranch 'Fazenda Vitoria', where, two distinct chronosequences were assessed: (i) a native forest (in 1992) – a secondary forest (16 year old in 1992) – a secondary forest (37 year old in 2013); and (ii) a native forest converted to degraded pasture (23 year old in 1992) – pasture in a no-till silvopastoral agroforestry system (4 year old in 2013). In the second chronosequence, data from a no-till crop-livestock system was also assessed, which was carried out from 2005 to 2008. Soil carbon and nitrogen contents and stocks, C:N ratio, soil bulk density and their isotopic composition were evaluated. The secondary forest fallowed for 37 years, had the highest increments of C and N contents, with higher values than those found in the soil under native forest. It was observed that after 44 years of grazing on the same area more than 70% of carbon was originated from C₃-photosynthetic type plants. Pasture recovery led to positive changes in soil properties, as an increase in carbon stock associated to the reduction of soil bulk density after the implement of the no-till silvopastoral management system. Decrease in soil bulk density was also observed in this period. According to the results obtained in the evaluated production unit, it was observed that the adoption of agricultural techniques that make a rational use of natural resources is sustainable and environmentally friendly. It was observed that the change in management of the area induced an increase in carbon storage in the soil, this being an indicator of agricultural sustainability in relation to low-carbon management.

Keywords: Amazon; Agroforestry; Pasture; Low carbon agriculture; Oxisol

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Efetivo bovino (U.A) e extração de madeira em tora (m ³) em Paragominas, PA no período de 1990 a 2011. Fonte de dados: IBGE, 2013	22
Figura 2 - Produção de milho, arroz e soja (t) em Paragominas, PA no período de 1990 a 2011. Fonte de dados: IBGE, 2013	24
Figura 3 -Incremento de desflorestamento (km ²) e produção de madeira em tora oriunda de silvicultura (m ³) em Paragominas, PA no período de 2000 a 2012. Fonte de dados: IBGE, 2013	25
Figura 4 – Participação de diferentes setores na emissão de CO ₂ no Brasil no período de 2005 a 2010. Fonte de dados: BRASIL, 2013.....	28
Figura 5 -Emissão e remoção de CO ₂ nos diferentes biomas brasileiros. Fonte: BRASIL, 2013.....	29
Figura 6 -Emissão de CO ₂ por desflorestamento na Amazônia. Fonte de dados: INPE, 2013.....	30
Figura 7 - Localização da Fazenda Vitória (Paragominas, PA)	33
Figura 8 - Esquema da cronossequência estudada na Fazenda Vitória. Paragominas, PA	36
Figura 9 - Cronossequência temporal na área da Fazenda Vitória (Paragominas, PA), nos anos de 1969, 1991, 2005 e 2013.	38
Figura 10 – Sistema agrossilvipastoril na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no ano de 2011	40
Figura 11 - Sistema silvipastoril na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no ano de 2013	40
Figura 12 - Esquema de distribuição das trincheiras para estudo do perfil do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) em 2013	41
Figura 13 - Mapa topotérmico do Pará com recorte no município de Paragominas, PA	48
Figura 14 - Mapa de tipologia climática no Pará com recorte no município de Paragominas, PA. Metodologia de Köppen, adaptado por Martorano et al. (1993) ..	48
Figura 15 - Mapa de precipitação pluvial anual do município de Paragominas, PA ..	49
Figura 16 - Mapa de unidade relativa do ar anual no Pará com recorte no município de Paragominas, PA	49

Figura 17 - Mapa de deficiência hídrica (CAD = 300 mm) do município de Paragominas, PA.....	51
Figura 18 - Mapa de solos no município de Paragominas, PA	51
Figura 19 - Estoque de carbono e nitrogênio na camada 0-30 cm do solo em diferentes sistemas de uso do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013.....	61
Figura 20 - Estoque de carbono e nitrogênio na camada 0-100 cm do solo em diferentes sistemas de uso do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013.....	62
Figura 21 - Distribuição de $\delta^{13}\text{C}$ (média $\pm$ erro padrão) nos perfis do solo em diferentes áreas da Fazenda Vitória (Paragominas, PA)	68
Figura 22 - Distribuição de carbono oriundo de plantas de ciclo fotossintético C_4 nos perfis do solo em diferentes áreas da Fazenda Vitória (Paragominas, PA).....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico da área sob sistema agrossilvipastoril na Fazenda Vitória (Paragominas, PA)	35
Tabela 2 - Histórico da área sob regeneração natural na Fazenda Vitória (Paragominas, PA)	36
Tabela 3 - Espécies componentes do sistema agrossilvipastoril na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no ano 2009	39
Tabela 4 - Teores médios de areia, silte e argila em diferentes áreas da Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no ano de 2013	40
Tabela 5 - Média do teor de C (g kg^{-1}) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013	53
Tabela 6 - Média do teor de N (g kg^{-1}) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013	53
Tabela 7 - Média da relação C:N em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) em 2013	55
Tabela 8 - Média da densidade do solo (g cm^{-3}) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013	55
Tabela 9 - Média do estoque C (Mg ha^{-1}) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013	60
Tabela 10 - Média do estoque N (Mg ha^{-1}) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013	60

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia desempenha papel importante no ciclo global do carbono, devido a sua extensão territorial e a quantidade de C armazenada tanto na vegetação, quanto no solo (CERRI et al., 2007). A Amazônia brasileira representa uma significativa parcela das florestas tropicais remanescentes do mundo (LAPOLA et al., 2014), sendo responsável por importantes serviços ambientais como a manutenção da biodiversidade, ciclagem da água, além de estocar quantidades apreciáveis de carbono na biomassa e no solo (FEARNSIDE, 2005).

Lal (2008) destaca que o solo é um dos principais reservatórios de carbono do ecossistema terrestre. Estima-se que no primeiro metro são estocados nos solos do globo cerca de 1500 Pg de carbono, sendo que os solos dos trópicos armazenam cerca de 40% deste total (JOBBÁGY; JACKSON, 2000). Dentre as áreas tropicais do globo, a Amazônia se destaca principalmente pelas suas dimensões. Solos dessa região são geralmente pobres em cátions básicos e ácidos (QUESADA et al., 2011), mas estocam uma quantidade considerável de carbono. Cerri et al. (2000) estimaram que no primeiro metro de profundidade os solos na Amazônia estocam cerca de 40 Pg de carbono, valor que corresponde a cerca de 3% de todo o carbono estocado no primeiro metro em solos do globo. Portanto, alterações no uso do solo podem interferir na dinâmica da matéria orgânica (ASSAD et al., 2013) e influenciar mudanças climáticas (LAPOLA et al., 2014).

A maior parte do carbono armazenado constitui cadeias longas e de difícil decomposição, como consequência, o tempo de residência deste tipo de carbono é extremamente longo e, portanto, menos influenciado por mudanças recentes no uso do solo (LISBOA et al., 2009; ECLESIA et al., 2012; CHEN et al., 2013). Uma pequena fração do carbono do solo é constituída por moléculas com cadeias mais curtas de fácil decomposição, como consequência essa fração mais lábil responde rapidamente a mudanças no uso do solo (TRUMBORE et al., 1995; ZINN et al., 2005). Esse fato abre a possibilidade de os solos serem manejados com o intuito de se armazenar carbono, contribuindo para mitigar os efeitos causados pelo acúmulo de CO₂ na atmosfera induzido pela queima de combustíveis fósseis e queima de vegetação (LAL, 2008).

Nesse contexto, na última década novas políticas públicas foram adotadas na Amazônia a fim de impedir aumento desflorestamento, pois cerca de

700 mil km² de vegetação natural foi substituída por culturas agrícolas, sendo a principal delas as pastagens constituídas por gramíneas forrageiras desde a década de 1960 (NEPSTAD et al., 2009). De maneira geral, observou-se que ocorreu um decréscimo na taxa de desmatamento na Amazônia nos últimos anos (INPE, 2013).

Neste cenário, o pólo Paragominas foi uma das regiões com maior índice de desflorestamento entre a década de 1970 e meados da década de 2000. Porém atualmente, o município é referência em produção agropecuária sustentável, devido ações conjuntas do poder municipal, produtores rurais e instituições de pesquisa. Entre as quais, foram desenvolvidas várias pesquisas visando a produção agrícola (EL-HUSNY et al., 1998; RODRIGUES et al., 2003b; MARTORANO et al., 2011), incluindo a pecuária (SERRÃO et al., 1979; DIAS-FILHO, 2011) e a silvicultura (BRIENZA et al., 2009; MONTEIRO, 2013).

Ressalta-se ainda as ações do Governo Federal, como o decreto 6321/2007, criado para identificar os principais municípios responsáveis pelo desflorestamento na Amazônia, e com objetivo de diminuir e evitar novos focos (BRASIL, 2007). Com a vigência do referido decreto e monitoramento da dinâmica da cobertura florestal de Paragominas, observou-se que houve significativa diminuição no incremento do desmatamento nos últimos seis anos (INPE, 2013). Em virtude da mudança na paisagem, no ano de 2010 Paragominas recebeu o título de município verde, sendo considerada referência em produção agropecuária sustentável na Amazônia.

Também foi criado o programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), que está em vigor desde 2011 no município de Paragominas. Cujo objetivo é incentivar o uso de práticas conservacionista pelos produtores rurais, com disponibilização de crédito aos que se propõem a desenvolver atividades como: recuperação de pastagens degradadas, introdução de cultivo em plantio direto na palha, implantação de sistemas agrossilvipastoris, desenvolvimento da silvicultura, reflorestamento comercial, tratamento de resíduos animais, produção de alimentos orgânicos e fixação biológica de nitrogênio (BRASIL, 2012).

Instituições de ensino e pesquisa também estão trabalhando em rede para estudar o efeito da pecuária na dinâmica dos gases de efeito estufa nos diferentes biomas. Em distintos biomas do Brasil, a Rede PECUS está investigando indicadores capazes de apontar em diferentes sistemas de produção, possíveis emissões ou estoques de GEE para subsidiar estratégias sustentáveis na pecuária

brasileira (EMBRAPA, 2014). No bioma Amazônia entre os sistemas avaliados está incluído o integração-lavoura-pecuária-floresta (iLPF) em plantio direto.

Inserido nesse contexto, a hipótese dessa pesquisa foi: a recuperação de pastagem promove alterações na dinâmica do carbono no solo. E para testar essa suposição, o objetivo geral foi avaliar a dinâmica do carbono no solo sob diferentes usos, em uma cronossequência temporal, no município de Paragominas.

Avaliou-se duas cronossequências distintas: floresta natural-floresta secundária (16anos)-floresta secundária (37 anos); floresta natural-pastagem degradada (23 anos)-pastagem em sistema agrossilvipastoril com plantio direto (4 anos) foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:(i) Avaliar os teores de carbono e nitrogênio, além da densidade do solo entre os diferentes sistemas de uso da terra e a relação C:N; (ii) Estimar e comparar os estoque de carbono e nitrogênio no perfil do solo; (iii) Comparar a abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ entre a floresta nativa, floresta secundária e áreas de pastagem; (iv) Determinar os percentuais da origem do carbono nas áreas de pastagem e floresta secundária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico de formação do município de Paragominas, PA

A criação do município de Paragominas no sudeste paraense está interligada ao processo de intensificação de ocupação do território amazônico, pois até a década de 1970 a densidade demográfica na Amazônia era de 1,03 hab. km⁻², caracterizada como a região brasileira menos povoada e com menor interligação econômica com o mercado nacional (SUDAM, 1971). A fundação de Paragominas foi estrategicamente planejada e incentivada pelo governo federal e estadual (FEARNSIDE, 1980; HOMA, 2003), que realizaram a concessão de terra a Célio Miranda, que junto a uma comitiva construiu a cidade com recurso próprio e aporte financeiro advindo da venda de glebas a fazendeiros de diferentes regiões do Brasil, atraídos por propagandas promovidas em jornais de circulação nacional (LEAL, 2000).

Os setores econômicos de Paragominas passaram por transformações nas últimas décadas, incentivadas pela demanda externa, oferta de recursos naturais e pelo avanço em pesquisas científicas na região. Durante as décadas de 1960 e 1970 a pecuária extensiva era a principal atividade econômica em Paragominas, devido à grande extensão territorial, baixo preço das terras, além de ter condições climáticas favoráveis para cultivo de forrageira e criação de bovinos de corte. Neste mesmo período também já existiam algumas pequenas serrarias de baixa tecnologia e pequenas áreas com agricultura de subsistência (LEAL, 2000).

Ressalta-se que na década de 1970 já existiam muitas pastagens em vias de degradação (FEARNSIDE, 1980). Segundo Dias-Filho (2011) grande parte das pastagens da Amazônia estão em degradação agrícola, que consiste em uma mudança da composição botânica do pasto, porém sem alteração significativa de alto acúmulo de biomassa sobre solo. Este cenário foi comumente observado devido os solos da Amazônia serem naturalmente pobres em nutrientes e o manejo aplicado pelos pecuaristas ser inadequado, consistindo em corte e queima da vegetação nativa para implantação do pasto, sem posterior reposição de fertilizantes (FEARNSIDE, 1980). Por isso, nesta década iniciaram as primeiras pesquisas científicas voltadas para a recuperação de pastagem em vias de degradação e

melhoramento de espécies forrageiras apropriadas para a Amazônia, incentivados por programas do Governo Federal (SERRÃO et al., 1979).

A década de 1980 foi marcada pela diversificação da economia local no município de Paragominas. A pecuária de corte avançou em tecnologia e passou a produzir rebanho de alta qualidade para exportação, ao mesmo tempo em que aumentavam os investimentos na qualidade e na diversificação da pastagem com apoio de instituições de pesquisas (DIAS-FILHO; SERRÃO, 1987). Também neste período iniciaram as primeiras implantações de sistemas silvipastoris no município, com o objetivo de intensificar o uso da terra e promover o reflorestamento na área (VEIGA, 2000). Neste período também aumentou o incentivo ao crédito rural aos produtores, fato que promoveu a dinamização do setor agrícola, principalmente, no cultivo de pimenta do reino e arroz de sequeiro. Nessa década, também ocorreu o advento da indústria extrativista da madeira no município de Paragominas, que ainda ligado aos municípios de Don Eliseu e Ulianópolis, era considerado um dos principais pólos de exportadores de madeira do Brasil com 238 indústrias madeireiras instaladas na região e o maior produtor de rebanho bovino do Estado do Pará (VERÍSSIMO et al., 2002).

Durante a década de 1990 a atividade extrativista de madeira e pecuária extensiva decresceu significativamente em Paragominas, conforme se observa na Figura 1.

Figura 1 -Efetivo bovino (U.A) e extração de madeira em tora (m³) em Paragominas, PA no período de 1990 a 2011. Fonte de dados: IBGE, 2013

A mudança na extração de madeira em tora foi drástica a partir de 1997, quando a produção decresceu em 89% em relação a 1994 e em 98,7% até 2011 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013). Os principais motivos que ocasionaram essa mudança foram a diminuição de matéria-prima, o aumento do custo de produção, os gastos com frete para transporte do material que ocasionaram uma significativa redução no lucro dos madeireiros e, principalmente, por pressão de leis ambientais na última década (VERÍSSIMO et al., 2002).

O rebanho bovino diminuiu em 88% entre 1992 e 1997 (Figura 1). Segundo Leal (2000) os fatores que proporcionaram esta redução foram a crise econômica ocasionada por inúmeras inflações ocorridas no final da década 1980, as mudanças dos planos econômicos e o insuficiente apoio político oferecido ao setor pecuário, que ocasionaram uma redução no investimento na atividade e levaram a perda da produtividade das pastagens. Ressalta-se que após o declínio da atividade madeireira e pecuária, os produtores rurais começaram a diversificar a produção agropecuária e a investir na produção de grãos. Porém, durante a década de 1990 a produção de arroz, milho e soja ainda eram incipientes em Paragominas, consolidando-se com uma das principais atividades econômicas na década de 2000.

2.2 Produção agrícola em Paragominas

O fato de Paragominas estar localizada em uma via de fácil escoamento da produção ao longo da Rodovia Belém-Brasília (BR 010) favorece o avanço da produção agrícola, principalmente, em áreas antropizadas.

A partir de 2000, com a abertura da fronteira agrícola da Amazônia o crescimento da produção de grãos foi expressivo e a atividade tornou-se uma das principais bases da economia no município. Observa-se na Figura 2 que até 2008 a produção de milho e arroz eram mais expressiva e a partir de 2009 a soja tornou-se o destaque da produção de grãos no município. Destaca-se que a sojicultura iniciou em 1996, tardiamente em relação aos demais, devido demandar tecnologias mais avançadas para o cultivo, porém nos últimos anos a sojicultura é a principal atividade agrícola de Paragominas (IBGE, 2013).

Atualmente, Paragominas é o principal produtor de arroz, milho e soja do Estado do Pará (IBGE, 2013). No ano de 2012 Paragominas foi responsável por

33% da produção de soja, 20% da produção de milho e 8% da produção de arroz do Estado (Figura 2). Tais informações corroboram com dados de Costa et al.(2011), que estudaram a cadeia produtiva de grãos em Paragominas, e identificou a soja e o milho como os principais cultivos agrícolas, o mesmo autor observou que os índices econômicos de grãos possuem relação direta com a oferta pluvial.

Figura 2 - Produção de milho, arroz e soja (t) em Paragominas, PA no período de 1990 a 2011. Fonte de dados: IBGE, 2013

É válido ressaltar que a pressão em povoar Paragominas refletiu no uso da terra com planejamento deficiente, fato que desencadeou problemas ambientais e econômicos na década de 2000. Com a crise instalada, muitos produtores rurais sofreram com o embargo da carne, serrarias ilegais foram fechadas, suspensão de créditos para investir na produção, entre outras dificuldades. Para reverter este cenário de desequilíbrio, foi instituído um novo plano de produção agropecuária, denominado pacto pelo desmatamento zero, com apoio do governo estadual e municipal, além de instituições de pesquisa agropecuária e produtores rurais locais, com objetivo de reduzir o desmatamento e difundir a pecuária, a lavoura e a silvicultura em sistemas de manejo sustentáveis.

A mudança na estratégia de produção agropecuária do município obteve resultados positivos em curto período de tempo, pois de 2008 a 2010

Paragominas saiu da lista dos municípios que mais desmatavam na Amazônia e recebeu o título de Município Verde por ter reduzido o desflorestamento e aumentado a área com reflorestamento comercial e ambiental. Segundo dados do Projeto PRODES (INPE, 2013), o índice de desflorestamento está regredindo desde 2004, ano de maior pico desde 2000, e o incremento de desmatamento regrediu de 263,7 km² em 2004/2005 para 18,2 km² entre 2011/2012 (Figura 3). Concomitantemente, aumentou a produção de madeira oriunda de floresta plantada para fins de exploração comercial, entre 2001 e 2012 o crescimento foi de 89% (m³ de madeira em tora).

Figura 3 -Incremento de desflorestamento (km²) e produção de madeira em tora oriunda de silvicultura (m³) em Paragominas, PA no período de 2000 a 2012. Fonte de dados: IBGE, 2013

A implantação de sistemas agrossilvipastoril, plantio direto na palha e integração lavoura-pecuária-floresta estão em pleno desenvolvimento, incentivado também por políticas voltadas a produção sustentável como o programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), criado pelo Governo Federal. O programa ABC tem como objetivo incentivar técnicas agropecuárias de baixo impacto ambiental e de alta tecnologia para que reduzam a emissão de gases do efeito estufa (GEE) e com isso

otimizar o uso dos recursos naturais e aumentar a eficiência e durabilidade dos sistemas de produção agropecuários (BRASIL, 2012). As principais linhas de ações apoiadas pelo programa ABC estão relacionadas ao desenvolvimento de atividades como adoção de plantio direto na palha, recuperação de pastagem degradada, desenvolvimento de sistema agrossilvipastoril, reflorestamento com fins comercial, cultivos com fixação biológica de nitrogênio e tratamento de resíduos animais (BRASIL, 2012). Destaca-se que o referido programa está em vigor em Paragominas desde 2011 e oferece crédito a empreendedores rurais comprometidos em desenvolver sistemas de produção sustentáveis no pólo de produção agropecuário de Paragominas.

Ao observar as Figuras 2 e 3, infere-se que, o crescimento da produção de grãos está seguindo pressupostos de sustentabilidade no município, pois nos últimos anos a agricultura é crescente, ao mesmo tempo em que o incremento do desmatamento está diminuindo. Fernandes et al. (2012) destaca que o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta aumentou em Paragominas na última década, quando vários produtores modificaram o sistema de produção perante imposições do mercado consumidor, bem como o aumento da consciência ambiental voltada ao desenvolvimento sustentável. A implantação de culturas anuais em consórcio com forrageiras é usada como uma alternativa para otimizar a produção nas unidades produtivas, amortizar custos na recuperação de pastagem, aumentar a renda do produtor rural, além de aumentar biodiversidade na propriedade (FERNANDES et al., 2008, DIAS-FILHO, 2011).

Ao estudar um sistema silvipastoril em Paragominas, Sarmento (2007) encontrou resultados positivos no consórcio de espécies florestais com forrageiras. No referido trabalho foram comparadas diferentes espécies arbóreas e gramíneas, o mesmo indicou que o sistema formado por Paricá e Braquiarião foi o de maior chance de sucesso do ponto de vista da produção florestal, devido ao rápido crescimento do Paricá e sua alta taxa de sobrevivência em SAF, e o Braquiarião por apresentar hábito de crescimento ereto e menor competitividade com as árvores associadas. Os mesmos autores ressaltaram ainda que o sistema avaliado é viável para pequenos e grandes produtores rurais, desde que seja levado em consideração a adequação dos insumos a serem empregados na implantação da área.

Com a abertura da fronteira agrícola no bioma Amazônia nas últimas décadas ocorreu aumento no incentivo de pesquisas no campo de produção sustentável de

grãos. Tal fato proporcionou mudanças positivas na paisagem e na economia do município de Paragominas, fato que o tornou um modelo de produção responsável nos setores de grãos, madeira e carne na Amazônia.

2.3 Dinâmica do carbono no solo da Amazônia

O complexo solo-floresta representa um dos principais reservatórios de carbono. O solo acumula aproximadamente 1500 Pg de carbono orgânico e 950 Pg na forma inorgânica até a profundidade de 100 cm, e na vegetação o estoque de carbono orgânico é de 560 Pg, sendo três vezes superior ao encontrado na atmosfera (LAL, 2008). Assim, infere-se que mudanças no uso do solo podem alterar a dinâmica da matéria orgânica (ASSAD et al., 2013), e com isso interferir nas condições climáticas (LAPOLA et al., 2014), principalmente no entorno da área em questão.

Os solos tropicais armazenam 506 Pg C, dentre os quais 66 Pg C estão em solos da Amazônia, sendo que 47 Pg C estão na Amazônia legal brasileira (BATJE; DIJKSHOORN, 1999). Em estimativas realizadas por Bernoux et al. (2002), predomina no Bioma Amazônia os solos classificados como LATOSSOLO, onde os estoques de carbono variam entre 4,5 a 6 kg m⁻² na camada de 0-30 cm.

Ao avaliar estoques totais de C em todo o território brasileiro, Bernoux et al. (2002) concluíram que maiores valores estão relacionados a umidade do solo, temperatura, e umidade relativa do ar. Os autores afirmaram que os maiores valores encontrados na região norte estão relacionados a umidade do solo, ao contrário na região Nordeste, onde o baixo estoque de C se dá em virtude da baixa oferta hídrica que atenua a produção de biomassa e o acúmulo de matéria orgânica (MOS).

É importante ressaltar que no extenso território Amazônico os estoques de C no solo podem variar, pois estão diretamente relacionados à cobertura do dossel, ao manejo da área, a fatores climáticos e a características físicas, químicas e biológicas do solo. Sabe-se que em ambiente florestal o acúmulo de matéria orgânica no solo varia de acordo com as espécies, a cobertura florestal, o estágio sucessional, a idade e a época da coleta da informação (CALDEIRA et al., 2008). Destaca-se ainda que a serapilheira é a principal responsável pelo acúmulo de MOS (SELLER, 2007), assim como pela ciclagem carbono, nitrogênio, fósforo nos ambientes florestais (COLE; RAPP, 1980). Porém, para manter o equilíbrio dos

estoques de carbono no ecossistema amazônico é necessário que ocorra constante deposição de matéria orgânica, pois os solos desta região, em sua maioria, apresentam alto grau de intemperismo e com isso baixa fertilidade natural.

Uma vez que o acúmulo de carbono no solo se dá em virtude das adições de materiais orgânicos, infere-se que a conversão da floresta nativa para uso agropecuário ocasiona liberação dos estoques de carbono contidos na vegetação e no solo. Corroborando com Nobre e Gash (1997) que revelaram a que conversão de floresta em pasto ocasiona significativa redução no estoque carbono da área. Assad et al. (2013), avaliaram mudanças de uso do solo em diferentes biomas do Brasil, e identificaram que houve perda na maioria de carbono nas áreas de estudo após a conversão da vegetação nativa para pastagem. Acrescenta-se que a queima excessiva de combustíveis fósseis, e a retirada de florestas tropicais aceleram as emissões de gases de efeito estufa (NEPSTAD et al., 1999). Segundo Aguiar et al. (2012) com a remoção da vegetação florestal ocorre liberação de GEE devido a queima da biomassa e degradação gradual da matéria orgânica depositada na superfície do solo.

As atividades agropecuárias e o setor de energia representam a principal fonte de emissão de CO₂ no Brasil, conforme observado na Figura 4 (BRASIL, 2014).

Figura 4 – Participação de diferentes setores na emissão de CO₂ no Brasil no período de 2005 a 2010. Fonte de dados: BRASIL, 2013

Observou-se que a remoção de florestas somada a agropecuária foram responsáveis por 57% das emissões de CO₂ no Brasil durante o período de 2005 a 2010, segundo o relatório de gases de efeito estufa país (Figura 5). Porém, é válido ressaltar que a emissão por desmatamento no mesmo período regrediu em 76%, enquanto no setor de energia a emissão aumentou em 21%. Também regrediram as emissões de CO₂ decorrentes das atividades agropecuárias, pois no período entre 1995 e 2005 a variação foi de 23%, e entre 2005 a 2010 foi de apenas 5% (BRASIL, 2013).

Diante da extensa área que compreende o bioma Amazônia, uma expressiva parte das emissões de CO₂ no Brasil ocorre nesta área. Porém, somente a Amazônia é responsável por 83% da remoção CO₂ do ambiente no país, sendo mais eficiente que os demais biomas brasileiros Figura 5.

Figura 5 -Emissão e remoção de CO₂ nos diferentes biomas brasileiros. Fonte: BRASIL, 2013

Segundo Cerri et al. (2007) a região Amazônica desempenha papel importante no ciclo global do C, devido a sua grande extensão territorial e ao amplo acúmulo de carbono presente no sistema solo-planta. Perante a grande importância da conservação da Amazônia, muitos projetos vêm sendo conduzidos com o objetivo de reduzir o desflorestamento nesta região desde a década de 1980 (FEARNSIDE, 2005), porém somente nos últimos anos resultados significativos foram alcançados (INPE, 2013).

Após pressões políticas, ambientais e econômicas, e apoio por parte de instituições de ensino e pesquisa, desde 2005 o desflorestamento na Amazônia Legal está em declínio (Figura 6). Concomitantemente as emissões de CO₂ reduziram na mesma região (Figura 6).

Dinâmica semelhante foi observada no Estado do Pará, que é apontado com um dos principais responsáveis por alterações na paisagem na região Norte do Brasil, devido a sua participação intensa na produção de grãos, madeira, carne bovina e extração minérios. Também é válido ressaltar que no mesmo período também ocorreu aumento de florestas plantadas, em áreas onde anteriormente ocorria extração madeireira (IBGE, 2013).

Figura 6 -Emissão de CO₂ por desflorestamento na Amazônia. Fonte de dados: INPE, 2013

A partir de tais informações, considera-se que reduções drásticas nos estoques de C, por mudanças na paisagem de áreas com vegetação nativa ou em áreas agricultáveis, podem ocasionar impactos significativos nas emissões GEE para atmosfera. Aguiar et al. (2012) ainda chama atenção para ações conservação das florestas perante o atual cenário de crescimento da demanda pela produção de alimentos, pois novas áreas de florestas podem ser foco de avanço da fronteira agrícola, assim como aconteceu na Amazônia no início da década de 2000.

A fim de evitar novos focos de desflorestamento, muitas pesquisas estão sendo conduzidas com o objetivo de incentivar a condução pastagens e lavouras em áreas que estejam em vias degradação (BRASIL, 2013). O manejo correto de pastagens pode contribuir significativamente para o aumento no estoque de carbono no solo (CERRI et al., 2007; DEON, 2013), assim como a condução de sistema Agroflorestal, e lavoura em sistema plantio direto na palha (SISTI et al., 2005; BAYER et al., 2006).

Por isso, embora seja notável a diminuição nas taxas de desflorestamento na Amazônia, é necessário que seja constante o monitoramento da região e o desenvolvimento de pesquisas para evitar novos focos de remoção de cobertura vegetal. É importante também que estas ações sejam contínuas e em conjunto com desenvolvimento e aplicações de políticas públicas para assim promover o desenvolvimento da Amazônia no âmbito ambiental, assim como no social, econômico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

A pesquisa foi realizada na Fazenda Vitória, município de Paragominas, localizado na mesorregião sudeste do Estado do Pará e delimitada pelas coordenadas geográficas 2° 59' 58,37"S e 47° 21' 21,29"W (Figura 7). A área é de propriedade particular, que atualmente abriga uma Unidade de Referência Tecnológica (URT) com experimento com sistema agrossilvipastoril, implantado e monitorado por pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental desde 2009.

Figura 7 - Localização da Fazenda Vitória (Paragominas, PA)

3.2 Caracterização de condições climáticas e edáficas em Paragominas

Para caracterizar as condições edáficas e climáticas de Paragominas, a fim de identificar a viabilidade da condução de sistemas agropecuários no município, análise da temperatura, tipologia climática, precipitação pluvial, umidade

relativa do ar, deficiência hídrica (CAD 300 mm) e das classes de solo presente no município.

Utilizou-se a base bases de dados topoclimáticos disponível no SIGClima da Embrapa Amazônia Oriental, assim como séries histórica de dados climáticos (1961 a 1990) disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia. Os mapas foram gerados no software ArcGis 9.3, conforme metodologia descrita por Martorano et al. (2011) e Monteiro (2013).

3.3 Caracterização da área experimental

A formação da Fazenda Vitória ocorreu em 1969 com a retirada de parte da vegetação nativa para implantação de pastagem, voltada para pecuária extensiva de corte. Ao longo do processo de ocupação da área, a unidade produtiva passou por distintos tipos de manejo do solo. Atualmente, a Fazenda Vitória é composta por um mosaico com diferentes tipos de cobertura do solo: (i) floresta nativa (ombrófila densa), onde não há registros de interferência antrópica; (ii) floresta secundária, que está em regeneração natural desde 1976, após ter sido transformada em pastagem; (iii) sistema agrossilvipastoril; (iv) lavoura em sistema tradicional; (v) pastagem homogênea, que é manejada em sistema rotacionado.

Destaca-se que esta fazenda é objeto de estudo de diversas pesquisas científicas desde a década de 1990, onde já foram avaliados a fauna, a flora, além de fluxo e estoque de carbono no solo (CATTÂNIO, 1996; CAMARGO, 1997; MOUTINHO, 1998; NEPSTAD, 1999; SILVA, 2005; DAVIDSON, 2007; EL-HUSNY, 2010). Na Tabela 1 está descrito o histórico da floresta secundária e na Tabela 2 o histórico da área onde atualmente está implantado o sistema agrossilvipastoril.

Tabela 1 - Histórico da área sob sistema agrossilvipastoril na Fazenda Vitória (Paragominas, PA)

Ano	Espécies componentes do sistema	Caracterização da Área	Fonte
1969	<i>Panicum maximum</i> cv. colônião	Formação da pastagem	Camargo, 1997; El-Husny, 2010
1969-1975	<i>Panicum maximum</i> cv. colônião	Não manejada	Camargo, 1997
1975	<i>Brachiaria humidicola</i>	Renovação da pastagem	Camargo, 1997
1975-1999	<i>Brachiaria humidicola</i>	Não manejada	Camargo, 1997
2000	<i>Brachiaria brizantha</i> cv marandu		Informações do proprietário
2004	<i>Brachiaria brizantha</i> cv marandu	Não manejada	El-Husny, 2010
2005	<i>Oryza sativa</i>	Cultivo convencional	El-Husny, 2010
2006	-	Pousio	El-Husny, 2010
2007	<i>Oryza sativa</i>	Cultivo convencional	El-Husny, 2010
2008	<i>Zea mays</i> e <i>Brachiaria ruziziensis</i>	Sistema integração lavoura-pecuária sem plantio direto	El-Husny, 2010
2009	<i>Eucalyptus urophylla</i> <i>Schizolobium amazonicum</i> <i>Khaya ivorensis</i> <i>Zea mays</i> <i>Brachiaria ruziziensis</i>	Implantação do sistema agrossilvipastoril. Preparo convencional do solo para implantação da lavoura de milho em consórcio com forrageira no primeiro semestre. Produção de feno no segundo semestre	Embrapa, 2009; Fernandes, 2010; Silva, 2011
2010-2011	<i>Eucalyptus urophylla</i> <i>Schizolobium amazonicum</i> <i>Khaya ivorensis</i> <i>Zea mays</i> <i>Brachiaria ruziziensis</i>	Sistema agrossilvipastoril com lavoura de milho manejada em plantio direto na palha no primeiro semestre. Produção de feno no segundo semestre	Informações de pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental
2012	<i>Eucalyptus urophylla</i> <i>Schizolobium amazonicum</i> <i>Khaya ivorensis</i> <i>Zea mays</i> <i>Brachiaria brizantha</i> cv piatã	Sistema agrossilvipastoril com lavoura de milho manejada em plantio direto na palha no primeiro semestre. Pastejo direto no segundo semestre	Informações de pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental
2013	<i>Eucalyptus urophylla</i> <i>Schizolobium amazonicum</i> <i>Khaya ivorensis</i> <i>Brachiaria brizantha</i> cv piatã	Sistema silvipastoril com pastejo rotacionado	Informações de pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental

Tabela 2 - Histórico da área sob regeneração natural na Fazenda Vitória (Paragominas, PA)

Ano	Espécies componentes do sistema	Caracterização da Área	Fonte
1969	<i>Panicum maximum</i> cv. colônião	Retirada da vegetação nativa para formação da pastagem. Até 1976 a área foi queimada para limpeza três vezes.	Camargo, 1997
1976	<i>Panicum maximum</i> cv. colônião	Pastagem em degradação agrícola. Início do pousio da área	Camargo, 1997; Moutinho, 1998
1977-1992	Área em regeneração com várias espécies	Estabelecimento de capoeira. Ressalta-se que até 1984 o rebanho bovino tinha acesso restrito à área.	Camargo, 1997, Moutinho, 1998
1993	Área em regeneração	Área em regeneração, atingida, acidentalmente, por queimada no extrato inferior	Camargo, 1997; El-Husny, 2010
1992-2013	Área em regeneração	Área em regeneração	Camargo, 1997; El-Husny, 2010

Neste trabalho, realizou-se uma cronosequência de análise temporal (Figura 8), em sete sistemas distintos de cobertura do solo: floresta nativa (FN-1992), floresta secundária com 16 anos (FS-1992), pastagem degradada (PD-1992), sistema de integração lavoura-pecuária sem plantio direto (LP-2008), floresta secundária com 37 anos (FS-2013), pastagem em sistema agrossilvipastoril com paricá (PP-2013) e pastagem em sistema agrossilvipastoril com mogno africano (PM-2013).

Figura 8 - Esquema da cronosequência estudada na Fazenda Vitória. Paragominas, PA

Camargo (1997) avaliou o estoque de carbono nas áreas sob Floresta Nativa (FN), Floresta Secundária com 16 anos (FS-1992) e Pastagem Degradada (PD-1992), em amostras coletadas em 1992. Silva et al. (2011) avaliaram o teor de carbono, densidade do solo e fertilidade na área sob sistema integração lavoura-pecuária sem plantio direto em 2008 cultivo que sucedeu a pastagem mal manejada e antecedeu o sistema agrossilvipastoril na mesma área. Em 2013, coletou-se solo na área de pastagem manejada em sistema agrossilvipastoril com plantio direto na palha (PP-2013 e PM-2013), e também foram coletadas amostras na área de floresta secundária, na ocasião com 37 anos (FS-2013).

Na Figura 9 está ilustrada a evolução temporal da cobertura vegetal na fazenda Vitória, com destaque para as áreas que atualmente estão sob floresta secundária e sistema agrossilvipastoril.

Figura 9 - Cronossequência temporal na área da Fazenda Vitória (Paragominas, PA), nos anos de 1969, 1991, 2005 e 2013. Em todas as imagens, os pontos da cor laranja indicam a Floresta Nativa e os pontos da cor amarela indicam uma Pastagem Manejada. Os pontos de cor azul, nos anos 1969, 1991 e 2005, indicam manejo semelhante ao do retângulo preto nas respectivas imagens. No ano de 2013 o ponto azul indica uma área com agricultura convencional.

O sistema agrossilvipastoril foi formado em 2009 com a utilização de três espécies arbóreas diferentes, além do milho em consórcio com pastagem anual de *Brachiaria ruziziensis* (Tabela 3).

Tabela 3 - Espécies componentes do sistema agrossilvipastoril na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no ano 2009

Espécie / Nome Comum	Função	Área (ha)
<i>Eucalyptus urophylla</i> (Eucalipto)	Produção de madeira	0,54
<i>Schizolobium amazonicum</i> (Paricá)	Produção de madeira	0,54
<i>Khaya ivorens</i> (Mogno Africano)	Produção de madeira para serraria	0,54
<i>Zea mays</i> (Milho)	Produção de grãos	20
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	Produção de feno; produção de palhada para cobertura do solo, formação de pastagem	20

Fonte: EMBRAPA (2009)

As árvores foram implantadas no sistema agrossilvipastoril com o objetivo de proporcionar melhor ambiência animal, produzir madeira para fins energético e moveleiro, além de elevar o rendimento econômico da propriedade. Entre os anos de 2009 e o primeiro semestre de 2012 o cultivo do milho foi realizado em consórcio com pastagem, e em sistema de plantio direto na palha. Ressalta-se que para o desenvolvimento da lavoura, efetuou-se a correção da fertilidade e da acidez do solo. No segundo semestre de 2012 foram introduzidos bovinos para pastejo na área, e a partir de 2013 encerrou-se o cultivo de grãos na área, permanecendo apenas a pastagem e as espécies arbóreas (FERNANDES et al., 2012). Observa-se na Figura 10 a área de estudo no ano de 2011 com a condução da lavoura de milho no primeiro semestre (sistema agrossilvipastoril com plantio direto). E na Figura 11 a mesma área, no primeiro semestre de 2013, apenas com pastagem em sistema silvipastoril.

O solo da área de estudo é classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico coeso, de textura argilosa (CAMARGO et al., 1999; EL-HUSNY, 2010; SILVA et al., 2011) e apresenta relevo plano e suave ondulado. Na Tabela 4 está descrita a granulometria das amostras que foram coletadas na área de estudo em fevereiro de 2013.

Figura 10 – Sistema agrossilvipastoril na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no ano de 2011

Figura 11 - Sistema silvipastoril na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no ano de 2013

Tabela 4 - Teores médios de areia, silte e argila em diferentes áreas da Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no ano de 2013

Área	Profundidade (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)		
		Areia	Silte	Argila
PP-2013	0-10	236	294	470
	10-20	94	282	625
	20-30	64	282	655
	30-40	46	290	665
	40-60	38	278	685
	60-80	27	298	675
	80-100	51	279	670
PM-2013	0-10	55	301	645
	10-20	48	288	665
	20-30	33	272	695
	30-40	28	292	680
	40-60	24	327	650
	60-80	26	349	625
	80-100	44	357	600
FS-2013	0-10	117	296	587
	10-20	53	287	660
	20-30	43	263	693
	30-40	43	296	660
	40-60	70	283	647
	60-80	90	283	627
	80-100	64	349	587

3.4 Amostragem do solo

As amostras de solo foram coletadas em um mesmo platô, visando encontrar características edáficas semelhantes. Para a coleta de solo em 2013, na pastagem em sistema agrossilvipastoril, foram abertas três trincheiras para avaliação

de perfil do solo (Figura 12). Cada trincheira foi aberta a 10 m de distância da linha de plantio das árvores, sendo uma na área de Floresta Secundária (FS-2013), uma no Sistema Silvipastoril com Paricá (PP-2013) e outro no Sistema Silvipastoril com Mogno Africano (PM-2013). Ressalta-se que o solo sob pastagem implantada na parcela com Eucalipto não foi avaliada devido o desenvolvimento desuniforme.

Figura 12 - Esquema de distribuição das trincheiras para estudo do perfil do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) em 2013. A: 02°57'28,9" S e 47°23'07,4" W; B: 02°57'35,6" S e 47°23'14,8" W; C: 02°57'36,1" S e 47°23'14,6" W

A amostragem ocorreu em três paredes de cada uma das trincheiras, obtendo-se três repetições para cada amostra de solo, e as mesmas foram avaliadas separadamente. Coletou-se amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade. Todas as amostras foram devidamente identificadas e os locais de coleta georrefenciados (Figura 12).

As informações obtidas sobre sistema integração Lavoura-Pecuária sem plantio direto (LP-2008), presente na área no ano de 2008, foram extraídas da publicação de Silva et al. (2011). Para o estudo os autores coletaram amostras de solo em quatro pontos distintos da área nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, com três repetições para cada amostra. Porém, no presente trabalho foi

avaliado apenas o valor médio das variáveis teor de carbono, teor de nitrogênio e densidade do solo, disponíveis em Silva et al. (2011).

O delineamento utilizado para a coleta de solo realizada em 1992 está descrito em Camargo (1997). O referido autor realizou as coletas de solo em trincheiras de 9 m de profundidade, anteriormente abertas para estudo do sistema radicular das espécies vegetais presentes na área. Na área de Pastagem Degradada (PD-1992) foram avaliadas duas trincheiras, distantes 0,5 km entre si, e nas áreas de Floresta Nativa (FN-1992) e Floresta Secundária (FS-1992) foram abertas três trincheiras em ambas. Ressalta-se que para o presente estudo obteve-se os dados brutos da pesquisa de Camargo (1997) e foram avaliados os dados até 100 cm de profundidade. Para a determinação do teor de carbono e densidade do solo foram utilizadas três repetições em todos os sistemas estudados; o teor de nitrogênio foi somente determinado no solo da floresta nativa e secundária; e para a composição isotópica do carbono foram avaliadas três repetições da área de floresta nativa.

3.5 Análises de solo

As análises de densidade e matéria orgânica do solo foram realizadas no Laboratório de Solo da Embrapa Amazônia Oriental (Belém, PA).

Avaliou-se a densidade seguindo a metodologia do anel volumétrico proposta em EMBRAPA (1997). Para isso as amostras de solo foram mensuradas e posteriormente secas em estufa a 105 °C, durante 24 h. Após este período a massa de solo foi avaliada novamente, em seguida foi realizado o cálculo conforme a eq. (1).

$$\rho = \frac{M_s}{V_t} \quad (1)$$

ρ = densidade da amostra (g cm⁻³)

M_s = massa do solo seco (g)

V_t = volume total do anel (cm³)

A análise de matéria orgânica do solo foi realizada com uso do método Walkley – Black, conforme descrito em EMBRAPA, 1997. A metodologia consiste em utilizar uma solução de dicromato de potássio com ácido sulfúrico, que possui ação oxidante do sobre a matéria orgânica do solo, posterior titulação do excesso com sulfato ferroso amoniacal. Para construção do gráfico de matéria orgânica do solo, as amostras foram secas, peneiradas em malha de 0,25 mm, maceradas e distribuídas uniformemente em placas de Petri. As amostras foram fotografadas por câmera digital (Nikon D600, lente Nikkor AF Micro 105mm f/2.8D e flash Bold VM-110), com devida regulação utilizada para captura de todas as imagens, com exposição f/5,6, velocidade de obturação 1/40s, sensibilidade ISO 160, e brilho do flash de -1,5.

As análises de teor de carbono, teor de nitrogênio e razão isotópica entre os átomos estáveis de ^{13}C e de ^{12}C , foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP (Piracicaba, SP). Inicialmente as amostras foram maceradas e peneiradas em malha de 0,25 mm e posteriormente pesadas em cápsulas de estanho. A relação isotópica foi determinada por espectrometria de massas em fluxo contínuo, em um analisador elementar *Carlo Erba CHN 1110* que é acoplado a um espectrômetro de massas para razão isotópica *Delta Plus*.

Neste equipamento, as amostras de matéria orgânica secas são convertidas em gases através da combustão a seco, em um forno a 1030°C , sob a ação de reagentes oxidantes e de um pulso de oxigênio ultra-puro, gerando gases de N_2 e CO_2 , com o nitrogênio e carbono da amostra, respectivamente. Esses gases são purificados no analisador elementar para eliminação de subprodutos da combustão, tais como óxidos de enxofre, de nitrogênio e água, e separados em uma coluna cromatográfica, sob uma atmosfera inerte de hélio ultra-puro (gás de arraste). Neste equipamento, as razões isotópicas $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ e $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ são determinadas depois da separação das moléculas em um campo magnético de acordo com suas massas isotópicas, e por fim são comparadas às razões de gases calibrados pelos padrões internacionais de carbono V-PDB (BARRIE; PROSSER, 1996). Os resultados são expressos em partes por mil (‰), conforme a eq. (2).

Ressalta-se ainda que o erro analítico aceitável para os teores de carbono e nitrogênio é de 0,3 e 0,1%, respectivamente. Para a razão isotópica, o erro analítico é de no máximo 0,2 ‰.

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{R_{amostra}}{R_{padr\tilde{a}o}} - 1 \right) * 1000 \quad (2)$$

$\delta^{13}\text{C}$ = isótopo (‰)

R = razões isotópicas ($^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$) das amostras e dos padrão (V-PDB)

3.6 Estoque de carbono e nitrogênio

Os estoques de carbono e nitrogênio foram calculados nos intervalos de 0-30 e 0-100 cm, conforme eq. 3. Devido ao fato de as áreas estudadas terem sido cultivadas com diferentes tipos de manejo, foi realizado o ajuste de massa para cada camada e para isso, utilizou-se como referência a área de floresta nativa, conforme descrito por Ellert e Bettany (1995).

$$E = \frac{T * \rho * e}{10} \quad (3)$$

E = estoque de carbono ou nitrogênio (Mg ha^{-1})

T = teor de carbono ou de nitrogênio (g kg^{-1})

ρ = densidade do solo (g cm^{-3})

e = espessura da camada do solo (cm)

3.7 Diluição isotópica

Para investigar a origem do carbono no solo, utilizou-se o modelo de mistura (eq. 4), pela qual é determinada a contribuição relativa de carbono oriundo de plantas de ciclo fotossintético dos tipos C_3 e C_4 .

$$A = \frac{\delta_P - \delta_B}{\delta_A - \delta_B} * 100 \quad (4)$$

A= contribuição da fonte A para composição do solo (%)

δ_P = valor isotópico do solo estudado (‰)

δ_B = valor isotópico da fonte B (‰)

δ_A = valor isotópico da fonte A (‰)

3.8 Análises estatísticas

Para realização das análises estatísticas, os resultados obtidos, em cada sistema de uso do solo, foram comparados entre as camadas avaliadas, e posteriormente, submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias através do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram executadas no *software* SAS (SAS INSTITUTE, 2008).

Algumas variáveis não foram comparadas estatisticamente devido à ausência de repetição. Por isso, para as variáveis “teor de carbono”, “estoque de carbono” e “densidade do solo”, o sistema Lavoura-Pecuária sem plantio direto (LP-2008) não foi comparado aos demais; e para as variáveis teor de nitrogênio e estoque de carbono os sistemas Floresta nativa (FN-1992), Floresta Secundária com 16 anos (FS-1992) e Lavoura-Pecuária sem plantio direto (LP-2008) não foram analisadas, sendo apresentados apenas seus valores reais, conforme expressos em Silva et al. (2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização edafoclimática de Paragominas, PA

Os processos de transformação do C são fortemente influenciados pelo clima, tipo e qualidade da MOS e suas associações químicas e físico-químicas com os componentes minerais do solo (MACHADO, 2005). Neste sentido, identificar as características edafoclimáticas de uma região agrícola é de alta relevância, visto que as informações são necessárias para indicar as culturas e manejos apropriados.

As condições topotérmicas em Paragominas variam entre 25,3 a 26,4 °C (Figura 13). Com base na classificação climática de Köppen, adaptado por Martorano et al. (1993) para o Estado do Pará, o município de Paragominas enquadra-se no Tipo climático A, com temperaturas médias superiores a 18° C, sendo que um subtipo não apresenta estação seca definida e as médias pluviométricas dos meses menos chuvosos são superiores a 60 mm. No município, observa-se cinco subtipos climáticos, com pequenas variações entre si (Figura 14):

- Af₃: encontra-se em 13% do município e está presente na porção noroeste do município. Caracteriza-se por apresentar precipitação pluvial média anual variando entre 2000 a 2500 mm.
- Am₁: encontra-se em 6% do município localizada na porção central. Apresenta precipitação média anual acima de 3000 mm.
- Am₂: encontra-se em 7% do município, em uma estreita faixa na porção central, sendo uma faixa de transição entre as tipologias Am₃ e Am₁. Caracteriza-se por apresentar precipitação pluviométrica média anual entre 2500 a 3000 mm.
- Am₃: é a tipologia predominante no município, encontra-se em 73% da área e abrange a porção central, de leste a oeste. As chuvas médias anuais variam entre 2000 a 2500 mm. O trimestre menos chuvoso é de agosto, a outubro.
- Am₄: encontra-se apenas 1% do município, na região noroeste. Apresenta precipitação pluvial média entre 1500 a 2000 mm.

Figura 13 - Mapa topotérmico do Pará com recorte no município de Paragominas, PA

Figura 14 - Mapa de tipologia climática no Pará com recorte no município de Paragominas, PA. Metodologia de Köppen, adaptado por Martorano et al. (1993)

A média de precipitação pluvial anual varia entre 2.160 mm (Figura 15), com média de 86,5 % de umidade relativa do ar (Figuras 16).

Figura 15 - Mapa de precipitação pluvial anual do município de Paragominas, PA

Figura 16 - Mapa de umidade relativa do ar anual no Pará com recorte no município de Paragominas, PA

A maior oferta pluvial ocorre entre os meses de dezembro a maio, com médias mensais variando entre 150 e 400 mm, destaca-se que o mês de março apresenta o maior índice pluvial (MARTORANO et al., 2011). O período de menor oferta hídrica no município de Paragominas ocorre entre os meses de agosto a novembro. Martorano et al. (2011) estimaram o déficit hídrico no Estado do Pará, com uso da metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), com CAD (capacidade de água disponível) de 300 mm e concluíram que em Paragominas o trimestre mais seco varia entre 70 a 175 mm (Figura 17). Observa-se no município relevo do tipo plano, suave ondulado e forte ondulado com faixas altimétricas entre 60 a 250 m

Na Figura 18 estão representadas as principais classes de solo identificadas em Paragominas. Nota-se que os Latossolos Amarelos distróficos estão dispostos na porção central e ocupam a área de leste a oeste, sendo dominante. Segundo Rodrigues et al. (2003a), os LATOSSOLOS AMARELOS de texturas média e muito argilosa abrangem, aproximadamente, 81,4% da área municipal. Batjes e Dijkshoorn (1999) ao estudar a Amazônia Legal também identificaram que a classe dos Latossolos é uma das principais e corresponde a 24,6% da região.

Rodrigues et al. (2003a) realizaram um estudo com mais detalhamento sobre os solos de Paragominas com o objetivo de determinar a aptidão agrícola e elaborar o zoneamento agroecológico do município, e identificaram as principais classes de solo do município: LATOSSOLOS AMARELOS, ARGISSOLOS AMARELOS, PLINTOSSOLOS, GLEISSOLOS e NEOSSOLOS, classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Os mesmos autores concluem que os LATOSSOLOS AMARELOS são indicados para o manejo de atividades agropecuárias.

Segundo El-Husny et al. (1998) os cultivos de grãos ocupavam principalmente as áreas com LATOSSOLO AMARELO (com textura variando de média a alta) no início do desenvolvimento da agricultura no município, até o final da década de 1990. A maior parte dos solos do município são profundos e apresentam boa drenagem (RODRIGUES et al., 2003a). Nepstad et al. (1994) ao estudar áreas com florestas nativas na região afirmou que árvores com raízes profundas eram responsáveis pela característica perenifolia da vegetação, pois obtinham água armazenada em camadas profundas do solo no período de deficiência hídrica.

Figura 17 - Mapa de deficiência hídrica (CAD = 300 mm) do município de Paragominas, PA

Figura 18 - Mapa de solos no município de Paragominas, PA

Sabe-se que estes solos apresentam baixa fertilidade natural, caracterizados, principalmente, por apresentarem pH ácido e baixo nível de fósforo disponível (SERRÃO et al., 1979; DIAS-FILHO; SERRÃO, 1987). Porém, Rodrigues et al. (2003a) destaca que com a correta aplicação de insumos agrícolas poderá proporcionar alta produtividade dos cultivos. Para lavouras de culturas de ciclo longo, Rodrigues et al. (2003b) recomenda a adoção de manejo que mantenham o solo com cobertura, pois reduz o efeito de estresse hídrico no período de menor precipitação pluvial.

Para o cultivo de grãos é imprescindível realizar o planejamento da safra, respeitando o período de semeadura e colheita da lavoura de acordo com o ciclo da cultura e a oferta hídrica da região (ARAÚJO; SOUZA, 2001; PACHECO; BASTOS; EL-HUSNY, 2004; MARTORANO et al., 2011), pois existem anos de maior oferta pluvial que podem comprometer a produção. Martorano et al. (2011) destaca a avaliação de dados meteorológicos da região de produção agrícola, assim como do potencial de água no solo é de fundamental importância para o planejamento da safra. O monitoramento de dados climáticos beneficia na determinação do momento mais propício para semeadura, colheita até mesmo em aberturas de janelas de semeadura para culturas de ciclo curto. Marques et al. (2011) ao avaliar diversas cultivares de soja, identificou possíveis aberturas de janelas de semeaduras para a cultivar BRS Babaçu, em períodos de baixo índice pluvial em Paragominas.

De maneira geral o município apresenta condições edafoclimáticas favoráveis para a produção de grãos (RODRIGUES et al., 1999; EL-HUSNY et al., 1998; FARIAS et al., 2007), pastagem produtiva (FERNANDES et al., 2008; SARMENTO, 2007; DIAS-FILHO, 2011) e desenvolvimento da silvicultura (BRIENZA et al., 2009; MONTEIRO, 2013), desde que sejam adotadas práticas de manejo adequadas.

4.2 Teor de carbono e nitrogênio, relação C:N

Ao comparar os teores de carbono e nitrogênio nos diferentes sistemas de manejo, observou-se que as maiores variações ocorreram nas camadas superficiais (Tabelas 5 e 6).

Na camada 0-10 cm, o maior valor de teor de carbono foi detectado na área FS-2013 (37 g kg⁻¹), e o menor foi observado na área PD-1992 (22 g kg⁻¹). Tais

valores diferiram significativamente entre si e entre as demais áreas estudadas. Os teores de carbono em FN-1992, FS-1992, PP-2013 e PM-2013 foram semelhantes entre si (Tabela 5).

Na camada 10-20 cm a área FN-1992 foi semelhante à FS-2013, PP-2013 e PM-2013, diferindo da FS-1992 e PD-1992. Nesta mesma camada de solo, observou-se que houve aumento no teor de carbono nas áreas de floresta secundária e pastagem (Tabela 5).

O maior teor de nitrogênio, na camada 0-10 cm, também foi encontrado na FS-2013 (3 g kg^{-1}) que diferiu das áreas PP-2013 e PM-2013, sendo as últimas semelhantes entre si, 2,5 e $2,3 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 6). As demais áreas não foram comparadas estatisticamente por ausência de repetição dos dados. Destaca-se que abaixo de 20 cm do solo não foi observada diferença no teor de nitrogênio do solo entre as áreas estudadas.

Ao avaliar a área de estudo em 2013, observou-se que os teores de carbono e de nitrogênio foram significativamente diferentes nas camadas superficiais e maiores na FS-2013, porém ao avaliar a relação C:N os valores foram semelhantes entre as áreas de pastagem em sistema agrossilvipastoril e a área com floresta secundária, conforme exposto na Tabela 7. Na camada superficial a relação C:N apresentou valores os 10,9 (PP-2013), 11,8 (PM-2013) e 11,6 (FS-2013), e estes resultados indicam que a humificação da matéria orgânica na pastagem bem manejada está semelhante ao da floresta secundária em todas as camadas de solo avaliadas.

O maior teor de C e N foi identificado na FS-2013, isto pode estar relacionado ao fato da área apresentar grande aporte de serapilheira, que aumenta a matéria orgânica no solo. Sabe-se que a MOS é composta principalmente por carbono, contendo aproximadamente 60% desse elemento, sendo que o nitrogênio participa com até 5% da sua composição total (KIEHL, 1979). Maiores concentrações de carbono em área de regeneração florestal em relação à floresta também foram encontrados por Durigan (2013), que encontrou valores de 26 g kg^{-1} e 24 g kg^{-1} para as respectivas áreas.

Tabela 5 - Média do teor de C (g kg^{-1}) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013

Camada (cm)	Sistema de uso do solo						
	FN-1992	FS-1992	PD-1992	LP-2008	PP-2013	PM-2013	FS-2013
0-10	26,2 $\pm$ 0,13 B	25,2 $\pm$ 0,06 B	22,4 $\pm$ 0,07 C	19,7	27,4 $\pm$ 0,18 B	27,2 $\pm$ 0,07 B	36,5 $\pm$ 0,10 A
10-20	17,3 $\pm$ 0,06A	10,6 $\pm$ 0,02C	10,1 $\pm$ 0,03D	12,9	12,8 $\pm$ 0,15AB	13,1 $\pm$ 0,06ABC	15,4 $\pm$ 0,11 AB
20-30	9,0 $\pm$ 0 D	8,4 $\pm$ 0,01D	7,6 $\pm$ 0,07D	8,6	10,5 $\pm$ 0,05D	11,7 $\pm$ 0,15D	10,7 $\pm$ 0,10D
30-40	8,4 $\pm$ 0,13D	7,7 $\pm$ 0,09D	6,3 $\pm$ 0,04D	NR	8,6 $\pm$ 0,03D	8,4 $\pm$ 0,01D	8,7 $\pm$ 0,05D
40-60	5,3 $\pm$ 0,05D	5,0 $\pm$ 0,02D	5,0 $\pm$ 0,01D	NR	7,1 $\pm$ 0,02D	6,5 $\pm$ 0,04D	7,4 $\pm$ 0,06D
60-80	3,8 $\pm$ 0,01D	4,5 $\pm$ 0,01D	4,3 $\pm$ 0,03D	NR	4,5 $\pm$ 0,04D	5,1 $\pm$ 0,02D	4,6 $\pm$ 0,08D
80-100	3,2 $\pm$ 0,04D	4,2 $\pm$ 0,02D	3,6 $\pm$ 0,06D	NR	4,0 $\pm$ 0,02D	4,1 $\pm$ 0,04D	4,3 $\pm$ 0,02D

Letras maiúsculas comparam médias (média $\pm$ erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). FN: Floresta Nativa; FS: Floresta Secundária; PD: Pastagem Degradada; LP: Sistema Integração Lavoura-Pecuária; PP: Pastagem em sistema silvipastoril com Paricá; PM: Pastagem em sistema silvipastoril com Mogno Africano; NR: valor não registrado na fonte consultada

Tabela 6 - Média do teor de N (g kg^{-1}) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013

Camada (cm)	Sistema de uso do solo						
	FN-1992	FS-1992	PD-1992	LP-2008	PP-2013	PM-2013	FS-2013
0-10	1,6	2,1	NR	NR	2,5 $\pm$ 0,01 B	2,3 $\pm$ 0,00 B	3,2 $\pm$ 0,01 A
10-20	1,2	1,1	NR	NR	1,2 $\pm$ 0,01 C	1,5 $\pm$ 0,01 C	1,5 $\pm$ 0,01 C
20-30	0,9	0,7	NR	NR	1,0 $\pm$ 0 C	1,0 $\pm$ 0,01 C	1,11 $\pm$ 0,01 C
30-40	0,6	0,6	NR	NR	0,8 $\pm$ 0 C	0,8 $\pm$ 0,00 C	0,9 $\pm$ 0,00 C
40-60	0,4	0,5	NR	NR	0,7 $\pm$ 0 C	0,6 $\pm$ 0,00 C	0,7 $\pm$ 0,01 C
60-80	0,4	0,4	NR	NR	0,4 $\pm$ 0 C	0,5 $\pm$ 0,00 C	0,5 $\pm$ 0,01 C
80-100	0,3	0,3	NR	NR	0,4 $\pm$ 0C	0,4 $\pm$ 0,00 C	0,4 $\pm$ 0,00 C

Letras maiúsculas comparam médias (média $\pm$ erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). FN: Floresta Nativa; FS: Floresta Secundária; PD: Pastagem Degradada; LP: Sistema Integração Lavoura-Pecuária; PP: Pastagem em Sistema Silvipastoril com Paricá; PM: Pastagem em Sistema Silvipastoril com Mogno Africano; NR :valor não registrado na fonte consultada

Por sua vez, a área de sistema lavoura-pecuária, com preparo convencional do solo, apresentou os menores valores de carbono no solo. Infere-se que este resultado esteja relacionado ao manejo, pois a área foi submetida ao processo de aração e gradagem anualmente e estas ações proporcionam pouca deposição de MOS na superfície do solo. Corroborando com Bayer e Mielniczuk (2008), tais autores afirmaram que é baixa a adição de resíduos vegetais em sistemas de cultivos agrícolas onde o solo é preparado com frequentes práticas de revolvimento, quando comparado ao sistema de plantio direto.

Bernoux et al. (1999) encontraram resultados semelhantes aos desta pesquisa para os teores de carbono no solo sob floresta primária e pastagem. Ressalta-se que ambos os autores mencionados realizaram suas pesquisas na Amazônia em Latossolo com alto teor de argila.

Cerri, Moraes e Volkoff (1992) estudaram pastagens em três classes de solos distintas na Amazônia brasileira e identificaram teores de carbono diferentes entre elas. Segundo os autores, a abundância de carbono está relacionada à granulometria do solo, sendo que os menores valores foram encontrados naqueles com maior teor de areia, em média com 14 g kg^{-1} de carbono na camada 0-10 cm, sendo inferiores aos encontrados nas áreas de pastagem desta pesquisa, em média 27 g kg^{-1} .

Cantarella, Andrade e Matos Junior (2008) afirmaram que a concentração total de N no solo está correlacionada ao teor de MOS, pois mais de 90% deste elemento está no compartimento orgânico do solo, resultado semelhante ao que ocorreu neste estudo, onde o maior teor de N foi encontrado na FS-2013, onde há maior teor de matéria orgânica do solo (Figura 17). Também é importante esclarecer que a área FS-2013 é composta por várias espécies de árvores da família Fabaceae, segundo inventário realizado por Moutinho (1998), tal fato também pôde ter contribuído para um maior teor de N nesta área.

Tabela 7 - Média da relação C:N em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) em 2013

Camada (cm)	Sistema de uso do solo		
	PP-2013	PM-2013	FS-2013
0-10	10,89 ± 0,30 A	11,78 ± 0,38 A	11,56 ± 0,21 A
10-20	10,90 ± 0,04 A	11,01 ± 0,50 A	10,25 ± 0,07 A
20-30	10,71 ± 0,15 A	10,94 ± 0,34 A	10,04 ± 0,07 A
30-40	10,81 ± 0,18 A	10,49 ± 0,22 A	10,07 ± 0,15 A
40-60	10,56 ± 0,11 A	10,45 ± 0,46 A	10,04 ± 0,11 A
60-80	9,94 ± 0,33 A	10,75 ± 0,30 A	9,87 ± 0,15 A
80-100	10,23 ± 0,12 A	10,50 ± 0,08 A	9,65 ± 0,06 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). PP: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Paricá; PM: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Mogno Africano; FS: Floresta Secundária

Tabela 8 - Média da densidade do solo (g cm^{-3}) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013

Camada (cm)	Sistema de uso do solo						
	FN-1992	FS-1992	PD-1992	LP-2008	PP-2013	PM-2013	FS-2013
0-10	0,98 ± 0,02 BC	1,01 ± 0,06 BC	1,21 ± 0,00 A	1,26	0,98 ± 0,02 BC	1,09 ± 0,02 B	0,84 ± 0,12 C
10-20	1,14 ± 0,01 A	1,13 ± 0,04 A	1,22 ± 0,02 A	1,26	1,17 ± 0,02 A	1,20 ± 0,09 A	1,15 ± 0,01 A
20-30	1,30 ± 0,01 A	1,25 ± 0,02 AB	1,24 ± 0,03 AB	1,27	1,26 ± 0,01AB	1,16 ± 0,02B	1,28 ± 0,05A
30-40	1,29 ± 0,01A	1,25 ± 0,01A	1,25 ± 0,03A	NR	1,28 ± 0,01A	1,22 ± 0,04A	1,24 ± 0,03A
40-60	1,28 ± 0,00A	1,25 ± 0,01A	1,26 ± 0,02A	NR	1,27 ± 0,01A	1,27 ± 0,04A	1,22 ± 0,02A
60-80	1,27 ± 0,01A	1,26 ± 0,01A	1,28 ± 0,00A	NR	1,31 ± 0,00A	1,24 ± 0,05A	1,25 ± 0,01A
80-100	1,28 ± 0,01A	1,28 ± 0,00A	1,32 ± 0,02A	NR	1,32 ± 0,01A	1,27 ± 0,02A	1,28 ± 0,02A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). FN: Floresta Nativa; FS: Floresta Secundária; PD: Pastagem Degradada; LP: Sistema Integração Lavoura-Pecuária; PP: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Paricá; PM: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Mogno Africano; NR: valor não registrado na fonte

Valores superiores de relação C:N foram encontrados por Deon (2013) e Durigan (2013). Deon (2013) ao comparar a relação C:N de uma pastagem bem manejada com uma vegetação secundária, sob latossolo no baixo amazonas, encontrou valores de 14,2 para a primeira área e de 14 para a segunda, ambos na camada 0-10 cm. Por sua vez, Durigan (2013) registrou valores de C:N 13 nas áreas de pastagem e floresta secundária na camada superficial de um LATOSSOLO argiloso na Amazônia.

Os resultados da relação C:N encontrados nesta pesquisa (Tabela 7) corroboram com Batjes e Dijkshoorn (1999), onde os autores indicaram que os valores para os LATOSSOLOS da Amazônia podem variar entre de 10,5 (0-30 cm) a 12 (30-10 cm). É válido ressaltar que a época de coleta do material pode interferir no valor do resultado, pois a incorporação de matéria orgânica recente, ainda não decomposta, e o excesso de umidade e acidez do solo podem contribuir para o aumento da relação C:N do solo (KIEHL, 1979).

De maneira geral, os resultados estiveram no intervalo determinado por Vieira (1971), que em um trabalho pioneiro estudou perfis de solos do Estado do Pará, e identificou que a relação C:N para os LATOSSOLOS AMARELOS pode variar entre 6 e 16.

É válido ressaltar que a relação C:N das áreas PP-2013, PM-2013 e FS-2013 apresentam valores favoráveis para o desenvolvimento das espécies vegetais, indicando que nos últimos anos a área foi manejada corretamente. Pois de acordo com Kiehl (1979) a relação C:N do solo deve estar no intervalo entre 8:1 e 12:1 para a matéria orgânica ser considerada humificada, sendo que dessa forma não apresenta características químicas que possam prejudicar a germinação de novas plantas.

4.3 Densidade do solo

A densidade do solo diferiu apenas nas camadas 0-10 e 20-30 cm, conforme descrito na Tabela 8. Observou-se que na camada superficial a área FS-2013 apresentou menor densidade do solo ($0,84 \text{ g cm}^{-3}$) e foi semelhante à FS-1992 ($1,01 \text{ g cm}^{-3}$), FN-2012 e PP-2013 ($0,98 \text{ g cm}^{-3}$ em ambas as áreas). Neste mesmo intervalo do solo as duas áreas com pastagem avaliadas em 2013 não diferiram, porém a pastagem degradada diferiu dos demais sistemas e apresentou a maior

densidade ($1,2 \text{ g cm}^{-3}$). A área sobre sistema integração lavoura-pecuária apresentou os maiores valores de densidade, porém devido à ausência de repetições disponíveis o conjunto de dados não pôde ser comparado aos demais sistemas estatisticamente.

Embora o maior valor de densidade do solo tenha sido encontrado nas áreas PD-1992 e LP-2008, as mesmas não são consideradas compactadas, pois estão abaixo de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$, valor estabelecido por Camargo e Alleoni (1997) para solos argilosos e franco-argilosos. Reichardt e Timm (2004) relataram que em solos com alto teor de argila a densidade do solo pode variar entre $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,6 \text{ g cm}^{-3}$.

Em avaliações de pastagem em vias de degradação, realizadas por Sattler (2006), Guariz et al. (2009), Costa et al. (2012), foram encontrados valores maiores, variando entre $1,40$ a $1,56 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 0-20 cm. Assim como, Deon (2013) e Durigan (2013), ao avaliarem áreas de pastagem homogênea bem manejada, encontraram densidade do solo com valores superiores aos da presente pesquisa. No estudo realizado por Deon (2013) a média foi de $1,35 \text{ g cm}^{-3}$, enquanto Durigan (2013) observou $1,15 \text{ g cm}^{-3}$, no intervalo entre 0 a 30 cm de profundidade do solo. Moraes et al. (2002) que avaliaram diferentes áreas com pastagem, também registraram valores superiores, com média de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ até 20 cm de profundidade.

De maneira geral, os menores valores de densidade do solo foram identificados nas primeiras camadas, tal fato pode estar relacionado ao maior incremento de matéria orgânica (Figura 19), maior número de raízes e maior ação dos microorganismos neste intervalo. A matéria orgânica por ser menos densa em relação aos minerais do solo favorecer a formação de grânulos, e reduz a densidade aparente do solo. Por sua vez, o aumento da densidade ao longo do perfil do solo está relacionado ao sobrepeso das camadas superiores e a eluviação de argila, característica comum em solos de textura argilosa (REICHARDT; TIMM, 2004). Segundo Kiehl (1979) a densidade do solo tem correlação positiva com o teor de argila presente no solo.

Infere-se que a menor densidade do solo nas áreas PP-2013 e PM-2013, em relação aos trabalhos de mencionados anteriormente, pode estar relacionado ao uso da tecnologia de plantio direto na palha, aplicação correta de insumos agrícolas para manejo dos cultivos agrícolas na área. De acordo com Imhoff (2002), Martorano (2007), o sistema de cultivo integrado em plantio direto na palha proporcionada maior incremento de MOS e com isso beneficia a condição física do

solo, como a densidade e a porosidade, além de favorecer o estabelecimento das raízes, a infiltração de água no solo e maior produtividade das culturas. Da mesma forma, a correção da fertilidade em áreas cultivadas também pode interferir positivamente na densidade do solo, uma vez que estimula o desenvolvimento do sistema radicular das culturas implantadas, e este processo favorece o aumento de biomassa vegetal (JERKE; SOUSA; GOEDERT, 2012), além de promover a descompactação das partículas do solo e que leva à diminuição da densidade (SEVERIANO et al., 2010).

Resultados positivos após o uso do plantio direto para a estrutura física do solo também foram encontrados por Carvalho et al. (2007), que compararam o cultivo de soja em sistema convencional e plantio direto na palha, e encontrou os valores de 1,26 e 1,13 g cm⁻³, respectivamente, na camada de 0-10 cm. Porém é importante ressaltar que a manutenção da qualidade do solo estará relacionada à deposição constante dos resíduos na área, podendo ser afetada com mudanças no manejo do sistema (BAYER et al., 2004).

É válido destacar que as áreas PP-2013 e PM-2013 ficaram desde 2009 até o primeiro semestre de 2012 sem pastejo direto, sendo que o capim produzido era convertido em feno para consumo na unidade produtiva em época de seca e venda para pecuaristas que exportam o rebanho bovino. Portanto, o pisoteio animal não interferiu na estrutura física do solo neste período. Resultado semelhante foi apresentado em estudo realizado por Moreira et al. (2005), sobre as propriedades físicas de LATOSSOLO VERMELHO de textura argilosa sob pastagem no Cerrado. No referido estudo os autores concluíram que o aumento da densidade do solo foi influenciado pela degradação da própria pastagem, ocasionada pela permanência contínua dos animais em pastejo. Os mesmos autores relataram ainda que com a diminuição da matéria orgânica, acima e incorporada ao solo, intensifica o processo de compactação.

Diante do exposto, pode-se inferir que a mudança no sistema de manejo da pastagem influenciou positivamente nos valores de densidade do solo.

4.4 Estoque de carbono e nitrogênio no solo

Observou-se que o maior estoque de carbono na camada de 0-10 cm ocorreu na área FS-2013 (35 Mg ha⁻¹), e tal valor diferiu significativamente nas

demais áreas, que apresentaram resultados semelhantes entre si (Tabela 9). Nesta mesma camada, o menor valor foi observado na área LP-2008 ($18,9 \text{ Mg ha}^{-1}$), porém devido a falta de repetição de amostras este resultado não foi inserido nas análises estatísticas, a fim de não comprometer os resultados.

Observou-se que após a conversão da pastagem em degradação agrícola (PD-1992) em sistema agrossilvipastoril (PP-2013 e PM-2013), sendo conduzido em sistema plantio direto por três anos consecutivos, o aumento no estoque de carbono no solo foi de $5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada 0-10 cm.

O estoque de C na camada 10-20 cm foi semelhante entre as áreas PP-2013, PM-2013, FS-2013 e FN-1992. No mesmo intervalo de solo, as áreas FS-1992 e PD-1992 também foram semelhantes entre si e diferiram da FN-1992. Ressalta-se que não foram observadas diferenças significativas entre as áreas nas camadas abaixo de 30 cm (Tabela 9). Ao avaliar o estoque de nitrogênio no solo, observou-se que os sistemas de uso do solo, avaliados em 2013, diferiram significativamente apenas na camada 0-10 cm (Tabela 10). Onde o estoque de N nas áreas PP-2013 ($2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e PM-2013 ($2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) foram semelhantes entre si e diferentes de FS-2013 ($3,7 \text{ Mg ha}^{-1}$). Destaca-se que as análises estatísticas não foram executadas para os sistemas avaliados em 1992, devido à ausência de repetições para a variável “teor de nitrogênio”.

De maneira geral, os resultados dos estoques de carbono e de nitrogênio no solo evidenciam que as maiores diferenças e os maiores valores foram encontradas apenas nas camadas superficiais, onde ocorre maior incremento de MOS. Resultados semelhantes também foram encontrados por Durigan (2013), Deon (2013) e Camargo et al.(1999) que também realizaram estudo da dinâmica do carbono em LATOSSOLO AMAERELO em locais diferentes do Bioma Amazônia.

Tais pesquisas corroboram com Tognon, Demattê e Demattê (1998), onde indicam que nos LATOSSOLOS AMARELOS da Amazônia Brasileira a maior incorporação de matéria orgânica ocorre no horizonte superficial do solo. Da mesma forma Cerri et al. (2007) afirmam que 44,7% do carbono presente nos solos da Amazônia está contido em até 20 cm, intervalo onde as transformações edáficas são mais aceleradas e evidentes em menor tempo, devido ao maior acúmulo de MOS e atividade de microorganismos.

Tabela 9- Média do estoque C (Mg ha⁻¹) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013

Camada (cm)	Sistema de uso do solo						
	FN-1992	FS-1992	PD-1992	LP-2008	PP-2013	PM-2013	FS-2013
0-10	25,66 ± 1,58 B	24,67 ± 1,0 B	21,36 ± 0,77 B	18,91	26,76 ± 1,37 B	26,63 ± 1,29 B	35,76 ± 1,76 A
10-20	19,72 ± 0,81 A	12,08 ± 0,41 B	11,28 ± 0,28 B	14,39	14,60 ± 1,94 AB	14,93 ± 0,89 AB	17,56 ± 1,43 AB
20-30	11,69 ± 0,16 A	10,87 ± 0,17 A	9,79 ± 0,77 A	10,94	13,66 ± 0,52 A	15,17 ± 2,05 A	13,93 ± 1,39 A
30-40	10,81 ± 1,73 A	9,92 ± 1,11 A	8,06 ± 0,44 A	NR	11,06 ± 0,34 A	10,81 ± 0,13 A	11,16 ± 0,63 A
40-60	13,51 ± 1,15 A	12,92 ± 0,60 A	12,69 ± 0,18 A	NR	18,10 ± 0,60 A	16,64 ± 0,99 A	19,00 ± 1,61 A
60-80	9,65 ± 0,38 A	11,34 ± 0,20 A	10,87 ± 1,04 A	NR	11,31 ± 1,01 A	12,95 ± 0,29 A	11,72 ± 2,03 A
80-100	8,10 ± 1,02 A	10,68 ± 0,54 A	9,24 ± 1,52 A	NR	10,30 ± 0,50 A	10,41 ± 1,03 A	11,06 ± 0,49 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). FN: Floresta Nativa; FS: Floresta Secundária; PD: Pastagem Degradada; LP: Sistema Integração Lavoura-Pecuária; PP: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Paricá; PM: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Mogno Africano; NR: valor não registrado na fonte consultada

Tabela 10 - Média do estoque N (Mg ha⁻¹) em diferentes sistemas de manejo do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013

Camada (cm)	Sistema de uso do solo						
	FN-1992	FS-1992	PD-1992	LP-2008	PP-2013	PM-2013	FS-2013
0-10	1,55	1,33	NR	NR	2,46 ± 0,09 A	2,28 ± 0,03 A	3,10 ± 0,21 A
10-20	1,40	1,19	NR	NR	1,34 ± 0,18 A	1,72 ± 0,16 A	1,72 ± 0,15 A
20-30	1,13	0,92	NR	NR	1,27 ± 0,03 A	1,34 ± 0,15 A	1,39 ± 0,14 A
30-40	0,81	0,74	NR	NR	1,02 ± 0,03 A	1,02 ± 0,02 A	1,11 ± 0,05 A
40-60	1,01	1,16	NR	NR	1,72 ± 0,07 A	1,62 ± 0,07 A	1,89 ± 0,16 A
60-80	1,04	1,00	NR	NR	1,13 ± 0,07 A	1,22 ± 0,02 A	1,19 ± 0,20 A
80-100	0,77	0,80	NR	NR	1,01 ± 0,04 A	0,95 ± 0,07 A	1,15 ± 0,05 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). FN: Floresta Nativa; FS: Floresta Secundária; PD: Pastagem Degradada; LP: Sistema Integração Lavoura-Pecuária; PP: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Paricá; PM: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Mogno Africano; NR: valor não registrado na fonte consultada

Segundo Araújo e Monteiro (2007) a maior parte da atividade biológica está concentrada na camada 0-30 cm do solo. Porém é importante ressaltar que o solo deve ser avaliado em maior profundidade, pois este é um dos principais sumidouros de carbono existentes no ecossistema terrestre (LAL, 2008). Por estes motivos, o presente trabalho avaliou os estoques de carbono e nitrogênio, separadamente, nas camadas 0-30 cm e 0-100 cm.

Ao avaliar o estoque de carbono na camada 0-30 cm, observou-se que o maior valor foi observado na área FS-2013 (67 Mg ha^{-1}), que por sua vez foi semelhante a FN-1992 (57 Mg ha^{-1}) e a PM-2013 ($56,7 \text{ C Mg ha}^{-1}$), conforme ilustrado na Figura 20. Destaca-se que as áreas PP-2013 e PM-2013 foram semelhantes entre si, no mesmo intervalo de solo.

Ainda na camada 0-30 cm, observou-se que os menores estoques de carbono foram observados no sistema lavoura-pecuária sem plantio direto ($44,2 \text{ Mg ha}^{-1}$), seguido pela área sob pastagem degradada ($42,4 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Figura 19 - Estoque de carbono e nitrogênio na camada 0-30 cm do solo em diferentes sistemas de uso do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013. Letras maiúsculas comparam médias (média $\pm$ erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). FN: Floresta Nativa; FS: Floresta Secundária; PD: Pastagem Degradada; PP: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Paricá; PM: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Mogno Africano

O estoque de nitrogênio, na camada 0-30 cm, não apresentou diferenças significativas entre as áreas FN-2013 (6,2 Mg ha⁻¹), PP-2013 (5 Mg ha⁻¹) e PM-2013 (5,3 Mg ha⁻¹). As áreas FN-1992 e FS-1992 valores próximos, com 7,70 Mg ha⁻¹ e 7,11 Mg ha⁻¹ de nitrogênio, respectivamente (Figura 19). Também não foi observada diferenças, para estoque de nitrogênio, no intervalo de 0-100 cm de solo (Figura 21).

Ao avaliar o estoque de carbono na camada 0-100 cm, observou-se que a área FS-2013 (120,2 Mg ha⁻¹) diferiu das as áreas FS-1992 (92,5 Mg ha⁻¹) e PD-1992 (83,3 Mg ha⁻¹), sendo as últimas semelhantes entre si (Figura 20). As demais áreas apresentaram resultados intermediários e foram semelhantes entre si.

Figura 20 - Estoque de carbono e nitrogênio na camada 0-100 cm do solo em diferentes sistemas de uso do solo na Fazenda Vitória (Paragominas, PA) no período de 1992 a 2013. Letras maiúsculas comparam médias (média $\pm$ erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). FN: Floresta Nativa; FS: Floresta Secundária; PD: Pastagem Degradada; PP: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Paricá; PM: Pastagem em Sistema Silvopastoril com Mogno Africano

Constatou-se que entre 1992 e 2013 a floresta secundária apresentou o incremento de 28 Mg ha⁻¹ de carbono na camada de 0-100 cm, sendo que 71% do

conteúdo foi identificado na camada 0-30 cm. Infere-se que o aumento de C pode estar relacionado ao desenvolvimento da vegetação e a produção de serapilheira, neste ambiente. Destaca-se que a floresta secundária há mais de 30 anos não sofre interferência antrópica, portanto não há remoção da cobertura do solo e segue naturalmente com a ciclagem de nutrientes.

Tal fato assemelha-se ao resultado encontrado por Schlittler, Marinis e César (1993), que indicaram existir relação direta entre o acúmulo de serapilheira e o desenvolvimento do dossel, que conseqüentemente, tende a aumentar o incremento de carbono no solo. Seller (2007) realizou uma vasta revisão sobre o tema e identificou que a serapilheira é principal fonte de matéria orgânica no solo, principalmente pela deposição de folhas. De acordo com Cole e Rapp (1980), a serapilheira é principal responsável pela ciclagem de carbono, nitrogênio, fósforo nos ambientes florestais. É válido ressaltar que a ciclagem de nutriente é de fundamental importância para a maior parte dos solos da Amazônia, pois estes apresentam baixa fertilidade natural (DEMATTE, 1988).

O resultado encontrado na área FN-1992 (57 Mg ha^{-1}) corrobora com Bernoux et al. (2002), onde os autores estimaram que o valor do estoque de carbono em LATOSSOLO AMARELO, sob floresta na Amazônia, é entre 50 a 60 Mg ha^{-1} nos primeiros 30 cm de profundidade. O resultado da presente pesquisa foi semelhante ao estudo realizado por Durigan (2013), onde os estoques de carbono no solo entre floresta nativa e secundária foram 59 Mg ha^{-1} , em LATOSSOLO de textura argilosa no oeste do Estado do Pará. Da mesma forma, Giácomo, Pereira e Balieiro (2008) identificaram valor acima de 60 Mg ha^{-1} de carbono, na camada 0-30 cm, em áreas de floresta secundária e floresta plantada.

Porém o estoque de carbono na área FS-1992 (16 anos) apresentou valor superior ao encontrado por Deon (2013), com diferença acima de 10 Mg ha^{-1} de carbono na camada 0-30 cm. A referida autora avaliou duas áreas de vegetação secundária, entre 10 e 20 anos de regeneração natural, em LATOSSOLO AMARELO em dois locais distintos na Amazônia Legal e verificou estoque de carbono de, aproximadamente, 40 Mg ha^{-1} .

Ao comparar o carbono estocado na floresta nativa com a pastagem em degradação agrícola, na camada 0-100 cm, observou-se que a segunda área apresentou $15,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ a menos que a primeira. Porém após reforma do pasto e condução da pastagem em sistema silvipastoril com plantio direto na palha (por três

anos), ocorreu aumento de 23 Mg C ha^{-1} na área, valor estatisticamente semelhante à floresta. Do total de estoque de carbono na área de pastagem, 57% do valor foi verificado na camada 0-30 cm.

Diferenças no estoque de carbono entre pastagem bem manejada e degradada também foram registradas por COSTA et al., (2009) em um ARGISSOLO AMARELO no Sul da Bahia. Os autores registraram o valor de $55,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$ nos primeiros 30 cm do solo, em uma pastagem de 18 anos bem manejada, sendo que tal valor assemelha-se aos observados nas áreas PP-2013 e PM-2013 (Figura 18). Porém, na área de pastagem degradada o estoque de carbono foi de $45,28 \text{ Mg ha}^{-1}$, também próximo ao encontrado na PD-1992 (Figura 20). Tais resultados corroboram com Cerri et al. (2007) e Bustamante et al. (2012), que concluem que o manejo da pastagem influencia diretamente no estoque de carbono no solo.

O estoque de carbono nas áreas PP-2013 e PM-2013 assemelhou-se aos resultados encontrados por Assad et al. (2013) e Moraes et al. (1996) que realizaram estudos semelhantes na 0-30 cm do solo. Assad et al. (2013), ao avaliar pastagens de diferentes idades nos biomas Cerrado, Pampa e Mata Atlântica, determinaram que o estoque de carbono no solo é em média $59,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. Por sua vez, Moraes et al. (1996) ao realizarem cronossequências em pastagens na Amazônia, observaram que o estoque de carbono no solo foi de 53 Mg ha^{-1} . Destaca-se também a pesquisa realizada por Bernoux et al. (1999) em Paragominas, PA, onde os autores encontraram valores próximos ao da presente pesquisa nos primeiros 20 do solo, com $43,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em pastagem de 15 anos.

Atribui-se esse incremento de carbono nas áreas PP-2013 e PM-2013 ao fato da área ter recebido aplicações de insumos para correção da acidez e fertilidade do solo durante os últimos anos durante o cultivo de grãos na mesma área, além da aplicação da técnica do plantio direto. Tais fatores contribuíram para o aumento de matéria orgânica no solo e desenvolvimento do sistema radicular da gramínea. Jerke, Sousa e Goedert (2012) avaliaram diferentes áreas de cultivos anuais em plantio direto, sob LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no cerrado, e identificaram que a adubação influenciou no aumento de carbono orgânico no solo. Várias pesquisas têm apontado que a aplicação do sistema plantio direto aumenta o teor de carbono, reduz a perda da matéria orgânica no solo e pode ser considerado como uma alternativa sustentável para mitigar emissões de CO_2 para atmosfera,

quando comparado ao sistema convencional (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2000; CAMPOS et al., 2013).

Sabe-se que uma área de pastagem, desde que seja bem manejada, tende a aumentar o aporte de carbono no solo (CERRI; ANDREUX, 1990), porém o mesmo não ocorre em pastos com incorreta taxa de lotação, uma vez que a intensidade do pastejo dirá determinar o desenvolvimento do sistema radicular da gramínea (PEGOTTO, 2001). Esse aumento de carbono em ambientes de pastagem está relacionado ao sistema radicular fasciculado característico das Liliopsidas, grupo taxonômico o qual pertencem as gramíneas.

Segundo Tognon, Demattê e Demattê (1998) o sistema radicular pivotante, característico da maioria das espécies florestais, tendem a incorporar pouca matéria orgânica no solo, nas camadas superficiais, em comparação ao denso sistema radicular das gramíneas. Porém, as raízes das gramíneas não atingem grande profundidade, em pastagens de *Brachiaria* spp. mais de 50% do sistema radicular está concentrado em até 30 cm de profundidade (SANTOS et al., 2007) e em pastagem de *Panicum maximum* 76% da raízes vivas estão dispostas nos primeiros 20 cm do solo (PEGOTO, 2001). Ressalta-se que ambas as pastagens citadas foram utilizadas na área de estudo desde o início da administração da unidade produtiva.

Por sua vez, as espécies florestais podem apresentam raízes que atingem grandes profundidades. Nepstad et al. (1994) ao avaliar florestas nativas da região sudeste do Estado do Pará, identificou que o sistema radicular ultrapassa 8 m, e inferiu que as raízes profundas são as principais responsáveis por manter a vegetação perenifólia, mesmo que a região passe anualmente por um período de déficit hídrico. Dessa forma, as espécies florestais estão habilitadas a absorver água das camadas mais profundas do solo. Por isso é de grande importância levar em consideração também as características do sistema radicular do tipo de vegetação presente na área de estudo ao comparar os estoques de carbono entre diferentes sistemas de uso do solo.

Camargo et al. (1999) estudaram o incremento de raízes, em pastagens com diferentes tipos de manejo e em ambientes florestais em distintas fases de sucessão, até a profundidade de 5 m. Os referidos autores identificaram que o sistema radicular das forrageiras são mais abundantes na camada superficial, e abaixo de um metro as espécies arbóreas são responsáveis por maiores

incrementos de carbono no solo. O mesmo estudo revelou que no intervalo de um a cinco metros o incremento de raízes nos ambientes florestais duplica em relação à pastagem.

É importante ressaltar que o aumento de carbono na área de pastagem, também pode estar relacionada a presença de carvões, pois a mesma foi manejada com uso da prática da queimada para renovação do pasto deste 1969 até o final da década de 1990, conforme descrito na Tabela 2. Vários trabalhos revelam que o fogo interfere na composição química da matéria orgânica do solo (MOREIRA; MALAVOLTA, 2004), transformando-a em uma fração rica em carbono e mais recalcitrante ao ataque bioquímico (CERTINI, 2005). Destaca-se que tais efeitos ocorrem principalmente na porção superficial do solo. Durigan (2013) estudou diferentes áreas sob florestas, pastagem e agricultura, e identificou que o maior estoque de carbono na camada 0-10 cm foi registrado na área de floresta que sofreu queimada.

Deon (2013) também encontrou resultado semelhante, ao comparar a camada 0-30 cm de uma mata que sofreu ação da queimada com outra vegetação nativa onde não havia registro da ação do fogo, detectou maior valor de estoque de carbono na primeira, sendo o maior incremento apenas na camada 0-10 cm. Sabe-se que o uso do fogo foi uma prática muito aplicada para limpeza de áreas na Amazônia. Porém esta atividade causa diversos problemas ambientais, seja por emissão de GEE, ou por interferência negativa nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CERTINI, 2005).

Embora os estoques de carbono no solo sejam semelhantes entre as áreas com floresta e a pastagem, é importante ressaltar que mudanças na paisagem, onde florestas nativas são convertidas em sistemas de cultivos, favorece alta perda de carbono para atmosfera. Nobre e Gash (1997) verificaram que a conversão de floresta primária para pasto, apresentou uma drástica redução no estoque de carbono da área, pois a biomassa existente passou de 265 Mg ha^{-1} , na vegetação florestal, para 6 Mg ha^{-1} na pastagem.

Nesse contexto, destaca-se que a reforma de áreas degradadas e manejo correto de pastagens é imprescindível perante a demanda de produção agropecuária com uso responsável dos recursos naturais. Percebe-se que a abertura de novas áreas não é necessária no município de Paragominas e deve ser

evitado, pois 44,5% da vegetação natural foi removida desde a sua formação, segundo estimativa realizada em 2012 (INPE, 2013).

É importante ressaltar que um relevante número de produtores rurais de Paragominas já adota as tecnologias preconizadas pelo programa ABC, tais como sistema agrossilvipastoril, sistema plantio direto na palha, recuperação de pastagem com correção de fertilidade do solo e reflorestamento comercial. Tal fato demonstra que a produção de grãos, carne, leite e madeira em sistemas sustentáveis, em áreas anteriormente degradadas, são viáveis na Amazônia.

4.5 $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo nos diferentes sistemas de manejo

Ao comparar os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) dos solos sob floresta primária (1992) e secundária (2013), detectou-se que houve semelhança entre as áreas apenas na camada 0-10 cm, permanecendo diferentes abaixo de 20 cm profundidade. De maneira geral, as duas áreas de pastagem apresentaram valores semelhantes entre si, e diferiram da floresta nativa em todas as camadas avaliadas, indicando que houve alteração na composição do carbono presente no solo após a mudança de tipo de vegetação (Figura 21).

Nas áreas de pastagens os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram observados nas camadas superiores, devido maior incorporação do material vegetal pela forrageira. Por sua vez, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob as áreas de floresta aumentaram com a profundidade. Martinelli et al. (1996) avaliaram perfis de solos em diferentes locais da Amazônia e encontraram o mesmo padrão de variação de acordo com a profundidade, e afirmaram que o aumento dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ nas camadas mais profundas do solo está relacionado ao fracionamento da matéria orgânica do solo.

Figura 21 - Distribuição de $\delta^{13}\text{C}$ (média $\pm$ erro padrão) nos perfis do solo em diferentes áreas da Fazenda Vitória (Paragominas, PA): FN-1992: Floresta Nativa; FS-2013: Floresta Secundária; PP-2013: Pastagem em sistema silvipastoril com Paricá; PM-2013: Pastagem em sistema silvipastoril com mogno africano

Com o objetivo de investigar a origem do carbono que compõem as áreas de estudo, utilizou-se o modelo de diluição isotópica (eq. 4). Com isso, estimou-se a contribuição do carbono oriundo de plantas de ciclo fotossintético C_4 na composição do solo nas áreas avaliadas no ano de 2013. Observa-se na Figura 22 que na camada 0-10 cm somente 4% do carbono presente na área FS-2013 é de origem da antiga pastagem, sugerindo, que a maior parte do carbono presente no solo advém do crescimento secundário, composto exclusivamente por plantas que seguem o ciclo fotossintético C_3 .

Figura 22 - Distribuição de carbono oriundo de plantas de ciclo fotossintético C_4 nos perfis do solo em diferentes áreas da Fazenda Vitória (Paragominas, PA): PP-2013: Pastagem em sistema silvipastoril com Paricá; PM-2013: Pastagem em sistema silvipastoril com mogno africano; FS-2013: Floresta Secundária. Letras maiúsculas comparam médias (média $\pm$ erro padrão da média) entre os diferentes sistemas estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Por outro lado, a proporção de plantas oriundas do tipo C_4 nos sistemas agrossilvipastoris foi maior, em torno de 21% e 23% nas áreas PP-2013 e PM-2013, respectivamente. A partir da camada 10-20 cm as amostras de solos das áreas PP-2013, PM-2013 e FS-2013 apresentaram teores de carbono oriundo de plantas C_4 semelhantes entre si, permanecendo abaixo de 15% até 40 cm e menos de 10% abaixo deste intervalo.

De maneira geral, a maior parte do carbono estocado na área de estudo ainda é proveniente da vegetação com ciclo fotossintético do tipo C_3 , até mesmo nas áreas PP-2013 e PM-2013 que são conduzidas com pastagem desde 1969. Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Durigan (2013), Desjardins et al.(2004), Bernoux et al.(1999), Neill et al.(1997) e Trumbore et al.(1995) que estudaram valores isotópicos em solos sob pastagens implantadas também em LATOSSOLOS argilosos no bioma Amazônia. Tais autores encontraram valores de C_4 variando entre 20 a 35% em pastagens com mais de 15 anos de condução.

Resultados diferentes foram encontrados por Desjardins et al. (1994, 2004), Moraes et al. (1996) e Melo (2003), que estudaram cronossequências floresta-pastagem em ARGILOSO, e por Moraes et al. (2002) que realizaram estudo semelhante em LATOSSOLO com alto teor de areia, sendo todos no Bioma Amazônia. Ao avaliarem a abundância natural de isótopo ^{13}C nas áreas de estudo, os autores anteriormente mencionados, observaram rápida mudança na composição da matéria orgânica do solo passando de C_3 para C_4 . Em média, os resultados atingiram mais de 50% de carbono oriundo de C_4 em pastagens após 20 anos de condução.

Tal fato pode estar relacionado velocidade da decomposição da matéria orgânica que é oposta ao teor de argila presente no solo (Bayer, 1996). Segundo Canellas et al. (2008) o elevado teor de matéria orgânica em solos de textura argilosa demonstra que é forte a interação entre as frações de matéria orgânica e argila, e tal característica preserva os compostos orgânicos contra a biodegradação.

É válido ressaltar que o resultado da composição isotópica do solo nas áreas PP-2013 e PM-2013, onde foi observado maior participação de carbono oriundo de plantas C_3 , pode ter sido influenciado pela presença de plantas daninhas na área, uma vez que até o início da década de 2000 a área era ocupada por pastagem em degradação agrícola. Corroborando com Trumbore et al. (1995) e Camargo et al. (1999) que estudaram pastagens em situação semelhante.

Camargo et al. (1999) estudou uma pastagem bem manejada e outra em degradação agrícola, ambas implantadas no mesmo período e sob LATOSSOLO de textura argilosa. Segundo os autores a primeira área apresentou maior valor de $\delta^{13}\text{C}$ em relação à segunda, onde foi registrado -24 ‰ e -25 ‰, respectivamente na camada 0-10 cm. No mesmo estudo os autores avaliaram a origem do carbono do solo, e a pastagem bem manejada apresentou 19,8 %, enquanto a degradada continha 14,5 % de carbono oriundo de vegetação de ciclo fotossintético do tipo C_4 .

Ressalta-se também que as áreas PP-2013 e PM-2013 foram cultivadas com arroz de sequeiro (C_3) nos anos de 2005 e 2007, tal fato atrelado a presença de plantas herbáceas e arbustivas (C_3) na pastagem degradada influenciou nos resultados. Pois, sabe-se que a composição isotópica do solo sofre interferência da dinâmica da vegetação presente no local (MARTINELLI et al., 2009; URQUIAGA et al., 2006).

Como já mencionado anteriormente, deve-se levar em consideração a granulometria do solo na avaliação da origem do carbono do solo. Várias pesquisas têm demonstrado que o teor de argila tem uma correlação direta com o teor de carbono (KIEHL, 1979; SANTOS, 2007; MELO, 2003), e que este mineral age como uma proteção ao carbono orgânico do solo e com isso aumenta a sua permanência no ambiente.

Tais afirmações corroboram com Cerri, Moraes e Volkoff (1992), que realizaram um estudo da dinâmica do carbono em pastagens na Amazônia. Segundo os autores, o conteúdo de carbono no solo está diretamente relacionado à textura do solo, sendo que áreas com LATOSSOLO apresentaram maior conteúdo de carbono em relação ao ARGISSOLO, devido o primeiro apresentar maior teor de argila.

Em pesquisa desenvolvida por Bayer (1996), envolvendo o sistema de plantio direto e cultivo convencional em diferentes classes de solos, foi diagnosticado que a taxa de decomposição é menor em LATOSSOLO em relação ao ARGISSOLO, devido o primeiro apresentar maior teor de argila e o segundo maior teor de areia nas camadas superiores. Bayer e Mielniczuk (2008) destacaram ainda que a maior estabilidade da matéria orgânica em LATOSSOLOS em relação à ARGISSOLOS deve-se ao fato do primeiro formar mais agregados e apresentar minerais de óxidos de ferro adsorvidos na superfície.

Por tanto, os estudos relacionados à dinâmica do carbono no solo, desenvolvidos na Amazônia devem ser ponderados de acordo com as demais propriedades edáficas, manejo do solo, características climáticas e tipos de cobertura vegetal. Tal ação deve ser levada em consideração devido ampla extensão territorial da região, que comporta diferentes padrões edafoclimáticos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados confirmaram as hipóteses desta pesquisa, pois foi observado que houve aumento no estoque de carbono no solo da área da floresta secundária que está em processo de regeneração natural e sob avaliação há 21 anos. Da mesma forma, houve aumento no estoque de carbono no solo na área de pastagem, anteriormente degradada, que foi reformada e está sendo conduzida em sistema silvipastoril.

Observou-se que a densidade do solo aumentou quando a floresta nativa foi convertida em pastagem e esta se tornou degradada. Porém, com a renovação da área e manejo adequado do pasto, a densidade do solo diminuiu e obteve valores semelhantes aos da floresta nativa até um metro de profundidade. Também ocorreu diminuição da densidade do solo na área de floresta secundária quando comparado o período entre 1992 e 2013.

A floresta secundária, em pousio há 37 anos, apresentou os maiores incrementos de C e N, sendo superior ao encontrado no solo de floresta nativa e pastagens avaliadas. Entre as pastagens, os estoques de carbono e nitrogênio no solo foram maiores na área em sistema silvipastoril, manejado com milho em sistema plantio entre 2009 a 2012, em relação à pastagem homogênea em degradação agrícola avaliada em 1992.

Mesmo após 44 anos de condução de pastagem, a área apresenta mais de 70% de carbono oriundo de plantas de ciclo fotossintético do tipo C_3 na camada superior. Esse valor chega a atingir a 90% nas camadas mais profundas. Tal fato está relacionado ao alto teor de argila presente na área, que mantém a matéria orgânica do solo protegida em complexos organo-minerais. Porém, deve ser ressaltado que a área permaneceu por um período prolongado com infestação de plantas daninhas de ciclo do tipo C_3 , e também recebeu o cultivo de arroz de sequeiro no ano de 2005 e 2007.

De maneira geral, observou-se que a mudança no manejo da pastagem proporcionou alterações positivas nas características edáficas. A elevação significativa do estoque de carbono no solo, na área do sistema agrossilvipastoril, pode ser um indicador de atividade agropecuária com baixa emissão de carbono em Paragominas. Ao mesmo tempo, a pastagem em vias de degradação apresentou o menor valor de estoque de carbono no solo, indicando redução do potencial

produtivo do solo pelos baixos teores C que estão relacionados a matéria orgânica do solo. Ressalta-se que o sistema agrossilvipastoril está em consonância com as premissas do Plano ABC na Amazônia. A estratégia de manejo de pastagens em vias de degradação do solo com plantios de culturas agrícolas anuais e introdução do componente arbóreo em sistema de plantio direto por três anos, expressa o aumento do estoque de carbono do solo.

Diante do exposto, infere-se que políticas voltadas à produção agropecuária devem priorizar a recuperação de áreas degradadas na Amazônia, dessa forma reduz a pressão em abertura de novas áreas de vegetação nativa. Os resultados obtidos na unidade produtiva, avaliada pela presente pesquisa, indicam que adoção de técnicas agropecuárias, que fazem uso racional dos recursos naturais, são viáveis e ambientalmente corretas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A.P.D.; OMETTO, J.P.; NOBRE, C.; LAPOLA, D.M.; ALMEIDA, C.; VIEIRA, I.C.; SOARES, J.V.; ALVALA, R.; SAATCHI, S.; VALERIANO, D.; CASTILLA-RUBIO, J.C. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation - driven carbon emissions: the INPE - EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, Oxford, v. 18, p. 3346–3366, 2012.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; MARTINS, S.C.; GROPPPO, J.D.; SALGADO, P.R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E.E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, Hoboken, v. 10, p. 6141–6160, 2013.

BARRIE, A.; PROSSER, S. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometer. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-46.

BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**, Amsterdam, v. 89, n. 3/4, p. 273-286, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.599-607, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Carbon storage in labile fractions of soil organic matter in a tropical no tillage Oxisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKO, W.J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-tilage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.86, p. 237- 245, 2006.

BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; GERALDES, A.P.A.; FERNANDES, S.A.P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronossequência de floresta tropical-pastagem de Paragominas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, p.777-783, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/download.pdf>. Acesso em: 15 set. 2013.

_____. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>>. Acesso em: 24 out. 2013.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://gvces.com.br/arquivos/177/EstimativasClima.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Decreto n. 6321, de 28 de agosto de 2007**: Portaria de Inclusão de novos Municípios na Lista das Áreas Prioritárias para Prevenção, Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Decreto/D6321.htm>. Acesso em: 25 nov. 2014.

BRIENZA JUNIOR, S.; MONTEIRO, D.C.A.; MARTORANO, L.G.; LISBOA, L.S.; MAESTRI, M.P.; SCHULER, A. Energetic potencial of the *Sclerolobium paniculatum* Vogel (taxi-branco) and its preferential top climatic condition in Eastern Amazonia, Brazil. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL RESEARCH ON FOOD SECURITY, NATURAL, RESOURCE MANAGEMENT AND RURAL DEVELOPMENT, 2009, Hamburg. **Proceedings...** Hamburg, 2009. 1 CD-ROM

BUSTAMANTE, M. M. C., NOBRE, C. A., SMERALDI, R., AGUIAR, A. P. D., BARIONI, L. G., FERREIRA, L. G., LONGO, K., MAY, P., PINTO, A. S.; OMETTO, J. P. H. B. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 115, p.559–577, 2012.

CALDEIRA, M.V.W.; VITORINO, M.D.; SCHAAT, S.S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma floresta Ombrófila Densa. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.

CAMARGO, P.B. **Dinâmica da matéria orgânica do solo decorrente das mudanças no uso da terra utilizando isótopos de carbono**. Estudo de um caso: Paragominas, PA. 1997. 98 p Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura)- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

CAMARGO, P.B.; TRUMBORE, S.E.; MARTINELLI, L.A.; DAVIDSON, E.A.; NEPSTAD, D.C.; VICTORIA, R.L. Soil carbon dynamics in regrowing forest of eastern Amazonia. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9. p. 693–702, 1999.

CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; BRASIL, E.L.; IWATA, B.F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes

sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 304-312, 2013.

CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBSS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. de; SILVA, L.S.; CANTANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.59-60.

CANTARELLA, H.; ANDRADE, C.A.; MATTOS JUNIOR, D. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de nitrogênio para as plantas. In: SANTOS, G.A. de; SILVA, L.S.; CANTANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.581-585.

CARVALHO, E.J.M.; FREITAS, L.S.; VELOSO, C.A.C.; SOUZA, A.S.; EL-HUSNY, J.C.; VALENTE, M.A.; TRINDADE, E.F.S.; LIRA, R.S. Efeito de sistemas de manejo sobre a densidade do solo em latossolo vermelho amarelo do sudeste paraense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Porto Alegre. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira: resumos...** Porto Alegre: SBCS, 2007. 1CD-ROM.

CATTÂNIO, J.H. **Efeito da exclusão da chuva no fluxo dos gases traçadores em solo de floresta primária de terra firme no leste amazônico**. 1996. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1996.

CENTURION, J.F.; OLIVEIRA, P.R.; ROSSETTI, K.V.; CENTURION, M.A.P.C.; ANDRIOLI, I. Sistema de manejo e qualidade física em latossolo vermelho cultivado com soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 32., 2011, Piracicaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2011. p. 40-51.

CERRI, C.C.; ANDREUX, F.G. Changes in organic carbon content in Oxisols cultivated with sugar cane and pastures based on ^{13}C natural abundance measurement. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., 1990 Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: ISSS, 1990. v.4, p.98-103.

CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B. Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados a pastagens da Amazônia brasileira. **Investigation Agraria**, Ottawa, v.1, p. 95-102, 1992.

CERRI, C.E.P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D.S.; BATJES, N.H.; MILNE, E.; CERRI, C.C. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 58-72, 2007.

CERTINI, G. Effect of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, Berlin, v. 143, p. 1-10, 2005.

CHEN, S.; HUANG, Y.; ZOU, J.; SHI, Y. Mean residence time of global topsoil organic carbon depends on temperature, precipitation and soil nitrogen. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 100, p. 99–108, 2013.

COLE, D.W.; RAPP, M. Elemental cycling in forested ecosystems. In: REICHLE, D.E. (Ed.). **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge: Cambridge University, 1980. p. 341–409.

COSTA, A.S.V.; DRUMOND NETO, A.P.; CAMELO, G.N.; BOECHAT, C.L.; SILVA, M.B. Utilização de técnicas vegetativas na recuperação de encostas íngremes degradadas as margens de rodovias. **Revista de Ciência e Tecnologia do Vale do Mucuri**, Diamantina, n. 4, p. 75-90, 2012.

COSTA, D.C.; MARTORANO, L.G.; EL-HUSNY, J.C.; MARQUES, M.C. Panorama da cadeia produtiva de grãos e do regime pluvial em Paragominas, Pará. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA, 15., 2011, Belém. **Resumos...** Belém: Embrapa, 2011. 1CD-ROM.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIAS, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de Tabuleiro Costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n. 5, p.1137-1145, 2009.

DAVIDSON, E.; CARVALHO C.; FIGUEIRA, A.; ISHIDA, F.; OMETTO, J.; NARDOTO, G.; SABÁ, R.; HAYASHI, S.; LEAL, E.; VIEIRA, I.; MARTINELLI, L.: Recuperation of nitrogen cycling in Amazonia forests following agricultural abandonment. **Nature**, London, v. 447, n. 21, p.995-998, 2007.

DEMATTÊ, J.L.I. **Manejos de solos ácidos dos trópicos úmidos – Região Amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215 p.

DEON, D.S. **Mudança de uso da terra e impacto na matéria orgânica do solo em dois locais no Leste da Amazônia**. 2013. 151 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

DESJARDINS, T.; ANDREUX, F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Organic carbon and ¹³C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in Eastern Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 61, p.103-118, 1994.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, London, v. 103, n. 2, p. 365-373, 2004.

DIAS-FILHO, M. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém: Editora do Autor, 2011.

DIAS-FILHO, M.B.; SERRÃO, E.A.S. **Limitações de fertilidade do solo na recuperação de pastagens degradadas de capim Colonião (*Panicum maximum* Jacq.) em Paragominas, na Amazônia Oriental.** Belém: EMBRAPA, CPATU, 1987. 1987. 21 p. (Boletim de Pesquisa, 36).

DURIGAN, M. R. Mudanças nos estoques de carbono e nitrogênio do solo em função da conversão do uso da terra no Pará. 2013. 101 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

ECLESIA, R. P.; JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R.B.; BIGANZOLI, F.; PIÑEIRO, G. Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. **Global Change Biology**, Oxford, v. 18, p. 3237–3251, 2012.

EL-HUSNY, J.C. **Avaliação de indicadores de qualidade de um latossolo amarelo em sistemas de integração lavoura-pecuária no município de Paragominas.** 2010. 228 p. Tese (Doutorado em Agroecossistemas da Amazônia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2010.

EL-HUSNY, J.C.; ANDRADE, E.B. de; MEYER, M.C.; ALMEIDA, L.A. de. **Cultivares de soja para microrregião de Paragominas, Pará.** Belém: EMBRAPA, CPATU, 1998. 19 p. (Circular Técnica, 76).

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. **Rede PECUS.** Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/redepecus/arede>>. Acesso em: 04 fev. 2014.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo.** Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Circular Técnica, 48).

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

_____. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v.1, n.1, p. 113-123, 2005.

FERNANDES, P C.C.; GRISE, M.M.; ALVES, L.W.R.; SILVEIRA FILHO, A.; DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico e modelagem da integração lavoura-pecuária na região de Paragominas, PA.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 31 p. (Documentos, 327).

GIÁCOMO, R.G.; PEREIRA, M.G.; BALIEIRO, F.C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, p.42-48, 2008.

GIASSON, E. Introdução ao estudo dos solos. In: MEURER E.J. **Fundamentos de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010.

GUARIZ, H.R.; CAMPANHARO, W.A.; PICOLI, M.H.S.; CECÍLIO, R.A.; HOLLANDA, M.P. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Resumos...** Natal: INPE, 2009. p. 7709-7716.

HOMMA, A.K.O. A expansão da soja na Amazônia: a repetição do modelo da pecuária? In: SEMINÁRIO GEOPOLÍTICA DA SOJA NA AMAZONIA, 2003, Belém. **Resumos...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental; Museu Emilio Goeldi, 2003. 1CD-ROM.

IMHOFF, S.C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 104 p. Tese (Doutorado em Solo e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 02 fev. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal – PRODES**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 07 nov. 2013.

JERKE, C.; SOUSA, D.M.G. de; GOEDERT, W.J. Distribuição do carbono orgânico em Latossolo sob manejo da adubação fosfatada em plantio direto no Cerrado **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 3, p. 442-448, 2012.

KENNEDY, A.C., SMITH, K.L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 170, p. 78–86, 1995.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. Piracicaba; São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences**, London, v. 363, n. 2, p.815-830, 2008.

LAPOLA, D.M.; MARTINELLI, L.A.; PERES, C.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERREIRA, M.E.; NOBRE, C.A.; AGUIAR, A.P.D.; BUSTAMANTE, M.M.C.; CARDOSO, M.F.; COSTA, M.H.; JOLY, C.A.; LEITE, C.C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B.B.N.; VIEIRA, I.C.G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, London, v. 4, p. 27-35, 2014.

LEAL, G.L.R. **Paragominas: a realidade do pioneirismo**. 2.ed. Paragominas: Prefeitura Municipal de Paragominas, 2000. 200 p.

LISBOA, C.C.; CONANT, R.T.; HADDIX, M.L.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Soil carbon turnover measurement by physical fractionation at a forest-to-pasture chronosequence in the Brazilian Amazon. **Ecosystems**, New York, v. 12, p. 1212–1221, 2009.

MARQUES, M.C.; MARTORANO, L.G.; EL-HUSNY, J.C.; COSTA, D.C. Padrões fenológicos de cultivares de soja avaliadas em função do regime térmico-hídrico na safra 2011 em Paragominas, PA. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA, 15., 2011, Belém. **Resumos...** Belém: Embrapa, 2011. 1CD-ROM.

MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E.S.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; MOREIRA, M.Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 144 p.

MARTINELLI, L.A.; PESSEDA, L.C.R.; ESPINOZA, E.; CAMARGO, P.B.; TELLES, E.C.; CERRI, C.C.; VICTORIA, R.L.; ARAVENA, R.; RICHEY, J.; TRUMBORE, S. Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climate change during the Quaternary. **Oecologia**, Berlin, v. 106, p. 376-381, 1996

MARTORANO, L.G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. 2007. 151 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CEZAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. **Estudos climatológicos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather)**. Belém: SUDAM/EMBRAPA, SNLCS1993. 60 p.

MARTORANO, L.G.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; FARIA, R.T.; MIELNICZUK, J.; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia**, Campina Grande, v. 13, n.4, p. 397-405, 2009.

MARTORANO, L.G.; MONTEIRO, D.C.A.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L.S.; ESPÍRITO SANTO, J.M.; ALMEIDA, R.F. Top-bioclimate conditions associated to natural occurrence of two Amazonian native tree species for sustainable reforestation in the State of Para, Brazil. In: VILLACAMPA, Y.; BREBBIA, C.A. **Ecosystems and sustainable development VIII**. Ashurst Lodge: Wittpress, 2011. p.111-122.

MARTORANO, L.G.; EL-HUSNY, J.C.; MONTEIRO, D.C.A.; ALVES, L.W.R.; FERNANDES, P.C.C.; LIMA, R.B.M.; CHAVES, S.S.F. Avaliações agrometeorológicas para subsidiar estratégias de decisão em cultivos de soja no município de Paragominas, Pará. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 32., 2011, Piracicaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2011. p. 59-62.

MELO, A.W.F. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo do Acre**. 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Escola

Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MONTEIRO, D.C.A. **Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia.** 2013. 153 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

MORAES, J.F.L.; NEILL, C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; LIMA, V.C.; STEUDLER, P.A. Soil carbon and nitrogen stocks following forest conversion to pasture in the Western Brazilian Amazon Basin. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p.1369-1376, 2002.

MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.70, p.63-81, 1996.

MORAES, M.F.; OLIVEIRA, G.C.; KLIEMANN, H.J.; SEVERIANO, E.C.; SARMENTO, P.H.L.; NASCIMENTO, M.O. Densidade e porosidade do solo como diagnóstico do estado de degradação de solos sob pastagens na região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Água e biodiversidade: anais..** Belo Horizonte: SOBRAD, 2002. p. 256-258.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.1103-1110, 2004.

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

MOUTINHO, P.R.S. **O papel das saúvas (*Atta sexdens*) na sucessão florestal em pastagens abandonadas na Amazônia.** 1992. 129 p. Tese (Doutorado em Ecologia)– Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

NEILL, C.; MEILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; MORAES J.F.L. de; PICCOLO, M.C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian amazon. **Ecological Applications**, Tempe, v. 7, p. 1216–1225, 1997.

NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, P.; NEGREIROS, G.H.; SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBORE, S.E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, London, v. 372, p. 666-669, 1994.

PACHECO, N.A.; BASTOS, T.X.; EL-HUSNY, J.C. Identificação de risco climático para semeadura da soja no município de Paragominas, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13.,2004, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: SBMET, 2004.1CD-ROM.

PAGOTTO, D.S. **Comportamento do sistema radicular do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo.** 2001. 51p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera:** conceitos , processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p.

RODRIGUES, T.E.; SILVA, R.C.; SILVA, J.M.L.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C.; GAMA, J.R.N.F.; VALENTE, M.A. **Caracterização e avaliação da potencialidade dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 51p. (Documentos, 162).

RODRIGUES, T.E.; VALENTE, M.A.; GAMA, J.R.N.F.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C. de; SANTOS, P.L.; SILVA, J.L. da. **Zoneamento agroecológico do município de Paragominas, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 64p.

SANTOS, E. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e Cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – PR.** 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SANTOS, R.S.M. dos; OLIVEIRA, I.P. de; MORAIS, R.F. de; URQUIAGA, S.C.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Componentes da parte aérea e raízes de pastagens de *Brachiaria spp.* em diferentes idades após a reforma, como indicadores de produtividade em ambiente de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.2, p.119-124, 2007.

SARMENTO, C.M.B. **Modelos agrossilvipastoris para pequenas propriedades agrícolas do nordeste paraense.** 2007. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências Animal) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

SAS INSTITUTE. **SAS statistical software:** release 9.2.Cary, 2008.1 CD-ROM.

SATTLER, M.A. **Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo vermelho-amarelo sob pastagem e vegetação nativa na bacia hidrográfica do Itapemirim.** 2006. 94 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

SCHLITTLER, F.H.M.; MARINIS, G.; CÉSAR, O. Produção de serapilheira na floresta do Morro do Diabo, Pontal do Paranapanema – SP. **Naturalia**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 135-147, 1993.

SELLE, G.L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.4, p. 29-39, 2007.

SERRÃO, E.A.S.; FALES, I.C.; VEIGA, J.B.; TEIXEIRA NETO, J.F. Productivity of cultivated pastures on low fertility soil of the Amazon of Brazil. In: SANCHEZ, P.A.; TERGAS, L.E. **Pasture production in soils of the tropics**. Cali: CIAT, 1979. p. 195–225.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B.; MAGALHÃES, E.N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 14, n.1, p. 39-45, 2010.

SILVA, A.R.; VELOSO, C.A.C.; CARVALHO, E.J.M.; ALVES, L.W.R.; AZEVEDO, C.M.B.C.; FERNANDES, P.C.C. Comportamento da espécie paricá (*Shizolobium amazonicum*) em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no município de Paragominas– PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011. Belém. **Resumos...** Belém: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais, 2011. 1CD-ROM.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39–58. 2004.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Subsídios ao Plano Regional de Desenvolvimento (1972-1974)**. Belém, 1971. 246 p.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil Central. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, p.343-354, 1998.

TRUMBORE, S.E., DAVIDSON, E.A., CAMARGO, P.B. DE, DE NEPSTAD, D.C., MARTINELLI, L.A. Belowground cycling of carbon in forest and pastures of Eastern Amazonia. **Global Biogeochem Cycles**, Washington, v. 9, n. 4, p. 515–528, 1995.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; CAMPOS, D.V.; BODDEY, R.M. Aplicação de técnicas de ^{13}C em estudos de seqüestro de C em solos agrícolas. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O. **Manejo de sistemas agrícolas: impactos no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. p.13-33.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; CAMPOS, D.V.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P. Aplicação de técnicas de ^{13}C em estudos da dinâmica da matéria orgânica de solos agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O.; **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.571-595.

VEIGA, J.B. da; ALVES, C.P.; MARQUES, L.C.T.; VEIGA, D.F. **Sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental**. Belém: Embrapa Amazônia, 2000. (Documentos, 56).

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Impactos da atividade madeireira e perspectivas para o manejo sustentável da floresta numa velha fronteira da Amazônia: o caso de Paragominas. In: BARROS, A.C.; VERÍSSIMO, A. (Ed.). **A expansão madeireira na Amazônia**: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará. 2.ed. Belém: Imazon, 2002. p. 41-70.

VIEIRA, L.S. **Os solos do Estado do Pará**. Belém: Instituto do Desenvolvimento Econômico Social do Pará, 1971.175 p.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, p. 28–40, 2005.