



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA



ELINEUZA FARIA DA SILVA TRINDADE

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DA CAPOEIRA AO LONGO DO
TEMPO**

**Belém
2012**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA



ELINEUZA FARIA DA SILVA TRINDADE

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DA CAPOEIRA AO LONGO DO
TEMPO**

Tese apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do curso de Doutorado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de “**Doutora**”.

Orientador:

Dr. Osvaldo Ryohei Kato

Co- orientador:

Dr. Eduardo Jorge Maklouf Carvalho

**Belém
2012**

Trindade, Elineuza Faria da Silva

Propriedades físicas e químicas de um solo submetido a diferentes sistemas de manejo da capoeira ao longo do tempo./Elineuza Faria da Silva Trindade. - Belém, 2012.

120 f.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Belém, 2012.

1. Manejo do solo 2. Trituração da capoeira 3. Agricultura familiar 4. Amazônia. I. Título.

CDD – 631.41



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA



**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DA CAPOEIRA AO LONGO DO
TEMPO**

ELINEUZA FARIA DA SILVA TRINDADE

Tese apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do curso de Doutorado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de “**Doutora**”.

Aprovado em 03 de agosto de 2012.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Osvaldo Ryohei Kato
Orientador
(Embrapa Amazônia Oriental–EMBRAPA)

Dr. Arystides Resende Silva
(Embrapa Amazônia Oriental – EMBRAPA)

Dr^a. Gladys Ferreira de Sousa
(Embrapa Amazônia Oriental – EMBRAPA)

Dr^a. Maria Marly de Lourdes Silva dos Santos
(Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA)

Dr. Francisco de Assis Oliveira
(Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA)

DEDICO E OFEREÇO

Aos meus pais, **Glória e Edino**, responsáveis pela minha estruturação e formação moral, fundamental ao ser humano.

Ao meu filho, **Jean Carlos**, pelo amor, incentivo, apoio e renúncia durante este estudo.

Aos meus irmãos, **Elisangela e Elivan**, e sobrinhos, **José Antônio e Bianca Yasmin**, pelo amor e descontração nos momentos de tensão.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu uma família maravilhosa e colocou pessoas que me ajudaram em todos os momentos no processo de realização deste sonho.

Aos meus pais Glória e Edino, pelo apoio irrestrito ao meu crescimento intelectual, herança para toda a vida.

À Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, em particular, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pela oportunidade de realização do doutoramento.

À Embrapa Amazônia Oriental pela liberação da área experimental e pelo apoio técnico e logístico durante a realização da pesquisa, em especial aos funcionários do Laboratório de Solos pelo apoio e ajuda nas análises.

Ao grande Mestre, Dr. Moacir Azevedo Valente, *Prata da Casa* da Embrapa Amazônia Oriental, que me dedicou toda sua atenção, incentivo e amizade do início ao final de mais este trabalho. Muito obrigada pela compreensão, pela confiança e por sempre me fazer acreditar, em meio a tantas tribulações, que eu conseguiria superar todas as adversidades encontradas ao longo desse caminho.

Ao Dr. Osvaldo Kato pela confiança, apoio e orientação no estudo.

Ao meu Coorientador, Dr. Eduardo Maklouf, pela paciência e fundamental apoio durante a pesquisa.

Ao pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Moisés Mourão, pela valiosa contribuição na análise estatística dos dados.

A FAPESPA pela concessão da bolsa de estudo para subsidiar esta pesquisa.

Aos meus familiares e amigos que nunca me deixaram desistir.

Fabício Rebello, Patrícia Guedes, Fabrícia Alvino, Cyntia Meireles: vocês viveram comigo momentos de tristezas e alegrias pessoais e profissionais durante estes 4 anos de curso. Obrigada pela força! Sua amizade é um tesouro que ganhei de Deus.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada!

EPIGRAFE

Anda!

Quero te dizer nenhum segredo
Falo nesse chão, da nossa casa
Vem que tá na hora de arrumar...

Vamos precisar de todo mundo
Um mais um é sempre mais que dois
Prá melhor juntar as nossas forças
É só repartir melhor o pão
Recriar o paraíso agora
Para merecer quem vem depois...

“O Sal da Terra” (Beto Guedes)

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE UM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DA CAPOEIRA AO LONGO DO TEMPO

RESUMO

No cenário do Nordeste Paraense a floresta secundária é um elemento dominante e fundamental para a manutenção da atividade agrícola e geração de renda. Entretanto, a diminuição dos períodos de pousio nessa região, cuja agricultura é baseada no corte e queima da capoeira, tem levado a insustentabilidade do sistema produtivo, pois o tempo de 2 a 5 anos de repouso utilizado na região é insuficiente para a recuperação da qualidade do solo. A perda contínua de nutrientes associada à degradação física do solo devido a esse tipo de manejo impedem o agricultor de continuar a utilizar a mesma área, o que resulta em cultivos itinerantes em desequilíbrio. Os efeitos negativos em termos socioeconômicos e ambientais consequentes dessa prática motivaram a realização de pesquisas com o intuito de delinear um modelo de uso mais sustentável, a partir do manejo da capoeira. Em estudos há mais de 17 anos realizados em experimento de longa duração comparando os efeitos do preparo de área (queima e trituração da capoeira) com pousio de 3-4 anos e dois períodos de cultivo na mesma área, o sistema de plantio direto na capoeira, que é baseado no corte e trituração da capoeira, tem contribuído para que essa tecnologia transforme-se em força produtiva para a agricultura de base familiar, no entanto os resultados dessas pesquisas são oriundos de períodos de avaliação de curta duração (até 4 anos após a implantação do sistema). Diante disso, este trabalho abordará o comportamento do solo em relação a algumas de suas propriedades físicas e químicas ao longo de 15 anos de uso da tecnologia de corte e trituração da capoeira no Município de Igarapé-Açu, Nordeste do Estado do Pará, em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico. Foram avaliadas 3 formas de preparo da terra: 1- corte e queima da vegetação em pousio; 2- corte e trituração da vegetação de pousio para cobertura do solo; e, 3- corte, trituração e incorporação da vegetação ao solo, com e sem adubação NPK, e uma área de capoeira natural como testemunha. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com 6 tratamentos e 3 repetições, em esquema fatorial 4X4 com parcelas subdivididas. Os fatores constituíram-se, respectivamente, de 4 anos (1995, 1996, 1998 e 2010) e 4 profundidades (0-10; 10-20; 20-30 e 30-50 cm). As amostras de solo deformadas e indeformadas foram analisadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, segundo metodologia utilizada pela Embrapa (1997), e comparados pelo teste de Tukey a 5%. Os resultados indicam que o sistema baseado na trituração da capoeira aliado a complementação através da adubação mineral apresenta maior potencial para a manutenção da qualidade física e hídrica do solo em relação ao sistema com queima da vegetação secundária ao longo do tempo; os sistemas de manejo com e sem queima da vegetação apresentam-se similares em termos de disponibilidade de nutrientes e de matéria orgânica no solo com o passar dos anos; ao longo do tempo, o tratamento com incorporação da biomassa vegetal triturada mais adubação apresenta-se como a melhor alternativa para substituir a queima no preparo de área.

Termos de indexação: Manejo do solo. Trituração da capoeira. Agricultura familiar. Amazônia.

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF A SOIL SUBJECTED TO DIFFERENT SYSTEMS OF "CAPOEIRA" MANAGEMENT OVER TIME

ABSTRACT

In the scenario of the Northeast of the state of Pará, the secondary forest is a dominant and fundamental element for the maintenance of agricultural activity and income generation. However, the reduced fallow times in this region, where agriculture is based on slash and burn, has led to the unsustainability of the productive system, because the 2 to 5 year fallow period used in the region is not sufficient to recuperate the quality of the soil. The continuous loss of nutrients associated to physical degradation of the soil caused by this type of management hampers the farmer from using the same area, resulting in itinerant crops and unbalanced swidden cultivation. The negative effects in socio economic and environmental terms resulting from this practice has motivated the researches in order to design a model using more sustainable from the management of the bushes. Being studied for more than 17 years under long term experiment comparing the effects of land preparation (slash and burning the underwood or "capoeira") after 3-4 years of fallow and two periods of cultivation in the same area direct planting used on bushy areas based on slash and trituration, has contributed to transform this technology into a productive force for family farming, however the results from these researches are from short evaluation periods (up to 4 years after implantation of the system). Thereof, this study will focus in the behavior of the soil in relation to some of its physical and chemical properties throughout 15 years of use of slash and trituration technology in bushy areas of the Municipality of Igarapé-Açu, located in the Northeast of the state of Pará, in Entisol Typic. Three forms of land preparation was evaluated: 1- slash and burn of vegetation in fallow; 2- slush and trituration of vegetation in fallow to be used as vegetative cover of the soil; and, 3- slash, trituration and incorporation of vegetation to the soil, with and without NPK , and a natural bushy area as the control plot. The experimental design consisted of random blocks, with 6 treatments and 3 repetitions, in factorial experiment 4X4 with split plots. The factors consisted, respectively, of 4 years (1995, 1996, 1998 e 2010) and 4 layers (0-10; 10-20; 20-30 e 30-50 cm). The soil samples were analyzed at the Soil Laboratory of Embrapa Amazônia Oriental, according to methodology used by Embrapa (1997), and compared using Tukey test at 5%. The results indicate that the system based on slash and trituration of the bush and the use of mineral fertilization presents greater potential for maintenance of the physical and hydric quality of the soil in relation to burning the secondary vegetation over time; the management systems with or without burning the vegetation are similar in terms of availability of nutrients and organic matter in the soil over the years; over time, the treatment with incorporation of trituated vegetal biomass plus and fertilization offers a better alternative to replace burning when preparing the land.

Keywords: Soil management. Trituration of the bush. Family farm. Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Igarapé-Açu - Área colhida e quantidade produzida de Mandioca (1975 – 2002).....	22
Figura 2- Igarapé-Açu - Área colhida e quantidade produzida de Milho (1975 – 2002).	22
Figura 3- Igarapé-Açu - Área colhida e quantidade produzida de Feijão (1975 – 2002).	23
Figura 4- Efeitos da queima: mudanças do pH em diferentes profundidades, e dinâmica do alumínio e das bases trocáveis em Khade, Ghana (NYE; GREENLAND, 1960).....	33
Figura 5- Perdas de solo em diferentes sistemas de preparo.	34
Figura 6- Protótipo do triturador de capoeira (Tritucap) acoplado a um trator de rodas de 70 kW de potência.	37
Figura 7- Localização do Município de Igarapé-Açu, Pará, indicando a área experimental (Cumaru) da Embrapa Amazônia Oriental.	41
Figura 8- Regime anual da temperatura máxima (A); temperatura mínima (B); precipitação pluviométrica (C), e umidade relativa (E) no Município de Igarapé-Açu, baseados na estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental no período de 1994-2007.	42
Figura 9- Variável densidade do solo, considerando o fator adubação, nos diferentes sistemas de manejo e profundidades do solo.....	53
Figura 10- Porosidade do solo (total, macroporosidade e microporosidade) nos tratamentos que sofreram adubação.	59
Figura 11- Disponibilidade de Fósforo (mg dm^{-3}) em diferentes profundidades do solo, considerando os sistemas sem queima e com queima da capoeira e uma área de capoeira natural, nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.....	69
Figura 12- Disponibilidade de fósforo na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	71
Figura 13- Disponibilidade de fósforo na camada de 10-20 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	76
Figura 14- Disponibilidade de fósforo na camada de 20-30 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	77

Figura 15- Disponibilidade de fósforo na camada de 30-50 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	78
Figura 16- Teores de soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em diferentes profundidades do solo, considerando os sistemas sem queima e com queima da capoeira e uma área de capoeira natural, nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.	83
Figura 17- Teores de soma de bases na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	85
Figura 18 - Teores de soma de bases na camada de 10-20 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	87
Figura 19- Teores de soma de bases na camada de 20-30 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	88
Figura 20- Teores de soma de bases na camada de 30-50 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	89
Figura 21- Matéria Orgânica do Solo (g kg^{-1}) em diferentes profundidades do solo, considerando os sistemas sem queima e com queima da capoeira e uma área de capoeira natural, nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.	93
Figura 22- Acúmulo de Matéria Orgânica do Solo na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	94
Figura 23- Matéria Orgânica do Solo na camada de 10-20 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	98
Figura 24 - Matéria Orgânica do Solo na camada de 20-30 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	99
Figura 25- Matéria Orgânica do Solo na camada de 30-50 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.	100
Figura 26- Valores de pH do solo (em H_2O) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, ao longo do tempo.	106

Figura 27- Teores de alumínio trocável ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, ao longo do tempo. 107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultado da análise granulométrica representativa da área de estudo.....	43
Tabela 2- Valores médios de densidade do solo (kg dm^{-3}), porosidade total, macroporosidade e microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), nos diferentes tratamentos e profundidades.	52
Tabela 3- Valores médios de densidade do solo (kg dm^{-3}), apresentando as diferenças entre os tratamentos em relação ao fator adubação.	54
Tabela 4 – Valores médios de capacidade de campo (CC), água disponível (AD) e ponto de murcha permanente (PMP), em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, e valores do índice S provenientes da equação de ajuste para os diferentes tratamentos nas diferentes profundidades.	62
Tabela 5- Valores médios de Fósforo disponível (mg dm^{-3}), em diferentes profundidades, comparando os sistemas sem queima e com queima da capoeira com uma área de capoeira natural, referentes aos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.	66
Tabela 6- Valores médios de Soma de Bases (cmolc dm^{-3}), em diferentes profundidades, comparando os sistemas sem queima e com queima da capoeira com uma área de capoeira natural, referentes aos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.	79
Tabela 7- Valores médios de Matéria Orgânica (g kg^{-1} de solo), em diferentes profundidades, comparando os sistemas sem queima e com queima da capoeira com uma área de capoeira natural, referentes aos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.	92
Tabela 8- Valores médios de pH em água, em diferentes épocas e profundidades, comparando os Sistemas com Queima e Sem Queima com uma área de Capoeira Natural, no Município de Igarapé-Açu-Pa.	102
Tabela 9- Valores médios de Alumínio trocável (cmolc dm^{-3}), em diferentes épocas e profundidades, comparando os Sistemas sem Queima e com Queima, com uma área de Capoeira Natural, no Município de Igarapé-Açu-Pa.	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Cronologia das atividades realizadas na área experimental, no período de 1994 a 2011.	44
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS E HIPÓTESES	19
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1 HISTÓRICO AGRÍCOLA DO MUNICÍPIO DE IGARAPÉ-AÇU	20
3.2 IMPORTÂNCIA DA CAPOEIRA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR	24
3.3 A AGRICULTURA DE DERRUBA E QUEIMA DA CAPOEIRA	25
3.3.1. Efeitos da queima da capoeira nas propriedades físicas do solo	29
3.3.2. Efeitos da queima da capoeira nas propriedades químicas do solo.....	31
3.4 ALTERNATIVA AO USO DO FOGO NA AGRICULTURA FAMILIAR	35
3.4.1 Vantagens da Agricultura de corte e trituração da capoeira.....	37
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DE IGARAPÉ-AÇU	40
4.2 CLIMA E SOLO.....	41
4.4 HISTÓRICO DO EXPERIMENTO	44
4.5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	44
4.5.1 Preparo de área	46
4.6 PARÂMETROS AVALIADOS	46
4.6.1 Física o Solo.....	46
4.6.2 Química do Solo.....	48
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 EFEITO DOS SISTEMAS DE MANEJO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	50
5.1.1 Densidade do Solo	50
5.1.2 Porosidade do solo.....	56
5.1.3 Água do Solo	61

5.2 EFEITO DOS SISTEMAS DE MANEJO SOBRE AS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	65
5.2.1 Fósforo disponível (P₂O₅).....	65
5.2.2 Soma de Bases (SB)	78
5.2.3 Matéria Orgânica do Solo (MO).....	89
5.2.4 pH do Solo e Alumínio Trocável (Al ³⁺)	100
6 CONCLUSÕES	108
REFERÊNCIAS	109

1 INTRODUÇÃO

A história do Brasil, desde o início de sua exploração pelos europeus, é a história da destruição das florestas. A Mata Atlântica logo sofreu os impactos dos primeiros eventos econômicos da região, que começaram já no século XVI, através da exploração do pau-brasil e da monocultura de cana-de-açúcar.

Depois da Mata Atlântica, o desmatamento chegou à Floresta Amazônica. O processo de ocupação e uso dos recursos naturais nessa região foi acelerado, principalmente a partir da década de 70, pelo forte investimento do Governo Federal em obras de infraestrutura, quando foram abertos os chamados “corredores de desmatamento”. Essas políticas direcionadas à região Amazônica exerceram reconhecido papel na transformação ambiental, orientando o desmatamento da área e a fragmentação florestal. Com o lema “Integrar para não entregar” a floresta foi sendo liberada, durante a ditadura militar, aos brasileiros e estrangeiros, que além de desmatar provocaram ainda problemas sociais e econômicos.

Mais recentemente, dados do governo federal indicam que a agropecuária na Amazônia figura hoje como o maior vetor do desmatamento, chegando a ocupar 80% das áreas devastadas na região. Este resultado revela que essas atividades são extremamente predatórias, com subutilização de terras e grande comprometimento da biodiversidade.

A Amazônia perdeu, no período de agosto de 2008 à agosto de 2009, cerca de 700,8 mil hectares de floresta (0,13% da região), somando um percentual acumulado de 15% de cobertura deflorestada (INPE, 2009) e algumas formações vegetais características da região já estão sob o risco de desaparecimento, como as florestas do leste do Pará e oeste do Maranhão e as formas de transição do cerrado no Mato Grosso.

Matéria publicada no jornal O Globo em 2008 faz referência a uma queda nos índices de desmatamento entre os anos de 2004 e 2006, porém afirma que apesar da diminuição nas estatísticas, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) destaca que não se pode falar em declínio da taxa, mas em tendência de queda. Isso porque a área total desmatada se aproxima de 20% da floresta original, um dado

considerado preocupante pela alta velocidade com que ocorre, principalmente em virtude da criação de pastos e áreas agrícolas pelo sistema de corte e queima da vegetação, provocando vários impactos ao meio ambiente.

Diante desse histórico, diversos debates têm sido gerados em termos ambientais, notadamente quanto à emissão de gases de efeito estufa e o efeito da queima na qualidade do solo em consequência principalmente da atividade agropecuária. A qualidade e quantidade da matéria orgânica são variáveis que atuam diretamente no comportamento do solo, portanto, seu declínio ou acréscimo auxiliam na avaliação da preservação dos ecossistemas naturais e do desequilíbrio do agroecossistema, podendo ser usados como critérios na avaliação da sustentabilidade do solo e dos sistemas de produção.

Embora as queimadas acarretem perdas e riscos relevantes ao meio ambiente, elas continuam a ser praticadas extensivamente pela agricultura familiar na Amazônia, por falta de opções acessíveis a esta categoria social. Porém, a maior crítica dessa prática deve-se ao fato de áreas de florestas serem derrubadas para o cultivo agrícola por períodos curtos de dois ou três anos, visando à subsistência do agricultor, o que tem causado a perda da capacidade produtiva dos solos ao longo dos anos. Ou seja, a exaustão química do solo ocorre de maneira mais rápida devido a pouca quantidade de biomassa produzida nesse intervalo, além de que a falta de cobertura do solo pode levar a um aumento da densidade do solo para em torno de 1,70 a 1,80 kg dm⁻³, segundo Kiehl (1979), dificultando a penetração de raízes. Este nível de compactação certamente afeta o desenvolvimento e a produção das culturas e pastagem, que encontram dificuldade para buscar nutrientes das camadas mais profundas do solo.

Para Karlen e Stott (1994), e conforme indicações de Kiehl (1979), para um solo cumprir sua função primária como um meio de crescimento de plantas deve, além de oferecer resistência mínima à penetração de raízes (densidade do solo entre 1,10 e 1,60 kg dm⁻³ nos solos minerais), permitir a livre entrada e a moderada retenção de água da chuva (1/3 de macroporos : 2/3 de microporos), boa aeração (20 a 30%) e promoção da atividade biológica. Tibau (1978) esclarece que estas funções, estão intimamente relacionadas com a quantidade de matéria orgânica presente no solo resultante da

deposição de resíduos vegetais ou animais sobre a superfície do solo e dos fatores climáticos que influenciam sua decomposição e mineralização.

Na agricultura de corte e queima as florestas secundárias representam a etapa de pousio como uma forma de conter a vegetação espontânea e manter a capacidade produtiva do solo, uma vez que regenera a vegetação e facilita o processo de fertilidade do solo através da queima. Denich et al. (2005) explicam que durante este período há o restabelecimento dos ciclos biogeoquímicos de nutrientes e da fauna do solo, no entanto, é necessário um período longo de repouso para uma efetiva recuperação da fertilidade do solo, tempo este que atualmente não tem sido considerado pelos agricultores em virtude da baixa disponibilidade de terra para cultivo e por falta de alternativa tecnológica acessível aos pequenos agricultores.

Estudos realizados por Almeida et al. (2010) estimaram que até o ano de 2006 existiam na Amazônia legal brasileira 131.873 km² de vegetação secundária (capoeira). Segundo Oliveira, Ferreira e Sabogal (2001), no Nordeste Paraense este tipo de vegetação ocupa atualmente 90% dos ecossistemas da região, sendo de grande relevância para a agricultura familiar, mas que devido a forma como é utilizada tem trazido consequências negativas ao meio ambiente, o que incitou a Embrapa Amazônia Oriental a realizar pesquisas para tornar sustentável a utilização desse tipo de vegetação.

Foi nesse enfoque que surgiu a tecnologia denominada de corte e trituração da capoeira ou plantio direto na capoeira, cujo principal aporte tecnológico é viabilizar uma alternativa ao uso do fogo na agricultura, reunindo sustentabilidade econômica, ambiental e social. Trata-se do reaproveitamento da capoeira através de técnicas de corte e trituração da vegetação secundária, fertilizando o solo com os resíduos orgânicos da vegetação, impedindo a emissão de carbono para a atmosfera e, conseqüentemente, favorecendo o aumento da produtividade. Nos limites do projeto, algumas áreas experimentais em pousio estão sendo enriquecidas com leguminosas acumuladoras de biomassa e fixadoras de nitrogênio.

O acúmulo de biomassa vegetal é importante no processo de adicionar matéria orgânica ao solo, sendo indiscutivelmente necessária à recuperação e/ou manutenção do potencial produtivo de qualquer sistema agrícola, seja do ponto de vista físico, melhorando a estrutura do solo, a densidade e a capacidade de retenção de água e

aeração, por exemplo; seja do ponto de vista químico, melhorando a fertilidade, diminuindo a acidez e a toxidade do solo; ou, sob o ponto de vista biológico, aumentando a atividade da biota do solo (organismos presentes) e sendo fonte de energia e de nutrientes para a mesma (TIBAU, 1978).

Nesse sentido, um manejo alternativo para os ecossistemas sucessionais deve considerar a possibilidade de aumento e/ou manutenção da cobertura do solo e a diminuição do revolvimento deste por processos mecânicos (aração e gradagem), proposta básica da tecnologia de corte e trituração da capoeira.

Assim, considerando que esta nova tecnologia está em processo de validação no âmbito da agricultura familiar, é importante confirmar se sua adoção em longo prazo contribui para a melhoria da qualidade do solo e dos sistemas de produção, a fim de permitir o seu desenvolvimento de forma mais sustentável. Apesar de o Projeto Tipitamba, o qual comanda as atividades de tecnologia de trituração, ter sido iniciado com os trabalhos de campo em 1994, a maioria dos resultados divulgados até aqui são oriundos de experimentos de curta duração (1-4 anos de pesquisa).

Diante dessa perspectiva, este trabalho abordará o comportamento do solo em relação a algumas de suas propriedades físicas e químicas adquiridas em longo prazo a partir do uso da tecnologia de corte e trituração da capoeira, entre os anos de 1995 a 2010, no Município de Igarapé-Açu-PA.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

Objetivo Geral:

Avaliar as formas de manejo do solo praticadas na agricultura familiar sobre suas propriedades físicas e químicas, visando o uso sustentável dos recursos naturais.

Objetivos específicos:

- Avaliar as características físicas e químicas do solo a partir da implantação do sistema de corte e trituração da capoeira em substituição à queima da vegetação em pousio.
- Avaliar o impacto da tecnologia de corte e trituração da capoeira no acúmulo de matéria orgânica do solo no longo prazo.

Hipóteses:

- As queimadas causam impactos negativos sobre os atributos físicos e a fertilidade do solo.
- A manutenção do material orgânico proveniente da capoeira triturada potencializa os efeitos da melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 HISTÓRICO AGRÍCOLA DO MUNICÍPIO DE IGARAPÉ-AÇU

O Município de Igarapé-Açu pertence à Mesorregião do Nordeste Paraense e Microrregião Bragantina, a uma distância de 110 km da Capital do estado (Belém). Suas origens remontam tempos em que o desenvolvimento chegava pela estrada de ferro, nos vagões da Maria Fumaça, quando então estabeleceu-se um campesinato agrícola na Zona Bragantina com base numa agricultura predominantemente familiar já altamente orientada para o suprimento do mercado de Belém (HURTIENNE, 1999) e para o provimento dos que trabalhavam na extração do látex.

Levantamentos realizados por Sousa Filho et al. (1998), no período histórico de 1895-1940, o funcionamento dos sistemas de produção ali existentes baseou-se na fertilidade natural do solo. Esta fertilidade do solo sustentou a produção agrícola, o que possibilitou um período áureo de desenvolvimento para a colônia de Igarapé-Açu. Os autores afirmam que a tecnologia para o manejo e uso da terra esteve relacionada à prática anual de derruba e queima da mata primária, com a utilização de instrumentos rudimentares de trabalho (machado, foice e terçado).

Neste mesmo momento, as configurações dos sistemas de produção decorreram principalmente da combinação de fatores heterogêneos, em sua maioria externos aos mesmos, tais como: ações governamentais através de políticas de colonização dirigida, origens dos agricultores assentados e aporte de capital, sendo este último fator muitas vezes ligado ao segundo. Configurações mais complexas no período criaram condições para o surgimento de agroindústrias (por exemplo, plantio e beneficiamento da cana-de-açúcar para produzir melaço, açúcar e rum) e o cultivo de variedade exclusivamente

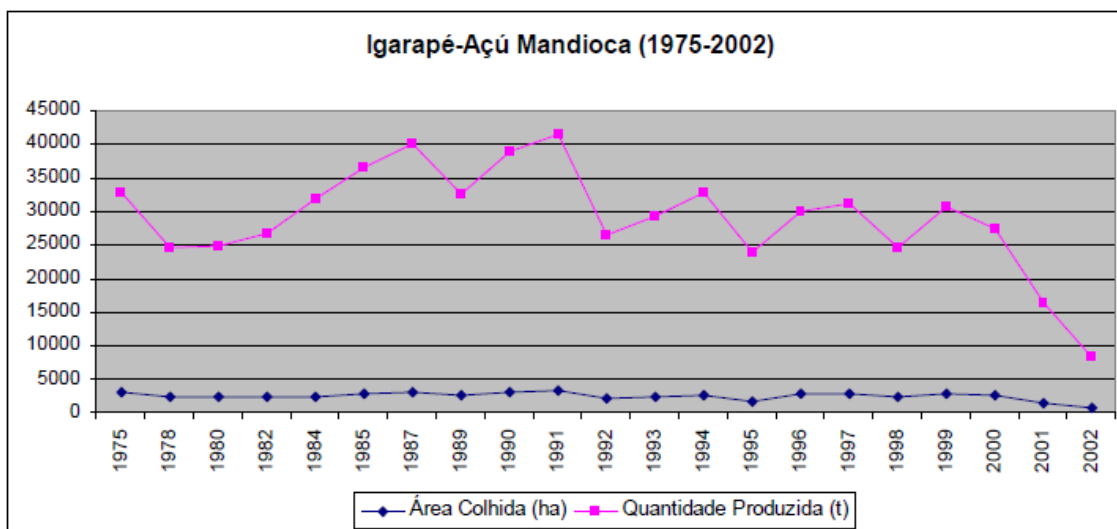
comercial, tal como o algodão. Caheté (2005) e Denich (1991) completam que as culturas comerciais do fumo e da malva também foram importantes naquele tempo. No entanto, Sousa Filho et al. (1999) afirmam que o arroz, a mandioca e o algodão foram as principais culturas na maioria dos sistemas de produção desse período, os quais ainda se mantinham com base em recursos endógenos, ou seja, na fertilidade natural do complexo solo/planta.

A dinâmica de transformação e exploração do espaço agrário levou a uma diferenciação, em nível de cada sistema de produção, quanto à pressão humana sobre o meio biofísico. O resultado disto foi a configuração de um quadro em que a cobertura vegetal com mata primária desapareceu em grande parte das unidades de produção. Este grau de intensificação do uso da terra apresentou como consequência, em algumas unidades de produção, a exploração de áreas com pousio de até 3 anos, devido ao declínio da fertilidade dos solos pela ampliação da comunicação dos sistemas de produção com o entorno regional através da implantação de uma rede de estradas, reforçando o papel da ferrovia, no sentido de intensificar os sistemas de produção comerciais após 1940 (SOUSA FILHO et al., 1999).

No início da década de sessenta, os sistemas de cultivo são orientados quase que exclusivamente para as áreas de cobertura vegetal com capoeiras, onde as parcelas agrícolas eram cultivadas por um ou dois ciclos de cultura, antes do abandono para pousio, por um período de aproximadamente dez anos, na maioria das unidades de produção. Caheté (2005) cita que os sistemas de cultivo praticados nessa década eram centrados na produção de milho, feijão, arroz e mandioca, porém com acentuada diminuição da produtividade física, característica marcante do aprofundamento da degradação do solo que acompanhou a adoção do uso de fertilizantes e agrotóxicos. E, as técnicas empregadas no manejo e uso da terra não evoluíram, tendo continuado, portanto, centradas na prática anual de derruba e queima das matas primárias ainda existentes e das capoeiras.

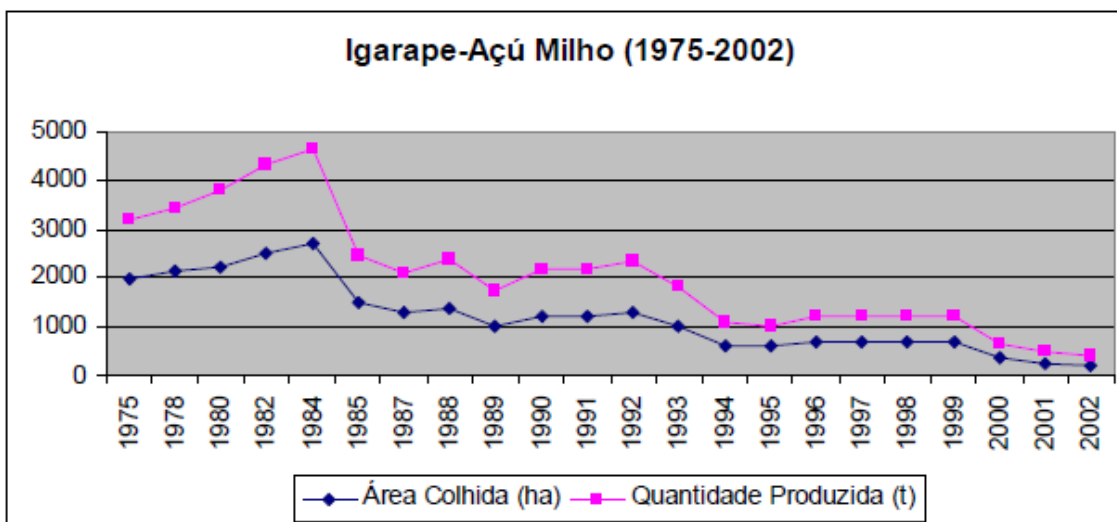
De acordo com pesquisa realizada por Rodrigues (2008), a queda nos rendimentos das culturais anuais do Município de Igarapé-Açu a partir da década de 1970 está apresentada, graficamente, por meio das Figuras 1, 2 e 3:

Figura 1- Igarapé-Açu - Área colhida e quantidade produzida de Mandioca (1975 – 2002).



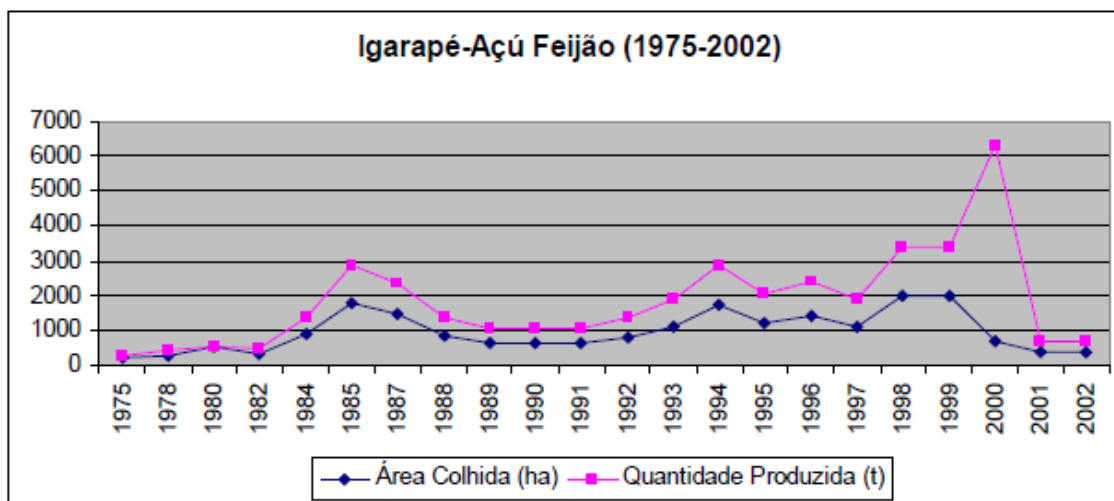
Fonte: RODRIGUES, 2008.

Figura 2- Igarapé-Açu - Área colhida e quantidade produzida de Milho (1975 – 2002).



Fonte: RODRIGUES, 2008.

Figura 3- Igarapé-Açu - Área colhida e quantidade produzida de Feijão (1975 – 2002).



Fonte: RODRIGUES, 2008.

A queda no rendimento dessas culturas foi mais acentuada a partir da primeira metade da década de 1980 em razão do crescimento e valorização das culturas permanentes, como mencionado por Rodrigues (2008) com base nos trabalhos de Costa (2000)¹.

Foi durante a década de 1990 que a Mesorregião do Nordeste Paraense, por razões tais como: ser zona de colonização antiga, ter histórico de queima no manejo tradicional da agricultura, declínio da produtividade e dominância de cobertura vegetal formada de capoeiras, passou a ser vista com maior interesse pela comunidade científica, confirmando que o modelo de agricultura ali praticado precisava ser revisado em vários aspectos relacionados diretamente com a sustentabilidade da agricultura familiar.

Constata-se, pelas figuras acima, que no período entre os anos de 1990 a 2002 a queda da produção está relacionada provavelmente à perda de produtividade da terra, em razão da pouca atenção com os tratamentos culturais exigidos pela atividade e a não reposição dos nutrientes exauridos do solo em repetidos processos produtivos. Esse problema (baixa produtividade) levou, inclusive, muitos agricultores a reduzirem ou abandonarem a área cultivada com mandioca.

¹ COSTA, F.de A. **Formação agropecuária da Amazônia**: os desafios do desenvolvimento sustentável. Belém, UFPA. NAEA. 2000.

No entanto, a partir do ano de 2004 há uma tendência de alteração no padrão anterior. A produtividade que era de 10 toneladas/ha, em 2003, passa para 12 t/ha, em 2004 em 2010 atinge 15 t/ha (IBGE, 2012), provavelmente em função da adoção de técnicas de cultivos mais eficientes com a adoção do plantio direto como alternativa à agricultura de derruba e queima.

3.2 IMPORTÂNCIA DA CAPOEIRA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR

As capoeiras podem ser definidas como áreas de crescimento espontâneo de vegetação secundária proveniente do processo sucessional dos ecossistemas florestais naturais. Surgem a partir do abandono da área utilizada após o desenvolvimento de atividades como a agricultura e pecuária, assumindo um papel central no agroecossistema da agricultura itinerante.

Durante este período, chamado de pousio, a vegetação recupera sua capacidade de regeneração, melhora as características físicas e químicas do solo e acumula nutrientes na biomassa aérea, que podem ser extraídos pelas colheitas futuras, após o corte e a queima.

Rios et al. (2001) afirmam que as florestas secundárias, nas diversas etapas do seu desenvolvimento, são capazes ainda de prover importantes recursos às populações tradicionais, tais como fertilização do solo a partir da biomassa queimada e como fonte de produção de lenha, alimentos, remédios, corantes e material de construção.

Shanley, Luz e Swingland (2002) comentam, no entanto, que a necessidade de uso direto destes produtos e, em geral, as restrições de mercado não os convertem em renda financeira para o agricultor. Desta forma, as florestas secundárias acabam sendo economicamente pouco valorizadas.

No nordeste do Pará, região dominada por este tipo de vegetação (OLIVEIRA; FERREIRA; SABOGAL, 2001), e com fundamental importância para a manutenção da atividade agrícola e geração de renda, torna-se necessário mais conhecimento sobre formas de uso eficientes e sustentáveis desta vegetação (SCHWARTZ, 2007), uma vez que em meio ao mosaico que elas formam, encontram-se muitas áreas degradadas, com solos desgastados.

De acordo com Nepstad et al. (1996) e Pereira e Vieira (2001), além da relevância para a agricultura familiar, a vegetação secundária desempenha um papel de elevada importância ecológica, em termos de crescimento florestal, absorção de carbono da atmosfera, acúmulo de biomassa, controle de erosão, conservação de nutrientes, benefícios hidrológicos e recuperação e manutenção da biodiversidade.

Dessa forma, considera-se que a potencialidade da vegetação secundária não está restrita aos benefícios que gera ao solo. O seu uso por meio de um manejo adequado e diversificado também contribui para a sustentabilidade do ecossistema com retorno financeiro ao agricultor familiar, uma vez que contribui efetivamente na recuperação do potencial de produtividade agrícola, pelo acúmulo de nutrientes na biomassa, e ainda contribui com a segurança alimentar dessas famílias.

No entanto, como o principal sistema de produção agrícola utilizado pelos pequenos agricultores inclui a derruba e queima da vegetação secundária e que os períodos de pousio têm sido encurtados, o crescimento espontâneo da vegetação e o tempo hábil para a reciclagem dos nutrientes necessários ao solo são afetados, obrigando o produtor a explorar novas áreas, o que aumenta a pressão sobre a floresta.

3.3 A AGRICULTURA DE DERRUBA E QUEIMA DA CAPOEIRA

Historicamente o Brasil privilegiou um modelo de desenvolvimento agrícola baseado na conversão das terras em pastagens e lavouras. Salm (2005) menciona que desde a chegada dos primeiros colonizadores as características fisionômicas de grande parte das florestas de transição da Amazônia começou a se transformar, e os verbos mais comuns associados à ela passaram a ser derrubar, queimar, destruir.

Segundo Dean (1996) foi com a adoção da agricultura que a relação entre homens e floresta mudou radicalmente, e isso só foi possível pelo uso do fogo, pois desde cedo se percebeu que a agricultura se mostrava mais viável nos solos da floresta comparados aos solos do cerrado. A técnica era extremamente simples e eficaz para neutralizar e fertilizar o solo, uma vez que uma enorme quantidade de nutrientes da biomassa queimada da vegetação da floresta caía sobre a terra na forma de cinzas e era drenada para o interior do solo pelas águas das chuvas. Smith, Alegre e Palm (1991) comprovaram esses efeitos pela queima de uma floresta secundária de 11(onze) anos,

evidenciando que a saturação de Al decresce de um percentual de 76% antes da queima para 46% imediatamente após. Blanco e Zambon (1993), além da diminuição do Al e aumento do pH, observaram aumento nos teores de P, Ca + Mg e K, o que também foi constatado por Darolt, Blanco Neto e Zambon (1993).

Como o contingente populacional era baixo e a produção numa mesma área era satisfatória durante vários ciclos de cultivo, isso permitia períodos de pousio da capoeira mais longos. Entretanto, como cita Altieri (2002), com o aumento da pressão demográfica e das mudanças na forma de utilização dos recursos naturais a partir dos incentivos do mercado para a intensificação do uso da terra, essa prática passou a ser considerada um problema para os ecossistemas amazônicos por manter níveis de sustentabilidade que decrescem na medida em que o tempo de pousio da vegetação é reduzido.

Schmitz (2007) explica que quando se usa a terra por mais tempo e o período de pousio diminui, observa-se uma perda de fertilidade do solo e um aumento da infestação com "plantas invasoras" (vegetação espontânea, mas adaptada ao lugar que nem sempre prejudica a cultura plantada), tornando-se necessário mais tempo de trabalho para a produção da mesma quantidade de alimentos básicos.

Assim, quando praticada em regiões de colonização recente, os agricultores, normalmente, abandonam as áreas agrícolas, que irão regenerar, e abrem novas áreas nas florestas primárias. Entretanto, em regiões de colonização antiga, como a região Nordeste do Estado do Pará, onde áreas de florestas primárias praticamente não existem, ocorre uma reutilização dos espaços, provocando a diminuição do período de regeneração da floresta secundária.

Na agricultura itinerante, quando praticada em área de fraca densidade populacional, a queima da biomassa da capoeira após o pousio, além de tornar o solo mais fértil, mantém o terreno mais limpo, garante boa produtividade da cultura no primeiro ano e o calor do fogo serve como medida profilática nos casos de doenças radiculares causadas por microorganismos, sendo que o uso do fogo, neste caso, baseia-se na eliminação do substrato nutricional ao patógeno ou do próprio parasita (REIS; CASA; HOFFMANN, 2005). No entanto, embora o fogo seja recomendado como

medida fitossanitária, hoje, devido às vantagens de formas de manejo alternativo, esta prática é questionável.

É oportuno ressaltar que apesar deste tipo de agricultura apresentar resultados imediatos para o agricultor de baixa renda, ainda que transitório, a técnica de derruba e queima tem sido repudiada pela comunidade internacional em virtude do comprometimento da sustentabilidade do sistema de produção e pela grande preocupação com o aquecimento global, que tem reflexos nas mudanças climáticas. Segundo Querino (2004), a conversão de florestas em lavouras altera o albedo (quantidade de radiação solar refletida) e o fluxo de calor latente, causando aumento da temperatura.

As práticas agrícolas e as mudanças do uso da terra devido ao desmatamento são as principais fontes de emissão dos gases de efeito estufa. Estudos apontam que aproximadamente 75% do CO₂ que o Brasil emite para a atmosfera são derivados de práticas agrícolas e desmatamento (SANTOS; SILVA, 2008). Segundo comentários de Gunneng (2009), o Brasil ocupa a quarta posição no ranking divulgado pelo Banco Mundial em 2007 sobre emissões globais de efeito estufa somando a esses dados as fontes advindas de energia, silvicultura e resíduos. Porém, o autor afirma que a coleta de dados para esta classificação foi realizada em diferentes períodos para as diferentes fontes analisadas, o que torna a posição de dado país na lista dos maiores poluidores duvidosa.

O fato é que se sabe que as queimadas em geral causam a liberação para a atmosfera de gases como o ozônio (O₃), grandes concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) que afetam a saúde dos seres vivos, reduzindo também as atividades fotossintéticas dos vegetais, prejudicando a produtividade de diversas culturas.

Quanto à sustentabilidade do sistema de produção, a principal causa do uso do fogo na agricultura é resultado do decréscimo nos teores de nutrientes e matéria orgânica, levando à queda de produtividade, especialmente em solos submetidos a cultivos consecutivos ao longo dos anos. Knicker (2007) cita que logo após a queima a quantidade de nutrientes é elevada em virtude do acúmulo de cinzas na superfície do solo, entretanto, esses efeitos tendem a desaparecer, em médio prazo, na lixiviação dos

nutrientes pela ação de chuvas, o que resulta em concentrações que podem ser até inferiores às observadas em solos que não sofreram ação do fogo.

Dick et al. (2008), estudando o efeito residual de queimadas periódicas, observaram que solo de pastagem queimada é mais pobre em nutrientes e apresenta saturação por alumínio mais elevada, em comparação ao solo de pastagem sem queima. Sua avaliação foi feita após 8 (oito) anos de suspensão dessa prática, comprovando a perda gradativa de fertilidade ao longo dos anos.

O empobrecimento do solo tem ligação estreita com a diminuição da matéria orgânica, pois a eliminação da cobertura vegetal pelo processo de queima favorece o escoamento superficial pela água das chuvas, lixiviando os nutrientes. Isso ocorre pela insuficiência de cobertura, quando o solo passa a sofrer forte compactação pelo impacto das gotas das chuvas, associada com o entupimento dos poros pelas cinzas tornando o solo impermeável, o que por sua vez prejudica o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

A alteração da cobertura vegetal e a implantação de culturas aliadas às práticas inadequadas de manejo do solo, como o uso do fogo, promovem o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades físicas, químicas e biológicas, limitando sua utilização agrícola e tornando-o mais suscetível à erosão. É importante ressaltar, ainda, que antes da utilização do solo, essa prática constitui-se numa das principais causas de desmatamento na Amazônia, além de ser também o foco de queimadas nessa região, fatores que colocam em alerta a continuidade desse modelo.

Nesse contexto a pesquisa em solos é um elemento norteador no desenvolvimento de ações de manejo e conservação do solo e da água, ou seja, saber o que plantar, onde plantar e como plantar, para produzir alimentos sem degradar o solo e a água, a fim de estabelecer uma qualidade ambiental. A relevância da geração de tecnologia voltada à sustentabilidade dos recursos naturais é fundamental para apontar os caminhos a serem seguidos pelo homem no sentido de garantir a segurança das comunidades locais, da região, do país e do mundo, impedindo a deterioração dos ecossistemas e a degradação humana.

3.3.1. Efeitos da queima da capoeira nas propriedades físicas do solo

O solo é a resultante da ação conjunta dos agentes intempéricos sobre os restos minerais depositados e enriquecidos de detritos orgânicos. Conforme Vieira (1975), a sua formação tem início no momento em que as rochas entram em contato com o meio ambiente e começam a sofrer transformações, sendo que a presença de matéria orgânica e cobertura vegetal apresentam propriedades que refletem o efeito combinado de todos os fatores de formação.

A física de solos estuda e define, qualitativa e quantitativamente, as propriedades físicas, bem como sua medição, predição e controle, com o objetivo principal de entender os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e seu papel na biosfera. A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, ou seja, orientar irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e água.

De acordo com Andreola, Costa e Olszewski (2000), a cobertura vegetal influencia diretamente a agregação, a densidade, a retenção de água, a porosidade e a aeração do solo. Após a queima, geralmente uma reduzida cobertura vegetal permanece para dissipar a energia da queda da chuva e para obstruir o escoamento superficial. Hester, Thurow e Taylor (1997) comentam que o maior volume de escoamento, associado com o decréscimo na taxa de infiltração, explica o aumento nas perdas de solo em áreas queimadas.

No processo de queima da vegetação ocorre uma grande diminuição da matéria orgânica ocasionando uma desagregação do solo. Macedo (1995) explica que este fato provoca a dispersão das partículas finas, que juntamente com as cinzas acarretam a obstrução dos poros, podendo resultar na formação de camadas repelentes à água, aumento do potencial de perdas por erosão e dificultar a penetração das raízes. Segundo Hillel (1970), o limite crítico da porosidade total está compreendido entre 0,37 a $0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo que a macroporosidade deve ser de no mínimo $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para que haja um bom desenvolvimento radicular das culturas (VOMOCIL; FLOCKER, 1966).

Fassbender (1982) complementa que o melhor aproveitamento da água capilar pode tornar-se fundamental para a melhoria das produções e das condições do solo, pois à medida em que o mesmo é submetido a muitos ciclos de umedecimento e secagem, o

solo pode ter suas propriedades físicas prejudicadas como, por exemplo, um aumento na densidade do solo.

Carter e Steed (1992), ao longo de dez anos de estudo, verificaram que a queima de restos culturais, seguida ou não de preparo do solo, aumentou a densidade do solo e diminuiu a profundidade de umedecimento e o tempo necessário para alagamento do solo. Em outros estudos, Boyer e Miller (1994) constataram reduções da macroporosidade e da água disponível em áreas que foram submetidas à queima da vegetação. Esses resultados indicam as consequências negativas provocadas pela ação do fogo na física do solo.

A textura, que é definida pela distribuição de tamanho de partículas, e a estrutura do solo, definida pelo arranjo das partículas em agregados, também são atributos físicos importantes. Com a determinação textural é possível estudar o declínio da matéria orgânica do solo devido ao manejo, pois em solos arenosos geralmente as perdas são maiores que nos solos argilosos. Baver e Gardner (1956) esclarecem que isso se deve ao fato de que as partículas de argila, por apresentarem cargas elétricas, se ligam às cargas elétricas da matéria orgânica formando o complexo argilohúmus, o qual dificulta a perda dos elementos químicos pela lixiviação, enquanto que a estrutura pode ser um indicador de adensamento, compactação, encrostamento e suscetibilidade do solo à erosão, auxiliando na interpretação da perda da produtividade e da degradação ambiental.

Com o declínio da matéria orgânica em consequência do uso do fogo, a estrutura do solo fica danificada prejudicando a capacidade de absorção de água, além de ocorrer um aumento do escoamento superficial, o que potencializa ainda mais os riscos de erosão, sendo o nitrogênio o elemento mais afetado nesse processo, o que provoca limitações da produtividade das culturas, em face da principal fonte desse elemento no solo ser a matéria orgânica da camada superficial.

Vários trabalhos têm demonstrado que a substituição das práticas de derruba e queima por práticas que mantêm a cobertura do solo reduz as perdas por erosão e aumenta a infiltração e a quantidade disponível de água e de nutrientes para as plantas, como nos estudos com plantio direto na capoeira realizados no Nordeste Paraense por Marcolan, Locatelli e Fernandes (2009), Kato et al. (2007), e Sommer (2004).

Modo geral, os pesquisadores acima citados observaram que o sistema de manejo com corte e trituração da capoeira tendeu a propiciar melhoria da qualidade física do solo em relação ao manejo com derruba e queima da capoeira em experimentos de curto prazo. A menor densidade do solo (em média $1,22 \text{ kg dm}^{-3}$) e a maior infiltração de água no solo influenciaram positivamente a produtividade das culturas. Embora os teores dessas variáveis tenham sido semelhantes ao de áreas com queima, causaram menos impactos ambientais.

Franco et al. (2002) constataram uma diminuição significativa de perdas totais de solo, carbono orgânico e nutrientes em estudos com Sistemas Agroflorestais (SAF) na região Sudeste do Brasil, indicando que sistemas nessa linha constituem boa estratégia para a conservação dos solos, haja vista o efeito direto da liteira produzida pelos componentes agroflorestais e do papel das árvores como barreiras para o escoamento superficial.

Outro método utilizado também como uma alternativa para a agricultura itinerante é o Sistema Bragantino, lançado em 2005, que é baseado na rotação e consórcio de culturas anuais com o uso de técnicas de plantio direto, promovendo conservação ambiental, proteção do solo contra os efeitos nocivos da erosão e aumento da produtividade, com significativos ganhos econômicos, como nos resultados apresentados por Nicoli et al. (2006) no nordeste do Pará.

3.3.2. Efeitos da queima da capoeira nas propriedades químicas do solo

Há muito se sabe das consequências do uso do fogo na agricultura. Como modalidade de manejo dos solos esta é uma prática que compromete a fertilidade do solo e acelera o processo de degradação, afetando negativamente a sustentabilidade do sistema de produção.

Quando a matéria orgânica do solo é queimada, muitas das substâncias nela contida são liberadas em forma de óxidos, remanescendo os carbonatos, que geralmente têm reação alcalina (BATISTA, REISSEMANN; SOARES, 1997). Desse modo, quando as cinzas são depositadas sobre o solo a tendência é diminuir a acidez. Silva,

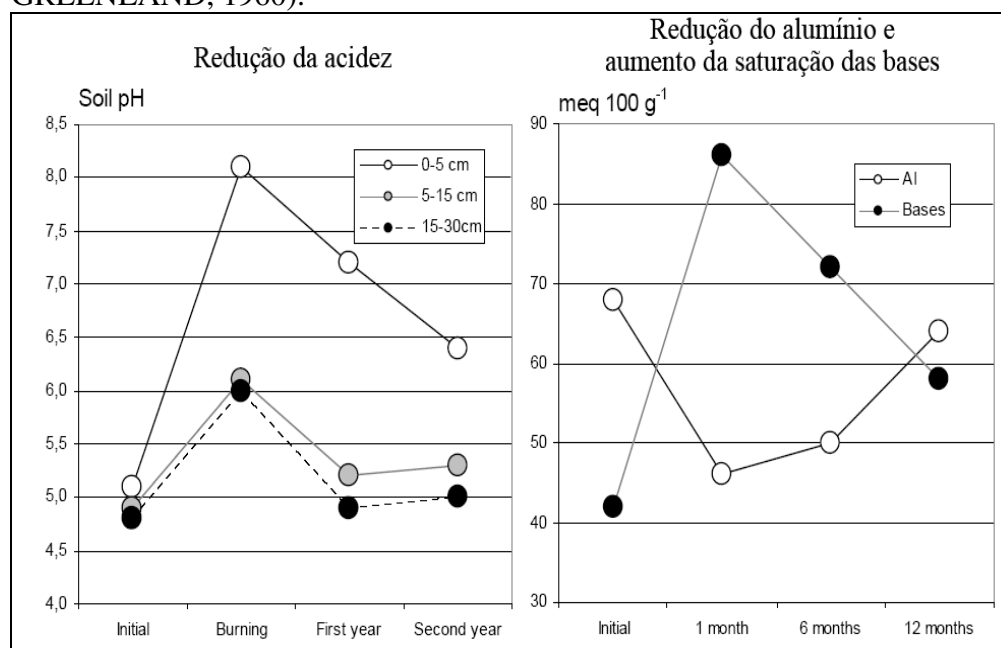
Silva Júnior e Melo (2006) explicam que isso ocorre devido à ação dos cátions básicos (K, Ca, Mg) neutralizando a acidez.

As mudanças no pH do solo com a queima são relatadas por vários autores (CARDOSO, MARTINS e VEIGA JÚNIOR, 1992; DIEZ et al., 1997; RHEINHEIMER et al., 2003), seja em manejo de cultivos agrícolas ou de pastagens. Nessas pesquisas, no geral, um aumento de pH foi conseguido por um período de até 2 (dois) anos, retornando ao nível original ou atingindo valores menores do que antes da queima. Portanto, logo após a queima o pH do solo aumenta, aumentando também a disponibilidade e assimilação dos nutrientes pelas plantas. Por outro lado, a queima frequente e contínua promove o aumento da acidez potencial e reduz a cobertura e umidade nas camadas superficiais do solo, como constatado por Heringer et al. (2002) comparando o manejo de pastagens com queima e sem queima.

Nye e Greenland (1960)², citado por Gehring (2006) demonstram o efeito fertilizante da queima pela entrada direta de nutrientes e pelos efeitos alcalinizantes da cinza, que aumentam temporariamente a disponibilidade de fósforo e eliminam a toxicidade de alumínio (Figura 4):

² NYE, P.H.; GREENLAND, D.J. **The soil under shifting cultivation**. Tech. Comm. n. 51, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, UK. 1960.

Figura 4- Efeitos da queima: mudanças do pH em diferentes profundidades, e dinâmica do alumínio e das bases trocáveis em Khade, Ghana (NYE; GREENLAND, 1960).



Fonte: GEHRING (2006).

Apesar das vantagens proporcionadas em curto prazo nessa modalidade de agricultura, a queima da vegetação pode gerar sérios problemas para os sistemas de produção, como perda considerável de nutrientes por volatilização e posteriormente perdas por lixiviação, o que pode caracterizar o sistema como provedor de uma fertilização ilusória do solo.

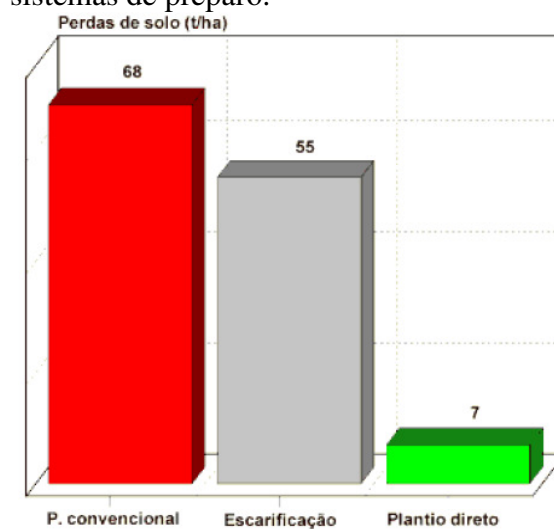
No Nordeste Paraense, Mackensen et al. (1996) e Sommer (2004) verificaram grandes perdas de nutrientes para a atmosfera, sendo 21,5 Mg C e 372,0 kg N ha⁻¹ e 45 a 70% de K, Ca e Mg em uma capoeira de 7 (sete) anos de idade. Sommer (2004) afirma que a maioria das perdas é justificada pelo vôo com a fumaça. Para este autor, o mais preocupante é a exportação de 63% do estoque de fósforo, o qual corresponde a 11,0 kg ha⁻¹, pois este elemento é considerado limitante para o rendimento das culturas em solos brasileiros. Sánchez et al. (1995) complementam que a queima da biomassa libera ainda metade do nitrogênio e parte do carbono, que são extraídos pelas colheitas, após o corte e a queima.

Outra propriedade afetada pelas condições de acidez do solo é a capacidade de troca catiônica (CTC), que de acordo com Raij (1991) tem sua magnitude resultante da natureza dos colóides minerais e orgânicos e do pH do solo. A CTC é um parâmetro

muito importante na agricultura devido medir a capacidade dos solos reterem cátions de cálcio, magnésio, potássio e outros em menores quantidades, evitando que os mesmos drenem com as águas, ficando, desta forma, disponíveis para os vegetais (RAIJ, 1991).

Segundo Pereira (1998), durante o processo de decomposição da matéria orgânica, vários elementos vão sendo liberados, principalmente o N, constituinte essencial das proteínas, o fósforo contido nos fosfatos, nos ácidos nucléicos e nos fosfolípídeos, e o enxofre, elemento importante em certos aminoácidos, como a cistina e a metionina. Daí a relevância da manutenção do conteúdo de matéria orgânica no solo para a produtividade das culturas. Os solos da Região Amazônica são pobres em matéria orgânica e, por conseguinte, pouco férteis. Assim, nesses solos, a principal forma de aumentar a capacidade de armazenar nutrientes é a partir do aumento da matéria orgânica, haja vista que o efeito das cinzas proveniente das queimadas utilizadas na agricultura é apenas temporário. Logo, as estratégias para manter ou melhorar o conteúdo de matéria orgânica e, conseqüentemente, a qualidade do solo, baseiam-se na adoção das práticas conservacionistas de manejo, especialmente aquelas relacionadas ao controle dos processos de perda de solo, utilizando-se sistemas de cultivo com alta adição de resíduos vegetais e nitrogênio ao solo, manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo e adoção de sistema de preparo do solo com mínimo revolvimento, como o sistema plantio direto, como demonstrado por Batista (2012) (Figura 5).

Figura 5- Perdas de solo em diferentes sistemas de preparo.



Fonte: BATISTA (2012).

Pesquisas voltadas nesse sentido, como nos trabalhos de Kato (1998), Oliveira et al. (2000), Kato (1998), Gama (2002) e Coelho et al. (2004) no nordeste do Pará, e de Serra et al. (2007) no oeste do Pará, baseados nos princípios da Agroecologia, confirmam que o aumento de matéria orgânica proporcionado pelos sistemas alternativos de uso da terra favorece o restabelecimento das condições e níveis desejáveis de fertilidade do solo, notadamente quanto à disponibilidade de fósforo e nitrogênio às plantas, ainda que seja necessário algumas doses de fertilizantes, o que reflete no aumento da produtividade das culturas.

Nas pesquisas de Kato (1998) e Kato (1998), avaliando respectivamente a dinâmica do nitrogênio e do fósforo no solo a partir de um sistema alternativo ao preparo de área com queima da capoeira, verificaram que embora os resultados tenham sido similares nas duas áreas (capoeira de 4 e 10 anos), houve tendência de incremento nos teores desses nutrientes no segundo ano de observação nas parcelas sem queima.

Na mesma região, Monteiro et al. (2006) observaram aumento da CTC e de soma de bases a partir do incremento da matéria orgânica oriunda da adição de resíduos de madeira utilizados como cobertura do solo. Estes autores ressaltam que o reaproveitamento dos rejeitos da atividade madeireira também constituem-se numa alternativa de uso de materiais orgânicos nos solos amazônicos em sistemas de reflorestamento.

3.4 ALTERNATIVA AO USO DO FOGO NA AGRICULTURA FAMILIAR

Num esforço para alimentar a população crescente do mundo, a agricultura se expandiu, produzindo um grande impacto ao meio ambiente, à saúde humana e à biodiversidade. Queimadas, mudanças climáticas e aquecimento global são temas que ganharam alta repercussão a partir do início deste século em consequência das atividades antrópicas, porém o uso do fogo na agricultura é uma questão não apenas ambiental, mas social, econômica e cultural.

Os debates atuais apontam que não basta produzir alimentos suficientes, mas que se produza de modo sustentável, ou seja, produzir o que necessitamos sem destruir

os recursos para a produção. Huggins e Reganold (2008) salientam que *os agricultores precisam cultivar culturas adequadas de alta qualidade, conservar os recursos naturais para as gerações futuras, ganhar dinheiro suficiente para sua subsistência e ser socialmente justos com os trabalhadores rurais e a comunidade*. Logo, é urgente a necessidade de se pensar mudanças em favor de tecnologias alternativas que ajudem a concretizar esse modelo de agricultura sustentável, como as preconizadas no plantio direto na palha, por exemplo.

Segundo Kato et al. (2006), no cenário da região Nordeste do estado do Pará, a floresta secundária é um elemento dominante e fundamental para a manutenção da atividade agrícola e geração de renda, mas devido ao encurtamento dos períodos de pousio e as repetidas queimadas representam uma contínua perda de nutrientes minerais e uma maior exposição do solo, juntamente com a retirada dos resíduos da serrapilheira e o aumento da mineralização da matéria orgânica. Além disso, os efeitos das queimadas ainda contribuem para a emissão de gases para a atmosfera e para o aquecimento global da Terra.

Assim, a intensificação do sistema de produção com base na capoeira tem sido foco de pesquisas voltadas a alternativas sustentáveis nessa região. Foi com essa motivação que desde 1994 a Embrapa Amazônia Oriental vem buscando reduzir as limitações provenientes deste tipo de agricultura através do Projeto Tipitamba, antigo Projeto Shift-Capoeira, que substitui a técnica de corte e queima pela de corte e trituração da capoeira. Esta é uma nova modalidade de sistema de plantio direto chamada de “Plantio Direto na Capoeira” ou “Agricultura sem Queima”, que ainda apresenta a opção de incluir o plantio das árvores de rápido crescimento na fase de pousio, em especial as capazes de fixar nitrogênio atmosférico, para aumentar a oferta de nutrientes em menor tempo e acelerar o acúmulo de biomassa na capoeira. A introdução da árvore é feita durante a fase agrícola para dar melhores condições para seu desenvolvimento até o momento do início do pousio (BRIENZA JÚNIOR, 2003).

Block (1999) esclarece que a proposta para preparo de área sem o uso do fogo inicialmente consistia no trabalho manual, com grande demanda de mão-de-obra, o que impulsionou a Embrapa e a Universidade de Göttingen, sua parceira no início do projeto, a construir um protótipo de triturador de capoeira motomecanizado que recebeu

o nome de Tritucap (Figura 6). O equipamento é acoplado a um trator de rodas e realiza, numa única operação, a derrubada da vegetação triturando a biomassa enquanto distribui o material triturado homoganeamente sobre o solo na forma de cobertura morta (*mulch*).

Figura 6- Protótipo do triturador de capoeira (Tritucap) acoplado a um trator de rodas de 70 kW de potência.



Fonte: Adaptado de BERVALD (2005).

Block et al. (2000) testaram a capacidade e a qualidade do material triturado, relatando que a máquina triturou vegetação de até 10 cm de diâmetro e o rendimento foi de 10 toneladas de material por hora. Quanto à qualidade desse material, 50% teve volume inferior a 4 cm³, sendo que 90% do solo foi coberto pelo material triturado. Já Stevens (1999), baseado em vários resultados de pesquisa, afirma que o sistema de corte e trituração garante até 70% de regeneração da capoeira, pois o sistema radicular das espécies não é danificado.

Atualmente o projeto ampliou suas parcerias e, conseqüentemente, o seu modo de atuação para levar adiante a pesquisa sobre a função da capoeira na agropecuária do nordeste do Pará e de outros estados da Amazônia.

3.4.1 Vantagens da Agricultura de corte e trituração da capoeira

Com base nos primeiros trabalhos realizados por pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental em parceria com universidades alemãs (Bonn e Göttingen), e considerando os diversos trabalhos acadêmicos realizados na mesma linha de pesquisa,

é possível sugerir que a tecnologia de corte e trituração apresenta inúmeros indicativos de vantagens em relação à técnica de corte e queima da capoeira, embora estes experimentos tenham sido, em geral, de curta duração.

Kato et al. (2002) e Denich et al. (2005), a partir de suas pesquisas no Estado do Pará, verificaram que com essa tecnologia evitam-se perdas de nutrientes acumulados na parte aérea da capoeira, poluição ambiental, riscos de incêndio, assim como se obtêm melhoria das características produtivas dos solos.

Considerando as regiões tropicais úmidas com altas precipitações pluviométricas e temperaturas elevadas, é possível que o sistema de plantio direto na capoeira permita a manutenção dos níveis de matéria orgânica de forma mais eficiente e, desta forma, venha a promover melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, além de contribuir para a redução da incidência de plantas espontâneas (SOMMER et al., 2004).

Bittencourt et al. (2009) concluíram que a liberação de nutrientes oriundos da capoeira triturada resultou na redução do crescimento da juquira em solos sob pastagem, favorecendo o aumento da produção de massa de forragem em mais de 21% do obtido no sistema com queima, e elevando o nível nutricional da pastagem possivelmente, para eles, em virtude das melhores condições de fertilidade e umidade do solo proporcionadas pelo método.

A quantidade de fósforo disponível encontrada por esses autores foi significativamente maior no sistema com trituração da capoeira (0,15%) em relação ao sistema com queima (0,14%), confirmando aquela tecnologia como contribuinte na disponibilização desse nutriente, o que concorreu para o aumento da produtividade de forragem naquela área.

Este sistema também favorece, confirmadamente, a flexibilização da época de preparo da área, pois não mais depende do período seco (janeiro a abril) para queima da vegetação, podendo ser realizado em qualquer época do ano, mesmo no período de chuvas, o que permite obter produções fora da época tradicional, e assim alcançar melhores preços no mercado (VIELHAUER et al. 1998; KATO et al., 2002).

Kato et al. (2002) observaram boas produções em período de menor índice de chuvas (novembro e maio) em Igarapé-Açu, concluindo que isso pode ter ocorrido em função da maior retenção e conservação da água no solo, proporcionada pela cobertura morta, não prejudicando a nutrição das plantas.

De acordo com Oliveira (2002), nesse sistema a adubação é recomendada em pequenas doses utilizadas para compensar a imobilização dos nutrientes (na fase inicial) pelos microorganismos durante a decomposição da camada de cobertura morta proveniente da trituração da capoeira contribuindo desta forma para o aumento da produtividade.

Durante aproximadamente dez anos, as atividades do Tipitamba se concentraram no Estado do Pará. Porém, nos últimos anos, a proposta de trituração da capoeira trazida pelo Tipitamba, antigo SHIFT, passou a ser testada nos demais estados da Amazônia brasileira, indicando as melhorias preconizadas pelo sistema. Os resultados em curto e médio prazo (1- 4 anos) já fornecem indicativos dessas melhorias, porém resultados de pesquisa com estudos de longo prazo (mais de 10 anos) ainda são incipientes, inclusive no Pará, e precisam ser avaliados a fim validar a sustentabilidade desse sistema para a agricultura familiar do país.

Marcolan et al. (2009), em Rondônia verificaram que o sistema de manejo com corte e trituração da capoeira propiciou menor densidade do solo ($1,3 \text{ kg dm}^{-3}$ de solo) e menor resistência à penetração (abaixo de $1,0 \text{ MPa}$), em relação ao manejo com derruba e queima da capoeira ($1,4 \text{ kg dm}^{-3}$ de solo e acima de $1,3 \text{ MPa}$, respectivamente). Resultados semelhantes foram encontrados no Pará, por Trindade (2007), porém o pouco tempo de implantação do sistema em ambos os estudos mostrou que essas alterações foram numéricas, embora indicativas de que possivelmente proporcionarão melhoria nesses atributos do solo com a continuidade da prática. Cardoso Júnior et al. (2007), também no Pará, constataram efeito inverso justificado pelo uso de aração e gradagem no sistema com queima, mas afirmaram que o desenvolvimento das plantas não foi prejudicado no sistema sem queima.

Gama (2002) observou que o método via trituração da capoeira mostrou-se superior ao método de derruba e queima quanto à fertilidade do solo em estudo de médio prazo em Igarapé-Açu, PA. Costa (2008) também verificou melhoria nos

atributos químicos e na matéria orgânica do solo em área com trituração da capoeira ao estudar os efeitos da calagem e adubação mineral na fertilidade do solo e na produtividade das culturas no Estado de Roraima. Neste caso, os tratamentos onde houve aplicação de calcário apresentaram teores de matéria orgânica em torno de 32 g kg⁻¹ de solo, mais de 4 g kg⁻¹ acima do valor encontrado nos tratamentos com queima, o que refletiu positivamente na produtividade das culturas de milho e arroz.

No Pará, Kato et al. (1998) concluíram que a cobertura morta formada de restos culturais ou de material triturado de vegetação secundária e sua incorporação aumenta as produções de milho, arroz, mandioca e caupi a partir do segundo ano de cultivo em quase 70%, prolongando o tempo de utilização de uma mesma área.

Frente à relevância dos trabalhos realizados no âmbito do Projeto Tipitamba, confirmados a partir dos resultados positivos advindos das pesquisas participativas, a chamada “Agricultura sem Queima” tem conseguido promover a conscientização e sensibilização ecológica da população amazônica, especialmente a rural do Nordeste Paraense, aonde os agricultores parceiros do projeto vêm inclusive atuando como multiplicadores dos benefícios adquiridos a partir dessa tecnologia.

Estudos nesse sentido foram realizados por Trindade, Rebello e Redig (2010), cujos resultados apontaram para a intensificação do uso da terra e redução das práticas de desmatamento e queimada, contribuindo para aumentar o nível de segurança alimentar e a conscientização ecológica e ambiental das famílias.

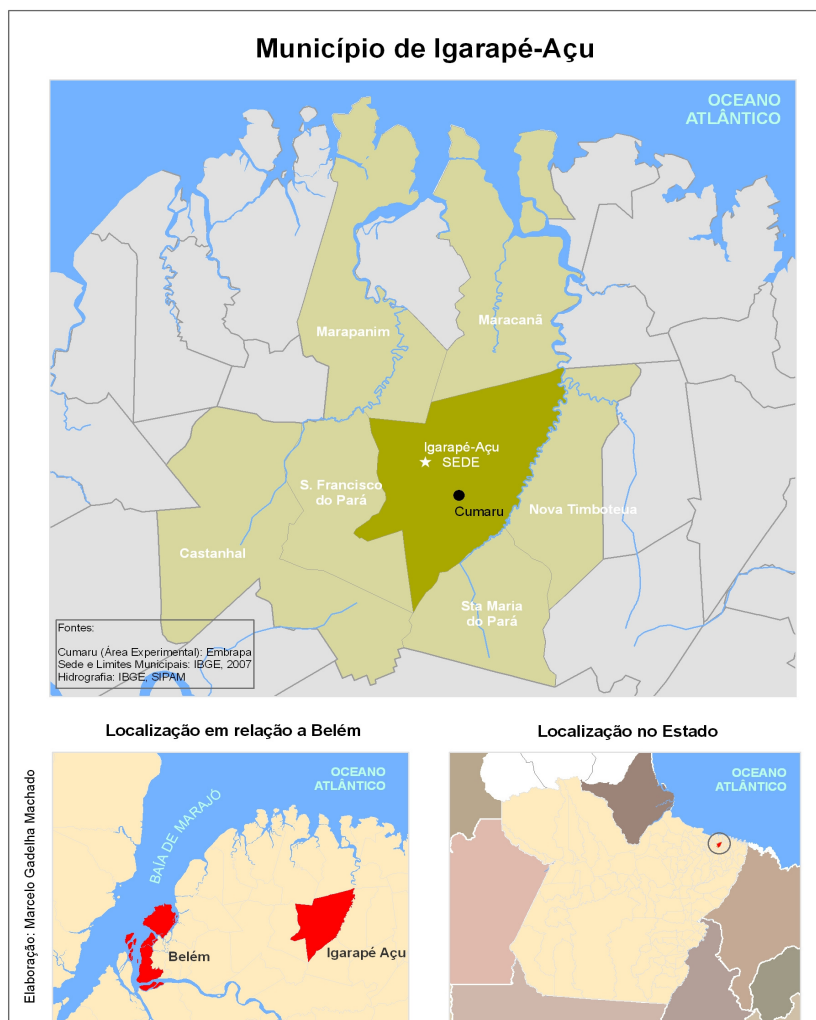
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DE IGARAPÉ-AÇU

O Município de Igarapé Açu localiza-se às margens da antiga Estrada de Ferro de Bragança (PA-127), pertence à Mesorregião do Nordeste Paraense, está a 110 km da capital do Estado e possui as seguintes coordenadas geográficas: 1°07'37" de latitude sul e 47°37'06" de longitude W Gr. (Figura 7). De acordo com Freitas (2005), sua altitude é de 50 metros, estando em 1° lugar em ordem de altitude na Microregião Bragantina. Limita-se ao Norte com os municípios de Marapanim e Maracanã, a Leste com Nova Timboteua; ao Sul com Santa Maria do Pará e a Oeste com os municípios de

Castanhal e São Francisco do Pará. As principais vias de acesso ao município são pelas Rodovias BR-316 e PA-127.

Figura 7- Localização do Município de Igarapé-Açu, Pará, indicando a área experimental (Cumaru) da Embrapa Amazônia Oriental.

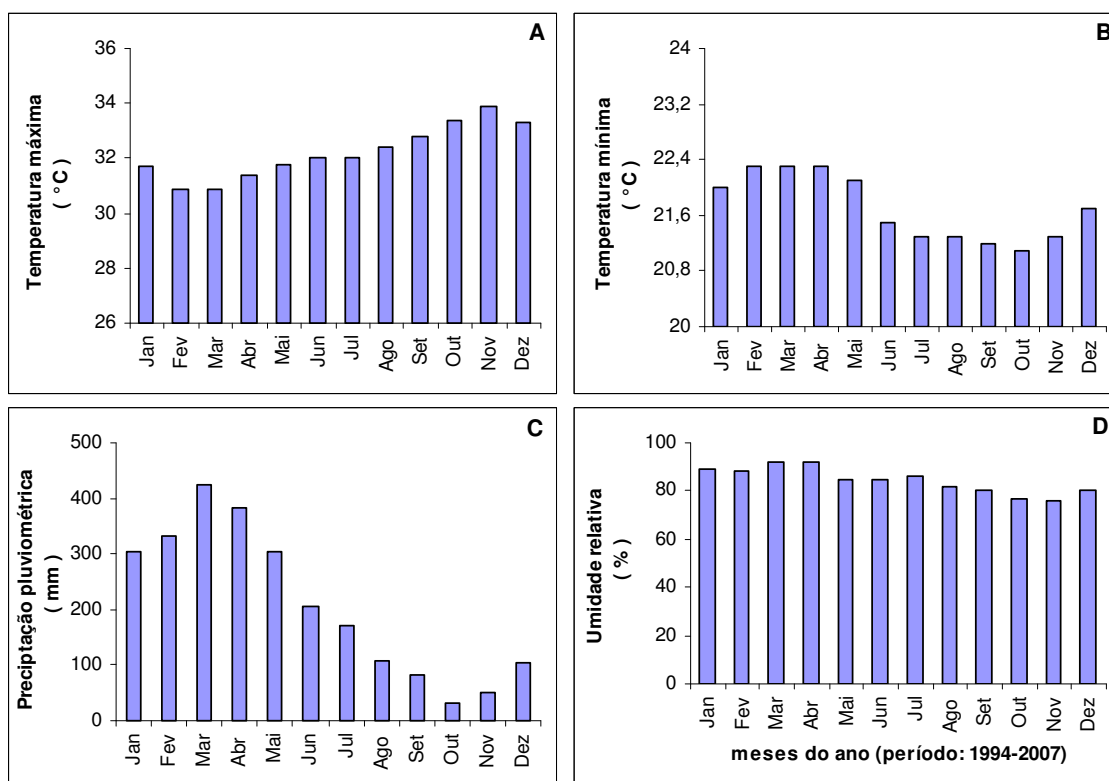


4.2 CLIMA E SOLO

Igarapé-Açu apresenta o clima tropical chuvoso, intermediado entre Am/Aw na classificação de Köppen. As temperaturas médias anuais estão em torno de 27 °C, com máximas em torno de 32,2 °C e mínimas em torno de 21,7 °C (Figuras 8A e 8B). A precipitação anual é elevada, atingindo 2499,3 mm, com forte concentração de janeiro a junho e mais rara de julho a dezembro e a umidade relativa do ar está em torno de 84,33 % (Figuras 8C e 8D), de acordo com os dados da estação meteorológica da Embrapa

Amazônia Oriental em Igarapé-Açu, para o período de 1994 a 2007 (BASTOS; PACHECO, 2007).

Figura 8- Regime anual da temperatura máxima (A); temperatura mínima (B); precipitação pluviométrica (C), e umidade relativa (E) no Município de Igarapé-Açu, baseados na estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental no período de 1994-2007.



Fonte: BASTOS; PACHECO (2007).

No município, o solo dominante é classificado como Argissolo Amarelo Distrófico, pela atual classificação brasileira (EMBRAPA, 1997), e caracteriza-se pela boa profundidade e aeração, possuindo composição granulométrica predominantemente de areia grossa e fina, com teor de argila variando de 8% a 23% no horizonte A e 15 a 37% no horizonte B, incluindo-se por isso na classificação textura arenosa/média.

Segundo Silva e Carvalho (1986), os solos de Igarapé-Açu apresentam baixa capacidade de retenção de água (baixa porcentagem de mesoporos ao longo do perfil) e boa aeração (maiores porcentagens de macroporos), sendo, portanto, bastante susceptíveis ao secamento dos veranicos da região.

4.3 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na comunidade Cumaru, em área experimental da Embrapa Amazônia Oriental, no Município de Igarapé-Açu, Nordeste do Estado do Pará, entre as coordenadas geográficas de 1° 11' S e 47° 34' W (Figura 7), sob um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (EMBRAPA, 2006). A Tabela 1 abaixo demonstra a granulometria deste solo a partir de uma amostra representativa da área. A análise granulométrica foi realizada no laboratório de solos da Embrapa Amazônia Oriental.

Tabela 1- Resultado da análise granulométrica representativa da área de estudo.

PROF.	AREIA			SILTE	ARGILA	CLASSE TEXTURAL
	GROSSA	FINA	TOTAL			
cm	g kg ⁻¹ de solo					
0-10	520	387	907	40	53	Areia
10-20	532	370	902	38	60	Areia
20-30	446	450	896	24	80	Areia franca
30-50	482	343	825	75	100	Areia franca

Fonte: Dados da pesquisa.

A agricultura familiar do Cumaru foi estabelecida por meio de assentamento espontâneo e, segundo Figueiredo e Hurtienne (2004), é uma agricultura de formação dinâmica, originária do processo de desenvolvimento interno e da migração de indivíduos oriundos do Nordeste brasileiro.

Segundo Watrin (1994), o inexpressivo remanescente florestal da área é representado pela presença de Floresta Ombrófila Densa (em geral matas de igapó e várzea fortemente antropizadas) e áreas de Sucessão Secundária em estágios inicial, intermediário e avançado com idades médias de 1 a 6; 7 a 12 e 13 a 18 anos, respectivamente.

Nessa área experimental, o solo é muito dinâmico e se alterna com a prática da agricultura de corte e queima, cultivo e pousio.

4.4 HISTÓRICO DO EXPERIMENTO

O Quadro 1 apresenta um breve histórico do desenvolvimento do experimento na área de estudo. Os preparos de área foram realizados sempre entre os meses de outubro e dezembro, após cada período de pousio da capoeira.

O sistema de cultivo utilizado foi o plantio de arroz (*Oryza sativa* cv. Xingu) em rotação com o caupi (*Vigna unguiculata* cv. BR3-Tracuateua) e a mandioca (*Manihot esculenta* cv. Pretinha), aproximadamente 20 dias após o semeio do caupi.

Quadro 1- Cronologia das atividades realizadas na área experimental, no período de 1994 a 2011.

CICLOS	ANO	ATIVIDADE
PRIMEIRO CICLO	1994	Preparo de área
	1995	Cultivo (arroz; caupi + mandioca) *janeiro
	1996	Pousio curto (6 meses)/preparo de área *agosto
	1997	Cultivo (arroz; caupi + mandioca)
SEGUNDO CICLO	1998	Pousio de 3 anos *julho
	2001	Preparo de área
	2002	Cultivo (arroz; caupi + mandioca)
	2003	Pousio curto (6 meses)/preparo de área
TERCEIRO CICLO	2004	Cultivo (arroz; caupi + mandioca)
	2005	Pousio de 4 anos
	2009	Preparo de área
	2010	Cultivo (arroz; caupi + mandioca) *outubro
	2011	Pousio

*Amostragem de solo

4.5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os estudos foram conduzidos em áreas de pousio da vegetação com idade de 4 (quatro) anos.

Foram avaliadas 3 (três) formas de preparo da terra: 1- corte e queima da vegetação em pousio; 2- corte e trituração da vegetação de pousio para cobertura do solo; e, 3- corte, trituração e incorporação da vegetação ao solo, com e sem adubação NPK, e uma área de capoeira natural como testemunha.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis (6) tratamentos e três (3) repetições, em esquema fatorial 4X4 com parcelas subdivididas.

Os fatores constituíram-se, respectivamente, de 4 épocas (1995, 1996, 1998 e 2010) e 4 profundidades (0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm e 30-50 cm), perfazendo 16 (dezesesseis) variáveis. As parcelas de 10,0 m x 12,0 m foram alocadas em área de 5.000 m² (50,0 m X 100,0 m). A identificação das parcelas foi feita por meio de estacas numeradas. Os tratamentos nessas parcelas foram os seguintes:

- 1) Queima + NPK (Q+); vegetação queimada com a aplicação de adubo.
- 2) Queima sem adubação(Q-); vegetação queimada sem a aplicação de adubo.
- 3) Cobertura + NPK (C+); vegetação triturada e mantida em cobertura. Com aplicação de adubo.
- 4) Cobertura sem adubação(C-); vegetação triturada e mantida em cobertura. Sem aplicação de adubo.
- 5) Triturado e incorporado + NPK (I+); vegetação triturada, com incorporação da cobertura morta e aplicação de adubo.
- 6) Triturado e incorporado sem adubação (I-); vegetação triturada, com incorporação da cobertura morta e sem aplicação de adubo.

Nas parcelas com fertilizantes foram utilizados como fonte de NPK a uréia, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente. O sistema de cultivo adotado foi o plantio de arroz, caupi e mandioca.

Para a cultura do arroz foi utilizado espaçamento de 0,30 X 0,30 m. Nos tratamentos com aplicação de adubo foram aplicados 50, 25 e 25 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, de NPK entre plantas. O N foi dividido em duas aplicações de 25 kg cada (24 e 45 dias depois do plantio).

O caupi foi plantado sempre após a colheita do arroz, num espaçamento de 0,50 X 0,30 m. Nos tratamentos com aplicação de adubo foram utilizados 10, 22 e 42 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, de NPK nas covas.

A mandioca foi plantada sempre 20 dias após o plantio do caupi com espaçamento de 1,0 X 1,0 m entre as linhas do caupi. Para esta cultura não houve adubação específica, sendo considerado o efeito residual do fertilizante aplicado nas culturas do arroz e caupi.

4.5.1 Preparo de área

- Parcelas queimadas

O procedimento adotado foi similar ao usado pelos pequenos produtores da região, ou seja, após o corte manual da vegetação a mesma foi deixada para secar por 3 (três) semanas e então queimada.

- Processo de cobertura do solo nas áreas com trituração da capoeira

No primeiro ciclo da capoeira de pousio a vegetação foi cortada manualmente e triturada com uma ensiladeira de forragem acoplada a um trator de rodas e em seguida o material triturado foi distribuído uniformemente na superfície da área experimental. No segundo e terceiro ciclos a trituração foi realizada com o auxílio da Tritucap.

- Incorporação de cobertura morta

No tratamento com incorporação da biomassa triturada, após o procedimento de distribuição do material proveniente da trituração da capoeira de pousio, foi feita a incorporação dessa cobertura (*mulch*) nas parcelas destinadas aos tratamentos com a incorporação do material. Este processo foi feito manualmente, com a ajuda de enxada, até a uma profundidade de aproximadamente 15 cm.

4.6 PARÂMETROS AVALIADOS

4.6.1 Física o Solo

- Amostragem e Análises

Entre os parâmetros analisados estão: densidade do solo, porosidade do solo (porosidade total, macroporosidade e microporosidade) e retenção de água do solo, que foram analisados segundo metodologia adotada pela Embrapa (1997), as quais foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Amazônia Oriental.

Para determinação destes parâmetros foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm em seis parcelas da área de capoeira, onde foram feitas 3 (três) repetições por tratamento, em delineamento de blocos ao acaso. A amostra de cada parcela foi composta de 3 (três) amostras simples. As amostras indeformadas foram coletadas utilizando-se anéis volumétricos de

100 cm³ para as análises de densidade do solo, porosidade do solo e retenção de água nos potenciais mátricos de -6, -10, -30 e -100 kPa, e as deformadas foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados para proceder à determinação da água retida no potencial mátrico de -1500 kPa.

Para o cálculo de água disponível foram considerados, respectivamente, como capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) os potenciais mátricos de -10 e -1500 kPa.

Os dados de retenção de água foram ajustados a uma curva, de acordo com o modelo proposto por Van Genuchten (1980), o qual considera o potencial matricial como variável independente e a umidade volumétrica à base de volume (m³ m⁻³) como variável dependente (Equação 1):

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{-m} + \theta_{\text{res}} \quad \dots(1)$$

Onde:

θ = umidade do solo (m³ m⁻³);

θ_{res} = umidade volumétrica residual (m³ m⁻³);

θ_{sat} = umidade volumétrica saturada (m³ m⁻³);

h = potencial matricial (kPa);

α , m e n = parâmetros empíricos da equação.

Determinou-se, com base nos parâmetros obtidos através de Van Genuchten (1980), o índice S, considerado por Dexter (2004) como um novo parâmetro para a avaliação da qualidade física do solo e definido como a declividade da curva característica de retenção de água no solo em seu ponto de inflexão. Este índice representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e torna possível a comparação direta de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física do solo (Equação 2):

$$S = -n(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad \dots(2)$$

As amostras relativas ao início do experimento (1995) foram obtidas a partir de amostras de solos de capoeira armazenadas no arquivo do Projeto Tipitamba, nas dependências da Embrapa Amazônia Oriental, e as demais foram obtidas no campo, no final do último período de pousio, no ano de 2010.

4.6.2 Química do Solo

- Amostragem e Análises

Para atender aos objetivos de avaliação da fertilidade do solo em função dos tratamentos aplicados foram coletadas amostras de solo nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, nas profundidades de 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm e 30-50 cm. Em todas as parcelas foram coletadas três amostras compostas oriundas de nove amostras simples na área útil da subparcela em forma de "zig-zag," utilizando-se trados.

As determinações analíticas dos parâmetros fósforo disponível, potássio, sódio, cálcio, cálcio+magnésio, pH em H₂O e alumínio trocável, além da matéria orgânica do solo (carbono orgânico do solo), foram realizadas como descrito a seguir:

Os teores de fósforo disponível, potássio e sódio foram determinados pelo método de Mehlich 1, cuja solução extratora é constituída por uma mistura de HCl 0,05M + H₂SO₄ 0,0125 M. O fósforo foi determinado espectroscopicamente, enquanto que o potássio e o sódio pelo método direto através do fotômetro de chama (SILVA et al., 2009).

Os teores de cálcio e magnésio foram extraídos por KCl 1 M, em conjunto com o alumínio, sendo a titulação do alumínio com NaOH, enquanto que o cálcio e o magnésio foram titulados por complexometria com EDTA. Em uma terceira alíquota do extrato, foi feita a determinação do cálcio por complexometria com EDTA (SILVA et al., 1998; SILVA et al., 2009).

O pH em H₂O foi determinado pelo princípio da medição do potencial eletroquímico da concentração efetiva de íons H⁺ na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água na proporção 1:2,5.

A matéria orgânica foi determinada pelo método volumétrico através do dicromato de potássio. O cálculo da matéria orgânica ocorreu pela fórmula onde: matéria orgânica (g kg^{-1}) = Carbono orgânico (g kg^{-1}) x 1,724. O cálculo é fundamentado admitindo-se que na composição da matéria orgânica o carbono orgânico participa com 58% (EMBRAPA, 1997).

As amostras relativas às 3 (três) primeiras épocas (1995, 1996 e 1998) foram obtidas a partir de amostras de solos de capoeira armazenadas no arquivo do Projeto Tipitamba, nas dependências da Embrapa Amazônia Oriental, e a referente à última época foi obtida no campo, no final do último período de pousio, no ano de 2010.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos e Tecidos Vegetais da Embrapa Amazônia Oriental. Os cálculos relacionados à soma de bases trocáveis foram realizados de acordo com Lopes e Guidolin (1989).

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A técnica de Análise Univariada de Variância (ANOVA) é utilizada para avaliar se as médias de duas ou mais populações são iguais, isto é, mede a significância estatística de diferenças entre grupos. Para efeito de análise estatística neste trabalho, será empregado o modelo de análise de variância com medidas repetidas (Equação 3) considerando-se a dependência entre as profundidades de solo (LITTELL et al., 2006).

$$y = \mu + C_i + A_j + \varphi_k + (C * A)_{ij} + (\varphi C)_{ik} + (\varphi A)_{jk} + (\varphi C * A)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad \dots(3)$$

Onde:

μ – constante associada a todas as observações, tomada como média global;

C_i – efeito do sistema de cultivo;

A_j – efeito dos anos de cultivo;

φ_k – efeito da profundidade;

ij, ik, jk, ijk – as respectivas interações;

ε_{ijkl} – erro.

Dada a significância dos efeitos, a ordenação univariada dos valores médios, com representação do respectivo desvio padrão, foi obtida por meio do teste de Tukey a

5% de probabilidade. Este teste é recomendado quando há mais de dois tratamentos no qual se pretende indicar qual o melhor por meio da comparação entre médias.

Os resultados da análise de laboratório foram dispostos em planilhas Excel e as informações migradas para os pacotes estatísticos SAS *System* e STATISTICA 5.5, no qual se obteve como produto final Tabelas que apresentam a média dos tratamentos e das profundidades das amostras de solo ao longo dos anos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EFEITO DOS SISTEMAS DE MANEJO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Os resultados médios para as variáveis densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade estão apresentados na Tabela 2. Inicialmente foram comparadas as duas áreas de capoeira natural: CAP₁, referente ao ano de 1995, e CAP₂, referente ao ano de 2010. Em seguida comparou-se os diferentes tratamentos do ano de 2010 com a testemunha referente ao ano de 1995 (CAP₁), nas diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm). Posteriormente foram comparados os resultados dos tratamentos com e sem adubação, isoladamente, independente da capoeira de referência.

5.1.1 Densidade do Solo

Os valores de densidade do solo determinados nos diferentes sistemas de manejo estão dentro da faixa encontrada em solos arenosos (1,25 a 1,70 kg dm⁻³) considerados ideais para um bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas (TORRES; SARAIVA, 1999), no entanto, apesar de não se observar diferenças estatísticas significativas (Tabela 2) verifica-se tendência de aumento da densidade do solo quando os solos são submetidos aos diferentes sistemas de manejo em relação ao seu estado natural, principalmente nas duas primeiras camadas (0-10 e 10-20 cm de profundidade).

Para esta variável, independente da profundidade analisada, não houve diferença estatística significativa entre as áreas de capoeira natural do início para o final do experimento (1995 para 2010). Entretanto, percebe-se que há aumento nos seus valores ao longo do tempo, quando após 15 anos em repouso da vegetação a densidade do solo nesta área passou de 1,27 kg dm⁻³ para 1,31 kg dm⁻³ de solo na camada

superficial, o que pode ser devido a coleta da amostra de solo em locais diferentes, uma vez que as propriedades do solo não são cem por cento uniformes em toda a área.

Comparando-se a densidade do solo nos diferentes tratamentos (2010) com a capoeira inicial (1995), conforme apresentados na Tabela 2, observa-se que exceto na segunda camada (10-20 cm) não houve diferença estatística significativa, sendo os menores valores observados no tratamento com incorporação do material triturado com adubação I(+), sendo este resultado significativo na segunda camada.

Tabela 2- Valores médios de densidade do solo (kg dm^{-3}), porosidade total, macroporosidade e microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), nos diferentes tratamentos e profundidades.

VARIÁVEL	PROF(cm)	CAP(1)	CAP(2)	Q(-)	C(-)	I(-)	Q(+)	C(+)	I(+)
Densidade do Solo	0-10	1,27 A	1,31 A	1,41 A	1,34 A	1,34 A	1,38 A	1,32 A	1,30 A
	10-20	1,40 AB	1,46 AB	1,44 AB	1,46 AB	1,46 AB	1,55 AB	1,46 AB	1,36 B
	20-30	1,47 A	1,45 A	1,45 A	1,54 A	1,50 A	1,56 A	1,47 A	1,47 A
	30-50	1,48 A	1,45 A	1,45 A	1,55 A	1,50 A	1,58 A	1,47 A	1,47 A
Porosidade total	0-10	0,52 A	0,46 AB	0,44 B	0,46 AB	0,44 B	0,45 AB	0,47 AB	0,48 AB
	10-20	0,45 A	0,40 AB	0,42 AB	0,41 AB	0,40 AB	0,37 B	0,42 AB	0,44 AB
	20-30	0,45 A	0,39 AB	0,42 AB	0,38 AB	0,39 AB	0,36 AB	0,40 AB	0,39 AB
	30-50	0,45 A	0,39 AB	0,42 AB	0,38 AB	0,39 AB	0,36 AB	0,40 AB	0,39 AB
Macroporosidade	0-10	0,39 A	0,32 AB	0,37 AB	0,35 AB	0,33 AB	0,30 AB	0,36 AB	0,38 A
	10-20	0,33 A	0,23 B	0,31 A	0,31 A	0,23 B	0,22 B	0,29 AB	0,32 A
	20-30	0,29 A	0,22 AB	0,27 A	0,27 A	0,22 AB	0,16 B	0,26 A	0,28 A
	30-50	0,29 A	0,22 A	0,26 A	0,26 A	0,22 A	0,16 B	0,26 A	0,24 A
Microporosidade	0-10	0,13 A	0,13 A	0,12 A	0,11 A	0,11 A	0,15 A	0,11 A	0,10 A
	10-20	0,15 A	0,17 A	0,13 A	0,11 A	0,17 A	0,15 A	0,13 A	0,12 A
	20-30	0,16 A	0,18 A	0,13 A	0,11 A	0,18 A	0,20 A	0,15 A	0,12 A
	30-50	0,16 A	0,18 A	0,15 A	0,11 A	0,18 A	0,20 A	0,15 A	0,15 A

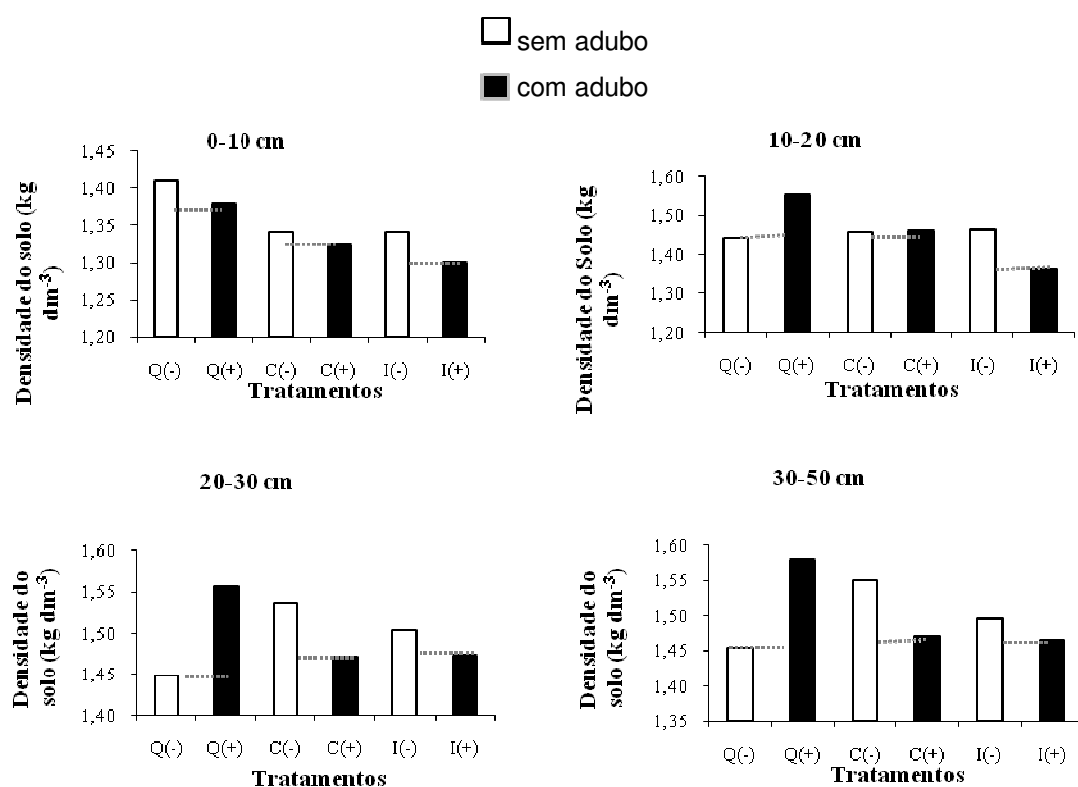
CAP(1): capoeira natural referente ao ano de 1995; CAP(2): capoeira natural referente ao ano de 2010; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-); incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 9 e Tabela 3 mostram o efeito da adubação na diminuição da densidade nos diferentes tipos de preparo do solo, nas diferentes profundidades. Nota-se, independente da profundidade analisada, que o tratamento I(+) apresentou probabilidade ($P < 0,05$) de melhores resultados, ou seja, menor densidade, principalmente na segunda camada (10-20 cm), em que foi estatisticamente superior aos demais ($1,36 \text{ kg dm}^{-3}$ de solo, contra $1,46 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ de solo, respectivamente para C(+) e Q(+)).

Figura 9- Variável densidade do solo, considerando o fator adubação, nos diferentes sistemas de manejo e profundidades do solo.



Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 3- Valores médios de densidade do solo (kg dm^{-3}), apresentando as diferenças entre os tratamentos em relação ao fator adubação.

VARIÁVEL	PROF (cm)	Q(-)	C(-)	I(-)	Q(+)	C(+)	I(+)
Densidade do Solo	0-10	1,41 A	1,34 A	1,34 A	1,38 a	1,32 a	1,30 a
	10-20	1,44 A	1,46 A	1,46 A	1,55 a	1,46 ab	1,36 b
	20-30	1,45 A	1,54 A	1,50 A	1,56 a	1,47 a	1,47 a
	30-50	1,45 A	1,55 A	1,50 A	1,58 a	1,47 a	1,47 a

Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

-Letras iguais (maiúsculas) na linha não diferem estatisticamente entre si para o fator ausência de adubo.

-Letras iguais (minúsculas) na linha não diferem estatisticamente entre si para o fator presença de adubo.

Fonte: Dados da pesquisa.

A fertilização pode ter promovido um efeito indireto na densidade do solo devido sua influência no aumento do sistema radicular das plantas, que por sua vez causa a descompactação das partículas do solo com consequente diminuição da densidade do solo.

Outro fator importante para a diminuição da densidade do solo é a incorporação da biomassa triturada até a profundidade de 15 cm. Como se sabe, esta prática de manejo com o passar dos anos causa efeito positivo nas propriedades físicas do solo, sobretudo na melhoria da estruturação, deixando o solo mais resistente as ações do intemperismo físico e conduzindo a formação de grânulos que o deixarão mais poroso e permeável (SOUZA, 1989).

As parcelas com queima da vegetação, independente de fertilização, foram as que apresentaram tendência de maiores valores de densidade do solo. Embora estatisticamente semelhantes aos outros tratamentos, a falta de cobertura do solo associada ao entupimento dos macroporos pelas cinzas pode ter provocado um aumento da microporosidade deste solo em relação à testemunha (CAP₁) ao longo dos 15 anos de alternância de períodos de preparo de solo-cultivo-pousio.

A prática da queima como preparo de área também destrói os resíduos orgânicos da camada superficial que são importantes para a manutenção da estrutura do solo. Alia-se a isso a destruição dos macro e microorganismos do solo que igualmente facilitam a desagregação das partículas do solo e consequentemente melhoram suas propriedades físicas. É sabido que esta técnica de preparo do solo ocasiona danos

consideráveis ao ecossistema como um todo, especialmente na região nordeste do Estado do Pará, área de colonização antiga com utilização desta prática.

Nas duas últimas camadas (20-30 e 30-50 cm de profundidade), independente do sistema de uso, praticamente não há efeito dos tratamentos influenciando nesta característica, havendo apenas uma tendência natural de aumento dos valores de densidade do solo devido ao adensamento natural provocado pelo peso das camadas superiores sobre as subjacentes e pela diminuição de matéria orgânica ao longo do perfil do solo.

O aumento da densidade do solo nas áreas cultivadas, nas profundidades anteriormente relatadas, quanto ao fator matéria orgânica pode ser explicado, para essa pesquisa, pela redução da matéria orgânica nas mesmas em comparação com o solo sob as capoeiras de referência, 11,21 g kg⁻¹ e 12,29 g kg⁻¹, respectivamente, para CAP₁ (1995) e CAP₂ (2010), enquanto que nas parcelas sob cultivo os teores variaram de 11,71 g kg⁻¹ (I-) a 16,30 g kg⁻¹ (C-) na camada de 0-10 cm de profundidade, valores bem superiores aos das últimas camadas analisadas (Tabela 7).

Destaca-se, de modo geral, que o sistema de corte e trituração da capoeira não provocou alterações significativas na densidade solo ao longo de quinze anos de manejo do solo neste sistema. O peso do conjunto trator-triturador por um longo período não contribuiu para elevar a densidade do solo a valores maiores que o das áreas com queima, sugerindo que a cobertura proporcionada ao solo pelo material triturado amortece a pressão da máquina sobre o solo.

Comparando a influência do sistema de plantio direto com uma área de mata nativa na variação da densidade do solo em um Nitossolo Vermelho Distroférico, Assis e Lanças (2005) identificaram que somente a partir do décimo segundo ano de instalação, o sistema de plantio direto conseguiu se igualar aos valores de densidade do solo encontrado na mata nativa, para a camada de 0-5 cm, evidenciando o efeito da necessidade de um longo tempo neste sistema de manejo para a recuperação estrutural do solo, a semelhança do que pode está ocorrendo na área desta pesquisa.

A hipótese da baixa compressão do solo pela tritucap em razão da camada de cobertura morta está de acordo com os estudos de Bervald (2005) e Cardoso Júnior et

al. (2007). Até 20 cm de profundidade os autores não observaram diferenças significativas para a densidade do solo entre tratamentos com corte e queima e com corte e trituração da capoeira, no entanto encontraram um sensível aumento numérico nas áreas com o sistema de corte e trituração, afirmando que esses valores mais elevados, apesar do uso da tritucap, não chegaram a ser prejudiciais às plantas visto que o nível de compactação considerado prejudicial está por volta de um acréscimo entre 15% e 20% no valor médio inicial da densidade do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Marcolan, Locatelli e Fernandes (2009) em Rondônia. Esses autores concluíram que o sistema de manejo com corte e trituração da capoeira, embora sem significância estatística, propiciou tendência de menor densidade do solo e menor resistência à penetração em relação ao manejo com derruba e queima da capoeira, o que também foi verificado por Anjos et al. (1994) em estudo de longo prazo com plantio direto. Entretanto, o inverso foi constatado por Trindade (2007), quando observou que a densidade de uma área submetida à queima foi menor que numa área sob plantio direto no Nordeste Paraense.

Silva (2009) verificou valores de densidade do solo muito próximos dentro dos tratamentos com queima e com trituração da capoeira no Estado do Amapá, sendo de $1,60 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$, respectivamente. Para o autor, embora no sistema de plantio direto haja ausência de movimentação do solo e manutenção de resíduos orgânicos na superfície do mesmo podendo melhorar processos intrínsecos do solo, como a estrutura e a dinâmica físico-hídrica, as alterações das propriedades físicas dependem de processos lentos. Desta forma, também na área desta pesquisa os tratamentos sem queima, apesar do longo tempo de implantação, ainda não foram capazes de alterar (diminuir) significativamente a densidade do solo.

5.1.2 Porosidade do solo

Os resultados analíticos de porosidade do solo (total, macroporosidade e microporosidade) indicam haver diferença estatística significativa entre tratamentos apenas para porosidade total e macroporosidade nas duas primeiras camadas analisadas (0-10 e 10-20 cm) (Tabela 2).

Comparando as capoeiras de 1995 (CAP₁) e 2010 (CAP₂), independente da profundidade, observa-se que, no geral, não houve diferença estatística significativa entre elas quanto a porosidade total, macroporosidade e microporosidade após 15 anos de repouso da vegetação, no entanto nota-se, ao nível de 5% de significância, uma diminuição da quantidade de poros no final do período experimental. Isso pode estar relacionado com a tendência de aumento da densidade do solo nessa área no ano de 2010 (Tabela 2).

Para a porosidade total, de modo geral, todos os valores médios absolutos encontrados nos diferentes tratamentos são inferiores aos da testemunha (Tabela 2) (CAP₁), concordando com as afirmações de Bertoni e Lombardi Neto (1990). Segundo estes autores, a porosidade do solo dificilmente será igual a da área com floresta após esta ser cultivada para produção de alimentos, o que está associado à redução do teor de matéria orgânica, à compactação e ao impacto das gotas de chuva.

Em consonância com aqueles autores, os resultados mais evidentes referem-se aos valores observados na macroporosidade do solo, pois os fatores por eles mencionados causam uma diminuição no tamanho dos agregados maiores reduzindo, em consequência, o tamanho dos poros.

Curi et al. (1993) complementam que a diminuição do volume do solo ocasionada por compressão pelo efeito do uso causa um rearranjo mais denso das partículas do solo e conseqüentemente redução da porosidade. Neste caso, pode haver um impedimento ao desenvolvimento radicular e ao movimento de água no perfil. Da mesma forma, Brady (1979) afirma que o cultivo tende a diminuir o espaço poroso para valores aquém dos correspondes a solos virgens ou não cultivados em virtude da redução do montante de matéria orgânica seguida de abaixamento da granulação. No entanto, o abandono da área proporciona uma reorganização das partículas através da penetração das raízes, aumentando a porosidade do solo, tornando-o parecido com o estado original (BERVALD, 2005).

Ao longo de quinze anos de alternância de períodos de corte e queima, cultivo e pousio, observa-se que houve diferença estatística significativa para porosidade total entre tratamentos não adubados e adubados apenas na camada superficial (0-10 cm de profundidade), sendo que os que receberam adubação mineral apresentaram os melhores

resultados (Tabela 2). Provavelmente a fertilização do solo causou um aumento do sistema radicular das plantas cultivadas que ao se desenvolverem lateralmente promoveram a descompactação do solo levando a um aumento da quantidade de poros, como citado na publicação da International Fertilizer Industry Association (IFA, 2000).

Nota-se que para as três variáveis analisadas (porosidade total, macroporosidade e microporosidade) o sistema de manejo com trituração da capoeira apresenta-se numericamente superior ao sistema com queima da capoeira (Figura 10). A presença da cobertura do solo nos tratamentos sem queima contribuiu para a manutenção da matéria orgânica do solo (Tabela 7) e para a diminuição dos efeitos que influenciam no aumento da densidade e conseqüente diminuição da porosidade do solo. Resultados semelhantes ao deste estudo foram verificados por Marcolan, Locatelli e Fernandes (2009), os quais atribuíram a tendência de menor densidade do solo e menor resistência à penetração do solo sob capoeira triturada em relação à queimada ao aporte de material vegetal protegendo a superfície do solo contra eventos tais como o impacto das gotas de chuva, que causam a diminuição da qualidade estrutural do solo.

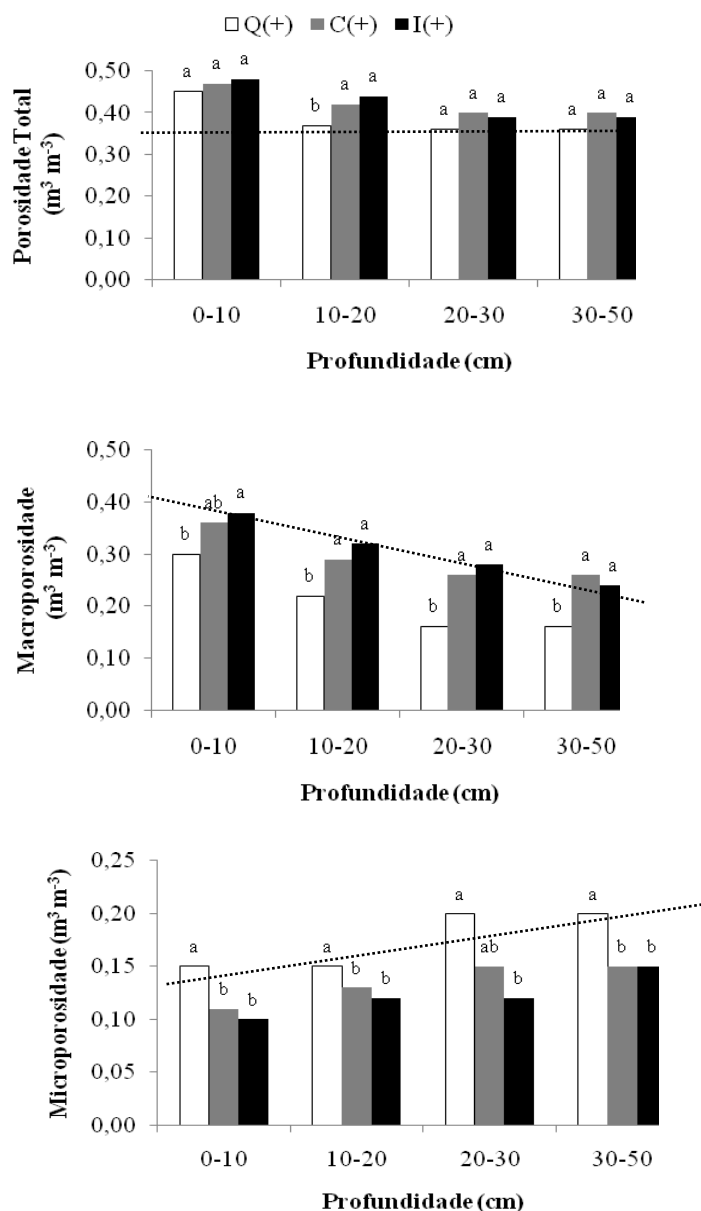
Como esperado, os valores médios encontrados na Tabela 2 refletem a diminuição da macroporosidade e aumento da microporosidade à medida que se aprofunda no perfil do solo. Isto pode ser explicado pela textura, cuja fração grosseira (areia) diminui com a profundidade do solo, havendo aumento da fração mais fina (argila), bem como pela também natural diminuição da matéria orgânica do solo nas camadas mais inferiores do solo, como demonstrado a partir dos resultados dispostos nas Tabelas 1 e 7, referentes à granulometria e à matéria orgânica do solo, respectivamente.

Nas duas primeiras camadas (0-10 e 10-20 cm de profundidade), considerando-se os fatores adubação e cobertura do solo, em valores numéricos de porosidade total, ambos os tratamentos baseados na trituração da capoeira (C+ e I+) apresentaram-se superiores ao da parcela com queima, sendo estatisticamente melhores que o tratamento (Q+) na segunda camada, possivelmente devido ao efeito da cobertura contribuindo com a minimização dos impactos das gotas de chuva sobre o solo.

Na Figura 10 também é possível observar o sistema com queima apresentando-se com qualidade física do solo inferior ao dos tratamentos com trituração da capoeira,

com significância estatística na segunda camada (10-20 cm). Nota-se a baixa quantidade de macroporos e maior quantidade de microporos no tratamento Q(+) em relação aos demais, provavelmente promovendo um aumentando do processo que leva à compactação gradual do solo, como constatado na variável densidade do solo.

Figura 10- Porosidade do solo (total, macroporosidade e microporosidade) nos tratamentos que sofreram adubação.



Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

-Letras iguais dentro de cada profundidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

Para os tratamentos com cobertura e adubação (C+) e incorporado com adubação (I+), verifica-se o contrário. Neles há um favorecimento à melhoria da qualidade física a partir dos resultados de porosidade do solo, cujos valores de porosidade total (0,39 a 0,48 m^3m^{-3}) encontram-se dentro da faixa encontrada por Hillel (1970), com todos os valores de macroporosidade (0,24 a 0,38 m^3m^{-3}), acima do limite crítico para o desenvolvimento radicular das plantas cultivadas (VOMOCIL; FLOCKER, 1966). O tratamento Q(+), após 15 anos de cultivo, apresentou, de modo geral, valores de porosidade total e de macroporosidade no limite crítico, ou abaixo deste, para o desenvolvimento das raízes.

A ação do fogo destrói, além dos resíduos orgânicos vegetais, grande quantidade de organismos da fauna edáfica, principalmente no horizonte orgânico. Dentre esses organismos, os macro-invertebrados (formigas, minhocas, cupins, entre outros) têm grande importância para a Física do Solo pela capacidade de cavar eficientemente o solo e produzir uma grande variedade de poros. Esse fator pode ser considerado de grande importância quando do uso da trituração da capoeira, uma vez que não há necessidade de queimar a biomassa para preparar o solo para cultivo, logo, mantendo uma quantidade significativa da fauna natural do solo auxiliando na melhoria da porosidade do solo.

Lins-Teixeira et al. (2007) avaliando a comunidade de macro-invertebrados do solo sob capoeiras trituradas no Estado do Amazonas, encontraram uma densidade de 172 indivíduos por m^2 nas áreas em repouso há 5 anos. Em Marabá, Estado do Pará, pesquisas revelaram que a densidade total de macro-invertebrados em áreas de pastagem é de, pelo menos, a metade daquela encontrada em áreas de florestas (DESJARDINS et al., 2004). Estes resultados podem vir a somar na indicação da tecnologia de trituração da capoeira como alternativa ao uso do fogo na melhoria da qualidade física do solo.

Nas camadas de 20-30 e 30-50 cm de profundidade, independente do tratamento (adubados ou não), os valores encontrados para porosidade total são praticamente idênticos, indicando que nestas profundidades não há interferência dos sistemas de manejo nesta variável, o que pode ser visualizado pela linha de tendência apresentada na Figura 10.

No caso da porosidade total observa-se uma linha horizontal demonstrando que nenhum tratamento interfere no total de poros principalmente nas duas últimas camadas. Nos casos da macro e microporosidade observa-se linhas de tendência decrescente e crescente, respectivamente. Destaca-se aí o tratamento com queima da biomassa vegetal evidenciando o efeito danoso desta prática no preparo de área para cultivo, ao contrário dos tratamentos com trituração da capoeira, com significativa melhoria nos valores dessas variáveis em relação aos resultados referentes à queima considerando-se a importância da adubação nesse processo, à semelhança dos resultados de densidade do solo.

Resultados indicativos de melhoria da porosidade do solo no sistema de plantio direto na capoeira foram encontrados por Locatelli et al. (2012), em Rondônia, e por Trindade et al. (2009) e Bervaldo (2005), no Nordeste do Pará, cujos valores dessa variável em experimento de curta duração não diferiram estatisticamente da testemunha, conservando-se dentro dos limites críticos para o crescimento radicular das culturas.

Comparando os dois sistemas de manejo aqui estudados, o resultado apresentado pode ser considerado como um indicador para a substituição da queima pelo sistema de trituração da capoeira em relação à porosidade do solo no longo prazo.

5.1.3 Água do Solo

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios obtidos para capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD), além dos valores referentes ao índice S para os diferentes tratamentos e profundidades do solo.

Para verificar as alterações ocorridas na disponibilidade de água do solo após 15 anos de uso e manejo, comparou-se as parcelas sob os diferentes sistemas de preparo (2010) com a área da capoeira natural inicial (1995).

Numa análise global, observa-se que para os parâmetros capacidade de campo e água disponível os valores são relativamente baixos, estando estes relacionados diretamente com a textura e estrutura do solo estudado.

Campbell (2006) explica que a classe textural das areias, como no caso deste estudo, apresenta uma textura mais grossa, tendendo a uma maior drenagem, resultando em percentagens menores de umidade do solo, ficando os valores de capacidade de

campo na faixa de 0,03 a 0,17 m³ m⁻³, enquanto que em solos de textura mais fina esses teores são elevados, atingindo 0,42 m³ m⁻³ de umidade volumétrica, podendo variar de acordo com a densidade do solo.

A quantidade de água na capacidade de campo nas camadas mais superficiais do solo também pode ser influenciada pela alta evaporação em virtude das condições climáticas da região, podendo a água do perfil passar diretamente para a atmosfera, como comentado por Torres (2012).

Tabela 4 – Valores médios de capacidade de campo (CC), água disponível (AD) e ponto de murcha permanente (PMP), em m³ m⁻³, e valores do índice S provenientes da equação de ajuste para os diferentes tratamentos nas diferentes profundidades.

TRAT.	PROF. (cm)	CC	AD	PMP	S
		m ³ m ⁻³			
CAP	0-10	0,10	0,08	0,02	0,105
	10-20	0,12	0,10	0,02	0,081
	20-30	0,13	0,11	0,02	0,073
	30-50	0,15	0,13	0,02	0,069
Q-	0-10	0,10	0,06	0,04	0,138
	10-20	0,10	0,05	0,05	0,106
	20-30	0,10	0,07	0,03	0,086
	30-50	0,14	0,10	0,04	0,087
C-	0-10	0,08	0,06	0,02	0,093
	10-20	0,09	0,05	0,05	0,075
	20-30	0,09	0,05	0,04	0,098
	30-50	0,10	0,08	0,02	0,047
I-	0-10	0,26	0,22	0,04	0,089
	10-20	0,17	0,13	0,04	0,116
	20-30	0,10	0,07	0,04	0,105
	30-50	0,14	0,12	0,02	0,159
Q+	0-10	0,06	0,02	0,04	0,098
	10-20	0,06	0,03	0,03	0,063
	20-30	0,09	0,05	0,04	0,107
	30-50	0,11	0,10	0,01	0,043
C+	0-10	0,10	0,08	0,02	0,055
	10-20	0,12	0,11	0,01	0,048
	20-30	0,12	0,08	0,04	0,039
	30-50	0,12	0,11	0,01	0,048
I+	0-10	0,20	0,18	0,02	0,057
	10-20	0,17	0,03	0,14	0,032
	20-30	0,13	0,10	0,03	0,088
	30-50	0,13	0,07	0,06	0,048

CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

Fonte: Dados da pesquisa.

Comparando-se os valores de capacidade de campo e água disponível entre os sistemas de manejo estudados observa-se, em geral, nas duas primeiras camadas (0-10 e 10-20 cm de profundidade) nos tratamentos com queima e naqueles onde o material triturado foi deixado em cobertura, independente de adubação (Q-, Q+, C-, C+), valores variando de 0,06 a 0,12 m³ m⁻³ para a capacidade de campo e de 0,02 a 0,11 m³ m⁻³ para a água disponível. Nas demais camadas houve um ligeiro aumento nos valores dessas variáveis, o que pode estar relacionado ao maior teor de argila nas camadas mais profundas, conforme apresentado na Tabela 1. Apesar de mais elevados nas camadas mais profundas, estes resultados estão dentro da faixa estabelecida por Campbell (2006) para este tipo de solo e muito próximos aos resultados verificados na testemunha (CAP), indicando que nessa área os sistemas de uso adotados ao longo de 15 anos não promoveram alterações na disponibilidade de água no solo.

Quanto aos tratamentos com incorporação do material triturado (I- e I+) ocorreu resultado inverso aos demais. Nesse caso, é possível que a prática da incorporação da biomassa triturada tenha provocado uma ligeira inversão da granulometria do solo, aumentando o teor de argila e diminuindo o teor de areia na camada até 20 cm, o que provocou um aumento significativo da quantidade de água no solo nas duas primeiras camadas analisadas, aumentando consideravelmente a umidade do solo na capacidade de campo e a água disponível nessas parcelas, os quais apresentaram valores muito superiores à faixa ideal.

Comparando os sistemas de manejo estudados quanto à quantidade de água no solo observa-se que, à exceção do C(-), todos os tratamentos baseados na trituração da capoeira apresentaram valores superiores àqueles baseados na queima da vegetação, os quais apresentaram resultados abaixo inclusive aos da testemunha (CAP). A ausência de cobertura do solo nos tratamentos com queima provocou uma redução da capacidade de armazenamento de água pelo provável aumento da compactação do solo. Esse resultado pode ser devido aos repetidos impactos das gotas de chuva, reduzindo as chances de infiltração de água e pela formação de uma fina camada adensada na superfície do solo, o que pode ser comprovado a partir dos resultados de densidade do solo apresentados na Tabela 2. Já a maior retenção e disponibilidade de água às plantas no solo em plantio direto normalmente são atribuídas à barreira formada pelos resíduos (palha), que reduz a velocidade de escoamento da água sobre o solo, melhorando a infiltração da água no

perfil do solo, e diminuindo a evaporação da água na superfície devido à diminuição da temperatura e da incidência direta de raios solares sobre o solo (KATO, 1998).

Quanto ao ponto de murcha permanente, considerado o limite inferior de água no solo, os resultados estão em similaridade com trabalhos citados por Ghanbarian e Millán (2009) para solos com textura arenosa ($0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), não tendo sofrido alterações ao longo do tempo por influência dos sistemas de preparo do solo.

Resultados semelhantes ao desse estudo foram verificados por Dalmago et al. (2009) quando observaram que a disponibilidade de água às plantas no solo em plantio direto é maior que no solo em preparo convencional nas camadas mais próximas à superfície. Pesquisas relacionados às condições hídricas do solo sob plantio direto na capoeira ainda são bastante incipientes, necessitando de estudos mais específicos para a avaliação do conteúdo de água no solo sob este sistema de uso e manejo.

Com relação ao índice S, que segundo Dexter (2004) é o valor da inclinação da curva de retenção de água em seu ponto de inflexão, ou seja, onde o ponto de curvatura é zero, é considerado indicador de qualidade do solo por refletir mudanças ocorridas no solo quanto à densidade e a porosidade. Quanto menor for o valor de S, menor será a inclinação da curva de retenção de água no solo, correspondendo a um solo desestruturado. Para este autor, o limite entre solos com boa e pobre qualidade estrutural ocorre no valor aproximado de $S=0,035$, sendo que valores de $S<0,020$ representam condições muito pobres e com alta restrição ao crescimento das raízes das plantas.

Baseado na equação de Van Genuchten (1980), a qual refletiu os resultados de capacidade de campo, água disponível e ponto de murcha permanente apresentados na Tabela 4 e pelas afirmações de Dexter (2004), é possível afirmar que o solo estudado, apesar de ter textura muito arenosa, apresenta boas propriedades físicas.

Neste estudo todos os valores de S foram superiores a 0,035, o que era esperado, pois os resultados dos atributos físicos do solo discutidos anteriormente já demonstravam que este solo encontra-se dentro da faixa ideal de densidade e porosidade do solo citados por Keihl (1979) e Hillel (1970) para o bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas cultivadas. É importante salientar que os valores encontrados são similares para ambos os sistemas de manejo estudados, independente

da profundidade analisada, indicando que o manejo do solo por 15 anos nessa área não foi capaz de provocar mudanças drásticas na física do solo.

5.2 EFEITO DOS SISTEMAS DE MANEJO SOBRE AS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

5.2.1 Fósforo disponível (P_2O_5)

Os resultados médios para a variável fósforo disponível (P_2O_5) para os diferentes tratamentos, dentro de cada ano e nos diferentes anos dentro de cada tratamento, por profundidade estão apresentados na Tabela 5.

Observa-se que de modo geral todos os tratamentos promoveram aumento nos teores de fósforo disponível em relação à testemunha (CAP). Os resultados mais expressivos foram observados na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e nos tratamentos onde houve aplicação mineral NPK.

A análise de variância ($P < 0,05$) para os teores de fósforo disponível nessa profundidade apresentou diferença estatística significativa pelo teste de Tukey a 5% em função da presença de adubo para os diferentes sistemas de manejo, com e sem queima, em todas as épocas de observação.

O tratamento Q(+), onde houve queima da vegetação e adubação, foi o que apresentou valores mais altos, o que está diretamente relacionado ao aumento do pH do solo (Tabela 8), pelo efeito da correção da acidez do solo pelas cinzas, e da diminuição dos teores de alumínio trocável (Tabela 9) acarretando, conseqüentemente, aumento considerável dos teores de fósforo nesse tratamento.

Vale ressaltar que apesar de todos os tratamentos apresentarem tendência de aumento da quantidade de fósforo disponível para as plantas em relação à testemunha, nos tratamentos onde não foi feita aplicação de adubo o teor de fósforo variou de 2,33 a 9,33 $mg\ dm^{-3}$, enquanto que nas áreas adubadas a variação foi de 9,0 a 19 $mg\ dm^{-3}$. De acordo com os parâmetros apresentados por Brasil e Cravo (2010), para solos arenosos como o deste experimento, esses valores, no geral, são considerados baixos e médios, respectivamente.

Tabela 5- Valores médios de Fósforo disponível (mg dm^{-3}), em diferentes profundidades, comparando os sistemas sem queima e com queima da capoeira com uma área de capoeira natural, referentes aos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.

PROF cm	TEMPO ano	TRATAMENTO									
		CAP	Q(-)	C(-)	I(-)	Q(+)	C(+)	I(+)	mg dm^{-3}		
0-10	1995	4,67 Da	8,33 CDab	8,00 CDa	6,33 Da	19,00 Aa	11,67 BCa	14,00 Ba			
	1996	4,33 Da	9,33 BCa	8,33 BCa	7,67 CDa	17,00 Aa	12,00 Ba	11,00 BCab			
	1998	4,33 Ca	5,00 Cbc	6,33 BCa	5,00 Cab	11,33 Ab	10,33 Aa	9,33 ABb			
	2010	1,67 Ca	3,33 Cc	2,33 CDb	2,33 Cb	13,00 Ab	9,00 Ba	14,00 Aa			
10-20	1995	2,33 Aa	3,00 Aab	3,33 Aab	2,67 Aab	3,67 Aab	4,00 Aa	3,33 Ab			
	1996	2,67 Ca	4,67 ABCa	3,67 ABCa	3,33 BCa	9,67 Aa	5,67 Ba	5,00 BCab			
	1998	2,33 Da	3,33 CDab	3,33 CDab	3,00 Dab	7,67 Aa	5,33 BCa	6,00 ABa			
	2010	1,00 Ca	1,33 BCb	1,33 BCb	1,00 Cb	3,33 ABab	3,67 Aa	4,67 Aab			
20-30	1995	1,00 Aa	2,33 Aab	2,67 Aa	1,33 Aa	2,33 Aab	1,33 Aa	2,00 Aa			
	1996	1,67 Ba	3,00 ABa	2,67 ABa	1,67 Ba	4,00 Aa	2,67 ABa	2,00 ABa			
	1998	1,67 Aa	2,00 Aab	2,33 Aa	2,00 Aa	3,00 Aa	2,33 Aa	2,33 Aa			
	2010	1,00 Aa	1,00 Ab	1,00 Aa	1,33 Aa	1,00 Ab	1,33 Aa	2,67 Aa			
30-50	1995	1,00 Aa	1,00 Aa	1,67 Aa	1,00 Aa	1,00 Aa	1,33 Aa	1,00 Aa			
	1996	1,00 Aa	2,00 Aa	1,33 Aa	1,00 Aa	2,00 Aa	1,00 Aa	1,00 Aa			
	1998	1,00 Aa	1,00 Aa	1,33 Aa	1,00 Aa	1,33 Aa	2,00 Aa	1,33 Aa			
	2010	1,00 Aa	1,00 Aa	1,67 Aa	1,00 Aa	1,00 Aa	1,00 Aa	1,67 Aa			

CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

Com relação às propriedades químicas e mineralógicas, Brady (1979) e Raij (1991) explicam que em solos que ocorrem em regiões de clima tropical, semelhantes ao deste estudo, com pH ácido (na faixa de 4 a 5), há predominância de óxidos de ferro e alumínio, e minerais de argila 1:1 como a caulinita, condicionando a formação de fosfatos de ferro e alumínio que não são assimiláveis pelas plantas, sendo a disponibilidade de fósforo detectada, por conseguinte, em baixos teores nas análises. Isso ocorre devido ao fenômeno da “fixação do fósforo” citado por vários autores, entre eles os anteriormente citados e Malavolta (1979).

Comparando-se somente os tratamentos onde não houve adubação, verifica-se que na profundidade de 0-10 cm do solo, em todos os anos, no geral a área submetida à queima (Q-) apresentou maior teor de fósforo em decorrência da deposição de cinzas e material vegetal decomposto.

É sabido que quando a vegetação é queimada a liberação de nutrientes é imediata, enquanto que essa liberação é lenta no sistema de plantio direto na capoeira. Isto ocorre devido a decomposição da matéria orgânica nesse sistema ser também lenta e gradual, como reportado por Kato et al. (1998).

No caso do tratamento onde houve trituração e incorporação do material vegetal no solo e sem adubação (I-), verifica-se uma tendência de diminuição dos teores de fósforo em relação aos outros tratamentos até o ano de 1998. Certamente, isso ocorreu devido à ação microbiana do solo. Conforme explicam Rossetto e Tsai (1992), ao se incorporar grande quantidade de material orgânico ao solo há um aumento no estímulo ao crescimento da população microbiana, havendo uma consequente demanda por fósforo. Ainda segundo esses autores, durante a decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos determinadas quantidades de fósforo são assimiladas por eles para a formação e desenvolvimento de suas células.

Kato (1998) em sua tese sobre a dinâmica do fósforo no solo, no mesmo local desta pesquisa, também observou que nas parcelas onde houve incorporação da biomassa triturada sem adubação houve um decréscimo acentuado nos teores de fósforo disponível a níveis quase indetectáveis na solução do solo. O autor atribuiu esse resultado ao baixo teor desse nutriente no solo no início do experimento, à baixa quantidade do mesmo na biomassa da capoeira, à sua baixa mobilidade no solo e à

remoção pelas culturas exigentes em fósforo (arroz e caupi) nos primeiros anos de implantação desse sistema.

No tratamento onde o material foi apenas triturado e deixado como cobertura do solo e sem adubação (C-) observa-se tendência de teores de fósforo maiores do que no tratamento com incorporação (I-). Esse resultado deveu-se a mineralização mais lenta dos resíduos orgânicos deixados apenas na superfície do solo pela ação quase que exclusivamente do clima, como explicado por Kato et al. (1998). Lopes (1989) complementa que melhorando as condições de umidade e temperatura do solo pelo efeito da cobertura morta há aumento do teor de fósforo disponível no solo.

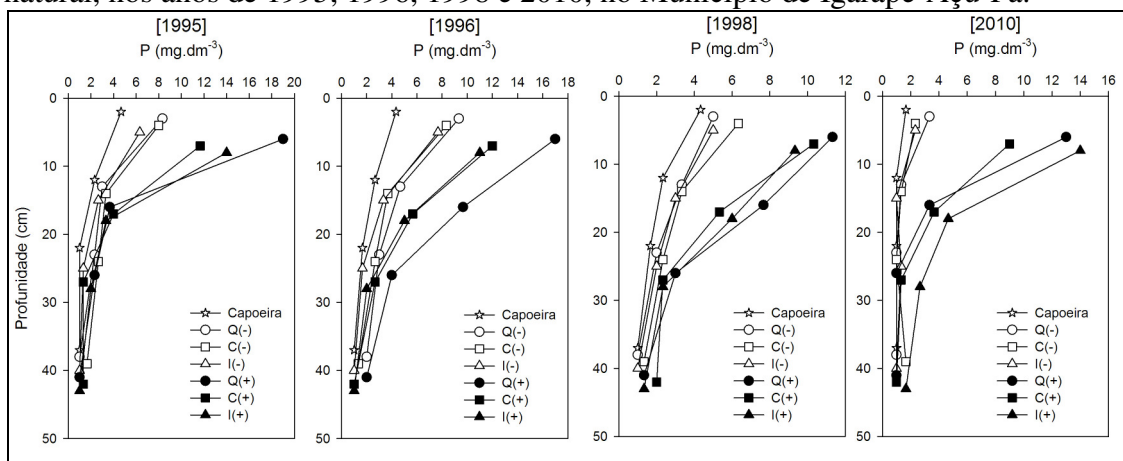
Observando-se os resultados dos tratamentos onde foi feita a aplicação de adubo é possível notar que no ano de 2010, especificamente, o tratamento I(+) apresentou comportamento diferente ao que ocorreu até o ano de 1998, quando o tratamento Q(+) apresentava-se estatisticamente melhor que os demais. Embora com semelhança estatística com Q(+), observa-se uma tendência do I(+) ser ligeiramente superior a este. É importante destacar que ele volta a apresentar o mesmo resultado do início das observações (14 mg dm^{-3}), quando o período era de maior quantidade de chuvas, apontando para a manutenção das condições de umidade do solo devido a presença de cobertura, e para a estabilidade da ação microbiana.

É importante lembrar que o preparo de área feito em 2009 influencia diretamente na semelhança estatística entre Q(+) e I(+). A queima ocorrida na área do tratamento Q(+) mais a adição de fertilizante provocou a diminuição imediata da acidez e da toxidez do Al (Tabelas 8 e 9, respectivamente) e favoreceu uma maior disponibilidade de fósforo no solo. No entanto, mesmo com trituração recente do material vegetal, a adição de adubo provavelmente compensou a imobilização dos nutrientes pelos microorganismos na fase inicial de decomposição da matéria orgânica, como proposto por Oliveira (2002), que somado ao efeito cumulativo positivo dos manejos ocorridos nos anos anteriores na área deste tratamento, refletiu no resultado alcançado no ano de 2010, na camada de 0-10 cm de profundidade.

Nas camadas intermediárias, 10-20 cm e 20-30 cm de profundidade, em todas as épocas de observação, os teores de fósforo disponível, apesar de bastante inferiores

aos da camada superficial (0-10 cm), são bem superiores aos da área de capoeira natural (CAP), como pode ser também visualizado na Figura 11.

Figura 11- Disponibilidade de Fósforo (mg dm^{-3}) em diferentes profundidades do solo, considerando os sistemas sem queima e com queima da capoeira e uma área de capoeira natural, nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

Fonte: Dados da pesquisa.

Esses resultados demonstram que ainda há o efeito dos diferentes sistemas de cultivo no aumento da disponibilidade deste nutriente em relação à testemunha, provavelmente devido à percolação e acúmulo do fósforo nessas camadas pela ação da alta precipitação pluviométrica na região. Este resultado é semelhante ao de Santos e Santos (2003) ao constatarem a pouca mobilidade do fósforo para as camadas inferiores do solo e a formação de compostos de baixa solubilidade em solos com as mesmas características dos solos deste estudo.

Verificando-se os resultados relativos aos teores de alumínio trocável (Tabela 9), nota-se elevados teores de alumínio para as duas camadas intermediárias do solo, confirmando a provável insolubilidade do fósforo pela fixação na forma de fosfato de alumínio (AlPO_4).

Outra justificativa pode ser baseada nas considerações de Lopes (1989), ao afirmar que a textura do solo tem forte influência na diminuição do fósforo em profundidade. Segundo o autor, apesar do fósforo movimentar-se muito pouco na maioria dos solos, permanecendo onde é colocado pela adubação, ele pode movimentar-se um pouco mais em solos arenosos, como o deste estudo, do que em solos argilosos.

Da mesma forma como ocorreu na camada superficial, um resultado que desperta atenção é o maior teor de fósforo disponível nas camadas intermediárias para o tratamento I(+) no ano de 2010, em relação aos outros tratamentos adubados. Este fato pode ter ocorrido em função da combinação do preparo de solo adotando-se incorporação da biomassa mais adubação mineral, o que favoreceu a fixação e posterior liberação desse nutriente para a solução do solo nesta camada. Conforme mencionado por Lopes (1989) é importante o fato de que parte do fósforo fixado passa à solução do solo com o correr dos anos, podendo ser mais aproveitado pelas culturas.

Na última camada (30-50 cm de profundidade) observa-se que praticamente não há manifestação do efeito dos tratamentos, uma vez que os resultados encontrados em todos eles são muito semelhantes ao da área de capoeira natural (CAP). Nesta profundidade os teores de fósforo disponível são provenientes quase que exclusivamente da parte mineral do solo, onde normalmente esses teores são muito baixos.

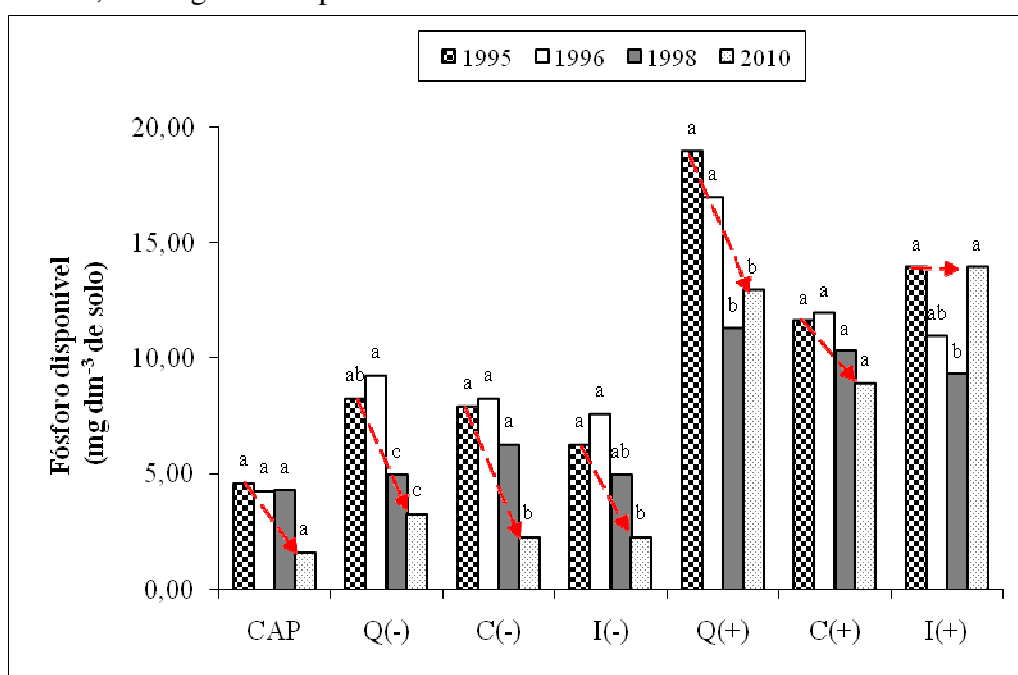
Analisando-se os tratamentos ao longo do tempo (Tabela 5) verifica-se que, no geral, ocorre uma considerável diminuição do teor de fósforo no ano de 1998 e, sobretudo, no ano de 2010 em relação ao início das observações para os diferentes tratamentos, apresentando diferença estatística significativa entre as épocas de amostragem. Concordando com Zarin et al. (2001), é provável que isso tenha ocorrido devido à ação dinâmica do solo nessa área experimental, com sucessivas alternâncias de preparo de área, cultivo e pousio da vegetação ao longo dos anos e a reduzida capacidade regenerativa da capoeira devido provavelmente à baixa quantidade de nutrientes no solo neste período.

As épocas de amostragem de solo podem explicar o ocorrido. As duas primeiras coletas de solo (1995 e 1996) tiveram o efeito de apenas um plantio, no ano de 1995, bem como na coleta de 1998 que teve efeitos do plantio de 1997. Os desgastes maiores no solo vieram a ser refletidos na última coleta em 2010, tanto pelo efeito cumulativo desde 1995 como pelos plantios (2002, 2004 e 2010) e queimas mais intensas em relação às coletas anteriores.

A Figura 12 ilustra a situação de campo durante o período de estudo, ficando bastante nítido o efeito da adubação química, da prática da queima e redução do teor de

fósforo ao longo dos anos, entre os diferentes tratamentos e a capoeira natural. Ficou evidente também, nos tratamentos com a cobertura, principalmente com adubação, e a capoeira natural, os teores de fósforo em níveis mais equilibrados quando comparados com a queima. Nota-se que no tratamento Q(+) a queda no nível de P foi bem acentuada, com diferença estatística significativa, enquanto no C(+) e I(+) não ocorreu essa diferença da primeira para a última época de observação.

Figura 12- Disponibilidade de fósforo na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-); incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.
- Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

Destacando-se o ano de 2010, pode-se inferir que a causa mais provável para a queda acentuada nos níveis de fósforo disponível em quase todos os tratamentos pode estar relacionada ao período de coleta das amostras de solo realizadas no mês de outubro, quando o solo encontrava-se muito seco devido à baixa precipitação pluviométrica. Nesta situação, como esclarece Lopes (1989), a menor umidade e as altas temperaturas tornam o fósforo praticamente todo fixado. Também a baixa produtividade da cultura da mandioca e a perda total das culturas do arroz e caupi podem justificar o ocorrido neste ano. Nos anos anteriores as coletas foram realizadas em períodos de

maior índice de chuvas na região (janeiro, julho e agosto), favorecendo uma maior umidade do solo tornando esse nutriente mais disponível, conseqüentemente apresentando maiores produtividades. Resultados semelhantes ao deste trabalho foram citados por Coelho et al. (2004) em Igarapé-Açu, Pará, em solo do tipo Latossolo Amarelo fase arenosa, quando comparou áreas manejadas com queima e com corte e trituração da capoeira.

Considerando os solos desta região, os valores encontrados na camada de 0-10 cm de profundidade na área de capoeira natural (CAP) são relativamente altos nos três primeiros anos de observação. A provável causa pode estar relacionada à grande adição de resíduos vegetais na superfície do solo ou até mesmo de possíveis queimadas nessa área nos anos que antecederam o início do experimento, restando ainda algum resíduo de fósforo no local que foi somado ao recuperado no pousio da capoeira, já que naquele momento a vegetação estava em repouso há 4 (quatro) anos, e certamente ainda sofrendo a influência dos manejos anteriores do solo.

Após 12 anos de desenvolvimento da vegetação secundária, quando a capoeira já encontrava-se com um porte bem maior, houve diminuição desse nutriente não apenas pela maior absorção do mesmo pelas plantas, agora com maiores demandas de nutrientes para formação de frutos, por exemplo, ou por fixação, mas também porque o solo voltou a apresentar as características naturais dos solos da região, pobres em fósforo, já que não mais existia a adição do mesmo pelas formas de manejo anteriormente utilizadas nessa área.

A afirmativa anterior concorda com a de Tibau (1978) quando diz que, modo geral, os solos brasileiros são deficientes em fósforo, com teores médios em torno de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de solo, mas que o mesmo tem grande importância nos fenômenos da reprodução, multiplicação das células e na formação das sementes. Segundo ele, este nutriente influi significativamente no desenvolvimento e ativação das raízes, o que implica no seu maior consumo durante o processo de crescimento dos vegetais. Desta forma, justifica-se a necessidade de utilização de adubos químicos para suprir a deficiência deste nutriente no solo.

Os resultados desta pesquisa concordam com os que foram verificados por Szott e Palm (1986) trabalhando com vegetação secundária na Amazônia Peruana,

quando observaram redução dos níveis de fósforo no solo e um decréscimo acentuado no nível de fertilidade do solo (até 60% de perda de K, Ca e Mg) com o tempo de desenvolvimento dessa vegetação. Resultados semelhantes também foram encontrados por Kleinman, Bryant e Pimentel (1996) que observaram uma tendência de maior acidez e maiores teores de alumínio trocável em solos cuja vegetação ficou em pousio por onze anos, em comparação a outra de três anos, afetando negativamente a disponibilidade de fósforo no solo.

Kato et al. (1999) estudando a disponibilidade de fósforo num solo do Nordeste Paraense, a fim de comparar o efeito do preparo de área (com e sem queima) e da aplicação de fertilizantes, também verificaram que a disponibilidade desse nutriente diminuiu com o tempo, passando de $3,3 \text{ mg dm}^{-3}$ em 1995 para $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ em 1997 numa área de capoeira natural de 4 anos, confirmando a pobreza de fósforo nos solos dessa região.

Nos demais tratamentos com fertilizante o preparo de área com corte e trituração da capoeira mostra tendência a ser superior a todos os outros tratamentos ao longo do tempo. É possível observar que na parcela do Q(+) o teor de fósforo disponível reduziu de 19 mg dm^{-3} em 1995 para 13 mg dm^{-3} em 2010, enquanto que na parcela do I(+) a quantidade desse nutriente permaneceu a mesma (14 mg dm^{-3}) no início e no final das observações, embora tenha sofrido uma queda nesse intervalo. Esse resultado assinala que com a continuidade dessa prática, ocorre uma estabilidade do crescimento da população microbiana e, por conseguinte, um equilíbrio da demanda por fósforo pelos microorganismos, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas. Neste caso, é possível que este tipo de manejo se configure como a melhor alternativa ao sistema de corte e queima na disponibilização de fósforo no longo prazo.

Destaca-se, ainda, que apesar do tratamento C(+) ter apresentando um resultado inferior aos outros dois (Q+ e I+) no longo tempo, o material vegetal triturado deixado apenas como cobertura morta é capaz de manter a quantidade de fósforo disponível estável por um longo período, como comprovado pela análise estatística aqui realizada. Nota-se, nesse caso, que não houve diferença estatística significativa de 1995 para 2010 embora haja tendência de queda na quantidade desse nutriente na última época de observação.

Diante dos resultados apresentados, além do efeito positivo em longo prazo da incorporação da cobertura morta, pode-se concluir que provavelmente a maior vantagem do sistema de corte e trituração da capoeira está na possível melhoria da qualidade física e das condições de umidade e temperatura do solo proporcionada pela manutenção da cobertura do solo pelo material triturado ao longo do tempo também na diminuição das perdas de nutrientes - ao contrário da queima da biomassa -, o que favorece um melhor desenvolvimento das plantas e conseqüentemente maiores produtividades, com sustentabilidade ambiental.

Os resultados de densidade e porosidade do solo apresentados na Tabela 2 podem justificar a melhoria da qualidade física do solo, notadamente quanto ao tratamento com incorporação da cobertura morta, o qual apresentou tendência de menor densidade do solo e maior porosidade total nas parcelas com adubação.

Concordando com Bünemman (1998)³ citado por Kato (1998), é possível que haja aumento ainda mais significativo de produtividade das culturas nesse sistema pela adição de fósforo através da adubação, já que a disponibilidade desse nutriente é baixa tanto no solo como na biomassa da capoeira.

Neste experimento verifica-se aumentos significativos na quantidade de fósforo nos tratamentos adubados em comparação aos não adubados sob manejo sem queima, como já foi explicado. Nos trabalhos de Kato et al. (2007) os autores afirmam que é possível mostrar o benefício da prática de corte e trituração da capoeira na produtividade das culturas considerando que o uso de fertilizantes é um pré-requisito para se obter uma boa produção em solos de baixa fertilidade com o uso desta técnica. Esses autores compararam o rendimento das culturas alimentares (arroz, caupi e mandioca) em dois diferentes preparos de solo (queima e corte e trituração sem incorporação do material triturado), com e sem fertilizantes e verificaram que no sistema de preparo do solo sem fogo a utilização do fertilizante é essencial, pois o efeito residual do insumo aumentou consideravelmente a produção dessas culturas. Para o arroz, a produção passou de 2,3 para 3,6 ton ha⁻¹, o caupi de 1,5 para 1,8 ton ha⁻¹ e a mandioca de 26,8 para 34,3 ton ha⁻¹, do ano agrícola de 1995/1996 para o ano agrícola

³ BÜNEMANN, E. Einfluß von Mulch und mineralischem Dünger auf *Zea mays*, *Vigna unguiculata* in der Feldumlagewirtschaft Ostamazonies. Diplomarbeit Georg-August-Universität Göttingen. 1998.

de 2002/2003, enquanto que para os mesmos períodos a produção reduziu ou manteve-se estável nas áreas preparadas com queima.

Costa (2008) avaliou o efeito da adubação e da calagem no primeiro ano de cultivo em sistema de corte e trituração da capoeira e observou que a adubação contribuiu para o aumento da produtividade independentemente da calagem e que a produção aumentou em função da maior dosagem de NPK. No entanto, deve-se observar a resposta biológica da planta entre as quantidades utilizadas de fertilizante e as resposta em termo de produto. Homma e Rebello (2010) explicam que quando as plantas são submetidas a doses crescentes de fertilizantes apresentam três comportamentos de resposta produtiva: a produção cresce com retornos crescentes, após a produção cresce com retorno decrescente e finalmente a produção passa a decrescer.

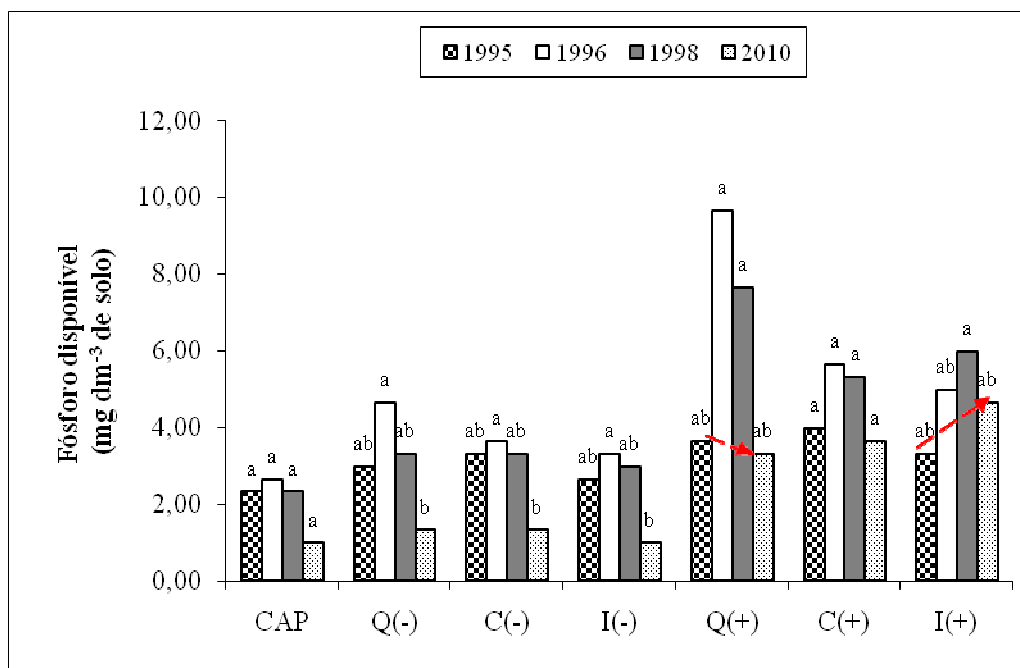
Com relação aos tratamentos com trituração da capoeira sem adição de fertilizante, também é possível perceber que ocorre aumento significativo de fósforo no tratamento C(-) somente pelo efeito da cobertura do solo em relação à testemunha (Tabela 5), o que certamente refletirá no aumento da produtividade das culturas a partir da liberação dos nutrientes da biomassa após o processo de decomposição. Isso indica que o sistema tem viabilidade também sem a aplicação de adubo. Kato (1998) confirmou esse efeito ao observar em sua pesquisa que a produção da cultura do arroz nesse sistema aumentou em 0,5 para 1,7 ton ha⁻¹ (70,6%) do ano agrícola de 1995/1996 para o ano agrícola seguinte, 1997/1998, enquanto que no sistema com queima e sem adubação o aumento foi de apenas 14,3% (1,2 para 1,4 ton ha⁻¹) para o mesmo período.

Os dados de produtividade para esta pesquisa tiveram de ser desconsiderados, mesmo sabendo da sua influência no estoque de nutrientes pelo efeito residual da adubação devido às perdas ocasionadas por fatores climáticos adversos ocorridos durante o período analisado, escassez ou excesso de chuvas, especialmente para o ano de 2010, período em que houve perda total das culturas do caupi e do arroz e produtividade insignificante da cultura da mandioca.

Analisando as camadas subjacentes ao longo tempo, verifica-se que na camada de 10-20 cm de profundidade (Figura 13), houve diferença estatística significativa apenas para o ano de 1996 na maioria dos tratamentos, cujos valores de fósforo disponível apresentaram-se mais elevados do que nos outros anos. Esse resultado pode

estar relacionado com o maior reflexo dos tratamentos no segundo ano de implantação do sistema, especialmente em se tratando dos tratamentos no sistema sem queima da biomassa da capoeira.

Figura 13- Disponibilidade de fósforo na camada de 10-20 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-); incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

No geral, os tratamentos que receberam adubo tenderam à melhores resultados. O tratamento Q(+) destacou-se entre os demais devido não somente à percolação dos resíduos de fósforo incorporados ao solo pela adubação, nesse caso comum aos outros tratamentos, mas também à queima da biomassa na camada superficial, cujas cinzas alcançaram a camada imediatamente seguinte levando certa quantidade desse nutriente.

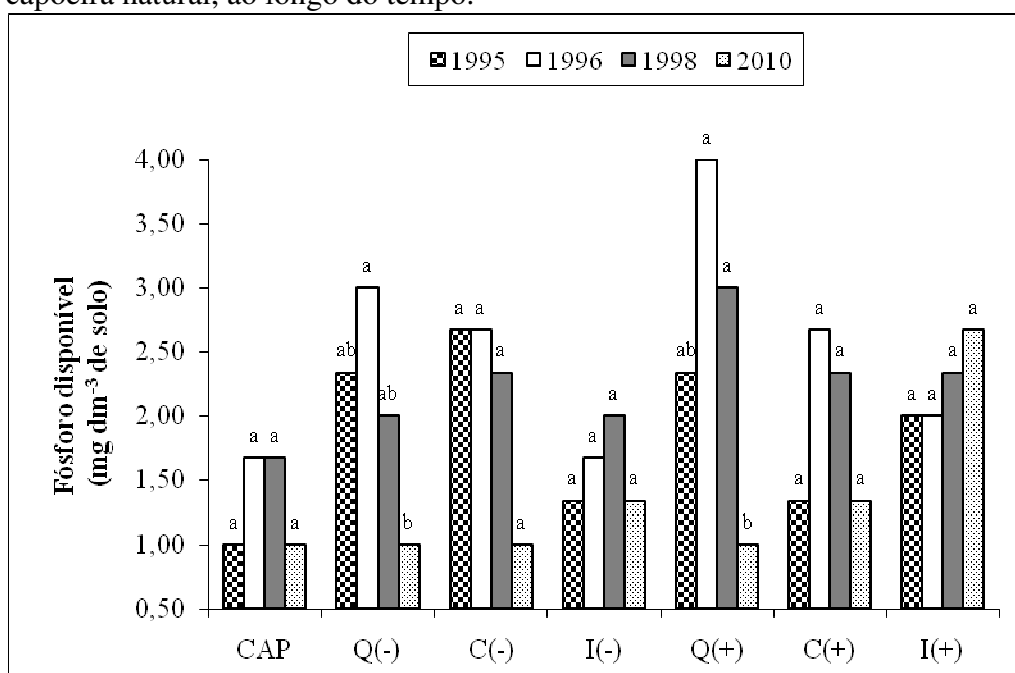
Ressalta-se que apesar do resultado apresentado acima, o tratamento Q(+) mostrou-se com menor capacidade de manter ou aumentar a quantidade de fósforo disponível ao longo do tempo em relação aos tratamentos com trituração da capoeira, especialmente o I(+). Enquanto o Q(+) apresentou uma ligeira diminuição desse nutriente do ano de 1995 para o ano de 2010 (3,67 para 3,33 mg dm⁻³ de solo), o I(+)

apresentou um pequeno incremento, passando de $3,33 \text{ mg dm}^{-3}$ no início do experimento para $4,67 \text{ mg dm}^{-3}$ de solo no último ano de observação.

Nas camadas de 20-30 cm e 30-50 cm de profundidade (Figuras 14 e 15) praticamente não há manifestação evidente dos tratamentos com o passar dos anos, certamente em razão da pouca mobilidade desse elemento no solo, não chegando às camadas mais profundas, e dos efeitos sucessivos de manejo do solo (preparo de área-cultivo-pousio) nos 15 anos de experimento.

Vale ressaltar que mesmo na profundidade de 30-50 cm o tratamento I(+) apresentou tendência de melhor resultado em relação aos demais, com aumento no valor deste nutriente no final do período de observação. Possivelmente, este tratamento pode ser considerado a melhor alternativa ao sistema de corte e queima na disponibilidade de fósforo no solo, independente da profundidade analisada neste trabalho.

Figura 14- Disponibilidade de fósforo na camada de 20-30 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.

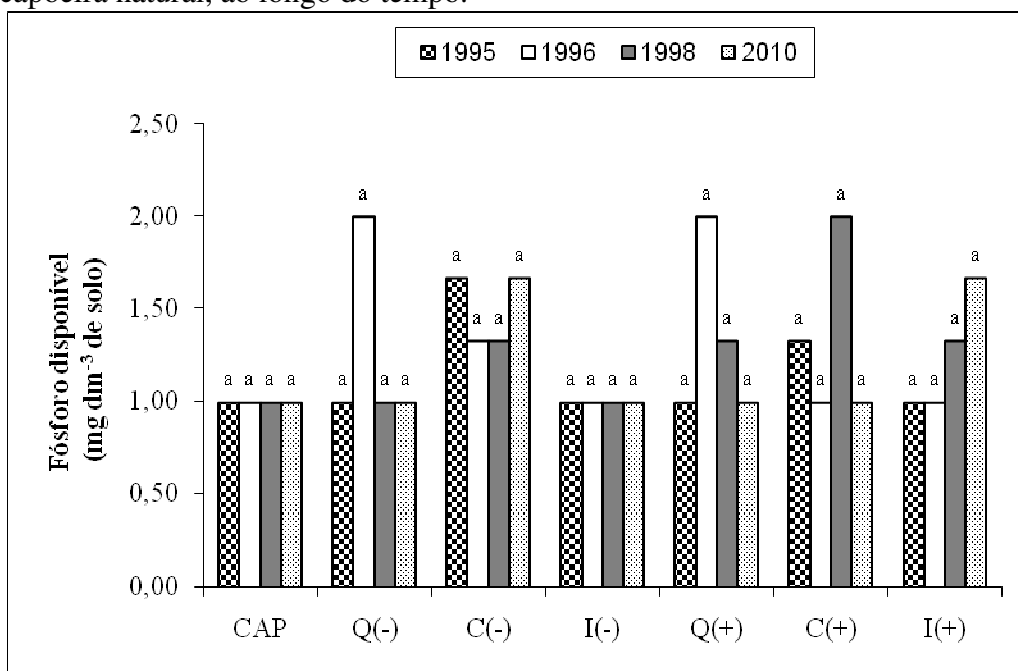


CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

-Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 15- Disponibilidade de fósforo na camada de 30-50 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

5.2.2 Soma de Bases (SB)

Os resultados médios para a soma de bases trocáveis ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$) estão apresentados na Tabela 6. De acordo com os parâmetros de interpretação adotando-se as médias do Sistema Internacional de Medidas citados por Brasil e Cravo (2010), esses valores são em geral médios.

Observa-se que no geral não houve diferença estatística significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey entre tratamentos e épocas de amostragem em nenhuma das profundidades. No entanto, percebe-se a tendência de maiores valores absolutos nas áreas preparadas com queima da vegetação, (Q- ; $3,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e (Q+; $3,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em relação à testemunha (CAP; $3,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), considerando o primeiro ano de avaliação na profundidade de 0-10 cm. Nota-se ainda que os tratamentos que utilizaram o sistema de corte e trituração no geral apresentaram fertilidade menor do que na área testemunha (CAP).

Tabela 6- Valores médios de Soma de Bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), em diferentes profundidades, comparando os sistemas sem queima e com queima da capoeira com uma área de capoeira natural, referentes aos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.

PROF cm	TEMPO ano	TRATAMENTO													
		CAP		Q(-)		C(-)		I(-)		Q(+)		C(+)		I(+)	
		$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$													
0-10	1995	3,01	Aa	3,13	Aa	2,32	Aab	2,69	Aa	3,20	Aab	2,41	Aab	3,12	Aa
	1996	3,18	Aa	3,77	Aa	3,32	Aa	3,77	Aa	4,32	Aa	3,45	Aa	3,17	Aa
	1998	2,85	Aa	3,06	Aa	3,41	Aa	2,70	Aab	3,45	Aab	3,09	Aa	2,86	Aa
	2010	1,30	Ab	1,66	Ab	1,27	Ab	1,34	Ab	2,26	Ab	1,15	Ab	1,21	Ab
10-20	1995	1,48	Aab	1,36	Aab	1,01	Ab	1,30	Abc	1,49	Aa	0,97	Ab	1,54	Aa
	1996	1,87	Aa	1,80	Aa	2,14	Aa	2,18	Aa	1,95	Aa	1,75	Aa	1,99	Aa
	1998	1,79	Aa	1,83	Aa	1,95	Aa	1,68	Aab	1,66	Aa	1,69	Aa	1,74	Aa
	2010	0,93	Ab	0,88	Ab	0,73	Ab	0,79	Ac	0,86	Ab	0,76	Ab	0,73	Ab
20-30	1995	1,19	Aa	1,17	Aa	0,91	Ab	1,05	Ab	1,19	Aa	0,94	Aab	1,17	Aa
	1996	1,46	Aa	1,23	Aa	1,42	Aa	1,38	Aa	1,23	Aa	1,16	Aa	1,32	Aa
	1998	1,42	Aa	1,42	Aa	1,31	Aa	1,17	Aa	1,18	Aa	1,15	Aa	1,29	Aa
	2010	0,66	Ab	0,59	Ab	0,82	Ab	0,77	Ab	0,65	Ab	0,75	Ab	0,66	Ab
30-50	1995	0,95	ABb	1,12	ABa	0,85	Bb	1,02	ABa	1,17	Aa	0,87	Bbc	1,07	ABa
	1996	1,18	Aa	1,17	Aa	1,08	Aab	1,15	Aa	1,10	Aa	1,05	Aab	1,12	Aa
	1998	1,15	Aab	1,18	Aa	1,11	Aa	1,07	Aa	1,08	Aa	1,11	Aa	1,14	Aa
	2010	0,70	Ac	0,59	Ab	0,62	Ac	0,76	Ab	0,68	Ab	0,72	Ac	0,63	Ab

CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado do ano de 1995 para os tratamentos que sofreram queima é justificado pela significativa quantidade de nutrientes depositada no solo pelas cinzas durante o preparo de área no final do ano anterior. Associa-se a isso a baixa exportação de nutrientes pela cultura do arroz, única presente na área no momento da coleta de solo. Como citado por Oliveira (2002), no caso dos tratamentos com trituração o resultado foi inferior devido à imobilização dos nutrientes na fase inicial de decomposição do material triturado, principalmente nos tratamentos que não receberam adubação (C-; $2,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e I- ; $2,69 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Entre os anos de 1996 a 1998, em geral todos os tratamentos apresentaram tendência a ser superiores à área de capoeira natural. Estes resultados foram superiores aos constatados no ano anterior devido ao efeito residual dos cultivos e da aplicação de adubo realizados em 1995 e 1997, à semelhança do que ocorreu com a disponibilidade de fósforo (Tabela 5).

Fazendo-se referência apenas aos tratamentos que não utilizaram queima no preparo de área, observa-se que nos tratamentos (C-) e (I-) a tendência de aumento para a soma de bases do ano de 1995 para o ano de 1996 deveu-se possivelmente ao efeito da mineralização da matéria orgânica. No tratamento (C+) a tendência de aumento dessa variável foi também devido à aplicação de adubo contendo K na formulação, a semelhança do que ocorreu no (Q+), e à liberação de nutrientes oriunda dos resíduos da capoeira triturada.

No caso particular do (I+) observa-se que ao contrário dos demais tratamentos, no segundo ano houve uma ligeira redução no valor dessa variável em relação à área de capoeira natural, o que é compatível com a redução do valor do pH e aumento dos teores de alumínio trocável no solo (Tabelas 8 e 9, respectivamente). Provavelmente, isso ocorreu pela intensa atividade microbiana quando se procedeu à incorporação da cobertura morta e adicionou-se adubo ao solo.

Em 2010, observa-se tendência de teores de soma de bases bastante inferiores aos dos anos anteriores. O declínio acentuado verificado neste período pode estar relacionado à quantidade e qualidade da biomassa da capoeira, uma vez que o tempo de pousio durante a execução do experimento não foi suficiente para sua total recuperação. Observa-se, no entanto, que apesar de pouco expressivos, os maiores valores são

verificados nos tratamentos onde houve queima da vegetação, independente de adubação.

É possível que nos tratamentos com queima da vegetação a quantidade de nutrientes incorporados ao solo através das cinzas tenha sido inferior devido à quantidade de biomassa ser também inferior ao início da pesquisa, ainda que a capoeira tenha a mesma idade do início do experimento.

Quanto aos outros tratamentos sugere-se que a quantidade de biomassa não foi suficiente para a proteção do solo, o que pode ter provocado perdas de nutrientes por lixiviação e percolação da água levando nutrientes, em virtude da alta precipitação ocorrida na região nos anos anteriores.

Para todas as épocas de amostragem, em relação à primeira camada (0-10cm), sugere-se que a tendência de ligeiro acréscimo de nutrientes ocorrido nos tratamentos que foram adubados indica haver baixa concentração de cálcio e magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) na vegetação, o que pode comprovar a baixa fertilidade do solo nesta área experimental. Como na adubação química do solo foi adicionado apenas o potássio (K^+), o aumento na concentração de nutrientes não foi suficiente para tornar estatisticamente considerável a diferença no teor de soma de bases entre os tratamentos não adubados e os que sofreram adubação, independente do sistema de manejo adotado.

Resultados de somas de bases sem significância entre tratamentos com e sem queima da capoeira também foram observados por Santos (2010), sendo mantidos níveis médios para essa variável durante dois anos de cultivos consecutivos, com tendência de um leve aumento no segundo ano, à semelhança do que ocorreu neste trabalho. Freitas (2005), do mesmo modo, encontrou maiores valores médios de soma de bases no segundo ano de sua pesquisa com sistema convencional e plantio direto em área de cerrado natural no Pará. Maria (2003) verificou resultados inversos a estes no Mato Grosso do Sul trabalhando em experimento com plantio direto.

Fazendo-se referência dos resultados de soma de bases com os resultados de pH (Tabela 8) e alumínio trocável (Tabela 9), verifica-se em relação à testemunha que nos tratamentos onde procedeu-se a queima da vegetação, independente de adubação, houve um ligeiro acréscimo no valor de pH e redução dos teores de alumínio trocável, o

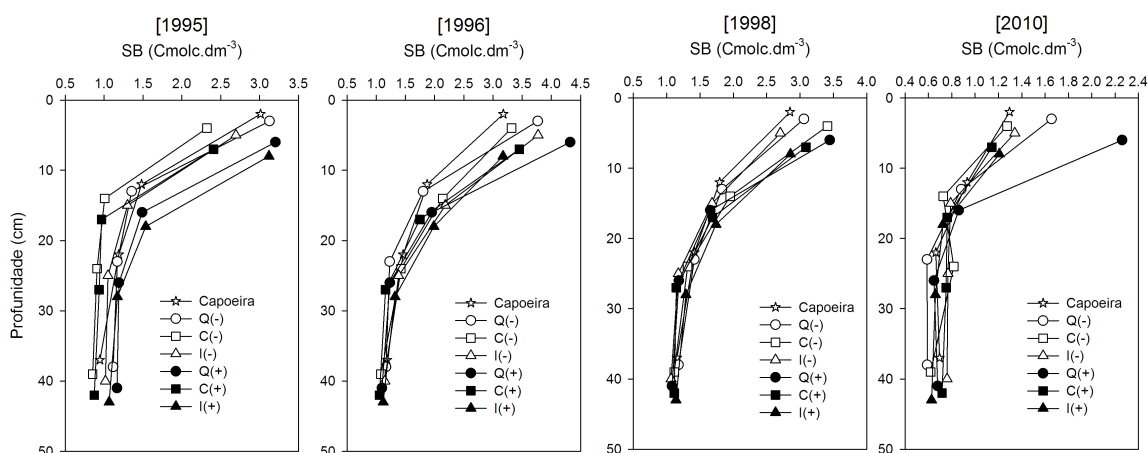
que certifica o efeito imediato da cinza na correção da acidez do solo e um consequente aumento de soma de bases, o que reflete na produtividade das culturas.

Kato (1998) estudando o desempenho de culturas de ciclo curto em área experimental contígua a deste estudo, verificou que a produtividade da cultura do arroz nos sistemas de manejo com queima e sem queima da vegetação apresentou resultados inversos para esses tipos de manejo nos dois primeiros ciclos de cultivo. O autor verificou que essa cultura produziu 1,5 t/ha e 0,9 t/ha nos tratamentos com queima e sem queima, respectivamente, no primeiro ano de cultivo. A partir do segundo ano no sistema com queima a produtividade caiu para 1,4 t/ha, enquanto que no sistema com trituração da capoeira houve aumento de mais de 66% (1,5 t/ha). Essa constatação pode ser considerada suficientemente forte para assegurar a eficácia do sistema de manejo com corte e trituração da capoeira com relação à segurança alimentar dos agricultores familiares da região e à sustentabilidade ambiental.

Os efeitos da correção da acidez do solo no desenvolvimento e produtividade das culturas sensíveis a esse problema são citados também por Lopes e Guidolin (1989). Raij (1991) complementa que a lixiviação de íons do solo é uma das principais causas de perda de nutrientes e acidificação do solo. Associa-se a isso o efeito da alta precipitação pluviométrica na região do Nordeste Paraense contribuindo com as perdas de nutrientes por lixiviação em solos de textura muito arenosa como os da área onde este estudo foi conduzido. No entanto, é possível que com a prática de plantio direto na capoeira triturada os efeitos negativos consequentes dos fatores anteriormente citados sejam minimizados.

De acordo com os resultados da Tabela 6 e a ilustração desses resultados na Figura 16, pode-se melhor quantificar a soma de bases nas diferentes camadas do solo para este experimento.

Figura 16-Teores de soma de bases ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades do solo, considerando os sistemas sem queima e com queima da capoeira e uma área de capoeira natural, nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas camadas de 10-20 e 20-30 cm de profundidade observa-se uma tendência de diminuição dos valores desta variável para todos os tratamentos e épocas de observação em relação à testemunha, isto porque possivelmente todos os nutrientes incorporados ao solo por conta dos diferentes tratamentos foram absorvidos rapidamente pelo sistema radicular das plantas na camada de 0-10 cm ou perdidos por lixiviação devido à textura muito arenosa do solo, que não tem a propriedade de retenção dos nutrientes.

Outros resultados que também podem estar influenciando na diminuição desses nutrientes são os valores mais baixos de pH e valores mais altos de alumínio trocável nessas camadas (Tabelas 8 e 9, respectivamente). Como se observa na camada de 0-10 cm, os valores mais altos de pH e mais baixos de alumínio trocável verificados principalmente nos tratamentos onde houve queima da vegetação foi devido a correção da acidez pelo cálcio incorporado nas cinzas, o que não ocorreu, como era de se esperar, nas camadas mais profundas onde a ação do cálcio na correção da acidez não alcança as camadas subjacentes e, portanto, não é suficiente para a elevação dos teores de bases mesmo nos tratamentos onde houve queima da vegetação.

Na profundidade de 30 a 50 cm observa-se valores muito inferiores aos das camadas anteriores indicando não mais existir efeito dos tratamentos para a elevação dos teores de bases trocáveis em relação à capoeira natural.

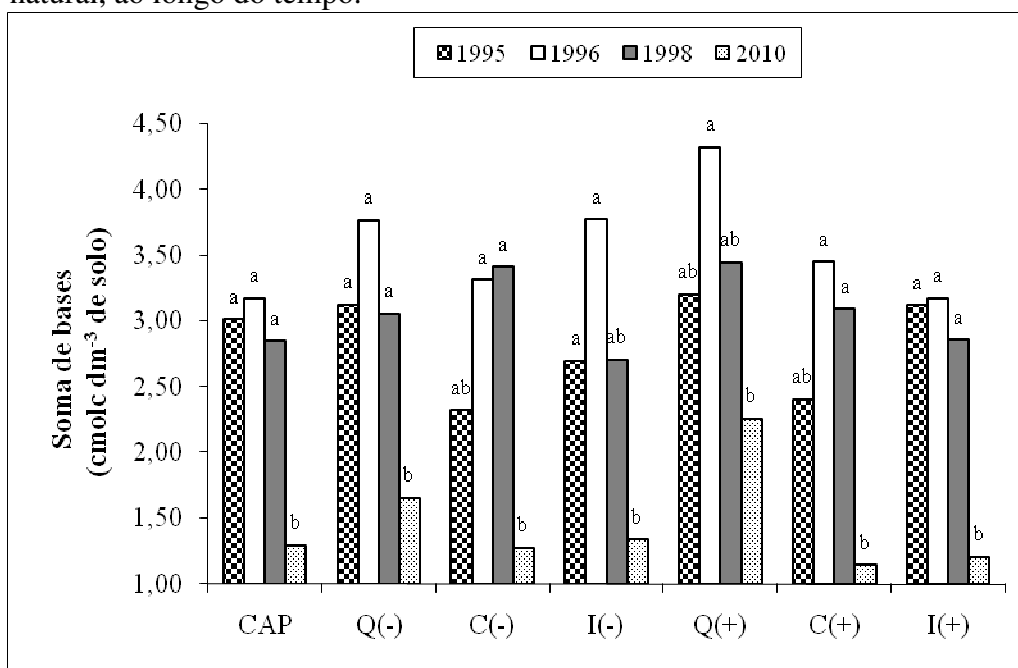
Ao longo do tempo, na camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 17), nota-se que os valores médios de soma de bases foram estatisticamente semelhantes até o terceiro ano de observação (1995-1998) em todas as profundidades e tratamentos analisados, porém ocorreu uma redução acentuada no último ano (2010).

O declínio do nível de fertilidade do solo observado ao final de 15 anos de pesquisa pode estar relacionado à remoção de nutrientes pelas colheitas nesse intervalo e pela lixiviação gradativa ocorrida com o passar dos anos. É importante frisar que em 1995 a coleta de solo foi realizada logo após a implantação da cultura do arroz e em 1996 e 1998 durante os pousios da capoeira. Em 2010 a coleta de solo foi realizada no final do ciclo da mandioca, quando o solo já apresentava perda de nutrientes retirados pelas culturas envolvidas no sistema. Além disso, o baixo teor de umidade no momento da amostragem, provocado pela baixa quantidade de chuvas no período, pode ter refletido nos resultados das análises. Segundo informações obtidas junto ao Laboratório de Climatologia da Embrapa Amazônia Oriental, no mês desta coleta de solo (outubro) o índice pluviométrico foi o menor do ano (21 mm) e o mais baixo entre todas as outras épocas de amostragem no mês referente a coleta de solo (229,13 mm; 39,6 mm; 222,8 mm, respectivamente em 1995, 1996 e 1998).

É importante ressaltar, ainda, que nesta área experimental a capoeira está encontrando dificuldades em recuperar a qualidade química do solo, tanto que o último pousio da vegetação, ocorrido no terceiro ciclo, foi aumentado em relação ao realizado no segundo ciclo, de 3 para 4 anos, conforme histórico das atividades realizadas durante a execução do experimento.

Bervaldo (2005) estudando a quantidade de nutrientes no material vegetal triturado observou que para todos os elementos analisados (N, P, K, Ca, Mg) há tendência de a maior parte desses nutrientes ser perdida até o 10º mês, resultando em quantidades de nutrientes remanescentes bastante pequenas para o segundo ciclo de cultivo. Esta degradação química do solo pode também ter ocorrido neste estudo, uma vez que a última coleta de solo foi realizada aproximadamente 1 (um) ano depois do preparo de área, quando praticamente já não havia liberação de nutrientes pela cobertura morta do solo.

Figura 17- Teores de soma de bases na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.
- Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

No caso dos resultados muito baixos no ano de 2010 especialmente na área de capoeira natural (CAP) admite-se ter havido grande absorção de nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Kanashiro e Denich (1998) explicam que a acumulação de nutrientes na vegetação secundária jovem é menor do que nas mais adultas, no entanto, solo com vegetação secundária jovem tende a apresentar melhor fertilidade. Concordando com esses autores, Vogel (2005) esclarece que as partes mais jovens, mesmo contribuindo com um estoque reduzido de nutrientes, apresentam um importante papel no ecossistema da capoeira, pois decompõem e realizam a ciclagem dos nutrientes em curto espaço de tempo em relação aos componentes maduros da biomassa, o que colabora para a melhoria da fertilidade de solos sob vegetação nova.

De certa forma esse trabalho concorda com Kanashiro e Denich (1998), já que inicialmente a fertilidade do solo foi melhor nos três primeiros anos de estudo. Semelhança também pode ser feita com os resultados encontrados por Gama (2002) ao estudar o método de preparo do solo com corte e trituração da capoeira no Município de

Igarapé-Açu-PA, em solo do tipo Argissolo Amarelo Distrófico. Este autor afirmou que a fertilidade do solo, medida a partir da análise de biomassa vegetal, foi maior nas áreas de capoeira natural de 4 anos em comparação a outra de 10 anos. Esta comparação de Gama (2002) foi baseada em estudos de duas áreas adjacentes, sendo a área de capoeira de 4 anos a mesma utilizada neste estudo. Isso pode justificar os melhores resultados de soma de bases no início deste experimento, quando a capoeira encontrava-se na fase inicial do seu desenvolvimento.

Numa visão geral, nenhum dos sistemas aqui estudados apresentou resultado indicativo de melhoria de fertilidade do solo medido a partir dos resultados médios de soma de bases, mesmo na camada superficial do solo. Nas camadas subjacentes do solo (10-20 cm, 20-30 cm e 30-50 cm de profundidade) há uma tendência natural de diminuição dos teores de soma de bases conforme se aprofunda no perfil, independente do sistema de uso implantado (Figuras 18, 19 e 20), sendo que os valores são considerados muito baixos, notadamente no ano de 2010, os quais ficaram entre 0,59 e 0,93 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de solo, teores bem inferiores aos observados nos anos anteriores.

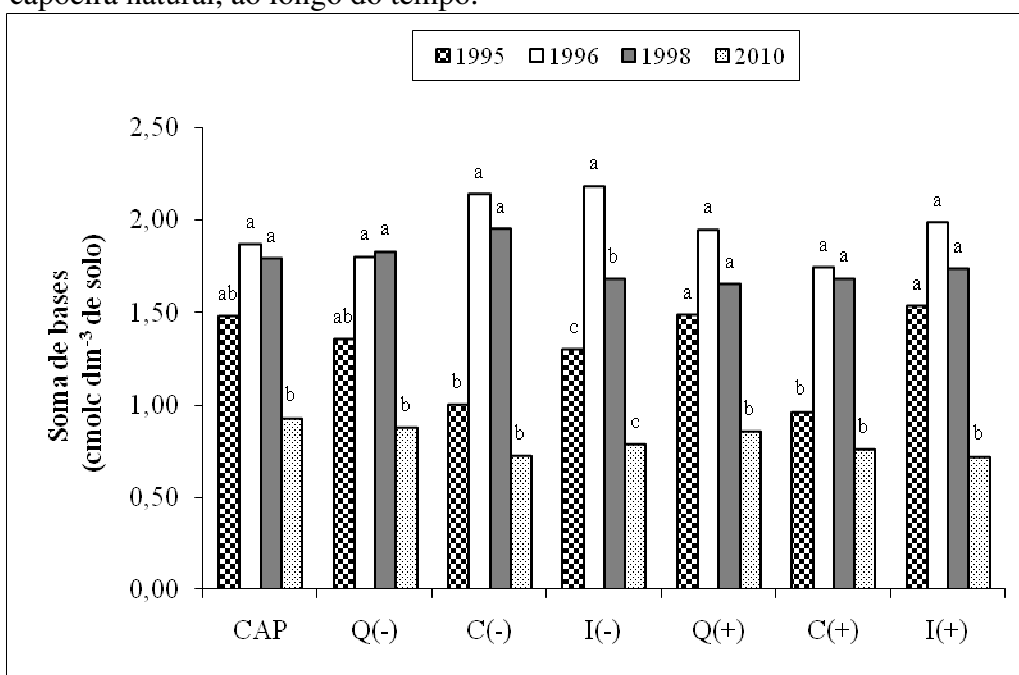
Nos tratamentos com queima da vegetação a perda de fertilidade com os anos é considerada normal, em virtude de fatores como lixiviação, remoção pelas culturas, volatilização e perdas de cinza pelo efeito do vento. A tecnologia de trituração da capoeira, no caso dos demais tratamentos, não foi suficiente para melhorar esta característica possivelmente porque a liberação dos nutrientes pelo material triturado ocorre em curto prazo, como concluído por Bervaldo (2005). Este autor constatou que a maior parte dos nutrientes presentes no material triturado foi liberada até o 10º mês, proporcionando uma baixa quantidade de nutrientes remanescentes para o segundo ciclo de cultivo.

Conforme já bem discutido na pesquisa científica, também a baixa disponibilidade de nutrientes no solo desta região torna necessário um período mínimo de 7 a 10 anos de pousio para que seja efetuada a reposição completa dos nutrientes na biomassa aérea da capoeira.

A tecnologia de trituração nessa área experimental poderia ter apresentado um melhor e mais significativo resultado em relação à técnica de queima da capoeira se tivessem sido introduzidas espécies leguminosas para acumulação de biomassa e

nutrientes, o que não ocorreu. Neste caso, a cobertura morta proveniente da capoeira sem enriquecimento não foi capaz, como será apresentado no item a seguir, de aumentar a quantidade de matéria orgânica sobre o solo nos tratamentos com trituração. Da mesma forma, a qualidade química desta mesma matéria orgânica provavelmente é baixa devido à também baixa qualidade nutricional do material vegetal triturado, o que por sua vez é resultado, como já citado, da natural deficiência de bases desse solo.

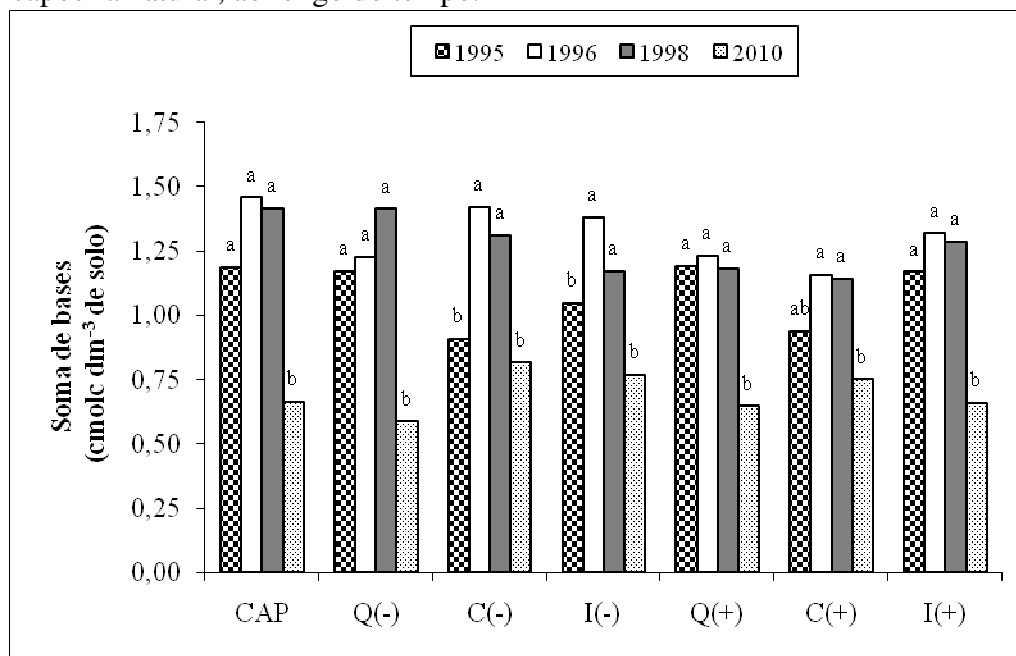
Figura 18 - Teores de soma de bases na camada de 10-20 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.
 - Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

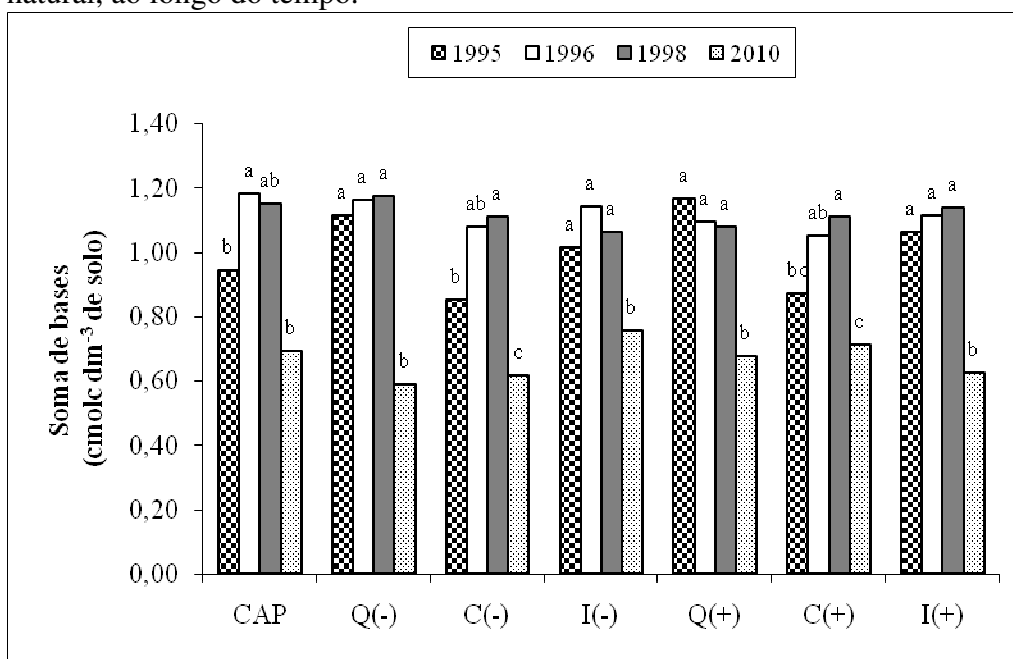
Figura 19- Teores de soma de bases na camada de 20-30 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.
 - Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 20- Teores de soma de bases na camada de 30-50 cm de profundidade do solo, nos sistemas sem queima e com queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

5.2.3 Matéria Orgânica do Solo (MO)

A comparação dos teores médios de matéria orgânica pelo teste de Tukey para os efeitos dos tratamentos e épocas estão apresentados na Tabela 7. De modo geral, não foi observada diferença estatística significativa das interações entre tratamentos e épocas de amostragem para nenhuma das profundidades estudadas. Observa-se, no entanto, que em todos os tratamentos houve tendência de um ligeiro aumento dos teores de matéria orgânica no solo quando comparado com os teores encontrados na área de capoeira natural (CAP), o que certamente influenciou nos resultados obtidos para fósforo disponível (Tabela 5) e soma de bases (Tabela 6).

De acordo com os critérios estabelecidos por Lopes (1989), quase todos os valores encontrados para esta variável na profundidade de 0-10 cm são considerados baixos, inferiores a 16 g kg^{-1} de solo. Apenas nos tratamentos onde houve queima da vegetação ((Q-) e (Q+)), nos anos de 1998 e 2010, respectivamente, e no tratamento que

utilizou a biomassa triturada sem adubação (C-) no ano de 1995, os valores são considerados médios, portanto acima do limite citado.

Neste estudo, os fatores que determinam os baixos teores de matéria orgânica no solo estão relacionados com o clima da região, onde ocorre elevada temperatura e alta precipitação pluviométrica, o que acelera consideravelmente a mineralização da matéria orgânica, como foi também constatado por Lopes (1989) em estudos no sul dos Estados Unidos, onde o clima é quente e úmido. Com base em comentários de Pillon (2005), outro fator pode ser relacionado com a textura arenosa do solo neste estudo, onde a matéria orgânica tem pouca proteção da fração mineral do solo e com isso a sua decomposição é muito mais rápida quando o solo é revolvido pelo preparo.

Comparando-se os tratamentos dentro de cada ano, observa-se que de modo geral não houve diferença significativa entre os sistemas sem queima e com queima nas profundidades analisadas. Segundo Balota et al. (1998), é possível admitir que ao se alterar o manejo a matéria orgânica sofre rápidas alterações, atingindo um novo equilíbrio, o que foi também confirmado em pesquisa realizada por Serra et al. (2007).

Apesar da não significância estatística, observa-se na camada de 0-10 cm de profundidade que nos anos de 1995 e 1996 os maiores valores ($P < 0,05$) para essa variável foram encontrados nos tratamentos cujos sistemas utilizaram a trituração do material vegetal durante o preparo de área, independente de adubação, sendo melhores naqueles que utilizaram apenas a cobertura pelo material triturado no primeiro ano e onde houve a incorporação do material no segundo ano. Essa constatação permite deduzir que para este período a queima da vegetação implicou na diminuição do estoque de matéria orgânica na área, uma vez que com a queimada parte da serrapilheira sofre combustão, diminuindo a quantidade de resíduos vegetais sobre o solo. Esses resultados concordam com os de Serra et al. (2007) que estudaram a influência de sistemas produtivos com queima e sem queima, por meio da trituração da capoeira, no estoque de matéria orgânica no solo no Município de Medicilândia, Pará.

Nos anos subsequentes de observação (1998 e 2010), os valores médios de matéria orgânica mantiveram-se sem grandes variações, apresentando-se sem diferenças estatísticas significativas. No entanto, nota-se nos tratamentos que receberam adubo, especialmente no ano de 2010, que ocorreu tendência de aumento nos teores dessa

variável, pelo efeito da própria fertilização do solo influenciando na quantidade de biomassa depositada sobre o mesmo.

Nas camadas intermediárias, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, observa-se uma tendência de diminuição dos valores desta variável para todos os tratamentos e épocas de observação em relação à testemunha, entretanto com valores mais elevados no ano de 2010. Neste ano, o tratamento que utilizou o material triturado apenas em cobertura mais adubação (C+) foi o que apresentou tendência de melhor resultado, com aumento no teor de matéria orgânica em relação aos outros tratamentos.

É possível que o resultado anterior, ocorrido na última época de observação, esteja relacionado com a decomposição mais lenta do sistema radicular remanescente das plantas cultivadas ao longo do experimento. No geral, isto ocorreu em todos os tratamentos, no entanto o tratamento (C+) mostrou tendência de se manter em maior quantidade nessas camadas devido também ao aporte de material triturado não ter sido incorporado ao solo no preparo de área realizado em 2009, o que elevaria seu ritmo de decomposição em profundidade (Tabela 7).

Tabela 7- Valores médios de Matéria Orgânica (g kg^{-1} de solo), em diferentes profundidades, comparando os sistemas sem queima e com queima da capoeira com uma área de capoeira natural, referentes aos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.

PROF cm	TEMPO Ano	TRATAMENTO													
		CAP		Q(-)		C(-)		I(-)		Q(+)		C(+)		I(+)	
g kg^{-1}															
0-10	1995	11,21	Aa	15,62	Aa	16,30	Aa	11,71	Aa	13,09	Aa	13,52	Aa	13,08	Aa
	1996	10,76	Aa	13,94	Aa	13,50	Aa	15,09	Aa	13,85	Aa	12,90	Aa	13,93	Aa
	1998	12,44	Aa	16,70	Aa	13,18	Aa	12,65	Aa	13,00	Aa	12,47	Aa	14,72	Aa
	2010	12,29	Aa	14,01	Aa	14,42	Aa	12,32	Aa	17,83	Aa	15,84	Aa	14,56	Aa
10-20	1995	7,79	Aab	9,05	Ab	8,40	Ab	9,60	Aa	9,21	Ab	8,40	Ab	8,52	Ab
	1996	5,79	Ab	9,72	Aab	7,85	Ab	8,84	Aa	7,04	Ab	8,67	Ab	7,47	Ab
	1998	9,92	Aa	9,91	Aab	9,93	Aab	7,78	Aa	8,42	Ab	10,30	Ab	10,72	Aab
	2010	9,27	Cab	12,80	ABCa	12,18	ABCa	10,31	BCa	13,65	ABa	15,02	Aa	12,67	ABCa
20-30	1995	6,45	Aa	8,30	Aa	7,57	Aa	7,35	Aa	7,47	Aa	6,89	Ab	7,45	Aa
	1996	5,09	Aa	7,89	Aa	7,14	Aa	6,37	Aa	7,11	Aa	7,11	Ab	7,29	Aa
	1998	7,39	Aa	8,28	Aa	8,98	Aa	7,50	Aa	7,53	Aa	9,32	Aab	9,92	Aa
	2010	7,68	Aa	9,71	Aa	9,99	Aa	8,97	Aa	9,94	Aa	10,05	Aa	8,33	Aa
30-50	1995	5,30	Aa	7,60	Aab	6,90	Aab	6,64	Aa	6,16	Ab	5,86	Ab	6,15	Aab
	1996	5,09	Aa	5,52	Ab	6,36	Ab	5,56	Aa	5,88	Ab	6,14	Ab	6,09	Aab
	1998	6,29	Aa	7,66	Aab	7,25	Aab	6,40	Aa	5,86	Bb	8,78	Aa	8,36	Aa
	2010	6,76	BCa	9,38	ABa	9,05	ABa	7,59	ABCa	10,04	Aa	9,29	ABa	5,30	Cb

CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

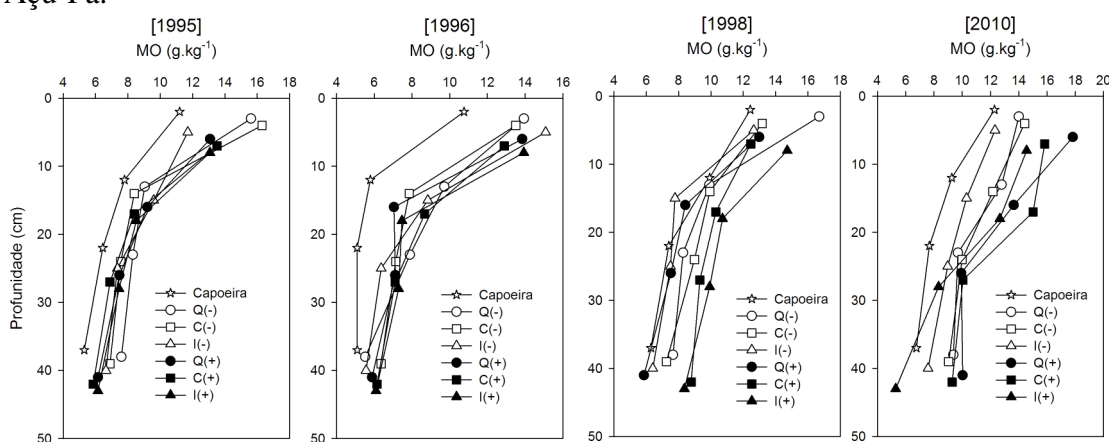
- Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

Na camada de 30 a 50 cm de profundidade observa-se que praticamente não há manifestação do efeito dos tratamentos, uma vez que, no geral, os resultados encontrados em todos eles são muito semelhantes ao da área de capoeira natural (CAP).

A Figura 21 apresenta o comportamento da matéria orgânica ao longo do perfil do solo para cada época de amostragem:

Figura 21- Matéria Orgânica do Solo (g kg^{-1}) em diferentes profundidades do solo, considerando os sistemas sem queima e com queima da capoeira e uma área de capoeira natural, nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2010, no Município de Igarapé-Açu-Pa.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao longo do tempo também não houve diferença estatística significativa entre os sistemas de manejo analisados, como pode ser verificado na Tabela 7. Entretanto, considerando-se a aplicação de fertilizante, camada de 0-10 cm, é possível observar entre os tratamentos que não receberam adubo, apesar dos teores de matéria orgânica tenderem a ser mais elevados nos tratamentos (Q-) e (C-) em relação ao (I-), que há probabilidade de diminuição desses teores ($P < 0,05$) com o passar dos anos nos dois primeiros, enquanto que no último tratamento ocorre um maior equilíbrio e um ligeiro aumento do teor dessa variável.

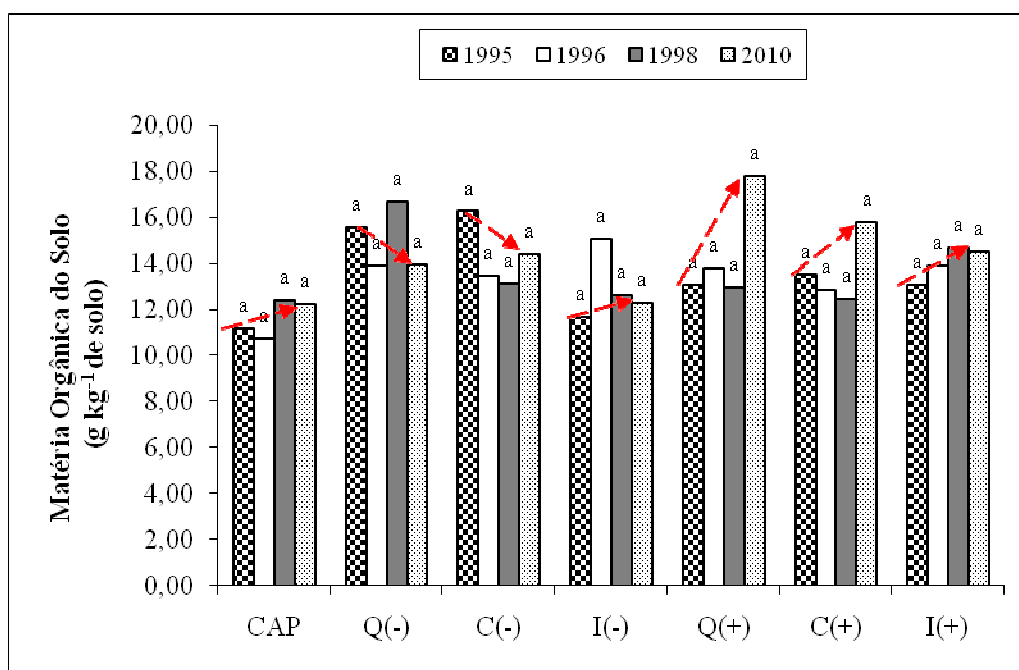
Entre os tratamentos adubados, verifica-se que todos tiveram tendência de um pequeno incremento nos teores dessa variável com o passar dos anos. No caso do tratamento (I+), semelhante ao que ocorreu com o (I-), houve maior estabilidade nos teores de matéria orgânica com o passar dos anos, sugerindo que embora o sistema sem

queima presente-se ao nível de 5% de probabilidade com valores ligeiramente inferiores ao da área com queima, a técnica de trituração da capoeira com incorporação do material triturado (especialmente o (I+)) aos poucos vai adicionando matéria orgânica ao solo, favorecendo o restabelecimento das condições e níveis de fertilidade do solo, como pôde também ser verificado com as variáveis fósforo disponível (Figura 12) e soma de bases (Figura 17) embora as condições climáticas tenham causado interferência na disponibilidade dessas variáveis na última época de observação.

O valor mais elevado de matéria orgânica no tratamento Q(+) pode está relacionado com a queima ocorrida no ano anterior. Como já discutido, os efeitos mais significativos do sistema com trituração da capoeira nas características químicas do solo são melhor percebidos no 2º ano após o preparo de área.

A Figura 22 demonstra o efeito dos tratamentos na acumulação de matéria orgânica do solo na camada superficial (0-10 cm de profundidade) nos diferentes sistemas de manejo estudados:

Figura 22- Acúmulo de Matéria Orgânica do Solo na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.
- Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

É importante ressaltar que neste experimento nenhum tratamento foi suficiente para elevar significativamente os teores de matéria orgânica no solo ao longo do tempo. É oportuno salientar que nesta área experimental não foi feito o plantio de leguminosas de crescimento rápido, fixadoras de nitrogênio e acumuladoras de biomassa, o que poderia ter potencializado o efeito positivo nos tratamentos com trituração, à semelhança do que ocorreu em outros experimentos, a exemplo dos trabalhos de Santos (2010) e Vasconcelos (2010), no Nordeste Paraense e de Rodrigues et al. (2000) em Rondônia. Ressalta-se também a notável dificuldade de recuperação da capoeira neste solo, a qual está necessitando de um período maior de pousio em relação ao início do experimento para recuperar nutrientes e acumular biomassa, como apontado no histórico desta área experimental.

De acordo com Primavesi (1982), os baixos teores de matéria orgânica que ocorrem em geral nos solos desta região estão relacionados, além das condições de elevadas temperatura e pluviosidade, com a acidez do solo. Para o autor, em solos com pH inferior a 5,6 ocorre condições mínimas de formação de húmus devido a rápida mineralização do material orgânico. Essa afirmativa confere com os resultados de pH apresentados na Tabela 26.

Apesar da falta de significância estatística entre sistemas com e sem queima da vegetação, diversos trabalhos apontam para indicativos da melhoria das qualidades do solo no sistema de corte e trituração da capoeira, como os resultados apresentados por Trindade et al. (2009) em estudos em Argissolo Amarelo Distrófico no Nordeste Paraense e por Marcolan et al. (2009) em Latossolo Vermelho Eutroférico no Estado de Roraima, os quais observaram tendências de aumento do teor de matéria orgânica do solo utilizando o sistema de corte e trituração da capoeira, à semelhança do que ocorreu neste trabalho.

O reflexo dos efeitos dos tratamentos utilizados no sistema de plantio direto na capoeira podem ser melhor justificados em função da produtividade das culturas nesse sistema, de forma análoga ao apresentado para as variáveis fósforo disponível (Tabela 5) e soma de bases (Tabela 6). A proteção dada ao solo a partir da cobertura pelo material triturado certamente proporciona melhoria das características físicas e químicas

do solo em relação à testemunha, favorecendo um melhor desenvolvimento das plantas nesse sistema, logo, afetando positivamente a produtividade do setor agrícola.

Bervaldo (2005) comentou, baseado em pesquisas de Palm et al. (2001)⁴, que o acréscimo de material vegetal sobre o solo exerce um importante papel para garantir a produtividade nos sistemas agrícolas dos trópicos pelo fato desse ser responsável pela síntese da matéria orgânica, porém os acréscimos de material vegetal com o passar do tempo são insuficientes para a manutenção da fertilidade, ocorrendo a degradação do mesmo.

Sampaio (2008) também encontrou resultados semelhantes a este. Em sua pesquisa, a análise da quantidade de serrapilheira sobre o solo demonstrou que na parcela sob trituração a proteção do solo (devido à cobertura com material da capoeira triturada) não é um benefício em longo prazo. No período do seu estudo (mais de dois anos após a trituração da capoeira), já não havia uma quantidade significativa de material triturado sobre o solo da parcela sob trituração, o que possivelmente influenciou na menor quantidade de matéria orgânica sobre o solo.

Considerando as informações anteriores, seria de suma importância a necessidade do melhoramento da capoeira com espécies acumuladoras de biomassa e nutrientes quando do uso do sistema de plantio direto na capoeira.

Brienza Júnior et al. (1999), em estudos no Nordeste Paraense, avaliaram o efeito da utilização de leguminosas no enriquecimento da capoeira durante um período de dois anos de pousio. Os autores observaram que esse sistema contribuiu para o maior acúmulo de biomassa, equivalente ao acúmulo de biomassa de um pousio de 4 a 5 anos. Seus resultados levam à conclusão de que é possível reduzir o tempo do pousio e alcançar um maior acúmulo de produção de biomassa na capoeira melhorada, enriquecendo o solo de matéria orgânica e tornando o sistema baseado na trituração da capoeira mais eficiente.

Aragão et al. (2012) comprovou que a prática de corte e trituração, mesmo numa capoeira bastante jovem, mantém estável a quantidade de matéria orgânica sobre o solo quando é feito o uso de leguminosas nesse sistema para enriquecimento da

⁴ PALM, A. C., GILLER, E. K., MANFONGOYA, P. L., SWIFT, M. J. Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61: 63–75, 2001.

capoeira, ao contrário de outros sistemas que reduzem esse indicador de qualidade do solo, tais como a mecanização e a queima da vegetação.

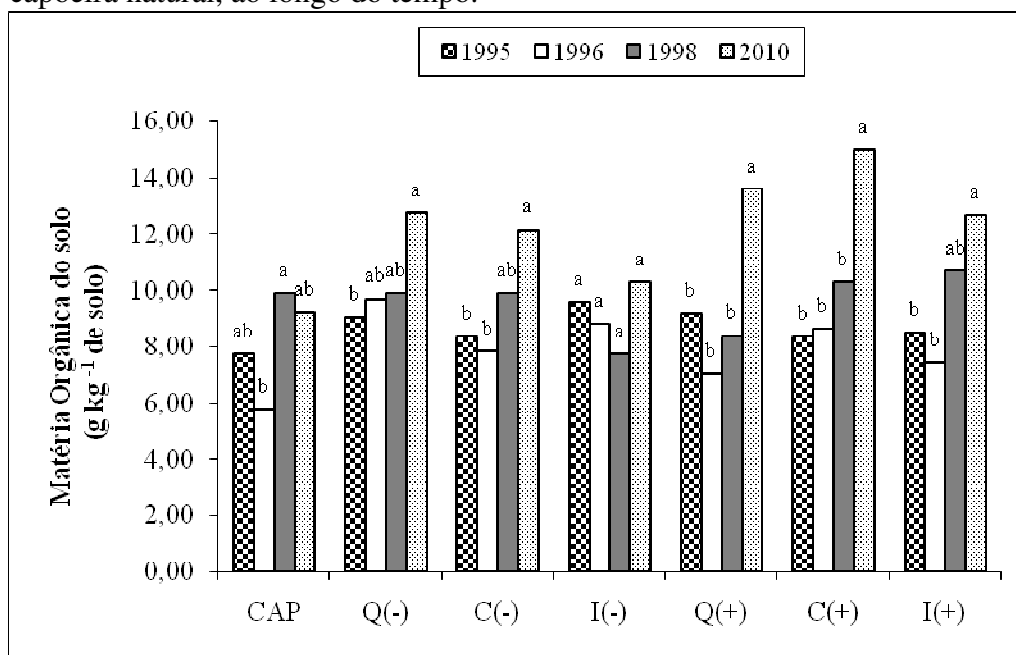
É oportuno frisar, ainda, que com essa técnica de preparo do solo para a agricultura é possível diminuir a emissão de gases nocivos ao meio ambiente, ao contrário do que ocorre com a agricultura com queima que, como citado por Lioussé et al. (2004), emite grandes quantidades de gases que prejudicam a vida animal e vegetal do planeta. Segundo as pesquisas da Embrapa, o resultado do balanço das emissões de gases de efeito estufa a partir desta tecnologia mostra que é possível reduzir as emissões de gases de efeito estufa em cinco vezes, mesmo considerando o combustível que é queimado pelo trator de trituração da capoeira.

As Figuras 23, 24 e 25 demonstram o efeito dos tratamentos ao longo do tempo para a variável matéria orgânica do solo nas profundidades de 10-20, 20-30 e 30-50 cm, onde observa-se a ocorrência de maior significância estatística na camada de 10-20 cm para o ano de 2010, o qual apresentou melhores resultados.

No geral, os teores dessa variável tenderam a aumentar da primeira para a última época nessas diferentes camadas, independente do tratamento, sendo que as parcelas com trituração da capoeira mais adubação, sem incorporação (C+), apresentaram melhor incremento de matéria orgânica em relação ao tratamento com queima nas camadas intermediárias do solo (10-20 e 20-30 cm).

Na camada de 30 a 50 cm de profundidade os teores de matéria orgânica são menores que das camadas anteriores, pois é normal seu decréscimo conforme se aprofunda no perfil, onde praticamente não há efeito dos tratamentos em relação à área de capoeira natural. Aí também houve diferença estatística significativa, com teores mais elevados também para o ano de 2010. É importante lembrar que o maior acúmulo de biomassa vegetal nesta época provavelmente ocorreu devido a trituração da biomassa da vegetação de 4 anos, que pode ter sido um pouco maior a dos pousios anteriores (3 anos).

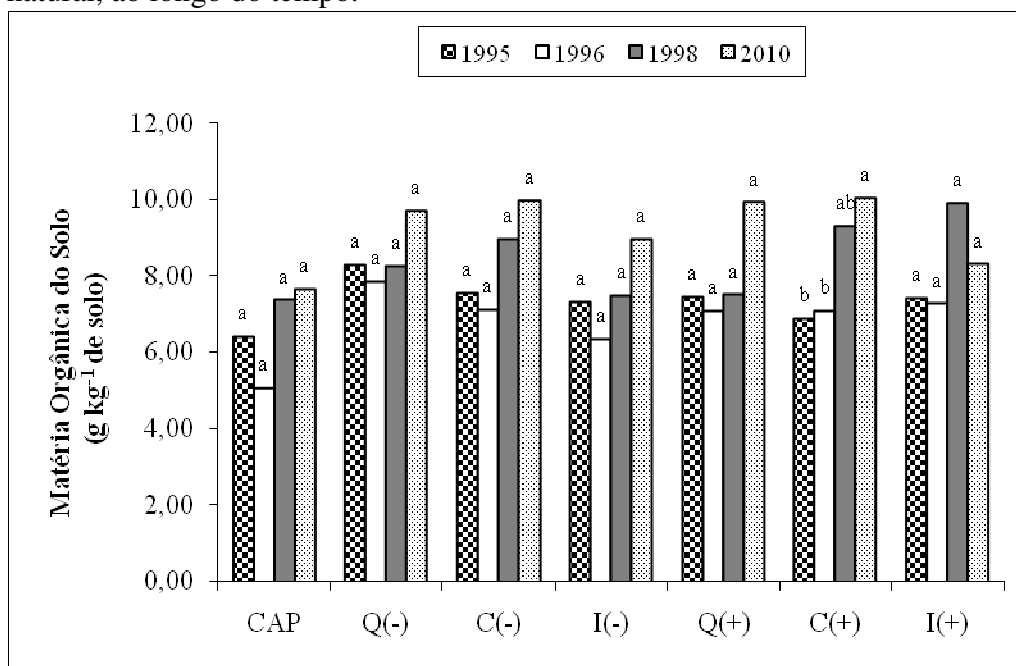
Figura 23- Matéria Orgânica do Solo na camada de 10-20 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.
 - Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

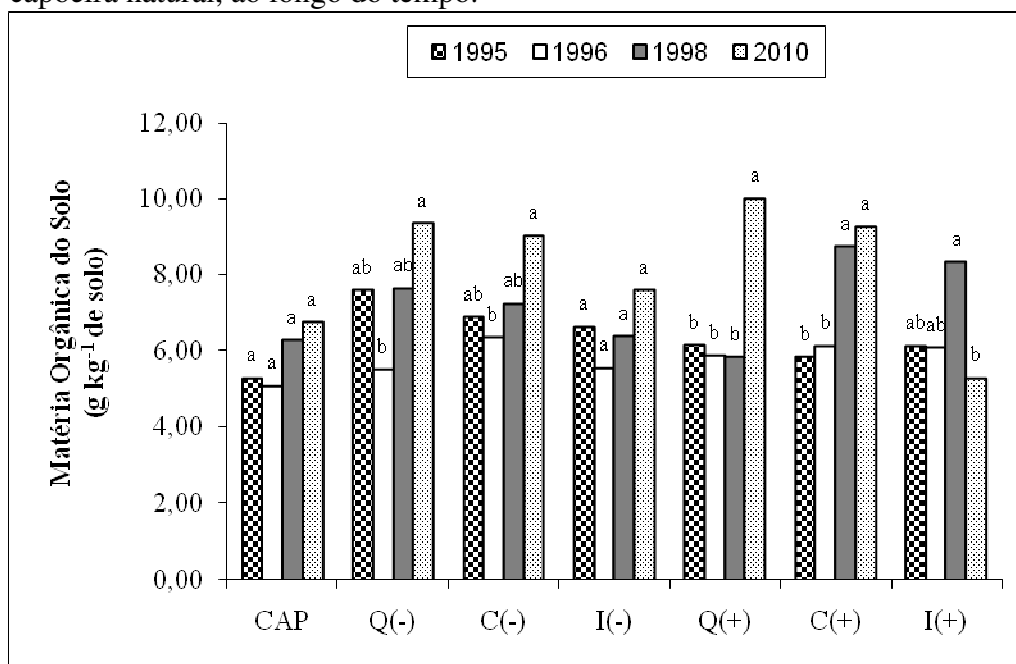
Figura 24 - Matéria Orgânica do Solo na camada de 20-30 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.
 - Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 25- Matéria Orgânica do Solo na camada de 30-50 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, e na área de capoeira natural, ao longo do tempo.



CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.
 - Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

5.2.4 pH do Solo e Alumínio Trocável (Al^{3+})

Os resultados médios para as variáveis pH e alumínio trocável (Al^{3+}) para os diferentes tratamentos, dentro de cada ano e nos diferentes anos dentro de cada tratamento, por profundidade estão apresentados nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) a maioria dos resultados de pH enquadram-se na classe fortemente ácido, com valores variando de 4,3 a 5,3. Com relação ao alumínio trocável, em geral apresentam-se na faixa média, com valores entre 0,3 a 1,0 $cmol_c dm^{-3}$ (BRASIL; CRAVO, 2010), perfeitamente compatível com o nível de acidez deste solo, independente da profundidade analisada.

Com base nas citações de Brasil e Cravo (2010), teores de alumínio a partir de 0,5 $cmol_c dm^{-3}$ já indicam a necessidade de correção do solo, especialmente em

condições de baixos teores de cálcio e magnésio, enquanto que acima de $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ o solo é considerado altamente tóxico para a maioria das plantas. Estes parâmetros foram observados desde a implantação deste experimento, notadamente a partir da segunda camada (10-20 cm de profundidade), no entanto não houve correção da acidez desse solo em nenhum momento do estudo, o que pode ter contribuído para o seu elevado grau de acidez independente do sistema de preparo adotado.

Na camada mais superficial (0-10 cm) esse fato é amenizado devido ao maior acúmulo de matéria orgânica em superfície, tendo sua aplicação preconizada como alternativa para correção da acidez e neutralização do alumínio tóxico, e que estaria relacionado, principalmente, ao potencial de complexação do alumínio com ácidos orgânicos solúveis presentes nos restos culturais, como foi constatado por Franchini et al. (1999).

Veloso, Botelho e Rodrigues (2010) afirmam que os solos de regiões tropicais e subtropicais apresentam normalmente elevada acidez e altos teores de alumínio, seja pela ocorrência de precipitação elevada causando lixiviação de quantidades apreciáveis de bases trocáveis, seja pela ausência de minerais primários e secundários responsáveis pela reposição dessas bases, como também citado por Lopes (1989).

Tabela 8- Valores médios de pH em água, em diferentes épocas e profundidades, comparando os Sistemas com Queima e Sem Queima com uma área de Capoeira Natural, no Município de Igarapé-Açu-Pa.

PROF cm	TEMPO ano	TRATAMENTO													
		CAP		Q(-)		C(-)		I(-)		Q(+)		C(+)		I(+)	
0-10	1995	5,33	Aa	5,47	Aa	5,10	Aab	5,43	Aa	5,57	Aa	5,33	Aa	5,43	Aa
	1996	5,37	Aa	5,50	Aa	5,50	Aa	5,40	Aa	5,67	Aa	5,50	Aa	5,20	Aa
	1998	5,17	ABa	5,30	ABa	5,37	ABa	5,07	Bab	5,60	Aa	5,43	ABa	5,00	Bab
	2010	4,67	Bb	5,23	ABa	4,87	ABCb	4,73	ABb	5,27	Aa	4,57	Bb	4,60	Bb
10-20	1995	5,30	Aa	5,27	Aab	4,93	Aab	5,20	Aa	5,07	Aab	5,07	Aa	5,17	Aa
	1996	5,13	Aa	5,33	Aa	5,27	Aa	5,33	Aa	5,40	Aa	5,43	Aa	5,10	Aa
	1998	4,97	Aab	5,23	Aab	5,17	Aa	4,93	Aab	5,13	Aab	5,03	Aa	4,97	Aa
	2010	4,63	Ab	4,80	Ab	4,53	Ab	4,53	Ab	4,83	Ab	4,40	Ab	4,43	Ab
20-30	1995	5,20	Aa	4,97	Aab	4,80	Aab	5,10	Aab	5,00	Aa	4,90	Aab	5,10	Aa
	1996	5,10	Aa	5,20	Aa	5,07	Aa	5,13	Aa	5,07	Aa	5,23	Aa	4,97	Aab
	1998	4,97	Aa	5,20	Aa	4,97	Aab	4,87	Aab	5,00	Aa	5,03	Aab	4,93	Aab
	2010	4,83	Aa	4,80	Ab	4,60	Ab	4,73	Ab	5,00	Aa	4,73	Ab	4,63	Ab
30-50	1995	5,13	Aa	5,00	Aa	4,70	Aa	4,93	Aa	5,00	Aa	4,83	Aab	5,10	Aa
	1996	5,13	Aa	5,13	Aa	5,03	Aa	5,13	Aa	5,13	Aa	5,27	Aa	5,00	Aa
	1998	5,00	Aa	5,10	Aa	4,93	Aa	4,90	Aa	4,97	Aa	5,03	Aab	4,93	Aa
	2010	4,90	Aa	4,80	Aa	4,73	Aa	4,87	Aa	4,97	Aa	4,77	Ab	4,80	Aa

CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: **Dados da pesquisa.**

Tabela 9- Valores médios de Alumínio trocável (cmolc dm^{-3}), em diferentes épocas e profundidades, comparando os Sistemas sem Queima e com Queima, com uma área de Capoeira Natural, no Município de Igarapé-Açu-Pa.

PROF cm	TEMPO ano	TRATAMENTO													
		CAP		Q(-)		C(-)		I(-)		Q(+)		C(+)		I(+)	
												cmolc dm^{-3}			
0-10	1995	0,33	ABb	0,23	Ba	0,70	Aa	0,37	ABb	0,30	ABa	0,43	ABb	0,37	ABb
	1996	0,37	Ab	0,37	Aa	0,20	Ab	0,30	Ab	0,20	Aa	0,30	Ab	0,43	Ab
	1998	0,27	Ab	0,23	Aa	0,20	Ab	0,33	Ab	0,20	Aa	0,23	Ab	0,27	Ab
	2010	0,80	ABa	0,37	Ba	0,73	ABa	0,77	ABa	0,37	Ba	0,93	Aa	0,87	Aa
10-20	1995	0,77	Aa	0,73	Aa	1,13	Aa	0,87	Aab	0,67	Aa	0,93	Aab	0,70	Ab
	1996	0,63	Aa	0,80	Aa	0,50	Ab	0,47	Ab	0,57	Aa	0,57	Ab	0,63	Ab
	1998	0,47	Aa	0,63	Aa	0,40	Ab	0,47	Ab	0,83	Aa	0,57	Ab	0,53	Ab
	2010	0,90	Aa	1,00	Aa	1,13	Aa	1,10	Aa	1,03	Aa	1,30	Aa	1,23	Aa
20-30	1995	0,93	Aab	0,83	Aab	1,03	Aab	0,93	Aa	0,93	Aa	0,93	Aa	0,87	Aab
	1996	0,83	Aab	1,00	Aab	0,90	Abc	0,63	Aa	0,83	Aa	0,90	Aa	0,93	Aab
	1998	0,60	Ab	0,73	Ab	0,63	Ac	0,70	Aa	0,77	Aa	0,87	Aa	0,70	Ab
	2010	1,07	Aa	1,13	Aa	1,27	Aa	0,93	Aa	1,00	Aa	1,13	Aa	1,10	Aa
30-50	1995	0,87	Aa	0,80	Aa	0,97	Ab	1,07	Aa	0,97	Aa	0,87	Aa	0,90	Aab
	1996	0,90	Aa	1,03	Aa	1,03	Ab	0,90	Aa	0,93	Aa	0,93	Aa	0,97	Aab
	1998	0,67	Aa	0,83	Aa	0,80	Ab	0,80	Aa	0,83	Aa	0,93	Aa	0,73	Ab
	2010	0,97	Ba	1,07	Ba	1,47	Aa	0,80	Ba	1,07	Ba	1,00	Ba	1,07	Ba

CAP: capoeira natural; Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise de variância ($P < 0,05$) referente às médias obtidas para pH e alumínio trocável apresentou diferença estatística significativa pelo teste de Tukey a 5% entre tratamentos apenas nas duas últimas épocas do estudo (1998 e 2010), na primeira camada (0-10 cm de profundidade), com acentuada diminuição de pH e aumento de alumínio trocável entre esse período.

Analisando de forma global, verifica-se melhores resultados para essas variáveis na fase inicial do experimento (1995 a 1998). Ao final de 15 anos de manejo nessa área (em 2010) houve uma inversão nos resultados. É possível que isso esteja relacionado com o período de amostragem de solo, pois as coletas realizadas nas três primeiras épocas, conforme o histórico constante no Quadro 1, ocorreram em período de maior índice de chuvas na região, ao contrário das coletas efetuadas em 2010, quando a precipitação pluviométrica foi baixa ao longo do ano.

Segundo Brady (1979), o pH dos solos diminui durante o verão, especialmente sob cultivo, devido aos ácidos produzidos pelos microorganismos, enquanto que em períodos de maior precipitação nota-se aumento no pH do solo possivelmente porque as atividades bióticas são, nessa época, mais lentas.

Ao longo do tempo (Figuras 26 e 27) verifica-se que nos tratamentos onde houve queima da vegetação, independente de adubação, o pH e o alumínio trocável mantiveram-se estáveis na primeira camada (0-10 cm de profundidade). Mesmo com uma sensível e gradativa queda de pH com o passar dos anos, não houve diferença estatística significativa até o final do período de observações. Quanto aos teores de alumínio, houve uma pequena oscilação com o passar dos anos, no entanto essa variação não foi capaz de provocar diferença estatística significativa entre as épocas da pesquisa.

Provavelmente essas variáveis permaneceram constantes em todo o período da pesquisa por força do efeito das cinzas na correção da acidez do solo, elevando temporariamente os valores de pH e reduzindo, conseqüentemente, os teores de alumínio trocável, e ao mesmo tempo aumentando a quantidade de bases na superfície do solo (Tabela 6). Deve-se lembrar, portanto, que a cada preparo de área com queima da capoeira renova-se a quantidade de cinzas na camada mais superficial do solo, o que pode ter influenciado o resultado aqui apresentado, embora os resultados gerais

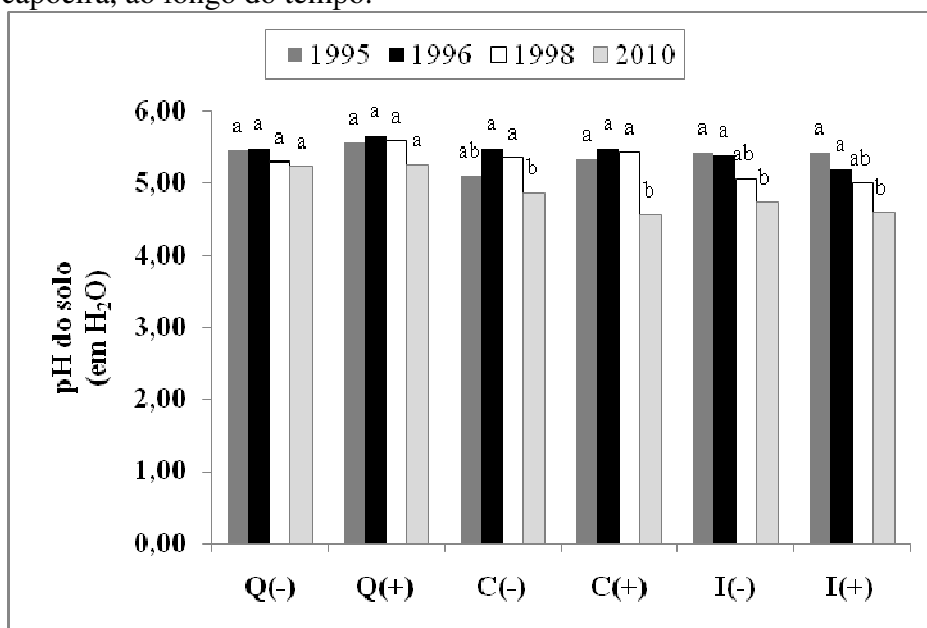
relacionados à qualidade química do solo na última época tenham sido bastante inferiores aos das épocas anteriores em razão principalmente do clima.

Nos tratamentos cujo preparo de área utilizou a capoeira triturada observa-se queda acentuada de pH e aumento considerável do alumínio trocável ao final dos estudos, à semelhança dos resultados encontrados por Marcolan, Locatelli e Fernandes (2009). Nesse sistema, a cada preparo de área não ocorre de imediato a correção do solo, como acontece quando se queima a vegetação, sugerindo a necessidade de calagem associada à adição de fertilizantes, como comprovado nos trabalhos de Costa (2008) e Costa et al. (2007). Os autores apontam os benefícios dessa associação em área de capoeira triturada, como aumento significativo do pH, dos teores de Ca, Mg, P e da saturação por bases logo no primeiro ano de manejo, mesmo sem a incorporação do calcário.

A calagem logo no primeiro ano do sistema de plantio direto na capoeira, como apontado por Costa (2008), favorece o melhor aproveitamento da adubação mineral pelas plantas, resultando em maior produtividade. Ao estudar a produtividade das culturas de milho e arroz nessas condições o autor observou que a produtividade do milho variou de 1,3 a 1,9 t ha⁻¹ em cultivo consorciado com arroz, enquanto que Kato et al. (2002), utilizando apenas a adubação mineral, constatou produtividade variando entre 0 e 2,1 t ha⁻¹, sendo que o maior resultado desses autores esteve relacionado à melhor época de semeadura para a região e em cultivo solteiro.

Nas camadas de 10-20, 20-30 e 30-50 cm de profundidade ocorre natural diminuição do pH e conseqüente aumento dos teores de alumínio trocável à medida que se aprofunda no perfil do solo (Tabela 8 e 9, respectivamente). Nota-se, a semelhança da camada superficial, que nenhum dos sistemas de manejo adotados nessa área experimental está exercendo influência na melhoria das condições dessas variáveis no solo.

Figura 26- Valores de pH do solo (em H₂O) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, ao longo do tempo.

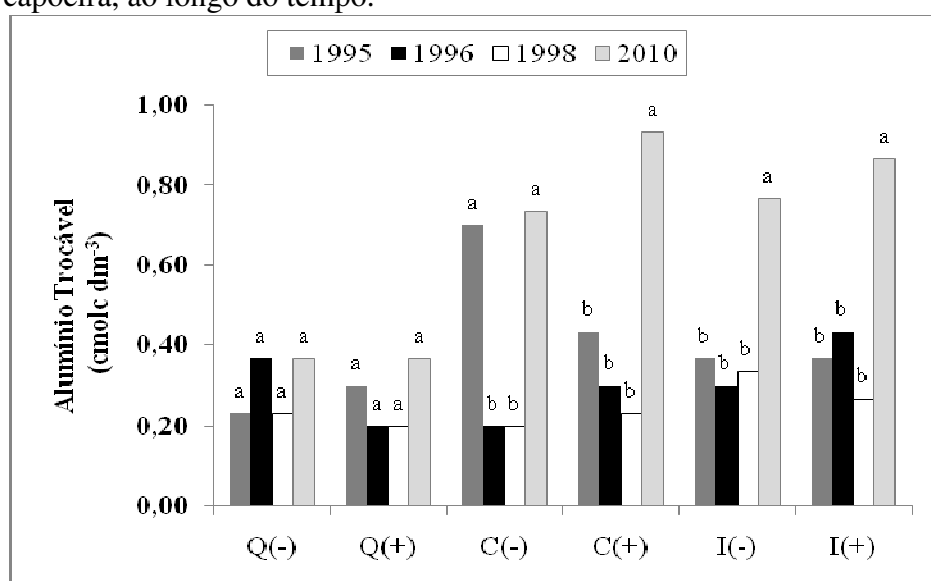


Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 27- Teores de alumínio trocável ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, nos sistemas com queima e sem queima da capoeira, ao longo do tempo.



Q(-): queima sem adubação; C(-): cobertura sem adubação; I(-): incorporado sem adubação; Q(+): queima com adubação; C(+): cobertura com adubação; I(+): incorporado com adubação.

- Médias seguidas de letras iguais (dentro de cada tratamento), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Dados da pesquisa.

6 CONCLUSÕES

1. O sistema baseado na trituração da capoeira aliado a complementação através da adubação mineral apresenta maior potencial para a manutenção da qualidade física do solo em relação ao sistema com queima da vegetação secundária;
2. A disponibilidade de água às plantas no solo sob trituração da capoeira, especialmente nos tratamentos com incorporação, é maior que no solo sob queima da capoeira nas camadas mais próximas à superfície;
3. Os sistemas de manejo com e sem queima da vegetação apresentam-se similares em termos de disponibilidade de nutrientes e de matéria orgânica no solo;
4. A utilização de fertilizante NPK contribui para o incremento de fósforo no solo, independente do tipo de preparo, tendo maior resposta no tratamento com incorporação do material triturado;
5. No sistema com trituração da capoeira o solo apresenta-se com melhores condições químicas do que a área de capoeira natural, apontando para a sustentabilidade do sistema de produção e sustentabilidade ambiental;
6. Ao longo do tempo, o tratamento com incorporação da biomassa vegetal triturada mais adubação apresenta-se como a melhor alternativa para substituir a queima no preparo de área.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNO, C. D. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazônica**. 2010, vol.40, n.2 p. 289-301. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672010000200007&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 06 jan 2012.

ALTIERI, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture Ecosystems & Environment**, 93: 1-24. 2002.

ANDREOLA, F; COSTA, L. M; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24: 857-865 p. 2000.

ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:139-145, 1994.

ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R. DE; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M. DE; SANTOS M. T. P. DOS; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amaz.** 2012, vol.42, n.1, p. 11-18. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672012000100002&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 09 jan 2012.

ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, 2005. p. 515-522.

BALOTA, E. L., COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A. **Características de Igarapé-Açu, PA e suas implicações para as culturas anuais: feijão-caupi, milho, arroz e mandioca**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 30 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 25, 2007).

BATISTA, M. A. **Plantio Direto: manejo e conservação do solo**. Disponível em: <http://www.dea.uem.br/disciplinas/conservacao/plantiodireto.pdf>. Acesso em: 13 jan 2012.

BATISTA, A. C.; REISSMANN, C. B.; SOARES, R. V. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés-PR. **Floresta**, n. 27, 1997. p. 59-70.

BAVER, L.D.; GARDNER, W. H. **Soil Physics**. 3ª ed. New York: J. wiley, 1956. 459p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990, 355 p.

BERVALD, C. M. P. **Tecnologia mecanizada em preparo de área sem queima no Nordeste Paraense**. Santa Maria, 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2005.

BITTENCOURT, P. C. S.; VEIGA, J. B. DA; CAMARÃO, A. P.; RODRIGUES FILHO, J. A.; AZEVEDO, G. P. C. de. Avaliação do corte e trituração da capoeira na utilização de pastagens em Igarapé-Açu, Estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n. 8, 2009.

BLANCO, M.R.D.V.; ZAMBON, N. F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, 11 (1), 1993. p. 38-40.

BLOCK, A. **Entwicklung und Erprobung eines Doppelrotor hackslers als Alternative zur Brandrodungswirtschaft in Nord-Ost Amazonien**. 1999. 86f. (Diplomarbeit im wissenschaftlichen Studiengang Agrarwissenschaften an der Universität Göttingen, Fachbereich Agrarwissenschaften). Georg August Universität Göttingen, Göttingen, Deutschland.1999.

BLOCK, A.; BEHN, W.; LÜCKE, W.; DENICH, M. Buschhäckslereinsatz zur Sekundärwaldnutzung in Tropischen Brachesystemen. **Landtechnik**. 55:214-215, 2000.

BOYER, W. D.; MILLER, J. H. Effect of burning and brush treatments on nutrient and soil physical properties in young longleaf pine stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 70, p. 311-318, 1994.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S. **Interpretação dos resultados de análise de solo**. In.: Manoel da Silva Cravo, Ismael de Jesus Matos Viégas e Edilson Carvalho Brasil (ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. p. 43-48.

BRADY, H. O. **Natureza e propriedades dos solos**; Compêndio universitário sobre edafologia. 5 ed. Rio de Janeiro, 1979. 647 p.

BRIENZA JUNIOR, S.; COSTA, V. O.; SANTOS, W. E. S. et al. Enriquecimento de capoeira com árvores leguminosas contribuindo para o acúmulo de biomassa na agricultura familiar no nordeste do Pará, Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, Belém, 1999. **Anais..** Belém: Embrapa Amazônia Oriental/CNPq, 2000. p.83-84. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 69).

BRIENZA JUNIOR, S. **Uso de Árvores Leguminosas para Melhorar a Agricultura Familiar da Amazônia Oriental Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 6 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Circular Técnica, 32).

CAHETÉ, F.L.S. **Sustentabilidade dos sistemas agrícolas**: uma análise no contexto da agrobiodiversidade. Belém, 2005. (Tese de Doutorado) – Desenvolvimento Sócio-Ambiental, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará. 2005.

CAMPBELL, G. Modeling available soil moisture. **Decagon Devices**, 2006. Disponível em: <www.decagon.com>. Acesso em: 20 dez. 2007.

CARDOSO, A.; MARTINS, P.F.S.; VEIGA JÚNIOR, I. **Solos de áreas ocupadas por pequenos agricultores em algumas localidades da microrregião de Marabá-Pa.** Pont à Pitre. Universidade des Antilles Guianas, 1992. p.101-123.

CARDOSO JÚNIOR, E; KATO, O. R.; KATO, M. do S. A.; LOPES, S. da C.; SÁ, T. D. de A. Q. **Métodos de preparo de área sobre algumas características físicas do solo e produção do maracujazeiro (*Passiflora edulis*) no Nordeste do Pará.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 21 p.

CARTER, M. R.; STEED, G. R. The effects of direct-drilling and stubble retention on hydraulic properties at the surface of duplex soils in north-eastern Victoria. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 30, p. 505-516, 1992.

COELHO, R. F. R. ; OLIVEIRA, V. C. ; CARVALHO, C. J. R. ; Sá, T.D. de A. . Fluxo de nitrogênio e fósforo pela deposição de liteira em sistemas de produção agrícola de corte/queima e corte/trituração/manejo de capoeira, na Amazônia Oriental. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2004, Curitiba. **Anais...** (V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais), 2004. p. 559-561.

COSTA, M. C. G. **Calagem e Adubação no Primeiro Ano de Cultivo em Sistema de Corte e Trituração em Roraima.** Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008. 16 p. (Embrapa Roraima. Boletim de Pesquisa e desenvolvimento, 01).

COSTA, M. C. G.; XAUD, H. A. M.; COSTA, P.; PEREIRA, R. L. **Tipitamba Roraima:** semeadura na palha da capoeira triturada e o uso de fertilizantes minerais. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007, 8 p. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 16).

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de Ciência do Solo.** Campinas, SBCS, 1993. 90 p.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** [online]. 2009, vol.13, suppl., pp. 855-864. ISSN 1807-1929.

DAROLT, M. R.; BLANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R. A. Cinza Vegetal como Fonte de Nutrientes e Corretivo de Solo na Cultura de Alface. **Horticultura Brasileira**, v.11, n.1, p 38-40, 1993.

DEAN, W. **A ferro e fogo:** A História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 484 p., 1996.

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 Ecosystems and Environment**, v.103, p. 365-373, 2004.

DENICH, M.; VLEK, P.L.G.; SA, T.D.D.; VIELHAUER, K.; LUCKE, W.G. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.110, p. 43-58, 2005.

DENICH, M. **Estudo da Importância de uma Vegetação Secundária nova para o Incremento da Produtividade do Sistema de Produção na Amazônia Oriental Brasileira**. Centro de Pesquisa Agropecuária no Trópico Úmido (CPATU) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn. Alemanha. Tese. 1991.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, 2004.

DICK, D. P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R. S. D.; JACQUES, A. V. A.; MIELNICZUK, J.; ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.633-640, 2008.

DIEZ, J.A; POLO, A.; DIAZ-BURGOS, M. A.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C. Effect of fallow land, cultivated pasture and abandoned pasture on soil fertility in two deforested amazonian regions. **Scientia Agricola**, Piracicaba.1997, vol.54, n.1-2, p. 45-52.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA – SNPS, 2006. 421p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos, con ênfasis en suelos de América Latina**. San Jose: IICA. 1982. 422p.

FIGUEIREDO, R. B.de; HURTIENNE, T. **A dinâmica dos sistemas de produção, as estratégias de intensificação e o papel da tecnologia de *mulch* na economia familiar**. Novos Cadernos NAEA v. 7, n. 1, p. 57-90. 2004.

FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. DE; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J. A. A. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.751-760, 2002.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.533-542, 1999.

FREITAS, A. M. de. **Memória de Igarapé-Açu: um livro sobre o município de Igarapé-Açu. Sua história ... sua terra... sua gente** – Belém, 2005. 162 p.

GAMA, M. A. P. **Dinâmica do fósforo em solo submetido a sistemas de preparo alternativos ao corte e queima no Nordeste Paraense**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 96 p. Tese (Doutorado)- ESALQ, Piracicaba, 2002.

GEHRING, C. **O Ambiente do trópico úmido e o manejo sustentável dos Agrossistemas**. In.: MOURA, Emannel Gomes de. Agroambientes de transição – entre o Trópico úmido e o Semi-árido do Brasil (Volume1), Mestrado de Agroecologia/UEMA, 2006, p.101-129.

GHANBARIAN, A.; MILLÁN, H. The relationship between surface fractal dimension and soil water content at permanent wilting point. In: **Geoderma**, Ed. 151, p.224-232, 2009.

GUNNENG, A, Z. **Ouvindo o galo cantar**. Conexão verde. Disponível em: <http://conexaoverde.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2:ouvindo-o-galo-cantar&catid=1:midia-analises>. Acesso em 01 set 2009.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. Características de um Latossolo Vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 309-314, 2002.

HESTER, J. W., THUROW, T.L., TAYLOR JR., C.A. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by prescrib burning. **Journal Range Management**, Denver, v.50, n2, p. 199-204, 1997.

HILLEL, D. **Solo e água, fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

HOMMA, A. K. O.; REBELLO, F. K. **Aspectos econômicos da adubação e calagem na Amazônia**. In.: Manoel da Silva Cravo, Ismael de Jesus Matos Viégas e Edilson Carvalho Brasil (ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. p. 105-118.

HUGGINS, D. R.; REGANOLD, J. P. Plantio Direto, uma Revolução na Preservação. **Scientific American Brasil**. Reportagem. Ed. 75, 2008. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/plantio_direto_uma_revolucao_na_preservacao_imprimir.html>. Acesso em: 19 out 2009.

HURTIENNE, T. **Agricultura Familiar na Amazônia Oriental**: uma comparação dos resultados da pesquisa socioeconômica sobre fronteiras agrárias sob condições históricas e agroecológicas diversas. **Novos Cadernos NAEA**, vol. 2, nº 1. 1999.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em: 06 set. 2012.

IFA. International Fertilizer Industry Association. **O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. Trad. ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Paris, 2000. Disponível em: <http://www.anda.org.br/multimedia/fertilizantes_meio_ambiente.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2012.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto Prodes**: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. (Coordenação-Geral de Observação da Terra – OBT), 2009. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

KANASHIRO, M.; DENICH, M. **Possibilidades de utilização e manejo adequado de áreas alteradas e abandonadas na Amazônia brasileira**. Brasília: MCT/ CNPq, 1998. 157 p. (Estudo dos impactos humanos nas florestas e áreas inundadas nos trópicos).

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In.: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI. Soil Science Society of American, 1994 (Special Publication, 35).

KATO, O. R.; KATO, M. do S. A.; CARVALHO, C. J. R. de ; FIGUEIREDO, R. de O.; CAMARAO, A. P.; SÁ, T. D. de A. **Plantio Direto na Capoeira: Uma Alternativa com Base no Manejo de Recursos Naturais**. In: Paulo Guilherme Salvador Wadt. (Org.). Sistema plantio direto e controle de erosão no Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007, p. 79-111.

_____; KATO, M. S. A.; SÁ, T. D. de A.; FIGUEIREDO, R. **Plantio direto na capoeira**. Ciência e Meio Ambiente, 29: 99-111, 2000. In.: Sistemas Agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável. Campos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006, 365 p.

_____; KATO, M. S. A.; JESUS, C. C. de.; RENDEIRO, A. C. **Época de preparo de área e plantio de milho no sistema de corte e trituração no município de Igarapé-Açu, Pará**. Embrapa Amazônia Oriental (Comunicado Técnico, n. 64), 2002. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2002.

KATO, M. S. A.; KATO, O. R.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. **Disponibilidade de fósforo em sistema de mulch, no Nordeste Paraense**. In.: In.: SEMINARIO SOBRE MANEJO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA A SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, Belém, Pará, Brasil, 1999, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. P. 116-119. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 69).

_____; KATO, O. R.; PARRY, M. M., DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the Eastern Amazon region: The role of fertilizers. In: Third SHIFT-Workshop, 3, 1998, Manaus. **Abstracts...** Manaus: CNPq/EMBRAPA/GmbH, 1998. 260p.

KATO, O. R. **Fire free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region: crop performance and Nitrogen dynamics**. Göttingen: Cuvillier, 1998. 132 p.

KATO, M. S. A. **Fire free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region: crop performance and Phosphorus dynamics**. Göttingen: Cuvillier, 1998. 144 p.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979, 262 p.

KLEINMAN, P. J. A.; BRYANT, R. B.; PIMENTEL, D. Assessing ecological sustainability of slash-and-burning agriculture through soil fertility indicators. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 122-127, 1996.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, v. 85, p. 91-118, 2007.

LINS-TEIXEIRA, A.; Tapia-Coral, S. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W.; WANDELLI, E. Macro-invertebrados do solo em capoeiras trituradas usadas como alternativa ao uso do fogo no assentamento Tarumã-Mirim, Amazonas. In.: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu, 2007, p. 1-2. Disponível em: <<http://www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf/251.pdf>>. Acesso em: 07 set 2011.

LIOSSE, C.; CACHIER, H.; GRÉGOIRE, J.M.; PENNER, J.; LAVOUÉ, D.; HOBBS, P.; SCHOLLES, M.; BARBOSA, P.; ANDREAE M. O.; ARTAXO, P. Deriving global quantitative estimates for spatial and temporal distributions of biomass burning emissions. In: Granier, C.; Artaxo, P.; Reeves, C. (eds). **Emissions of trace gases and aerosols into the atmosphere**, Kluwer Academic Publishers, London, 2004.

LITTELL, R. C.; MILIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R.; SCHABENBERGER, P. D. **SAS System for Mixed Models**. 2nd Ed. SAS Publishing. 840 p. 2006.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. Trad. e adap. de Alfredo Scheid Lopes. São Paulo, ANDA/POTAFOS, 1989. 153 p.

LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações**. São Paulo: ANDA, 1989, 64 p.

LOCATELLI, M.; MARCOLAN, A. L.; GONÇALVES, E. L.; SILVA, D. F. da, MARCANTE, P. H. Matéria orgânica, densidade e porosidade do solo submetido à trituração de capoeira em Porto Velho, Rondônia. In.: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Uberlândia. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/897661/1/23421.PDF>>. Acesso em: 19 jan 2012.

MACEDO, M.C.M. A utilização do fogo e as propriedades físicas e químicas do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 12, 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.315-345.

MACKENSEN, J. HÖLSCHER, D. KLINGE, R. FÖLSTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, 86:121-128, 1996.

MARIA, L. de S.S. **Sistema de amostragem do solo e avaliação da disponibilidade de fósforo na fase de implantação do plantio direto**, Piracicaba: ESALQ, 2003. 111 p. Dissertação (Mestrado)- ESALQ, Piracicaba, 2003.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. Agronômica Ceres: São Paulo, 1979.

MARCOLAN, A. L.; LOCATELLI, M.; FERNANDES, S. R. Densidade e resistência à penetração de um Latossolo pelo corte e trituração da capoeira, substituindo a derruba e queima, no preparo da área para plantio direto. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 32, 2009, Fortaleza. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. 1 CD ROM.

MONTEIRO, K. F. G.; KERN, D. C.; RODRIGUES, T. E.; RUIVO, M. de L. P.; FARIAS, P. R. S. **Caracterização dos Argissolos amarelos com adição de resíduos de madeira: uma alternativa de uso como cobertura em solos da Amazônia**

paraense. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais, 2006, vol.1, nº 1, p.139-148.

NEPSTAD, D.C.; UHL, C.; PEREIRA, C.A., SILVA, J.M.C . 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos*, 76:25-39.

NICOLI, C. M. L.; HOMMA, A. K. O. ; CRAVO, M. S. ; FERREIRA, C. A. P. . **Análise econômica de sistemas de produção de feijão-caupi e mandioca na Mesorregião Nordeste Paraense**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006 (Documentos, Embrapa Amazônia Oriental, 276).

O GLOBO ONLINE. IBGE: **IBGE:15% da área total da Amazônia está desmatada**. Disponível em: <<http://www.oglobo.globo.com/>>. Acesso em: 16 ago 2010.

OLIVEIRA, V. C. ; ISHIDA, Y. F. ; DAVIDSON, E. ; BELK, E. ; SANTOS, M. T. P. ; SÁ, T. D. de A. ; MOELLER, M. R. F. **Emissões de gases-traço em capoeira enriquecida no nordeste do Pará Brasil**. In: First LBA Scientific Conference, 2000, Belém. Proceedings of the First LBA Scientific Conference, 2000. p. 44.

OLIVEIRA, L.; FERREIRA, M.S.G.; SABOGAL, C. Estudo da capoeira. In: CARVALHEIRO, K.O.; GONÇALVES, D.A.; MATTOS, M.M.; FERREIRA, M.S.G. (Ed). **Agricultura familiar no Nordeste Paraense: informações preliminares como contribuição ao manejo sustentável da capoeira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; Cifor, 2001. p. 63-70.

OLIVEIRA, C. D. de S. **Percepção de agricultores familiares na adaptação do sistema de cultivo de corte e trituração**. 2002. 140 p. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

PEREIRA, C.A.; VIEIRA, I.C.G. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. *Interciência*, 2001. 26(8):337-341.

PEREIRA, W. L. M. **Dinâmica da matéria orgânica e fertilidade de solos sob pastagens plantadas**, 1998, 109 p, Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1998.

PILLON, C. N. **Manejo da matéria orgânica em agroecossistemas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005. 16 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 150).

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo**. São Paulo: Nobel, 1982. 541p.

QUERINO, C.A.S. **Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com o ângulo Zenital na Floresta Amazônica**. 2004. 53f. Monografia (Bacharel em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; HOFFMANN, L. L. **Controle Cultural de Doenças Radiculares**. In.: Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais / eds. Sami J. Michereff, Domingos E. G. T. Andrade, Maria Menezes. – Recife : UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p. 279-301.

RIOS, M.; MARTINS-DA-SILVA, R.C.V.; SABOGAL, C.; MARTINS, J.; SILVA, R.N.; BRITO, R.R.; BRITO, I.M.; BRITO, M.F.C.; SILVA, J.R.; RIBEIRO, R.T. 2001. **Benefícios das plantas da capoeira para a comunidade de Benjamin Constant, Pará, Amazônia Brasileira**. Belém, CIFOR. 54 p.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. C. P.; FERNANDES, V. B. B.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 49-55, 2003.

RODRIGUES, M. M. B. Políticas públicas para agricultura familiar: o caso do FNO-Especial para o Município de Igarapé-Açu (1989-2002). In.: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - AMAZÔNIA E FRONTEIRAS DO CONHECIMENTO, 2008, Belém, 2008. **Anais...** Belém: NAEA/UFPA, 2008. 20 p.

RODRIGUES, V.G.S.; COSTA, R. S. C. da.; MENDES, A. M.; LEÔNIDAS, F. C. **Perspectivas para áreas de capoeira em solos de baixa fertilidade. Município de Theobroma – Rondônia**. - Porto Velho: EMBRAPA-CPAF Rondônia, 2000. 11p. (EMBRAPA-CPAF Rondônia. Documentos, 51).

ROSSETTO, R.; TSAI, M. S. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E. J. B.; TSAI, M. S.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 231-242.

SALM, R. A. **A importância das palmeiras arbóreas de grande porte na dinâmica das florestas amazônicas sazonalmente secas**. São Carlos: UFSCar, 2005. 225 p. (Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, 2005).

SAMPAIO, I. C. G. **Biogeoquímica do carbono em solos de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira**. Belém: UFPA, 2008. 82 p. (Mestrado em Ciências Ambientais - Universidade Federal do Pará, 2008).

SÁNCHEZ, P. A.; GARRITY, D. P.; BANDY, D. E.; TORRES, F.; SWIFT, M. J. alternativas sustentáveis à agricultura migratória e a recuperação de áreas degradadas nos trópicos úmidos. In: SIMPÓSIO DE ÁREAS DEGRADADAS E FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA, 1993, Santarém, PA., **Anais...** Rio Piedras: Internacional Institute of Tropical Forestry/USDA – Forest Service, 1995. P.1-13.

SANTOS, E. R. **Influência no manejo da vegetação secundária, na produção agrícola e nos atributos químicos de Latossolo Amarelo da Amazônia Oriental**. 2010. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2010.

SANTOS, C. O. dos; SILVA, M. A. S. da. Abordagem Perceptiva das Mudanças Climáticas Globais. **Revista da Fapese**, v.4, n. 2, p. 83-98, 2008.

SANTOS, E.E.F.; SANTOS, M.H.L. Influência do tempo de cultivo nas características químicas de um Latossolo no Oeste baiano. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 29, Ribeirão Preto, **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, CD, 2003.

SCHMITZ, H. A transição da agricultura itinerante na Amazônia para novos sistemas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.1, p. 46-49, 2007.

SCHWARTZ, G. Manejo sustentável de florestas secundárias: espécies potenciais no Nordeste do Pará, Brasil. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 3, n. 5, 2007. p. 125-147.

SERRA, A. B.; CARVALHO, C. J. R de.; SÁ, T. D. de A.; SOUSA, G. F. de. Estoque de serapilheira e matéria orgânica do solo em sistemas alternativos ao uso do fogo, desenvolvido por agricultores familiares na Região Transamazônica e Xingu – Oeste do Pará. In: **Anais da 7ª Semana de Integração das Ciências Agrárias**. Altamira, PA, UFPA, 2007. p. 124-134.

SHANLEY, P.; LUZ, L.; SWINGLAND, I. The faint promise of a distant market: a survey of Belém, trade in nontimber forest products. **Biodiversity and Conservation**, Amsterdã, v.11, p.615-636, 2002.

SILVA, D. M. M. H. da. **Macrofauna edáfica, biomassa microbiana e qualidade do solo em área cultivada no cerrado amapaense com e sem uso do fogo e adubação alternativa**. 2009. 55 p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2009.

SILVA, G. R. da; SILVA JÚNIOR, M. L. da; MELO, V. S. de. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do Estado do Pará. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 2, 2006. p. 151-157.

SILVA, B. N. R. da.; CARVALHO, J. S. dos. S. **Os solos da Amazônia Oriental**. In: EMBRAPA/CPATU/GTZ. Belém, 1986, p.15-42.

SILVA, F. C.; ABREU, M. F.; PÉREZ, D. V.; EIRA, P. A.; ABREU, C. A.; RAIJ, B. VAN.; GIANELO, C.; COELHO, A. M.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M. J.; SILVA, C. A.; CANTARELLA, H.; BARRETO, W. O. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In.: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 107-188.

_____; EIRA, P. A.; BARRETO, W. O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. **Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo: métodos usados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1998. 40 p. (Embrapa Solos. Documentos, 3).

SMITH, D. W. Concentrations of soils nutrients before and after fire. **Canadian Journal of Soil Science**, Canadá, n. 58, p. 17-29, 1970.

SMITH, T. J.; ALEGRE, J. C.; PALM, C. A. Dinâmica de nutrientes del suelo durante três años de cultivos de bajos insumos em um Ultissol de la Amazonia Peruana. In.: SMITH, T. J; RAUN, W. R; BERTSCH, F. (Ed.). **Manejo de suelos tropicales en latinoamérica**. Raleigh: North Carolina State University, 1991. 310 p.

SOMMER, R. **Water nutrient balance in deep soils under shifting cultivation with and without burning in the eastern Amazon**. PhD (thesis) – Göttingen, Cuvillier, 2004. P. 240.

SOMMER, R.; VLEK, P. L. G.; SÁ, T. D. de A.; COELHO, R. F. R.; FOLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for sub-soil nutrient accumulation. **Nutrient cycling in agroecosystems**, 2004. p. 68: 257-271.

SOUZA, L. D. N. de. **Adubação orgânica**. São Paulo: Editora Tecnoprint, 1989. 116 p.

SOUSA FILHO, F.R.; SILVA, A. A. da.; MARQUES, U. M.; PINTO, W. S.; SANTOS, S. R. M.; SILVEIRA, J. L.; CAHETE, F. L. S.; CORTELETTI, J. A **Dinâmica Histórica da Reprodução da Agricultura em Igarapé-Açu (Região Bragantina do Estado do Pará):** um estudo de diagnóstico a partir do enfoque de sistemas agrários. SHIFT ENV25/EMBRAPA - SHIFT ENV44/NAEA/UFPA - CEPLAC - FEIGA/FCAP, Belém, 1998. (Relatório de pesquisa). Disponível em: <<http://www.docstoc.com/docs/41606446/A-DIN%C3%82MICA-IST%C3%93RICA-DA-REPRODU%C3%87%C3%83O-DA-AGRICULTURA-FAMILIAR-EM>>. Acesso em: 16 ago 2009.

SOUSA FILHO, F.R.; SILVA, A.A.; MARQUES, U. M. F.; CAHETE, F. L. S.; PINTO, W. S.; SILVEIRA, J. L.; SANTOS, S. R. M.; CORTELETTI, J. A Dinâmica Histórica da Reprodução da Agricultura em Igarapé-Açu (Região Bragantina do Estado do Pará): I conformação do espaço agrário e dinâmica dos sistemas agrários. In.: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA A SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1999, Belém, PA. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental/CNPq. 2000. 221p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 69). 2000.

STEVENS, A. D. **Influência da agricultura itinerante na regeneração da vegetação de pousio no leste da Amazônia**. Eschborn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technishe Zusammenarbeit. 1999, 59 p.

SZOTT, L. T.; PALM, C. A. Nutrients stocks in managed and natural humid tropical fallows. **Plant and Soil**, v. 186, p. 293-309, 1986.

TIBAU, A. O. **Matéria Orgânica e Fertilidade do Solo**. São Paulo: Nobel, 1978.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. Circular Técnica, 23.

TORRES, R. **Regime hídrico do solo**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAWZsAF/regime-hidrico-solo>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

TRINDADE, E. F. da S. **Atributos físico-hídricos e matéria orgânica do solo em função de sistemas de uso e manejo da vegetação secundária**. 2007. 67 p.- Belém, 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

_____; REBELLO, F. K.; REDIG, M. do S. F. Inovação em tecnologia ambiental: um estudo de caso com agricultores familiares no Nordeste Paraense (PA). In.: XII ENGEMA – Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, São Paulo. **Anais...** 2010.

_____ ; RODRIGUES, T. E. ; CARVALHO, E.J.M. ; CORRÊA, P. C. S. Matéria orgânica e atributos físicos de um Argissolo Amarelo distrófico no Nordeste Paraense. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 5, n. 9, 2009. p. 186-198.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VASCONCELOS, J. M. **Indicadores químicos e biológicos de solos submetidos ao sistema de preparo de área usando a queima e a trituração da vegetação no Nordeste Paraense**. 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2010.

VELOSO, C. A. C.; BOTELHO, S. M.; RODRIGUES, J. E. L.F. **Correção da acidez do solo**. In.: Manoel da Silva Cravo, Ismael de Jesus Matos Viégas e Edilson Carvalho Brasil (ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. p. 93-103.

VIELHAUER, K.; SÁ T.D. de A.; KANASHIRO, M.; DENICH, M. **Technology development of slash-and-mulch and of fallow enrichment in shifting cultivation systems of the Eastern Amazon**. In: SHIFT-WORKSHOP, 3., 1998, Manaus. Proceedings. [S.I.: s.n.], 1998, p.49-59.

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1975. 464 p.

VOGEL, H. L. M. **Quantificação da biomassa e nutrientes em floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil**. 2005. 94f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2005.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 4, p. 242-246, 1966.

WATRIN, O. S. **Estudo da Dinâmica na Paisagem da Amazônia Oriental Através de Técnicas de Geoprocessamento**. (Dissertação de Mestrado) - INPE, São José dos Campos, 1994. 153 p. (INPE- 5631-TDI/555).

ZARIN, D.J.; DUCEY, M.J.; TUCKER, J.M.; SALAS, W.A. Potential biomass accumulation in Amazonian regrowth forests. **Ecosystems**, v.4, p.658-668, 2001.