



## XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil

### **Agricultura sem queima: uma proposta de recuperação de áreas degradadas com sistemas agroflorestais seqüenciais.**

Oswaldo Ryohei Kato<sup>1</sup>, Steel Silva Vasconcelos<sup>1</sup>, Ricardo de Oliveira Figueiredo<sup>1</sup>, Claudio José Reis de Carvalho<sup>1</sup>, Tatiana Deane de Abreu Sá<sup>1</sup>, Mauricio Kadooka Shimizu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Amazônia Oriental

### **INTRODUÇÃO**

A agricultura familiar no Brasil representa 85% dos estabelecimentos rurais, somando 38% do valor bruto da produção. Esses números demonstram a importância desses produtores para a agricultura e para a economia nacional (Lima et al., 2002).

Na Amazônia, o processo de desenvolvimento tem ocorrido às custas do uso indiscriminado dos seus recursos naturais. Programas governamentais de ocupação da Amazônia, planejados e aplicados sem levar em conta os conhecimentos e as características regionais, trouxeram conseqüências quase irreparáveis, que resultaram em mudanças na paisagem, principalmente em função do avanço da ação antrópica, e em perdas da biodiversidade (Oliveira 1992).

A agricultura familiar na Amazônia pratica principalmente o sistema de agricultura migratória ou itinerante, alternando períodos de cultivo (principalmente de milho e mandioca) e de pousio, ocasião em que a vegetação secundária (capoeira) se desenvolve para, após algum tempo, ser transformada em fertilizante para o próximo período de cultivo por meio da técnica de derruba-e-queima. Esta técnica vem sendo questionada pela sociedade em geral, pois causa perdas de nutrientes, emissões nocivas de gases à atmosfera, e riscos de incêndio (Moran 1990, Hölscher et al. 1997a; Nepstad et al. 1999).

Quando a floresta primária é convertida em pasto ou áreas agrícolas, usando a técnica de derruba e queima, os conteúdos de nutrientes e carbono do solo são vulneráveis a perdas por meio de vários mecanismos, incluindo combustão durante o fogo, mais rápida decomposição da matéria orgânica do solo, mudanças químicas e microclimáticas do solo, e alterações na qualidade e quantidade do ciclo dos nutrientes através do sistema que substitui a floresta (Juo e Manu 1996). Na queima de uma capoeira de sete anos de idade na região Bragantina, estimou-se uma perda de 21,5 Mg carbono e 372,0 kg nitrogênio ha<sup>-1</sup> (Sommer 2000). Também, 45 a 70% dos cátions geralmente menos voláteis,

como potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), são perdidos. A maioria da perda é pelo transporte de partículas com a fumaça do fogo, sendo que o mais preocupante é a exportação de 63% do estoque de fósforo (P), o qual corresponde a 11,0 kg ha<sup>-1</sup> (Sommer 2000).

Com isto, após vários ciclos de derruba-e-queima na mesma área, este tipo de agricultura apresenta níveis de sustentabilidade decrescentes, sobretudo quando o tempo de pousio é reduzido, em geral pelo aumento da pressão populacional, e redução ou desaparecimento das áreas de florestas secundárias. De igual modo, é reduzida a contribuição de nutrientes proporcionada pela vegetação secundária aos cultivos anuais (Kanashiro & Denich 1998). A predominância da adoção de pousios cada vez mais curtos, associada às perdas de nutrientes durante a queima, está pondo em risco a estabilidade do sistema em nível privado, e da paisagem, pois, quando os períodos de pousio eram longos (7-10 anos), a sustentabilidade do sistema com base em capoeira era estável.

A sustentabilidade é ameaçada pela proliferação, nos estabelecimentos de agricultores familiares, de pastagens, na tentativa de praticarem a pecuária bovina e cultivos semipermanentes mecanizados, notadamente maracujá e pimenta do reino, que comprometem a regeneração da maioria das espécies que compõe a capoeira tradicional ao longo do tempo, inviabilizando o uso posterior dessas áreas à agricultura, exceto se forem adotadas de técnicas de alto custo, geralmente inviáveis para pequenos agricultores (Tourrand et al., 1996, Vielhauer et al., 2001).

O plantio de espécies leguminosas arbóreas de rápido crescimento e fixadoras de nitrogênio atmosférico (CATIE, 1992) em áreas de capoeira representa uma alternativa para melhorar a sustentabilidade do sistema de produção de pequenos agricultores na região amazônica.. A simbiose estabelecida com bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium* possibilitam a fixação do nitrogênio atmosférico (Fosket, 1994). A partir desta simbiose, as plantas tornam-se auto-suficientes em nitrogênio, potencializando suas capacidades de absorção de água e nutrientes, principalmente fósforo (Souza e Silva, 1996), e, conseqüentemente, de produção de fitomassa (Andrade et al. 2000). O processo de ciclagem de nutrientes, que representa a transferência dos elementos mineralizados no sistema solo-planta, realizado de forma eficaz pelas leguminosas, deve-se à capacidade dessas espécies em absorver nutrientes, das camadas mais profundas do solo, e promover a sua liberação na superfície a partir da decomposição das raízes, serrapilheira e resíduos vegetais provenientes da poda (Alegre et al. 2000; Favero et al. 2000). Uma ciclagem mais eficiente de nutrientes no pousio contribui para garantir a produção durante o período de cultivo no sistema itinerante.

Muitos estudos têm mostrado a importância do manejo dos solos para desenvolver a agricultura nos trópicos. No entanto, muitas são as limitações para alcançar um desenvolvimento sustentável. Uma das maiores limitações está associada à distância entre pesquisadores e os pequenos produtores rurais com baixa disponibilidade de recursos financeiros. Apenas recentemente tem-se formado grupos de pesquisadores trabalhando mais diretamente com esse público. Isto de certa forma permite consolidar a confiança dos pequenos produtores, levando a informação adequada para suprir suas necessidades. Por outro lado, a carência de pesquisa ou adequação da tecnologia que possibilite usar sistemas de produção sustentáveis, enfatizando a manutenção da fertilidade do solo com menor uso de insumos químicos, são também limitações que precisam ser vistas e contornadas.

Assim, a intensificação do sistema de produção com base na capoeira foi foco de pesquisas voltadas a alternativas sustentáveis, sobretudo as iniciadas no Projeto Shift-Capoeira, hoje continuadas por meio do Projeto Tipitamba (Denich et al. 2002a; Vielhauer et al. 2001). As alternativas incluem aumento do período de cultivo (maior número de cultivos anuais em um dado ciclo de pousio/cultivo), pelo preparo de área motomecanizado via corte-e-trituração, em substituição ao corte-e-queima (Kato et al. 1999). Esta tecnologia também está sendo testada em cultivos semipermanentes e permanentes em um experimento piloto (Kato et al. 2001). Com relação ao subsistema pecuário bovino, em nível da agricultura familiar, a utilização da tecnologia de corte/trituração da capoeira no preparo de áreas para a implantação de pastagens visa concretizar o potencial de utilização do componente animal como fator de estabilização do sistema do uso da terra na agricultura familiar (Camarão et al. 2002; Bittencourt et al. 2001).

## **ASPECTOS AGROTÉCNICOS DO PREPARO DE ÁREA SEM USO DO FOGO NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

Aragão e Shimabukuro (2010) citando dados do INPE, indicam que entre os anos de 1998 a 2007, a deflorestação na Amazônia brasileira atingiu  $18.918 \pm 1.576 \text{ km}^2$ , resultando na liberação de 0,28 Gt de carbono para atmosfera anualmente, correspondendo à 24% das emissões mundiais de C oriundos da mudança de cobertura do solo.

O problema do uso fogo na Amazônia não pode ser analisado apenas sob o ponto de vista ambiental, conforme ressaltado por Costa (2002), pois o fogo é resultado da complexidade de fatores envolvidos no processo de ocupação e utilização das áreas de fronteira agrícola, que tem como centro

uma racionalidade econômica dominante que proporciona efeitos desiguais na sociedade. Os agricultores da Amazônia usam o fogo em sua atividade por não conhecerem alternativas viáveis de trabalhar com o solo, e necessitam a cada ano implantar suas roças para garantir a sobrevivência da própria família.

A agricultura itinerante ou de corte-e-queima na Amazônia constitui-se em uma tradição milenar da maioria das populações indígenas e caboclas e representa uma extraordinária adaptação às condições tropicais (Shubart 1983). Segundo Altieri (2002), o sistema de corte-e-queima é talvez um dos melhores exemplos de estratégia ecológica para manejar agricultura nos trópicos. Apesar das várias vantagens que esta agricultura apresenta, ela passou a ser considerada um problema para alguns ecossistemas amazônicos, devido à pressão demográfica e as mudanças na forma de utilização dos recursos naturais da região (Nepsted et al. 1999), o que leva à degradação do solo e do sistema agrícola entre outros.

Vários estudos realizados nas duas últimas décadas, notadamente na Amazônia Oriental, vêm revelando múltiplas facetas que levam a valorizar aspectos ambientais e socioeconômicos associados à presença da vegetação secundária em estabelecimentos agrícolas e em nível de paisagem (Johnson et al. 2002; Smith et al. 2003; Sá 2003); segundo (Hedden-Dunkhorst et al. 2003), a vegetação secundária representa uma rede de segurança para o segmento de pequenos agricultores. Em termos ambientais, o monitoramento de componentes do balanço hídrico em vegetações secundárias jovens típicas do cenário da agricultura familiar atual no nordeste do Pará (Hölscher et al. 1997; Sommer et al. 2003) tem demonstrado que tais vegetações se comportam de modo semelhante às florestas primárias da Amazônia, quanto a este atributo biofísico. Em termos de acúmulo de carbono, Denich et al (1999); Tippmann (2000); Sommer (2001) apresentaram valores reveladores da importância dos estoques de carbono acima e abaixo do solo em capoeiras jovens no nordeste do Pará. Em termos de nutrientes, Denich (1991) evidenciou grupos de espécies da capoeira com a habilidade funcional de acumular os principais nutrientes, enquanto que Sommer (2000) ofereceu evidências do papel protetor das raízes da capoeira (função de rede protetora) em reduzir as perdas de nutrientes por lixiviação, e também a contaminação de aquíferos (Wickel et al 2002). Em termos de sustentabilidade ecológica dos agroecossistemas amazônicos em relação aos efeitos de práticas agrícolas, Leal (2002) evidenciou que o preparo de área para plantio com queima teve efeito drástico na diminuição da riqueza das espécies e, como consequência, o aumento da frequência do fogo pode causar um processo de savanização com predominância de graminóides e ervas, reduzindo o aparecimento de espécies arbóreas.

Buscando reduzir as limitações vigentes nos sistemas de produção da agricultura familiar desta região, dominada por vegetações secundárias de diferentes faixas etárias, vêm sendo desenvolvidas e validadas na Amazônia Oriental intervenções agrícolas que incluem, na fase de preparo de área, a substituição da prática da derruba e queima pela de corte e trituração (Kato et al. 1999; Denich et al, 1999; Denich et al. 2002).

Os resultados de pesquisa mostram que o sistema de corte e trituração da capoeira, e plantio direto garante a regeneração da capoeira, por evitar danos ao sistema radicular das espécies da capoeira, pois 70% da regeneração da capoeira são garantidas pelas rebrotas dos tocos e raízes (Stevens 1999).

O solo tem sido também, em alguns cenários amazônicos, fator limitante para a sustentabilidade dos sistemas de produção dos agricultores. O solo funciona não somente no sistema agrícola, mas também na qualidade ambiental (Amado & Eltz, 2003). Neste sentido o desempenho eficiente das funções ecológicas dos solos tropicais está relacionado à manutenção e incremento do teor de matéria orgânica do solo, o que tem sido conseguido de forma gradual, segundo Amado & Eltz (2003), no sistema de plantio direto na palha. Kluthcouski (1998) relata que os sistemas convencionais, baseados no intensivo revolvimento do solo, modificam sua estrutura e, por ação do clima quente e úmido, aceleram a decomposição da matéria orgânica, ocasionando queda de produtividade das culturas, exposição do solo e diminuição da sustentabilidade do sistema.

Resultados de pesquisas obtidos no Paraná por Pavan e Chaves (1998) indicam que desacelerar a degradação da matéria orgânica inclui reduzir o revolvimento do solo, melhorar a reciclagem dos resíduos, aumentar a quantidade de CO<sub>2</sub> fixado e incorporado no solo, manter os nutrientes no ciclo biológico, diminuir as perdas de solo, água e nutrientes do sistema, introduzir plantas no programa de rotação com maiores capacidades produtivas de biomassa, ou seja, com maiores produções de resíduos, mantendo-os como cobertura na superfície do solo, etc. Considerando as regiões tropicais úmidas, caracterizadas por altas precipitações pluviométricas e temperaturas elevadas, o sistema de plantio direto na capoeira deve permitir a manutenção dos níveis de MO de forma mais eficiente.

Deste modo, a manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas depende, em grande parte, do processo de decomposição da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo (Gama-Rodrigues, 1999), que funciona como agente de transformação da matéria orgânica, no ciclo de nutrientes e no fluxo de energia (Wardle, 1993; De-Polli e Guerra, 1999, Martins et al. 1990).

## **IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA AGRICULTURA SEM USO DO FOGO COMO ALTERNATIVA PARA AGRICULTURA DE DERRUBA E QUEIMA**

Estudos realizados principalmente nas últimas décadas comprovaram o importante papel ambiental e socioeconômico da capoeira como componente do sistema rotacional de uso da terra adotado pela grande parte dos agricultores da Amazônia, em especial no nordeste do Pará (Hedden-Dunkhorst et al. 2003). Para a agricultura familiar na Amazônia, a presença da capoeira é de fundamental importância pelas inúmeras funções benéficas que ela proporciona, tais como: acumulação de nutrientes (Denich 1991, Nye e Greenland 1960), reciclagem e recuperação de nutrientes de camadas profundas do solo (Sommer, 2000), controle da erosão (Hoang Fagerstrom et al. 2002; MacDonald et al. 2002), supressão de plantas invasoras (Rouw 1995, Gallagher et al. 1999), suprimento de madeira e lenha (Sanchez 1995) e manutenção da biodiversidade (Baar 1997).

Os estudos realizados por Baar (1997) na Zona Bragantina, nordeste do Estado do Pará, em 92 áreas de capoeiras com idade variando de 1 a 10 anos, mostraram um total de 673 espécies de plantas, dos quais 316 eram árvores e arbustos. Apesar disso, Denich (1991) verificou que a maioria das espécies são relativamente raras, pois somente 20 espécies representam 80% das árvores e arbustos.

A diversidade florística ainda encontrada nas vegetações secundárias abriga um considerável número de espécies com diferentes habilidades de acumular nutrientes essenciais que podem servir para sustentar as plantas na fase de cultivo agrícola. Essa diversidade funcional foi estudada por Denich (1991) nas capoeiras do Nordeste Paraense avaliando a concentração de 11 bioelementos (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu, Na e Al) nas folhas e em material lenhoso de 81 espécies. Este estudo permitiu evidenciar dezesseis grupos de espécies com concentrações semelhantes de nutrientes nas folhas através de uma análise de agrupamento em 80 espécies da capoeira. Dentre os grupos, podemos citar um que abrange espécies com concentrações relativamente elevadas de fósforo (P), como por exemplo, *Cecropia palmata* e *Neea macrophylla*, e um que abrange espécies com tendência a acumular nitrogênio (N), incluindo, dentre outras, espécies do gênero *Cassia* e *Inga*.

A acumulação de biomassa aérea pela vegetação secundária (Tabela 1) é de fundamental importância ao sistema de derruba e queima, pois é nela que se acumulam os nutrientes (Tabela 2) necessários para a fase cultivo, disponibilizados para as plantas através das cinzas provenientes da queima da vegetação durante a fase de preparo de área. Chama atenção a baixa quantidade de fósforo acumulado na biomassa da capoeira, que é um dos nutrientes mais limitantes em regiões tropicais.

Tabela 1. Biomassa aérea seca (Mg ha<sup>-1</sup>) da vegetação secundária do nordeste Paraense de diferentes idades.

Compartimento	Idade da capoeira			
	1 ano	4-5 anos	7 anos	10 anos
	..... Mg ha <sup>-1</sup> .....			
<b>Madeira</b>	1-3	9-25	29-61	58-68
<b>Folhas</b>	<1-2	3-5	4-6	6-9
<b>Liter</b>	3-6	6-8	8-11	12-17
<b>Ervas e gramíneas</b>	<1-4	1-1	<1	<1-1
<b>Total</b>	8-12	19-38	42-77	78-94

Fonte: Denich et. al. 2004

Tabela 2. Macro e micro nutrientes acumulados na biomassa de vegetação secundária de 4-5 anos.

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----								
<b>Folhas</b>	56-83	2,2-3,0	19-36	27-34	10-15	14	0,3-0,7	0,1	0,1
<b>Madeira</b>	39-102	1,9-5,1	32-65	43-92	11-18	16	0,4-1,2	0,2-0,4	0,1-0,4
<b>Litter</b>	62-106	1,6-2,4	8-11	39-102	6-13	10	0,6-1,5	0,1-0,3	0,1-0,2

Fonte: Denich et al. 2004, adaptado de Denich (1991) e Sommer (2000)

A acumulação de serapilheira (*litter*) formada pelas espécies da capoeira, bem como sua decomposição e concentração de nutrientes (Cattânio 2002), influenciam a disponibilidade de matéria orgânica, já que a composição deste material influi na diversidade e na concentração de mesofauna do solo (Denich 1991) e igualmente em processos por ela mediados.

## PREPARO DA ÁREA SEM USO DO FOGO ATRAVÉS DE CORTE E TRITURAÇÃO DA BIOMASSA DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA

O preparo de área mecanizado que está sendo feito atualmente utiliza o triturador de galhadas, também conhecido como fresador florestal (denominado de triturador de capoeira) atrelado em um trator de rodas. A vegetação é triturada a uma altura de 5-10 cm do solo com objetivo de não revolver o solo (cultivo mínimo) e também não danificar o principal sistema de regeneração da capoeira, que são os tocos e raízes que permanecem intactos na área, garantindo assim a rebrota da vegetação natural.

São necessárias duas operações para um preparo adequado de área (Figura 1). Na primeira operação, realiza-se a derruba da vegetação e a trituração parcial do material vegetal; a segunda operação destina-se à trituração do material de maior porte e uniformização da camada de cobertura morta do solo (Block 2004). Para o preparo de área de um hectare, gastam-se em média 5 horas.

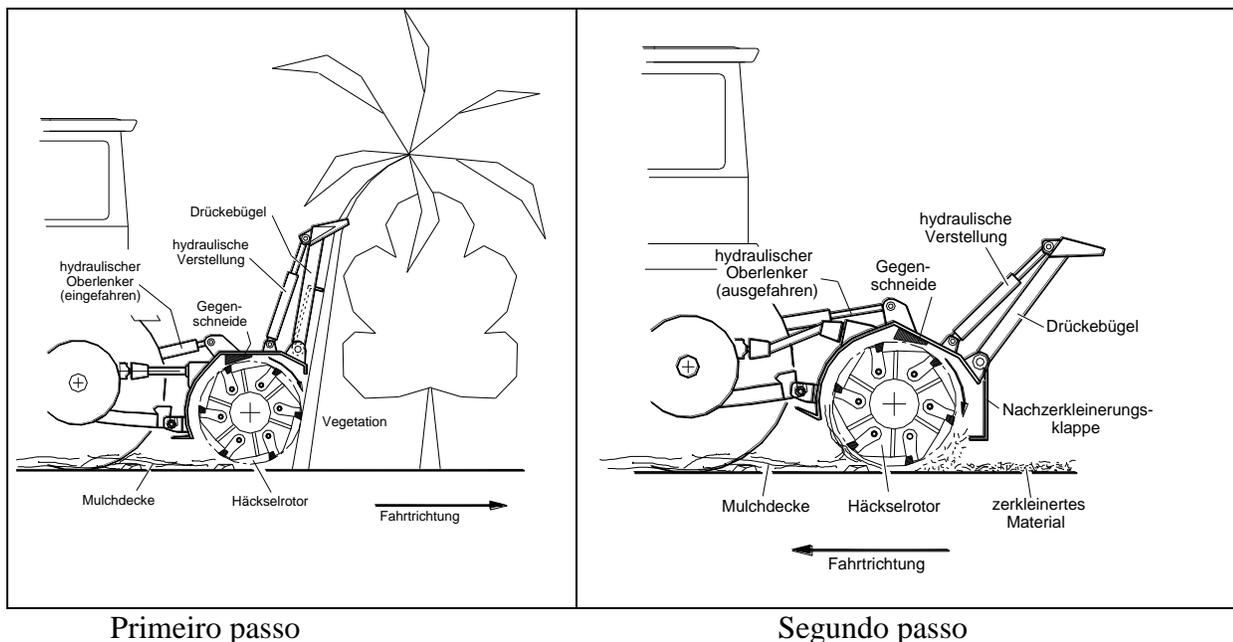


Figura 1 – Triturador de capoeira com rotor horizontal indicando dois passos necessários para trituração de capoeira e distribuição do material em forma de cobertura morta do solo (Block 2004).

## COMPORTAMENTO DE CULTIVOS ALIMENTARES NOS SISTEMAS SEM USO DO FOGO NO PREPARO DE ÁREA COM CORTE E TRITURAÇÃO

O preparo de área via corte-e-trituração não apresentou redução da produção quando comparado ao sistema de corte-e-queima com adubação. Observa-se uma tendência de aumento de produção com a intensificação do cultivo nas áreas sem queima (Tabela 3). Quando a adubação não é utilizada, a produção das culturas, no primeiro cultivo, nas áreas queimadas, sempre é maior do que áreas sem queima. Esta diferença entre os sistemas se deve ao efeito positivo das cinzas nas áreas queimadas e da imobilização de nutrientes pelos microorganismos decompositores da cobertura morta, que reduz inicialmente a disponibilidade de nutrientes nas áreas não queimadas (Cattanio 2002). No entanto, é interessante observar que no preparo de área via corte-e-trituração há maior estabilidade de produção (especialmente raízes de mandioca).

Tabela 3 – Produção (em Mg ha<sup>-1</sup>) de grãos de arroz e caupi e raízes frescas de mandioca em sistema seqüencial de corte e trituração em capoeiras de diferentes idades.

Preparo de área	Arroz			Caupi			Mandioca		
	95/96	97/98	02/03	95/96	97/98	02/03	95/96	97/98	02/03
<b>VS* 4 anos</b>									
Queima + NPK	2,7	2,7	2,9	1,6	1,6	1,4	30,2	24,6	33,8
Cobertura + NPK	2,5	3,2	3,2	1,5	2,0	1,5	28,8	26,0	28,4
Queima	1,5	1,4	1,9	0,3	0,3	0,5	16,3	11,3	15,1
Cobertura	0,9	1,5	1,4	0,2	0,6	0,3	17,7	17,4	15,5
<b>VS 10 anos</b>									
Queima + NPK	3,0	3,9	3,5	1,5	2,0	1,5	30,0	29,0	36,5
Cobertura + NPK	2,3	3,6	3,6	1,5	2,3	1,8	26,8	23,8	34,3
Queima	1,2	1,4	1,6	0,3	0,3	0,2	15,5	10,2	14,5
Cobertura	0,5	1,7	0,8	0,0	0,2	0,2	12,7	13,5	14,0

\*VS-Vegetação Secundária

O efeito do preparo de área e da intensificação do cultivo não afetou a regeneração das espécies de capoeira (Tabela 4). A produção de biomassa aérea ficou na média das encontradas no nordeste paraense, para capoeira da mesma idade (Baar, 1997).

Tabela 4. Biomassa aérea seca da vegetação de pousio, antes do preparo de área (1994) e após os tratamentos aplicados (2001) e com 3 anos de pousio.

Preparo de área	Biomassa Aérea Seca, Mg ha <sup>-1</sup>			
	VS* 4 anos		VS* 10 anos	
	1994	2001	1994	2001
Queima + NPK	24	23,9	59	21,9
Cobertura + NPK		26,5		32,1
Queima		28,4		23,6
Cobertura		24,1		20,7

\*VS-Vegetação Secundária

O sistema sem queima foi testado para a cultura do maracujá, intercalado com cultivo de abóbora. A produção total de frutos de maracujá, obtida de duas safras em um ano, apresentou diferença significativa entre os tratamentos testados. A produção de maracujá foi maior nas parcelas com corte-e-trituração e no sistemas com queima, aração e gradagem (Figura 2). A intercalação reduziu a produção de frutos de maracujá, possivelmente devido à competição por água e nutrientes com a exigente cultura da abóbora.

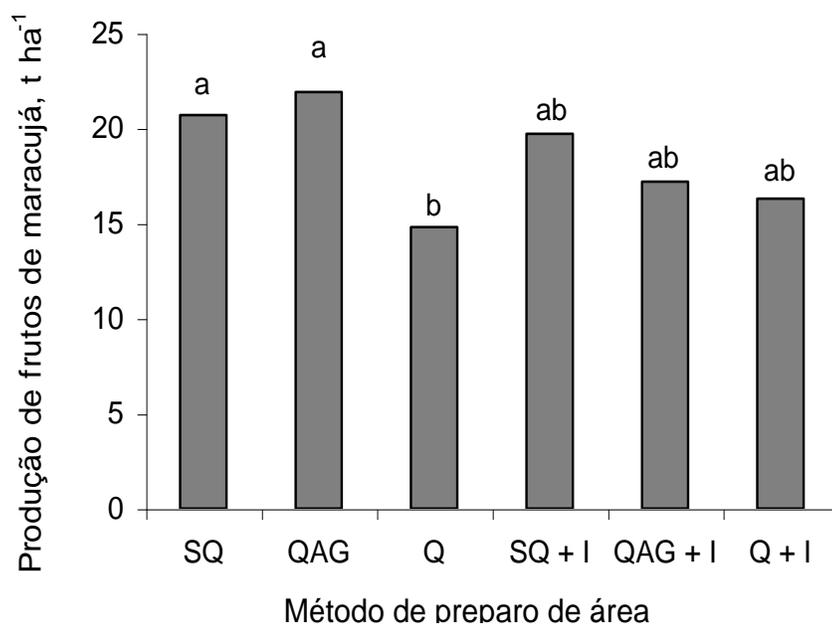


Figura 2: Produção de frutos de maracujá, t ha<sup>-1</sup>, em função do método de preparo de área. SQ – corte e trituração, QAG – queima aração e gradagem, Q – queima, I – cultivo intercalar com abóbora. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Igarapé Açu, 2001.

Em geral, no sistema de cultivo de derruba e queima, o último cultivo é a mandioca, sendo os cultivos mais exigentes realizados logo após o preparo de área e início das chuvas para aproveitar os nutrientes depositados pelas cinzas da queima da vegetação. Diferentemente das áreas queimadas, no sistema sem queima a fertilidade do solo não é aumentada logo após o preparo de área. Dessa forma, é recomendável uma adubação para compensar a baixa disponibilidade de nutrientes na fase inicial, conforme foi descrito no item sobre adubação. Na impossibilidade de adquirir fertilizante para aplicação nesta fase inicial, recomenda-se o plantio da mandioca na fase inicial, já que ela é menos exigente em nutrientes e, portanto, não apresenta queda de produtividade na fase inicial do sistema com corte-e-trituração. Depois da fase da mandioca, quando a decomposição da cobertura morta está mais avançada e, portanto, a disponibilidade de nutrientes no solo é maior, recomenda-se o plantio de culturas mais exigentes como arroz, milho ou caupi. De qualquer forma, é recomendável a aplicação de fósforo devido à baixa disponibilidade no solo e na biomassa da capoeira.

Na agricultura sem queima o preparo de área para o plantio pode ser feito em qualquer época do ano, tendo-se o cuidado de garantir a disponibilidade de umidade no solo suficiente para manter o cultivo agrícola a ser realizado. Dessa forma é possível deslocar a época de colheita dos cultivos,

evitando a concentração de produção quando o plantio é realizado com queima no preparo de área, e dessa forma podendo obter melhores preços do produto no mercado.

Se o preparo de área for mecanizado, é importante ter a preocupação de não trabalhar com máquinas quando o terreno estiver com excesso de umidade, pois pode causar compactação no solo. Na Figura 3 são apresentados os efeitos da época de preparo de área e plantio na produtividade de milho no nordeste paraense. Os dados mostram a possibilidade de boas produtividades de milho em cultivos fora da época tradicional (dezembro/janeiro) no nordeste do Estado do Pará.

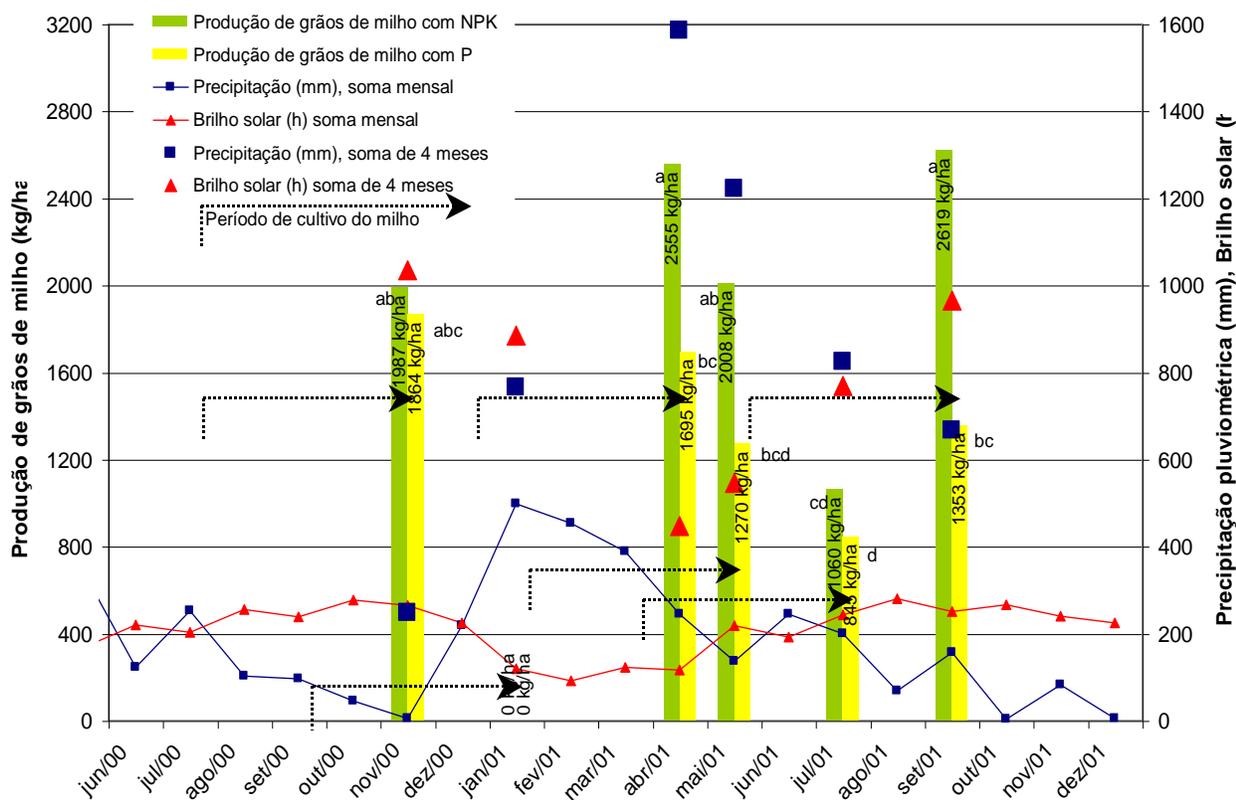


Figura 3: Produção de grãos de milho em função da época de preparo de área e plantio.

Como a fertilidade natural dos solos da Amazônia é baixa, a fonte de nutrientes no sistema de derruba e queima é oriunda da biomassa aérea da capoeira; durante a queima os nutrientes são disponibilizados nas cinzas da vegetação. No sistema de corte e trituração, a liberação dos nutrientes retidos na biomassa da capoeira depende da decomposição do material vegetal triturado. Como a biomassa triturada é formada de material lenhoso da vegetação, a relação C/N é alta, indicando uma decomposição relativamente mais lenta. Logo, na fase inicial após a trituração ocorre uma imobilização

de nutrientes devido ao início do processo de decomposição da material orgânico depositado sobre o solo na forma de cobertura morta (Cattanio 2002).

Como a fertilidade natural do solo é baixa e ainda ocorre imobilização de nutrientes na fase inicial, nos sistema sem queima é fundamental a adição de nutrientes através de aplicação de fertilizantes para neutralizar este efeito negativo inicial. Kato et al (1999) e Bunemann (1998) em seus estudos demonstraram que o fósforo é o elemento mais limitante, por apresentar baixos níveis no solo (abaixo de 1 ppm) e pequena quantidade na biomassa da capoeira (Denich 1991). Mesmo com a aplicação de pequenas quantidades de fertilizantes fosfatados, observa-se grande resposta na produção de grãos de milho (Figura 4).

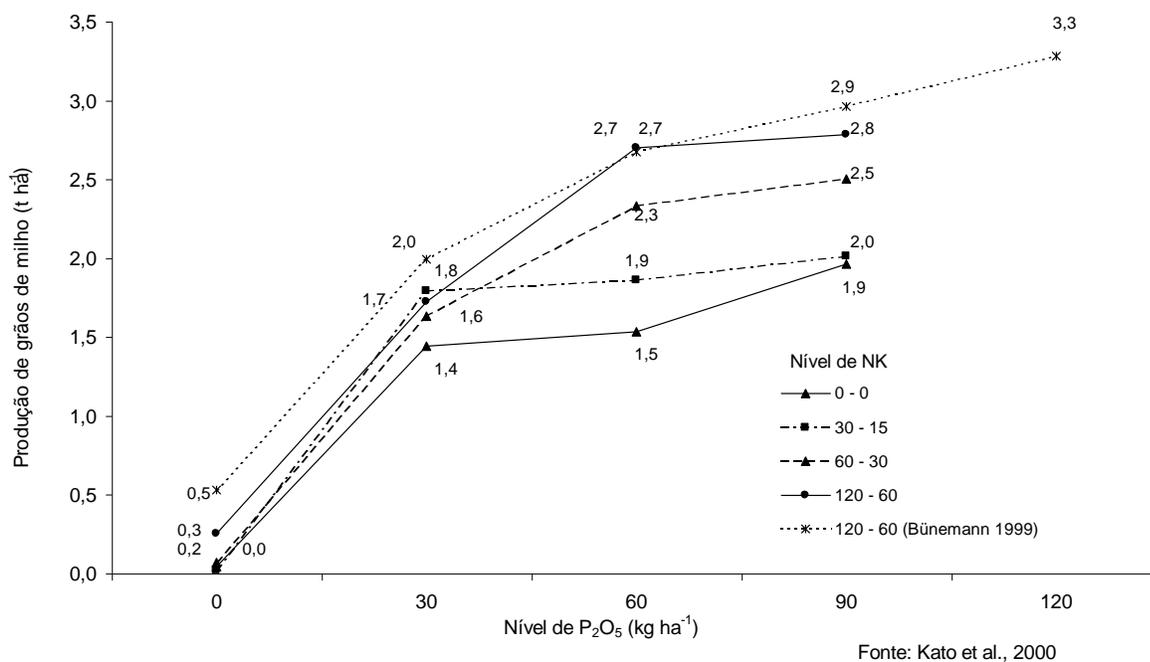


Figura 4 - Produção de grãos de milho em função da aplicação de níveis crescentes de fósforo em áreas preparadas com corte e trituração.

A incidência de plantas espontâneas no sistema de corte e trituração é menor devido à cobertura formada a partir do material triturado e depositado sobre o solo. Essa cobertura inibe a germinação de sementes, principalmente de ervas e gramíneas. Quanto maior a biomassa da capoeira, maior será o efeito na supressão das plantas espontâneas e vice-versa. As plantas espontâneas que surgem inicialmente nessas áreas são a rebrota das espécies da capoeira a partir dos tocos e raízes que permanecem intactos no solo.

## ALTERAÇÕES NO SOLO EM SISTEMA DE CORTE E TRITURAÇÃO

A formação da cobertura morta sobre o solo é um aspecto primordial que diferencia os sistemas de corte-e-trituração e corte-e-queima. A cobertura morta exerce reconhecidamente um papel importante sobre o funcionamento do solo (Sayer, 2006), o que deve refletir positivamente sobre a qualidade física, química e biológica do solo.

A ausência da queima e a formação da cobertura morta no sistema triturado devem refletir em aumento na concentração e no estoque de carbono (C) no solo. No entanto, após 2 ciclos de cultivo, não houve diferença significativa na concentração de C entre capoeiras (4 e 10 anos de idade), corte-e-queima e corte-e-trituração (Denich et al., 2004). Em outro estudo, realizado em um experimento de longa duração em Igarapé-Açu, Pará, também após 2 ciclos de cultivo, a concentração de C total foi significativamente mais alta em profundidades superficiais (0-5 e 5-10 cm) no sistema corte-e-trituração ( $C_{0-5} = 2,70\%$ ,  $C_{5-10} = 1,86\%$ ) do que no sistema corte-e-queima ( $C_{0-5} = 1,65\%$ ,  $C_{5-10} = 1,47\%$ ); nas camadas 10-20 e 20-30 cm não houve diferença significativa entre tratamentos (Sampaio, 2008). No mesmo estudo, o estoque de C na profundidade 0-30 cm foi maior no sistema corte-e-trituração ( $56,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) do que no sistema corte-e-queima ( $50,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) (Sampaio, 2008), sugerindo um potencial de armazenamento de C no solo no sistema sem queima.

O elevado aporte de biomassa no sistema de preparo de área com trituração pode ter efeitos negativos relacionados à emissão de gases de efeito estufa do solo. Por exemplo, o elevado aporte de C e de N e a manutenção de maior umidade do solo no sistema triturado podem gerar um cenário favorável para a metanogênese e a desnitrificação, estimulando a emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), respectivamente, a partir do solo (Davidson & Schimel, 1995). De fato, no sistema corte-e-trituração as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  e principalmente de  $\text{CH}_4$  são maiores do que no sistema corte-e-queima (Davidson et al., 2008). No entanto, no cálculo do balanço de equivalentes de  $\text{CO}_2$  dos ciclos de cultivo, que considera as emissões de  $\text{CO}_2$  na queima da vegetação (sistema de derruba-e-queima) e o consumo de combustível na trituração mecanizada, o sistema de trituração resultou em uma redução de no mínimo cinco vezes nas emissões de equivalentes de  $\text{CO}_2$  em comparação com a derruba-e-queima (Davidson et al., 2008).

O sistema corte-e-trituração favorece a manutenção da umidade do solo e impede flutuações extremas na temperatura do solo em relação ao sistema corte-e-queima. Dessa forma, status hídrico e temperatura adequadas podem favorecer a atividade de organismos no solo em áreas trituradas. De fato,

o sistema corte-e-trituração, em comparação com o sistema corte-e-queima e capoeiras de 20 e 40 anos, apresentou melhor equilíbrio na comunidade de invertebrados do solo e, dessa maneira, pode contribuir para a conservação da diversidade e a qualidade do solo (Rousseau & Carvalho, 2007).

Estudos sob a liderança da Embrapa Amazônia Orientam estão sendo conduzidos para avaliar o impacto da trituração e da queima em variáveis físicas, biológicas e bioquímicas do solo. Resultados preliminares (Carvalho et al. em preparação) sugerem que o funcionamento do solo no sistema corte-e-trituração se aproxima daquele observado em florestas secundárias, geralmente usadas como áreas de referência. Por exemplo, os estoques de carbono solúvel em água quente (Figura 5), que pode ser considerado como uma fração de carbono prontamente utilizável pela biota do solo, são semelhantes no sistemas corte-e-trituração e em uma floresta secundária de 21 anos, enquanto que o solo sob tratamento de queima não recuperou esses estoques mesmo após um pousio de 4 anos (Carvalho et al. em preparação). Desta maneira, a repetição do uso de queimadas tende a agravar a situação de falta de substrato para a biota do solo, possivelmente reduzindo a ciclagem de nutrientes.

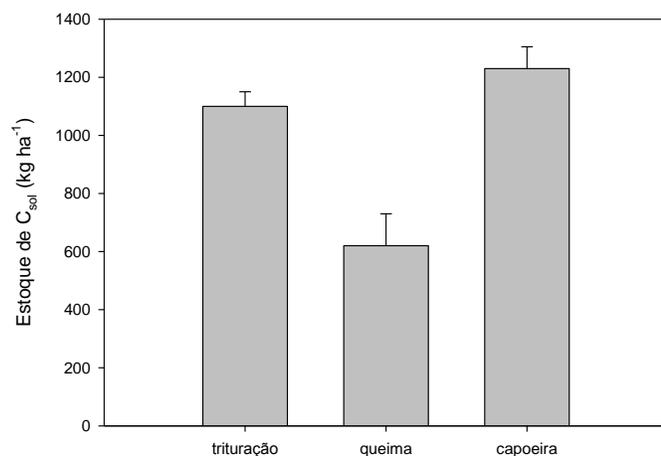


Figura 5. Estoque de carbono solúvel em água quente, na camada de 0-30 cm de profundidade do solo, em sistemas de corte-e-trituração, corte-e-queima e floresta secundária (capoeira), em Igarapé, Pará. Fonte: Carvalho et al. (em preparação)

## **PROCESSOS HIDROBIOGEOQUÍMICOS NO CONTEXTO DA AGRICULTURA SEM QUEIMA NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

### ***A Amazônia em Transformação e sua Relação com os Processos Hidrobiogeoquímicos***

A maioria das florestas tropicais são encontradas em solos altamente intemperizados e pobres em nutrientes, estando alocada na vegetação a maior parte da biomassa (300-400 Mg ha<sup>-1</sup>) e os grandes

estoques de elementos essenciais às plantas, como por exemplo N, P, K, Ca e Mg. Este fato indica que grandes quantidades de nutrientes podem se perder por volatilização e lixiviação da água do solo após desmatamentos ou queimadas, e que o estoque remanescente de nutrientes deve ser insuficiente para possibilitar o recrescimento da floresta e a produção agropecuária ou agroflorestal (Jordan e Herrera, 1981; Menzies e Gillman, 1997; Giardina et al., 2000).

Este quadro de degradação de solos é frequentemente encontrado em áreas de pastagens ou de produção agrícola na Amazônia, as quais, após os primeiros anos de uso, são abandonadas (Kanashiro e Denich, 1998; Uhl *et al.*, 1988), fatos estes que têm sido objeto de diversos estudos (Davidson *et al.*, 2000, Markewitz *et al.*, 2001), incluindo alguns relacionados às implicações nos ecossistemas aquáticos (Neill *et al.*, 2001). Fator preocupante é que no contexto amazônico a produção científica relacionada aos impactos ambientais da agricultura é ainda pequena.

A entrada nos ecossistemas de elementos químicos presentes nos insumos agrícolas requer avaliações detalhadas, sobretudo para melhor compreender a interferência das atividades agrícolas nos fluxos biogeoquímicos. Sendo assim, fazem-se necessários estudos que considerem a mitigação desses impactos através de práticas conservacionistas no setor rural produtivo, como por exemplo: a manutenção de florestas ripárias (matas ciliares); a implantação de sistemas agroflorestais multiestrato; o plantio direto; o manejo de capoeiras na fase de pousio; e o preparo de área para plantio por meio da prática do corte-e-trituração da vegetação como alternativa ao uso do fogo na agricultura.

Em escala regional, considerando-se aspectos hidrológicos, a retirada da floresta pode ocasionar um aumento do fluxo superficial, resultando em maiores cheias e redução das taxas de evapotranspiração, alterando assim os padrões de precipitação (Nobre *et al.*, 1991). Estas alterações nos regimes hidrológicos, causadas por interferências antrópicas sobre o uso da terra, podem ter grandes implicações ecológicas e biogeoquímicas. Resultados de estudos em escala local indicam que a conversão de floresta em pastagens, dependendo do uso do solo e de sua história, provoca a diminuição de evapotranspiração, o aumento da recarga de água subterrânea, a diminuição da capacidade de infiltração e da capacidade de armazenamento de água no solo na região superficial da zona de raízes, o aumento das descargas superficial e subterrânea, o aumento do escoamento rápido, e, como consequência, a alteração nos fluxos biogeoquímicos. (Hodnett *et al.*, 1996 a,b; Wright *et al.* 1996).

No aspecto hidrológico muitos estudos concentram-se em processos pontuais em nível de parcelas experimentais, e não em escala de bacias hidrográficas, enquanto outros visam entender apenas alguns aspectos do ciclo da água, ou realizar simples comparações entre fluxos de entrada via

precipitação e fluxos de saída via canais de drenagem de uma bacia. Entretanto, estudos em nível de bacias ou microbacias podem ser ainda mais úteis quando são avaliados os diferentes caminhos hidrológicos (precipitação pluviométrica, precipitação interna, evapotranspiração, escoamentos superficial e sub-superficial, água do solo, água subterrânea, e água fluvial) e as interações destes fluxos hídricos com os diversos compartimentos do ambiente (atmosfera, vegetação, solo, e rocha), assim como as alterações ambientais provocadas pelo uso da terra.

Outros estudos buscam a partir de observações de campo aplicar modelos hidrológicos baseados na hidrologia de processos (Dunne, 1983; Klemes, 1983), adequados para a escala de vertente. A compreensão de tais processos hidrológicos serve de base para modelos de fluxo de nutrientes aplicados a diferentes situações de uso da terra na agricultura. Desta maneira, a abordagem hidrológica é cruzada com as concentrações de nutrientes em cada um dos compartimentos hídricos mensurados – chuva, escoamento superficial, água do solo, água subterrânea, e dos rios e riachos presentes nas bacias estudadas – de maneira que os fluxos de nutrientes sejam estimados.

Diversos estudos, realizados principalmente em regiões de clima temperado, apontam para as interações hidrológicas que ocorrem entre superfície e sub-superfície dos cursos d'água, considerando que a água não flui unicamente pelo canal fluvial, mas também pelos interstícios dos sedimentos junto às margens e sob o canal, compartimento este conhecido como zona hiporréica ou ripária (Triska *et al.*, 1989; Jones e Holmes, 1996). Processos biogeoquímicos importantes ocorrem neste compartimento, determinando a importância das áreas alagáveis marginais aos cursos d'água nas modificações das concentrações de nutrientes medidas nesses sistemas.

Além disso, a água subterrânea aportada nos cursos d'água pode possuir uma composição química dominada pelas formas inorgânicas oriundas de horizontes mais profundos dos solos, retratando os processos de mineralização ocorridos no sistema rocha-solo (Rees *et al.*, 1989), ou ainda, pode refletir em sua composição os processos biogeoquímicos atuantes na zona hiporréica, que dependendo das propriedades físico-químicas e da microbiota presente neste ecótono, contribuem com maiores ou menores concentrações de compostos orgânicos e diferentes taxas de nitrificação-desnitrificação (Brunke & Gonzer, 1997). Por exemplo, maiores participações do aporte sub-superficial de nitratos proveniente de margens alagáveis, em consequência da remineralização do nitrogênio, poderiam ser favorecidos pela disponibilidade de oxigênio em períodos de menores precipitações pluviométricas, como observou Devol *et. al.* (1995) em estudo no Rio Amazonas.

Estes processos devem ser também contemplados nas estratégias de amostragem para investigações de processos atuantes na faixa marginal aos riachos amazônicos, os chamados igarapés. Nessas áreas marginais alagáveis, ao longo dos cursos d'água, devem-se avaliar as variações das concentrações de oxigênio dissolvido, reguladas pela demanda biológica, pelo fluxo intersticial e pelo tempo de residência da água (Brunkle e Gonser, 1997; Elsenbeer *et al.*, 1994; Ferrier *et al.*, 1990; Haycock & Burt, 1993); e verificar-se a capacidade da vegetação presente na área ripária, seja ela floresta, capoeira, cultivo agrícola ou pastagem, em atuar como barreira biogeoquímica para a entrada de nutrientes nos igarapés (Correl *et al.*, 1992; Fortescue, 1980; Triska *et al.*, 1993).

Por outro lado, a busca de alternativas sustentáveis à agricultura familiar, que utiliza o fogo no preparo de áreas de cultivo, tem levado a propostas de manejo da capoeira na Amazônia Oriental, entre as quais, destaca-se o preparo de área sem queima, via corte-e-trituração da biomassa da vegetação de pousio (a capoeira) e sua aplicação como cobertura morta (Vielhauer *et al.*, 2001).

Estudos desenvolvidos em áreas sob uso agrícola familiar, em sistema rotacional com base na capoeira, vêm evidenciando a importância das raízes desta vegetação, tanto na fase de pousio como na fase de cultivos de ciclo curto. A permanência dessas raízes no solo é responsável pela formação de verdadeiras redes protetoras (*safety net*), reduzindo a perda de nutrientes por lixiviação (Sommer, 2000; Sommer *et al.*, 2001). Além disso, avaliações preliminares em nível de microbacia hidrográfica apontam que esta situação repetida em nível de paisagem, associada à presença de vegetação ciliar ao longo de igarapés na Amazônia Oriental, evita o repasse maciço de nutrientes para os cursos de água (Wickel *et al.*, 2001; 2002). Desta maneira, diante da necessidade de realizarem-se avaliações hidrobiogeoquímicas em microbacias quando esta prática de manejo da capoeira é adotada, assim como aonde o uso do fogo ainda é comum, os primeiros estudos com esse enfoque começaram a ser realizados nos últimos anos (Wickel, 2004; Wickel *et al.*, 2007; Figueiredo, 2009).

### ***Estudos hidrobiogeoquímicos em bacias sob agricultura com preparo de área com e sem queima na Amazônia oriental***

Diversos estudos têm sido conduzidos pela Embrapa Amazônia Oriental visando gerar conhecimentos sobre como práticas conservacionistas, e.g. preparo de área sem queima e manutenção de matas ciliares, podem mitigar o impacto ambiental negativo das atividades agropecuárias na Amazônia, de maneira a subsidiar tecnicamente políticas públicas que viabilizem a adoção destas

práticas pelo agronegócio empresarial e por agricultores familiares. Estas pesquisas buscam também validar a tecnologia de preparo de área sem queima (corte-e-trituração da biomassa da capoeira) nas condições da agricultura familiar, analisando em escala de microbacia as alterações químicas ocorridas nos recursos hídricos e comparando-as com aquelas decorrentes da agricultura de derruba-e-queima. Tais estudos acabam por gerar perguntas e propostas de estudos complementares a fim de atender a demanda de políticas públicas que norteiem práticas agrícolas mitigadoras dos impactos indesejáveis de atividades agropecuárias nos recursos hídricos do bioma amazônico. Seus primeiros resultados são aqui apresentados.

Para avaliar os principais processos hidrológicos e as vias hídricas preferenciais, assim como para quantificar os fluxos de nutrientes e água em sistemas agrícolas de produção familiar na região do nordeste paraense, Wickel (2004) realizou estudos em nível de microbacias. O balanço de água e o comportamento hidrológico da área triturada assemelharam-se a uma área de capoeira de 4 anos e meio. O estudo apontou também para uma lixiviação de nutrientes elevada em cultivos de espécies semi-perenes, como a pimenta-do-reino e o maracujá, cultivos estes que ao longo do tempo afetam substancialmente o sistema radicular das espécies da capoeira.

Wickel et al. (2007), por sua vez, estudando a bacia do Igarapé Cumaru, afluente do Rio Maracanã, no Pará, destacaram o papel fundamental exercido pela vegetação ripária na determinação das taxas de escoamento superficial e subsuperficial, que regulam a magnitude das vazões dos igarapés estudados na região, enquanto que a água da chuva nas áreas fora da zona ripária preferencialmente evapotranspira ou infiltra no solo. No entanto, quanto à composição química das águas fluviais, Wickel (2004) observou que, dado o desmatamento em zonas ripárias de terras agrícolas submetidas ao uso do fogo, ocorreram entradas adicionais significativas de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) num pequeno igarapé da microbacia experimental WS2 (Tabela 5). As razões das concentrações da água dos igarapés em condições de fluxo de base e da água de chuva (Ch), apresentadas na Tabela 5 propiciam um bom indicador de como a composição da água é alterada pelo ecossistema terrestre. Em decorrência de tais alterações nos aportes de nutrientes dos sistemas terrestres para os igarapés, são esperadas mudanças nas características físico-químicas do ecossistema aquático e conseqüente interferência em seu funcionamento.

Tabela 5. Concentrações médias de nutrientes em água ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de chuva e de dois pequenos igarapés em condições de fluxos de base e a razão entre as concentrações na chuva (Cc) e nos igarapés. (WS1 = microbacia com 25,5 ha, incluindo área de 4,1 ha sob sistema de corte e trituração; WS2 = microbacia com 28,6 ha, incluindo área de 3,5 ha sob sistema de derruba e queima).

	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$
<b>Chuva</b>								
<b>Média</b>	0,61	0,17	0,12	0,06	0,17	0,04	0,01	1,05
<b>WS 1</b>								
<b>Média</b>	1,45	0,09	0,16	0,20	0,41	0,03	0,02	2,63
<b>WS1/Ch</b>	2,37	0,56	1,31	3,34	2,32	0,75	1,74	2,51
<b>WS 2</b>								
<b>Média</b>	1,40	0,20	0,61	0,29	0,81	0,02	0,04	2,58
<b>WS2/Ch</b>	2,30	1,21	4,99	4,83	4,65	0,57	4,47	2,46

Fonte: Wickel, 2004.

Silva & Figueiredo (2006) e Silva et al. (2005) avaliaram o papel do escoamento superficial como contribuinte de solutos para as águas dos igarapés que drenam a mesma bacia do Cumaru. Nesse experimento o pH na água de escoamento foi maior nas áreas com preparo de área por meio da derruba-e-queima, quando comparada com as áreas onde foi realizado corte-e-trituração e com as capoeiras. Trata-se de uma resposta a presença de cinzas (ricas em Ca, K e Mg) tamponando o pH ácido das águas de chuva que escorrem na superfície do solo. No mesmo estudo foi também observado uma maior condutividade elétrica no escoamento superficial em áreas submetidas a queima, sugerindo maiores perdas de nutrientes do solo e/ou elevadas taxas de entrada de nutrientes nos igarapés quando comparada com o escoamento em áreas preparadas sem uso do fogo.

Figueiredo (2009) destaca que nesse mesmo experimento os nutrientes dissolvidos (cátions e ânions) presentes nas águas de escoamento, quando comparadas áreas submetidas à queima com áreas sem uso de fogo, observou-se que a derruba-e-queima promove nas águas de escoamento maiores concentrações dos seguintes íons: cálcio, potássio, magnésio, sódio, sulfato e cloreto. O mesmo autor também destaca que após a capoeira ser derrubada e queimada esta liberou inicialmente uma quantidade maior de carbono orgânico dissolvido (COD) na água de escoamento superficial, durante o início da estação chuvosa, provocando maiores perdas de carbono do solo e conseqüentemente maiores entradas do elemento no ecossistema aquático, que é umas das principais frações de matéria orgânica utilizada como fonte de energia nestes ambientes. No entanto, as perdas de COD pelo escoamento tenderam a diminuir após o primeiro mês de chuvas.

Nessa bacia do Cumaru, onde predomina a agricultura de derruba-e-queima, Costa et al. (2006) encontraram maiores concentrações carbono orgânico dissolvido (COD) no igarapé durante o período chuvoso. Nesse mesmo estudo constatou-se que solos arenosos como os dessa bacia apresentaram maiores concentrações de COD nas águas do igarapé, quando comparada com igarapés de bacias em solos argilosos na Amazônia Oriental. Este fato possivelmente está relacionado às maiores taxas de lixiviação em solos arenosos e a ocorrência de queimadas para preparo de área para cultivos agrícolas e formação de pastagens.

Também no mesmo Igarapé Cumaru e em outro igarapé de bacia vizinha, o Igarapé São João, Pinheiro et al. (2007) apontaram que aportes importantes de cátions para as águas desses dois igarapés parecem derivar principalmente do escoamento superficial e sub-superficial das áreas de agricultura de corte-e-queima. No entanto, o baixo pH nas águas fluviais indica que a entrada de cátions não chega a tamponar esta acidez como esperado, provavelmente devido à presença de ácidos orgânicos dos solos ácidos da vegetação ripária. As medidas de COD realizadas por Rosa et al. (2007), que revelaram maiores concentrações nos trechos de igarapés mais a jusante comparando-se com trechos próximos às nascentes, cujas áreas drenadas possuem maior cobertura percentual de vegetação florestal densa, parecem indicar que grandes áreas cobertas por capoeiras, que correspondem a áreas de pousio, devem ser fontes importantes de compostos orgânicos.

Por fim, estudos mais recentes desenvolvidos na Embrapa Amazônia Oriental, e ainda em andamento, revelam que é notável como uma pastagem preparada com uso de fogo, após um ano, já não possui o mesmo potencial para enriquecer com nutrientes as águas de escoamento. Tal fato, denota a degradação dos solos por conta da composição química do escoamento superficial.

## **ASPECTOS PROMISSORES DA AGRICULTURA SEM QUEIMA**

.Os principais aspectos promissores da tecnologia de corte e trituração são:

- Intensificação do sistema de uso da terra, por permitir dois cultivos consecutivos com um preparo de área;
- Flexibilização do calendário agrícola, por ser possível o preparo de área e plantio fora da época tradicional;
- Redução da mão de obra com controle de plantas espontâneas devido à redução de incidência de ervas e gramíneas pela cobertura morta do solo;
- Melhor balanço de nutrientes no sistema devido à redução de perdas de nutrientes do sistema;

- Redução do esforço físico do homem quando tratar-se de preparo de área para plantio mecanizado;
- Melhor conservação de água no solo;
- Melhor conservação da biodiversidade;
- Redução de perdas de nutrientes pela queima;
- Redução da emissão de gases de efeito estufa para atmosfera;
- Redução de incêndios acidentais;
- Oferta de serviços ambientais;

## **CONCLUSÃO**

A agricultura sem queima com base no manejo da capoeira constitui-se em uma alternativa para agricultura de derruba e queima, com possibilidades de recuperação de sua sustentabilidade prejudicada pela perda/redução de nutrientes no sistema devido às perdas pelo fogo e pela diminuição do período de pousio. Em seu conjunto, os resultados obtidos até o momento apontam para uma promissora possibilidade de mudança substancial no sistema de produção da agricultura familiar, em especial da região alvo do estudo, permitindo uma agricultura sem o uso do fogo com base no manejo da capoeira, e garantindo uma maior produção de biomassa e bioelementos, e um período de tempo compatível com a pressão pelo uso da terra atual, ao mesmo tempo em que pode oferecer agregação complementar de valor, no caso de espécies arbóreas que podem ser também utilizadas parcialmente para outros fins, como por exemplo, fonte de energia, no momento em que este aspecto começa a se tornar um ponto de demanda, caracterizado pelo desaparecimento das fontes de lenha e carvão e pela subida nos preços de derivados do petróleo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALEGRE, J.; ARÉVOLO, L.; GUZMÁN, W.; RAO, M. Barbechos mejorados para intensificar el uso de la tierra en los trópicos húmedos de Perú. *Agroforestería em las Américas*, 7:7-12. 2000.
- ALTIERI, M. A. *Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável*. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.110p.
- ALTIERI, M. A. *Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93:1-24. 2002.

- ALTIERI, M.A . Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba, Editora Agropecuária, 2002 a . 592p.
- AMADO, T C.; ELTZ, F. L. F. Plantio direto na palha Rumo à sustentabilidade agrícola nos trópicos. *Ciência & Ambiente* 27:49-66, 2003.
- ANDRADE, AG.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Decomposição da serrapilheira em povoamentos de mimosa caesalpinifolia, Acacia mangium e Acacia holosericea com quatro anos de idade em planossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:777-785.2000.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y. E. The Incidence of Fire in Amazonian Forests with Implications for REDD. *Science*, 328:1275-1278. 2010.
- BAAR, R. Vegetationskundliche und -ökologische Untersuchungen der Buschbrache in der Feldumlagewirtschaft im ostlichen Amazonasgebiet. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen* 121, 202p. 1997.
- BITTENCOUT, P.S.; VEIGA, J.B.; RISCHKOSKY, B.; VIELHAUER, K. Effect of slash-and-mulch on productivity of grass-legume pastures in northeastern Para, Brazil. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT; 2001, Bonn. Deutscher Tropentag ... Bonn: Universidade de Bonn, 2001. CD-ROM.
- BRIENZA JÚNIOR, S.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Enriquecimento de barbechos com leguminosas arbóreas como alternativa para la tumba y quema en la Amazonía Oriental Brasilenã. *Agroforesteria en las Américas*, v.8, p.16-19, 2001.
- BRIENZA, JÚNIOR., S. Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous tress in the Eastern Amazon of Brazil. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*, 134, 1999. 133p. Tese de Doutorado.
- BRUNKE, M., GONSER, T. The Ecological Significance of Exchange Processes Between Rivers and Groundwater. *Freshwater Biology*, 37:1-33, 1997.
- BUNEMANN, E. Einfluß von Mulch und mineralischem Dünger auf Zea mays und Vigna unguiculata in der Feldumlagewirtschaft Ostamazoniens. Diplomarbeit. Georg-August – Univeeersität Göttingem. 1998.
- CAMARÃO, AP.; RODRIGUES FILHO, J. A .; RISCHKOWSKY, B.; MENDONÇA, C.L.G.; HOHNWALD, S. Disponibilidade de forragem, composição botânica e qualidade da pastagem de

capim quicuío-da-amazônia (*Brachiaria humidicola*) sob três condições. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. Anais... Recife. CD-ROM.

CATIE/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Mangium, **Acacia mangium** Will: especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1992. 58p.(Serie técnica. Informe Técnico, 196)

CATTANIO, J.H. Soil N mineralization dynamics as affected by pure and mixed application of leavy material from leguminous trees used in planted fallow in Brazil. Georg-August-Universität, Göttingen. Fakultät für Agrarwissenschaften. 2002. Dissertation. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2002/cattanio/index.html>.

CORREL, D.L., JORDAN, T.E., WELLER, D.E. Nutrient Flux in Landscape: Effects of Coastal Land Use and Terrestrial Community Mosaic on Nutrient Transport to Coastal Waters. *Estuaries*, 15:431-442, 1992.

COSTA, F DE A . Formação agropecuária da Amazônia: os desafios do desenvolvimento sustentável. Belém: UFPA. NAEA,2000. 355p.

COSTA, F.F., R.O. FIGUEIREDO, D. MARKEWITZ, E.A. DAVIDSON. Dissolved organic and inorganic carbon in small streams in Eastern Amazonia. In: Book of Abstracts of the 10th LBA-ECO Science Team Meeting, Brasília, pp. 47-47, 2006.

COSTA, R.G.C. Queimadas, mudanças ecológicas e transformações nas atividades agroextrativistas da fronteira agrícola amazônica: o ponto dos pequenos produtores de duas localidades na região de Paragominas- PA. Belém: Centro Agropecuário/UFPA.2002. 148p. (Dissertação de Mestrado).

DAVIDSON, E. A. & SCHIMMEL, D. S. Microbial processes of production and consumption of nitric oxide, nitrous oxide and methane. In: MATSON, P.A. & HARRISS, R.C., eds. Biogenic trace gases: measuring emissions from soil and water. Oxford, Blackwell Science, 1995. p. 327-357.

DAVIDSON, E.A.; SÁ, T.D.D.A.; CARVALHO, C.J.R.; FIGUEIREDO. R.D.O.; KATO. M.D.S.A.; KATO, O.R.; ISHIDA, F.Y. An integrated greenhouse gas assessment of an alternative to slash-and-burn agriculture in eastern Amazonia. *Global Change Biol.*, 14: 1-10, 2008.

DAVIDSON, E.A., VERCHOT, L.V., CATTÂNIO, J.H., ACKERMAN, I.L., CARVALHO, J.E.M. Effects of soil water content on soil respiration in forest and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, 48:53-69, 2000.

- DENICH, M. Estudo da importância de uma vegetação secundária nova para o incremento da produtividade do sistema de produção na Amazônia Oriental Brasileira. EMBRAPA/CPATU and GTZ: Eschborn, 1991. 248p.
- DENICH, M.; KANASHIRO, M.; VLEK, P.L.G The potential and dynamics of carbon sequestration in traditional and modified fallow systems of the Eastern Amazon region, Brazil. In: Lal, R.; Kimble, J. M.; Stewart, B.A . Boca Raton, C.R.C., eds. Global climate change and tropical ecosystems, 1999, p.213-229.
- DENICH, M.; VIELHAUER, K.; HEDDEN-DUNKHORST, B. New technologies to replace slash and burn in the Eastern Amazon. ZEF news, 8, Feb.2002a. p.8.
- DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M.S. DE A.; BLOCK., A.; KATO, O.R.; SÁ, T.D. DE A.; LÜCKE, W. & VLEK, P.L.G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: The experience from Eastern Amazonia. Agroforest Syst., 61: 91–106, 2004.
- DENICH, M.; VLEK, P.L.G.; Sá, T.D de A .; VIELHAUER, W. A research concept for the development of alternatives to slash-and-burn agriculture in the Eastern Amazon Region. In: LIBEREI, R.; Bianchi, H-K.; BOEHM, V.; REISDORFF, C., eds NEOTROPICAL ECOSYSTEMS-PROCEEDINGS OF THE GERMAN-BRAZILIAN WORKSHOP, 2000. Hamburg, 2002. p.689-696.
- DE-POLLI, HELVÉCIO; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa Microbiana do Solo. In: SANTOS, G A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre-RS. 1999. p.389-411.
- DEVOL, A.H., FORSBERG, B.R., RICHEY, J.E., PIMENTEL, T.P. Seasonal Variations in Chemical Distributions in the Amazon (Solimões) River: a multiyear series. Global Biogeochemical Cycles, 9:307-328, 1995.
- DUNNE, T. Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff. Journal of Hydrology, 65:25-48, 1983.
- ELSENBEER, H., WEST, A., BONNEL, M. Hydrologic Pathways and Stormflow Hydrochemistry at South Creek, Northeast Queensland. Journal of Hydrology, 162:1-21, 1994.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, LM.; ALVARENGA, RC.; NEVES. J,C.L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. R. Bras. Ci. Solo, 24:171-177.2000.

- FERRIER, F.C., WALKER, T.A.B., HARRIMEN, R. MILLER, J.D., ANDERSON, H.A. Hydrological and Hydrochemical Fluxes Through Vegetation and Soil in the Alt A'Mharcaidh, Western Cairngorms, Scotland: their effect on streamwater quality. *Journal of Hydrology*, 16:251-266, 1990.
- FIGUEIREDO, R.O. Processos hidrológicos e biogeoquímicos em bacias hidrográficas sob usos agrícola e agroflorestal na Amazônia Brasileira *In: Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação* ed. Brasília : Embrapa Informação Tecnológica, 2009, p.477-500.
- FORTESCUE, J.A.C. *Environmental Geochemistry: a holistic approach*. New York: Springer-Verlag, 1980. 347p. (Ecological Studies, v.35)
- FOSKET, D.E *Plant growth and development: a molecular approach*. San Diego: Academic Press, 1994. 579 p.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. da Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS. G. A. & CAMARGO, F.A. O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.227-244.
- GIARDINA, C.P., SANFORD Jr., R.L., DOCKERSMITH, I.C., JARAMILLO, V.J., The effects of Slash Burning on Ecosystem Nutrients During the Land Preparation Phase of Shifting Cultivation. *Plant and Soil*, 220:247-260, 2000.
- GLISSMAN, S.R. *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável*. Porto Alegre: Editora da Universidade- UFRGS, 2000
- HAYCOCK, N.E., BURT, T.P. Role of Floodplain Sediments in Reducing the Nitrate Concentration of Subsurface Runoff: a case study in the cotswolds, UK. *Hydrological Processes*, 7:287-295, 1993.
- HEDDEN-DUNKHORST, B.; DENICH, M.; VIELHAUER, K.; MENDOZA-ESCALANTE, A.; BÖRNER, J.; SOUSA FILHO, F.R. de Sá, T.D. de A .; COSTA, F. de A . Forest-based fallow systems: a safety net for smallholders in the Eastern Amazon?, In: *Conference Rural Livelihoods, Forests, and Biodiversity*, CIFOR, Bonn. 2003. CD-ROM.
- HODNETT, M.G., J. TOMASELLA, A.O. MARQUES FILHO, E M.D. Deep soil water uptake by forest and pasture in central Amazonia: predictions from long-term daily rainfall using a simple water balance model. *In: GASH, J., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M., AND VICTORIA, R.L., Eds. Amazonian Deforestation and Climate*. Chichester: John Wiley & Sons, 1996b. p.79-99.

HÖLSCHER, D.; SÁ, T.D. de A .; BASTOS, T.X.; DENICH, M.; FÖLSTER, H. Evaporation from young secondary vegetation in Eastern Amazônia . *Journal of Hydrology*, 193:293-305. 1997 b.

HÖLSCHER,D.; MÖLLER, M.R.F.; DENICH, M. e FÖLSTER, H. Nutrient input-output budget of shifting agriculture in Eastern Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 47:49-57, 1997a .

JOHNSON, C.M.; VIEIRA, I.C.G.; ZARIN, D.J.; FRIZANO, J.; JOHNSON, A. H. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in Eastern Amazônia. *Forest Ecology and Management*, 147:245-252. 2002.

JUO, A . S. R.; MANU, A. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 58:49-60. 1996.

KANASHIRO,M.; DENICH, M. Possibilidades de utilização e manejo adequado de áreas alteradas e abandonadas na Amazônia brasileira. Brasília, MCT/CNPq,1998, p.157.

KATO, M.S.A .; KATO, O .R.; DENICH, M.; VLEK, P.LG. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern amazon region: The role of fertilizers. *Field Crops Research*, 62:225-237. 1999

KATO, O . R.; KATO,M.S.A .; SILVA, W.R.; CORDEIRO, C.J.; VIELHAUER, K. Passion fruit under slash-and-mulch land preparation- a sustainable crop? In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT; 2001, Bonn. Deutscher Tropentag... Bonn: Universidade de Bonn, 2001. p.73.

KLEMES, V. Conceptualisation and scale in hydrology. *Journal of Hydrology*, 65:1-23,1983.

KLUTHCOUSKI, J. Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas do milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 179p. (Tese de Doutorado).

LEAL, E.C. Potencial de regeneração da capoeira após preparo de área com queima e sem queima na região Bragantina. Belém: UFPA-Centro Agropecuário/Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 122p. (Dissertação de Mestrado).

LIMA, D. M. A .; WILKINSON, J.; FARIAS, R. M. S.; MEDEIROS, S.A. F. Iniciativas do CNPq em CT&I para apoio à agricultura familiar e a assentamentos de reforma agrária. In: LIMA, D.M.A .;

- WILKINSON, J. (org.). Inovação nas tradições da agricultura familiar. Brasília: CNPq/Paralelo 15, 2002. p.13-20.
- MARKEWITZ, D., DAVIDSON, E.A., FIGUEIREDO, R.O., VICTORIA, R.L., KRUSCHE, A.V. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. *Nature*, 410:802-805, 2001.
- MARTINS, P.F.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; ANDREUX, F. Consequência do cultivo e do pousio sobre a matéria orgânica do solo sob floresta natural na Amazônia Oriental. *Acta Amazônica*, 20:9-28. 1990
- MENZIES, N.W, GILLMAN, G.P. Chemical characterization of soils of a tropical humid forest zone: A methodology. *Soil Sci. Am. J.* 61:1355-1363, 1997.
- MORAN, E.F. A ecologia humana das populações da Amazônia. Petrópolis: Vozes, 1990. 368p.
- NEPSTAD, D.C.; MOREIRA, A.G.; ALENCAR, A. A. A. Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to amazonian fire. *The Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest*, Brasília, 1999.
- OLIVEIRA, A.E. Ocupação humana na Amazônia. In: SALATI, E. *Amazônia: interação, desenvolvimento e ecologia*. Brasília: CNPq, 1992. p.144-327.
- PALM, C.; TOMICH, T.; VAN NOORDWIJK, M.; VOSTI, S.; GOCKOWSKI, J.; ALEGRE, J; VERCHOT, L. Mitigating CHC emissions in the humid tropics: case studies from the alternatives to slash-and-burn program (ASB). *Environment Development and Sustainability*, 6:145-162. 2004.
- PAVAN, M. A.; CHAVES, J.C.D. IAPAR. A importância da matéria orgânica nos sistemas agrícolas. Londrina, IAPAR, 1998. (Circular Técnica, 98). 36p.
- ROUSSEAU, G.X. & CARVALHO, C.J. . . Soil macrofauna communities in slash-and-burn and chop-and-mulch agricultural systems in Brazil eastern Amazônia.. In: 59a Reunião Anual da SBPC Amazônia: Desafio Nacional, Belém, 2007. Livro de Resumos. Belém, Universidade Federal do Pará, 2007. v. C.5.1.

- SÁ, T. D. DE A. Aspectos biofísicos e bioquímicos de vegetações secundárias na Amazônia Oriental e serviços ambientais associados. In: 54º CONGRESSO BRASILEIRO DE BOTÂNICA, 2003, Belém, SBB, 2003. p.150-152.
- SAMPAIO, I.C.G. Biogeoquímica do carbono em solos de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira 2008
- SAYER, E. J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biol. Rev.*, 81:1–31, 2006.
- SILVA, A. K.; FREITAS, J.F.B.; SÁ, T.D.A . Análise do padrão de comportamento da temperatura e da umidade do solo em sistemas tradicionais e alternativos de agricultura familiar no nordeste do Pará. In: XII Seminário de Iniciação Científica da FCAP e VI Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Oriental. Belém, 2003. Resumos... 2002a. CD-ROM.
- SILVA, F.K.; COIMBRA, H.M.; SILVA, A .K.; SÁ, T. D. de A .; KATO, M do S. A . Variações de umidade e temperatura do solo na produtividade de maracujá (*Passiflora edulis*), sob diferentes métodos de preparo do solo, no Nordeste Paraense. In: XI Seminário de Iniciação Científica da FCAP e V Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Oriental. Belém, 2001. Resumos... p.347, 2002.
- SMITH, J.; FERREIRA, S.; VAN de KOP, P.; FERREIRA, C.P.; SABOGAL, C. The persistence of secondary forests on colonist farms in the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 58:125-135, 2003.
- SOMMER, R. Water and nutrient balance in deep soils under shifting cultivation with and without burning in the Eastern Amazon. Göttingen, Cuvillier, 2000, 240p. (Tese de Doutorado)
- SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region, Brazil. *Plant and Soil*, 219:231-241, 2001.
- SOMMER, R.; FÖLSTER, H.; VIELHAUER, K.; CARVALHO, E.J.M. de; VLEK, P.L.G. Deep soil water dynamics and depletion by secondary vegetation in the Eastern Amazon. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 67:1672-1686. 2003.
- SOUZA, F.A .; SILVA, E.M.R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J.O., eds. *Avanços em fecundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras, UFLA, 1996. p. 255-290.

- STEVENS, A. D. Influência da agricultura itinerante na regeneração da vegetação de pousio no leste as Amazônia. Eschbrn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 1999, 59p.
- TIPPMANN, R. Assessment of Carbon Sequestration in Landscape under the Clean Development Mechanism of the Kyoto Protocol. Diploma Thesis, ZEF Bonn/ Department of Geography, University of Bonn, Germany. 2000.
- TOURRAND, J.F.; VEIGA J.B.; SIMÃO-NETO M.; VALE, W.G.; FERREIRA L.A .; LUDOVINO R.R.; MARES GUIA A . P.O Animal husbandry in agricultural fronties of brasilian amazon: sustainable system or ecologic desaster. *Animal Research and Development*, 43/44:80-91. 1996.
- TRISKA, F.J., KENNEDY, V.C., AVANZINO, R.J., ZELLWEGER, G.W., BENCALA, K.E. Retention and Transport of Nutrients in a Third-Order Stream in Northwestern California: Hyporheic Processes. *Ecology*, 70:1893-1905, 1989.
- UHL, C., BUSCHBACHER, R., SERRÃO, E.A.S. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*, 76:663-681, 1988.
- VIELHAUER, K., DENICH, M.; SÁ, T.D.A., KATO, O.R., KATO, M.S.A., BRIENZA JR., S., VLEK,P.L.G. Land-use in a mulch-based farming system of small holders in the Eastern Amazon. In: THE DEUTSCHER TROPENTAG (CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT) "One World: Research for a better quality of life", Bonn. Proceedings... Bonn, p. 1-9, 2001.
- WARDLE, D.A . Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forst and scrubland ecosystem. *Funct. Ecol.*, 7:346-355, 1993.
- WICK, B. Microbiological indicators for quality of soils at various stages of degradation in the forest-savana-transition zone, south-western Nigeria. Goerg-August-University Goetting, 1997. PhD. Thesis.
- WICKEL, A .J.; VAN DE GIESEN, N.C.; SÁ,T.; VLEK, P.L.G.; VIELHAUER, K.; DENICH, M. Water and nutrien dynamics at various spatial scales of a tropical agricultural watershed in Eastern Amazon, Brasil: first results. American Geophysical Union, Spring Meeting, 2002.