

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**

EFEITO ESTUFA NA AMAZÔNIA : ESTIMATIVA DA BIOMASSA E A
QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE E LIBERAÇÃO DE CARBONO NA QUEIMA
DE PASTAGENS CONVERTIDAS DE FLORESTAS TROPICAIS EM RORAIMA,
BRASIL.

Reinaldo Imbrozio Barbosa

Dissertação apresentada à Coordenação
do Programa de Pós-graduação em
Biologia Tropical e Recursos Naturais
do Convênio INPA/UFAM, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Ciências Biológicas na área de
concentração ECOLOGIA.

Orientador: Dr. Philip Martin Fearnside

Manaus - AM

1994

FICHA BIBLIOGRÁFICA

BARBOSA, Reinaldo Imbrozio

Efeito Estufa na Amazônia : Estimativa da Biomassa e a Quantificação do Estoque e Liberação de Carbono na Queima de Pastagens Convertidas de Florestas Tropicais em Roraima, Brasil. Manaus, INPA/UFAM, 1994.

xii + 85p.

Dissertação de Mestrado

Palavras-chave: Carbono, Efeito Estufa, Amazônia, Queima de Pastagens, Roraima.

Key words : Carbon, Greenhouse Effect, Amazônia, Pastures Burning, Roraima.

Sinopse

Foi estudado o estoque e a dinâmica de liberação de carbono pela queima de pastagens convertidas de floresta tropical em Roraima, na Amazônia Brasileira. Para tanto, foram medidos a biomassa total acima do solo, a eficiência de combustão, a formação de carvão e, o conteúdo de carbono na vegetação e no solo antes e depois da queimada. Foram também testados dois métodos de medição de biomassa (destrutivo e volumétrico).

O TESTE FINAL DE UMA TEORIA, É A SUA CAPACIDADE DE
RESOLVER OS PROBLEMAS QUE A ORIGINARAM.

George B. Dantzig - 1963

É MELHOR ESTAR APROXIMADAMENTE CERTO DO QUE ESTAR
PRECISAMENTE ERRADO.

Philip M. Fearnside - 1991

Para

Emerson e Adelia,

Marcelo, Rafael e Cícera.

AGRADECIMENTOS

Dr. Philip Martin Fearnside confiou, incentivou e me deu a oportunidade de participar como seu aluno de mestrado dentro do projeto "Estimativa de Capacidade de Suporte Humano em Agroecossistemas Amazônicos" (FBB nº 10/1615-2) e, pelo "Pew Scholars Program in Conservation and the Environment", fontes financiadoras deste estudo. Por isso e pelas valiosas críticas ao trabalho, um sincero obrigado.

Celso Morato de Carvalho, companheiro do núcleo de Roraima, apostou desde o início em um bom desenvolvimento de meu trabalho. Valeu Celsão.

Paulo Maurício, velho amigo de universidade e INPA, deu algumas boas sugestões e incentivos em nossas conversas informais.

José Nagib, colega do núcleo de Roraima, Écio Lucas (Magrão) e Geovani (Vavá), pela indispensável ajuda no trabalho de campo.

O INPA, através do Programa de Desenvolvimento e Intercâmbio de Recursos Humanos (PDIRH), me forneceu uma bolsa de estudos.

Ao pessoal do Laboratório de Química do Solo do CENA/USP (Dr. Carlos Cerri, Mariza, Brigitte, Mara, Sandra, seu Darci e Roberto) pelo uso das instalações e pela força na estada em Piracicaba. Dr. Takashi Muraoka do Laboratório de Fertilidade do Solo, também do CENA, proporcionou as análises químicas de solo nas suas dependências. A todos, um muito obrigado.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro

de Pesquisa Agroflorestal de Roraima (EMBRAPA-CPAF/RR), pelo apoio e permissão de uso de seus equipamentos na fase de preparação das amostras.

A Vincenzo e Armandina Di Manso e, ao Cícero (amigo Cição), pela possibilidade que me deram de utilização de suas propriedades para o desenvolvimento do trabalho.

Aos demais amigos da colônia do Apiaú, em especial a Valtenir, Antônio Silva e Folhinha, pela força no trabalho de campo e na estadia da vila.

Minha companheira (Cícera), meus filhos e pais, mesmo nos momentos difíceis, souberam administrar minha ausência e compreender.

Finalmente, ao resto da rapaziada que deu uma força, mesmo que nas breves conversas de corredor ou entre os goles de algumas cervejas, um forte abraço.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	ix
SUMMARY	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Sítio de Estudo	8
2.2. Escolha das Áreas de Montagem do Experimento ..	10
2.2.1. Descrição e Histórico das Áreas	11
2.3. Métodos de Medição	12
2.3.1. Método Destrutivo (Direto)	13
2.3.2. Método Volumétrico (Indireto)	18
2.4. Amostras de Solo	20
2.5. Preparação e Análise das Amostras	21
2.5.1. Biomassa Vegetal	21
2.5.2. Solo	22
3. TRATAMENTO DOS DADOS	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Biomassa, Eficiência de Combustão e Formação de	
Carvão	24
4.1.1. Resultados	24
4.1.1.1. Método Destrutivo	24
4.1.1.2. Método Volumétrico	26
4.1.1.3. Estimativa da Biomassa Total	27
4.1.2. Discussão	29

4.1.2.1. Perda da Massa Original	36
4.1.2.2. Estimativa da Taxa de Desaparecimento da Biomassa dos Resíduos Florestais em Pastagens	40
4.1.2.3. Estimativa do Tempo de Desaparecimento da Biomassa dos Resíduos Florestais em Pastagens	47
4.1.2.4. Avaliação dos Métodos de Amostragem ...	49
4.2. Estoque e Liberação de Carbono pela Queima da Biomassa	50
4.2.1. Resultados	50
4.2.2. Discussão	54
4.3. Carbono Orgânico no Solo	60
4.3.1. Resultados	60
4.3.2. Discussão	61
5. CONCLUSÕES	68
6. LITERATURA CITADA	73
7. APÊNDICE I	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo	9
Figura 2. (A) Desenho experimental de um ponto amostral e o posicionamento das quadras com a delimitação das fases de queima. (B) Sub-quadras e divisões de amostragem para biomassa do pasto e frações de madeira com diâmetro menor que 10cm	14
Figura 3. Esquema das medições realizadas nas peças de madeira com diâmetro igual ou superior a 10cm de diâmetro, pertencentes ao grupo dos resíduos florestais	19
Figura 4. Peso seco (t/ha) da biomassa acima do solo nas pastagens de (A) 7 anos (pré/pós-queima) e (B) 9 anos (pré-queima). Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993)	30
Figura 5. Peso seco (t/ha) do carvão do solo e da biomassa nas pastagens de (A) 7 anos (pré/pós-queima) e (B) 9 anos (pré). Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993)	31
Figura 6. Estimativa do desaparecimento da biomassa florestal em pastagens convertidas, dentro de um período simulado de 10 anos de uso e 4 queimadas	

(1 inicial e 3 re-queimas)	43
----------------------------------	----

Figura 7. Destino do carbono (%) após a queima em relação ao estoque (A) total pré-existente na pastagem de 7 anos e; dentro dos grupos de (B) resíduos florestais, (C) capoeira e (D) pasto. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993)	53
--	----

Figura 8. Flutuação do estoque de carbono (t/ha) no solo da pastagem de 7 anos em relação às variações pluviométricas médias ocorridas próximas a região da Colônia do Apiaú	63
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Peso seco (t/ha) e eficiência de combustão (%) da biomassa vegetal da pastagem "A" (7 anos), determinada pelo método destrutivo. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993)	25
Tabela 2. Volume (m ³ /ha), peso seco estimado (t/ha), eficiência de combustão (%) e taxa de formação de carvão (%) dos "troncos" residuais da floresta original nas pastagens de 7 anos e 9 anos, determinados pelo método volumétrico. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993)	28
Tabela 3. Resultados de biomassa acima do solo (t/ha) em diferentes localidades da Amazônia, estabelecidos por grupo em ecossistemas convertidos	33
Tabela 4. Estimativa do peso seco (t/ha) da biomassa total acima do solo para florestas primárias da região da Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil	37
Tabela 5. Valores presumidos para os parâmetros de avaliação do desaparecimento da (A) biomassa e do (B) carbono dos resíduos da floresta original em pastagens	41
Tabela 6. Estoque e liberação (t/ha) de carbono nas	

diferentes frações de biomassa da pastagem de 7 anos e, a participação (%) de C deixado em cada fração após a queimada. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993)	51
--	----

Tabela 7. Estimativa do estoque de carbono (t/ha) na pastagem de 9 anos para a fase pré-queima. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993)	55
--	----

Tabela 8. Estimativa do destino das perdas de carbono (t/ha e %) dos componentes da biomassa dos resíduos florestais em pastagens convertidas, para uma simulação de 10 anos de uso contínuo e 4 queimadas (1 inicial e 3 re-queimas)	58
---	----

Tabela 9. Concentração (%) e estoque (t/ha) do carbono no solo em amostras realizadas sob floresta primária e na pastagem de 7 anos, em diferentes tempos antes e depois da queimada. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993)	62
--	----

RESUMO

Foi estimada a biomassa acima do solo em duas pastagens (7 e 9 anos) convertidas de floresta tropical, usando uma combinação de dois métodos de medição (direto e indireto) na região do Apiaú, Roraima, Brasil. Para tanto foram usadas quadras de 60m² para medir a biomassa pré e pós-queima (n=12; 7 anos e n=8; 9 anos). Foi investigado também a variação do estoque de carbono no solo antes e depois da queimada.

A biomassa foi distribuída em três grupos (resíduos da floresta original, vegetação secundária e pasto). Na pastagem de 7 anos foram encontradas 124,4 t/ha (pré-queima) e 94,4 t/ha (pós-queima), representando uma redução de 20% na biomassa pré-existente. Eficiência de combustão foi desagregada para os resíduos florestais (9%), vegetação secundária (66,5%) e pasto (94%). A taxa de formação de carvão para o total da biomassa dos resíduos florestais foi de 0,6%, enquanto que para os troncos (peças de madeira com diâmetro ≥ 10 cm) este valor foi de 0,85%. Na pastagem de 9 anos o valor da pré-queima foi de 32,8 t/ha. Esta pastagem não queimou. O grupo dos resíduos florestais foi o de maior participação nas duas pastagens: 80,9% (7 anos) e 64,0% (9 anos), ambas na pré-queima.

Usando o conteúdo de carbono determinado para cada uma das frações na pastagem de 7 anos, implicou em uma redução de 20% (11,9 t C/ha) sobre o estoque de carbono inicial. Deste total, 56,3% foram devido a biomassa dos resíduos florestais. Este grupo conservou 70,2% do estoque de carbono pré-existente, após a queimada. A eficiência de transformação do carbono nesta pastagem foi de 94,6% (pasto), 66,7% (vegetação secundária) e 13,7% (resíduos florestais). A taxa de formação de carvão a partir do carbono foi de 1,0% (biomassa total), 0,4% (vegetação secundária) e 0,9% (resíduos florestais), sendo de 1,2% para os troncos

individualmente. O estoque de carbono pré-queima na pastagem de 9 anos foi de 15,1 t C/ha, com os resíduos florestais participando com 66,2% deste total.

A simulação de desaparecimento de biomassa e carbono pelo grupo da floresta original em sistemas de pastagem, implicou que a maior parte do carbono deste grupo se perde nos primeiros anos de uso. A formação de reservatórios de carbono de longa duração (carvão) se mostrou pouco substancial pelo modelo proposto (apenas 2,3% do carbono inicial até o 10º ano de uso), apresentando valores igualmente baixos como os observados na pré-queima das pastagens de 7 (5,4%) e 9 (4,5%) anos. Contribuição de carbono para a atmosfera por decomposição natural e combustão por parte deste grupo, assume maior importância devido a presunção de emissão líquida para a atmosfera. O carbono liberado pela queima do pasto e vegetação secundária é assumido com balanço igual a zero, devido ao rápido crescimento destes grupos.

Foram liberados 2,9 t C/ha do solo (0-20cm) na pastagem de 7 anos (10,1% do total pré-existente) após a queimada. As médias encontradas nas fases pré/pós-queima e floresta primária, não diferiram estatisticamente, sugerindo que as perdas podem ter sido efêmeras. No pico da estação chuvosa houve um acréscimo significativo ($P < 0,01_{(1),4,67}$) de carbono no sistema, provavelmente pelo aumento da atividade microbiana e biomassa de raízes nesta fase.

Alta variabilidade sugere que outros estudos sejam realizados para diminuir as incertezas nos parâmetros usados para cálculos de emissões de gases do efeito estufa por queima de biomassa na Amazônia. Causas das emissões e suas consequências ao aquecimento global são informações necessárias aos planejadores, para que atividades de uso sustentado na Amazônia observem aspectos sociais, econômicos e ambientais.

SUMMARY

Above-ground biomass was estimated in two pastures of different ages (7 and 9 years old) converted from tropical moist forest, using a combination of two sampling methods (direct and indirect) in the Apiaú region, Roraima, Brazil. Sixty-meter-square plots were used to measure pre- and post-burn biomass ($n=12$, 7-yr-old and $n=8$, 9-yr-old). Soil carbon variation was investigated in the plots both before and after burning.

The above-ground biomass was classified into three different fractions (original forest remains, secondary vegetation, and grass). In the 7-yr-old pasture, 124.4 t/ha (pre-burn) and 94.4 t/ha (post-burn) were found, implying a 20% reduction of pre-existing biomass. Combustion efficiency was determined for forest remains (9%), secondary vegetation (66.5%), and grass (94%). The rate of charcoal formation for the total biomass of forest remains was 0.6%, while for trunks (wood pieces with diameter ≥ 10 cm), this value was 0.85%. In the 9-yr-old pasture, ^{biomass} ~~this value~~ was 32.8 t/ha (pre-burn). This pasture was not burned. The forest remains fraction was the largest in both pastures: 80.9% (7-yr-old) and 64.0% (9-yr-old) pre-burn.

Using the carbon contents ~~determinated~~⁹ for the biomass components of 7-yr-old pasture, a 20% reduction (11.9 t C/ha) in initial above-ground carbon pools is implied. Of this total, 56.3% was due to the forest remains fraction. In this fraction, 70.2% of the total pre-existing carbon stock remained after burning. Carbon transformation efficiency in this pasture was 94.6% for grass, 66.7% for secondary vegetation, and 13.7% for forest remains. Charcoal formation rate (relative to carbon) was 1.0% of total above-ground biomass, 0.4% of secondary vegetation, and 0.9% of forest remains, with trunks being 1.2% of this. The pre-burn carbon stock in the 9-yr-old pasture was 15.1 t C/ha,

with forest remains as 66.2% of this total.

Simulation of biomass and carbon disappearance by the forest remains fraction in the pasture systems implied the largest loss of carbon during the first years of use. The projected formation of long-term (charcoal) carbon reservoirs was low (only 2.3% of the initial carbon up to tenth year). Low values were also observed in both seven- (5.4%) and nine- (4.5%) yr-old pastures. Carbon contribution to the atmosphere by natural decomposition and combustion for this fraction assumes great importance because of the net atmospheric input. The liberation of carbon by both grass and secondary vegetation burning is assumed to be balanced by the same quantity absorbed because of rapid regrowth in these fractions.

Soil carbon liberated was 2.9 t C/ha (0-20cm) in the 7-yr-old pasture (10.1% of total pre-existing) after burning. The averages found in pre-burn, post-burn and primary forest were not statistically different, suggesting ephemeral loss from burning. In the peak of the rainy season, there was a significant increase of carbon ($P < 0.01_{(1), 4.67}$), most likely because of increases in microorganismal activity and root biomass in this phase.

High variability suggests that more studies are needed to decrease uncertainties in the parameters used to estimate greenhouse gas emissions from Amazonian biomass burning. Information on emissions causes and consequences for global warming is necessary for decision-makers, to permit activities with sustainable use in Amazonia while observing social, economic and environmental aspects of the region.

1. INTRODUÇÃO

Florestas tropicais possuem um importante papel nos modelos atmosféricos, seja a nível local, regional ou global (MYERS, 1989). Estocam cerca de 20% do total de carbono orgânico existente nas comunidades terrestres (solo e vegetação), participando como um importante componente na ciclagem global deste elemento (BROWN & LUGO, 1982). No caso da Amazônia, este papel se destaca naturalmente por sua grande extensão e, pela intensificação da atividade humana nos últimos anos que vem empregando diferentes modelos de uso da terra na região. Estes fatores vem provocando a liberação de uma grande massa de gases do efeito estufa, devido ao corte e queima da biomassa vegetal da floresta original e de suas respectivas conversões. Reduzem também o conteúdo de carbono nos solos antes florestados com o uso contínuo de agricultura e pastagens (DETWILER, 1986). Isoladamente, estima-se que a Amazônia seja reponsável atualmente por aproximadamente 20-25% do total anual global de gases liberados pelo desmatamento tropical (FEARNSIDE, 1991; s/d-a). Embora os cálculos sejam fator de controvérsias, esta região é considerada como fonte potencial de futuras e continuadas emissões devido a existência de grandes áreas ainda não desmatadas.

O gás liberado em maior quantidade dentro do processo de corte e queima da biomassa vegetal é o dióxido de carbono - CO_2 (HOUGHTON, 1990). Outros gases, como metano (CH_4), monóxido

de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O), compostos óxi-nitrogenados (NO_x) e hidrocarbonetos de forma não-metânica (HCNM), mesmo que emitidos em pouca quantidade, também possuem importante papel na fotoquímica da troposfera e no balanço energético do sistema climático (CRUTZEN et al., 1979; GREENBERG et al., 1984; CRUTZEN et al., 1985; THOMPSON & CICERONE, 1986; BRASSEUR & VERSTRAETE, 1989).

O aumento da concentração destes gases na atmosfera provoca um bloqueio excessivo de parte da energia captada do Sol pela superfície terrestre e que seria irradiada para o espaço. Estimativas do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1992) indicam um aumento de temperatura da ordem de 0,3°C por década, caso o volume de gases liberados da Terra para a atmosfera, continue no mesmo ritmo e magnitude dos atuais. Isto acarretaria um aquecimento catastrófico nos próximos 100 anos.

Para a Amazônia, a discussão acadêmica está voltada à quantificação da emissão dos gases que provocam o efeito estufa, seja por atividade antrópica ou natural. Os debates estão centrados para as controvérsias existentes entre as atuais estimativas do estoque e liberação de carbono de seus diversos ecossistemas. Cada um deles contribui de forma diferenciada pois, a liberação líquida proveniente da vegetação e do solo é uma função específica do uso da terra (DETWILER, 1986). A importância do balanço na Amazônia reflete diretamente em um melhor entendimento do fluxo de gases do efeito estufa a nível global

(FEARNSIDE, s/d-b). Com isso, seria destacado um dos processos-chave que controlam o ciclo do carbono na Terra, facilitando uma melhor compreensão da questão se a biota terrestre funciona como potencial sumidouro ou fonte de CO₂ (BOLIN et al., 1979).

As discordâncias na Amazônia são devido aos diferentes valores dos parâmetros utilizados para o cálculo das emissões. A quantificação dos gases liberados pelas queimadas é função de parâmetros específicos de cada uso da terra como biomassa presente; eficiência da combustão; formação de carvão; concentração de carbono em cada um dos componentes da biomassa; área do sistema e sua taxa de distúrbio anual e, em alguns casos (como as pastagens), a frequência das queimadas. As incertezas em cada um destes componentes de cálculo são multiplicativas (ROBINSON, 1989), gerando um quadro de maiores incertezas nos valores das emissões. VICTÓRIA et al. (1991), trabalhando com antigos valores, estimaram que as emissões de carbono provenientes da Amazônia poderiam estar situadas entre 0,24 a 1,6 GT/ano (1 GT = gigatonelada = 1 bilhão de toneladas). Diferentes graus de dúvidas também foram refletidas em outros trabalhos que analisaram o total de carbono liberado por diversas florestas tropicais do planeta e, em especial as da Amazônia (MOLOFSKY et al., 1984; DETWILER & HALL, 1988; HAO et al., 1990; HOUGHTON, 1991; FEARNSIDE, 1991).

Estas dificuldades nos cálculos refletem a necessidade do refinamento nos métodos que estabelecem os valores para os

parâmetros de quantificação das emissões. Em sistemas convertidos isto é mais evidente para biomassa, eficiência de combustão e taxa de transformação do carbono. Por isso, há necessidade da realização de séries de medidas em campo (direta e/ou indireta), nos diferentes ecossistemas da Amazônia. Estes estudos complementaríamos outros já existentes, para uma avaliação mais eficaz da grandeza das emissões e o efeito destas sobre o sistema climático global.

Neste sentido, as pastagens convertidas de florestas na Amazônia, assumem papel fundamental nas discussões. Não só pelas incertezas dos efeitos ao ecossistema (BUSCHBACHER, 1984), mas também como uma fonte potencial de liberação de carbono da biosfera para a atmosfera pois, são consideradas como o maior agroecossistema da região (FEARNSIDE, 1980; FEARNSIDE et al., s/d-b). Para avaliação das emissões, pastagem na Amazônia representa o conjunto da biomassa do "pasto" (capim), somado aos "resíduos da floresta original" e a "vegetação secundária" (capoeira) que surge após a instalação da gramínea dominante. Todos estes elementos sofrem decomposição e continuadas queimas ao longo dos anos. Entretanto, os "resíduos da floresta original" podem assumir significativa importância neste contexto, principalmente nos primeiros anos de estabelecimento do sistema convertido (UHL & SALDARRIAGA, s/d). Sua maior participação na biomassa total e a longevidade que algumas peças de madeira (tipo troncos) possuem, podem permitir que este grupo se torne fonte líquida de emissão de gases para a atmosfera por longo prazo.

A área estimada entre pastagens produtivas e degradadas na Amazônia foi de 24,186 milhões de hectares até 1990 (FEARNSIDE & GUIMARÃES, s/d). Entretanto, as estimativas de liberação de gases realizadas para este tipo de sistema não correspondem à sua importância pois, são computadas a partir de poucos trabalhos. FEARNSIDE (s/d-b), levando em consideração as taxas de desmatamento de 1990 para a Amazônia e a biomassa do pasto (capim) em Rondônia, estimou em cerca de 20 milhões de toneladas de CO₂ a liberação anual pela queima deste grupo de biomassa. Esta quantia teria sido re-assimilada em um período seguinte devido ao rápido crescimento das gramíneas, fazendo o fluxo líquido deste gás igual a zero neste componente da pastagem. Entretanto, outros 1,854 milhões de toneladas de CH₄ e gases traços, teriam entrado como parcela líquida na atmosfera, influenciando no aquecimento global.

Uma importante parcela de gases liberados anualmente em pastagens através da re-queima dos "resíduos da floresta original" são também estimados por um pequeno número de trabalhos. Esta fonte de emissão foi quantificada em ecossistemas de capoeira em Roraima (FEARNSIDE et al., s/d-a) e no Pará (GUIMARÃES, 1993). Os dados obtidos foram extrapolados para pastagens por FEARNSIDE (s/d-b), que estimou o volume total de gases liberados por re-queima (com equivalência de efeito do CO₂) na Amazônia em 1990 em 77,38 milhões de toneladas. Este valor foi 1,38 vezes maior que a estimativa de sequestro de CO₂ da atmosfera pela vegetação na região no mesmo ano. Entretanto, as

incertezas persistem porque não existem medições que avaliem o real efeito da queima destes resíduos em pastagens na Amazônia. Além disto, o comportamento do desaparecimento desta biomassa ao longo do tempo influencia na quantidade de carbono perdida em diferentes estágios de idade do sistema.

Outros importantes fatores que também podem funcionar como sumidouro e/ou fonte de carbono em pastagens são, o carvão formado com as repetidas queimadas e a matéria orgânica acumulada sobre o solo, incrementada no segundo caso pela humificação das raízes da pastagem (CERRI et al., 1991). Nos dois fatores, a quantidade de carbono contida nestas frações é depositada continuamente no solo. Isto proporciona tanto um fluxo com a atmosfera, devido a frequência das queimadas e a decomposição natural, como um potencial sumidouro de carbono devido ao constante acúmulo no solo.

Com base no exposto e levando em consideração parâmetros de idade e frequência de queimadas nas pastagens estudadas, levantei as seguintes questões :

1- Qual a contribuição da queima da biomassa de pastagens convertidas de floresta tropical na Amazônia, na liberação de carbono para a atmosfera ?

2- Qual o comportamento do desaparecimento da biomassa residual da floresta original neste tipo de ecossistema ?

3- Qual a dinâmica do carbono estocado na vegetação e no solo de uma pastagem com o evento da queimada ?

4- Qual o destino do carbono pré-existente após a queimada ?

5- Que método de medição de biomassa é mais apropriado à natural variabilidade existente neste tipo de agroecossistema ?

Destrutivo (direto) ou volumétrico (indireto) ?

Para responder a estas questões, medi :

1- O estoque total de biomassa acima do solo (pasto + resíduos da floresta original + vegetação secundária) em duas pastagens antes e depois da queimada, utilizando dois métodos de medição (destrutivo e volumétrico);

2- A concentração de carbono e a eficiência de combustão em cada componente da biomassa;

3- O estoque e a liberação de carbono de cada componente da pastagem com base nos itens 1 e 2;

4- O estoque e a formação de carvão;

5- A concentração (%) e o estoque (t/ha) de carbono orgânico no solo antes da queimada, nos tempos 7, 120 e 210 dias após a queima e, na floresta primária adjacente às pastagens.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Sítio de Estudo

A área de estudo é a colônia do Apiaú, um projeto de colonização localizado no município de Mucajaí, Roraima, Brasil. Seu centro administrativo é a Vila do Apiaú ($02^{\circ} 34' N$; $61^{\circ} 18' W$), distante 112km por estrada da capital Boa Vista (FIGURA 1).

Esta região é parte integrante do "Projeto de Colonização Rio Apiaú", iniciado em novembro de 1981 em uma área de 23.600 ha localizada dentro do Distrito Agropecuário de Roraima (GTFR, 1980). Atualmente sua área total legal é desconhecida devido ao desordenado crescimento promovido pelos governos estaduais recentes. Seu limite ao norte se estende até os rios Apiaú e Mucajaí. Entretanto, sua divisória ao sul ainda não está definida corretamente devido a recente criação da Colônia Agícola da Nova Estrela (1992/93), devendo se estabelecer em algum ponto da serra de Mucajaí.

A vegetação natural da região é de floresta tropical de terra-firme, embora ocorram pequenas áreas de vegetação aberta a leste da colônia (BARBOSA & FEARNSIDE, s/d). Pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975), o local onde foi montado o experimento é uma Área de Tensão Ecológica em Contato Floresta/Floresta Estacional Densa em Relevo Dissecado (Fdn), limítrofe a uma Floresta Tropical Densa em Baixa Cadeia de

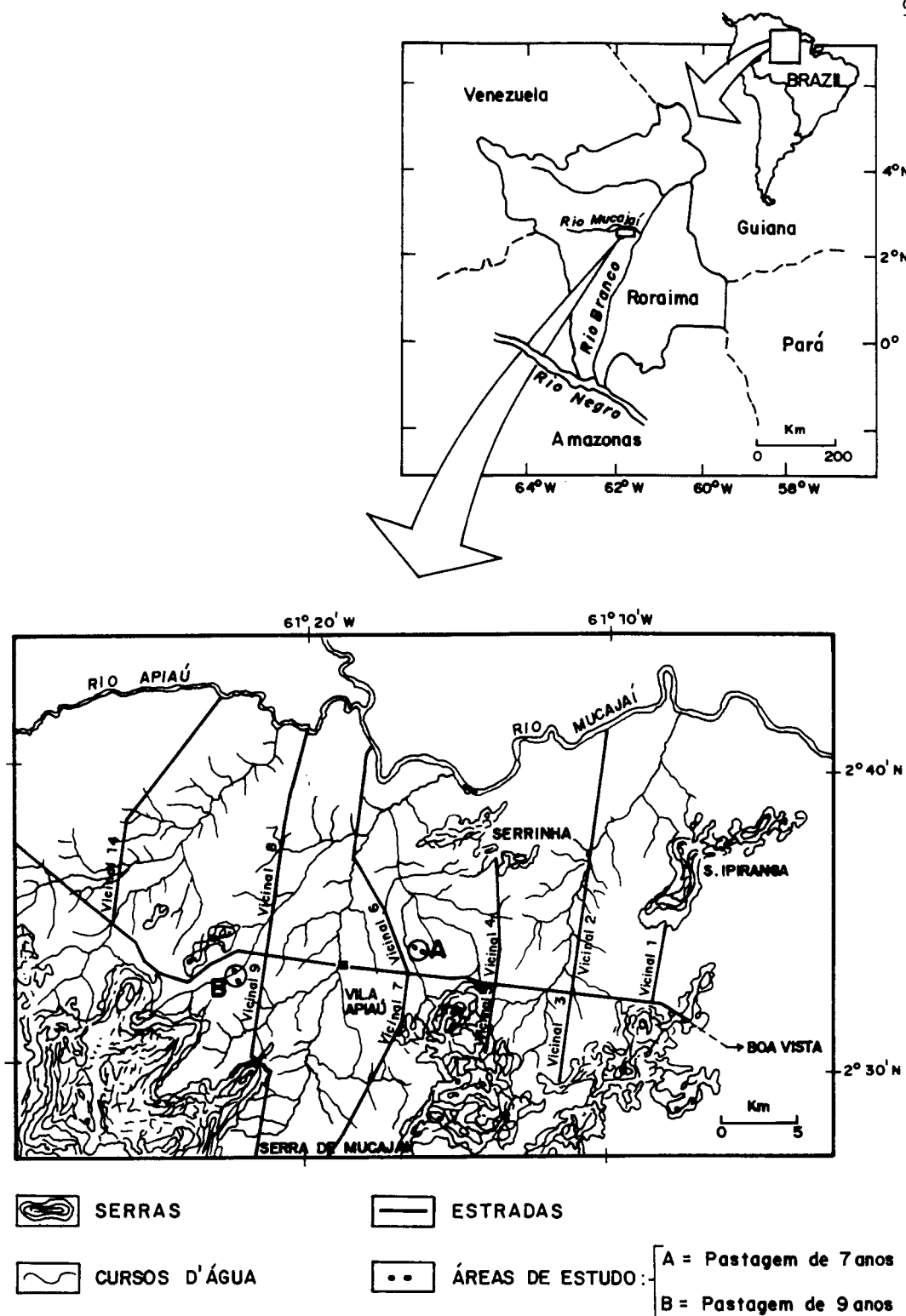


FIGURA 1 - Localização da área de estudo.

Montanhas (Fdt). Estas duas classes de vegetação são equivalentes à, respectivamente, (1) Área de Tensão Ecológica sob Floresta Ombrófila/Floresta Estacional (ON) e (2) Floresta Ombrófila Densa Sub-montana (DS), descritas pelo mapa de vegetação do Brasil na escala de 1:5.000.000 (IBDF/IBGE, 1988). Este mapa é uma produção conjunta entre o extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (hoje parte do IBAMA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esta publicação atende de melhor forma os propósitos deste trabalho, devendo ser utilizada como base para os cálculos que serão apresentados no decorrer do trabalho.

A altitude média desta região varia de 100 a 180m, excetuando-se as serras. O clima é do tipo "Ami" pelo sistema de classificação de Köppen, tropical chuvoso com período seco definido principalmente entre janeiro e março (SANTOS et al., 1982). A precipitação média anual é de 1.900-2.000 mm (LAMEIRA & COIMBRA, 1988 e obs. pessoal) e a umidade relativa do ar é de 87% a.a. (GTFR, 1980). O solo locais de montagem do experimento é o Podzólico vermelho-amarelo. Além deste, os outros predominates são o Latossolo vermelho-amarelo e os solos Litólicos, que ocupam as serras (BRASIL, 1975).

2.2. Escolha das Áreas de Montagem do Experimento

Escolhi duas áreas de pastagem no tipo de vegetação (ON), em uma região limítrofe com (DS). Esta área de contato

cobre principalmente a parte central da colônia, acompanhando por uma longa extensão a principal estrada de acesso. É a de maior impacto antrópico e onde se encontram um grande número de pastagens. Os critérios de escolha estavam ligados às características da região e a facilidade de instalação do experimento no campo. As condições que deveriam ser satisfeitas eram que (1) as pastagens fossem preferencialmente de Brachiaria humidicola (capim quicuí), pois é a formação de pasto predominante em toda a colônia; (2) deveriam ter formação entre 6-10 anos, que é uma média aproximada da idade das pastagens da região; (3) que não estivesse abandonada, para representar também a média deste tipo de uso na maioria das localidades da região e (4) que fosse possível remontar um histórico confiável do lote, com o auxílio do proprietário rural.

2.2.1. Descrição e Histórico das Áreas

Denominei as áreas escolhidas como pastagem "A" e "B" e, levantei as seguintes informações:

(1) Pastagem A : 7 anos de idade; vegetação secundária formando pequenos blocos com o capim dominante; três queimadas anteriores (incluindo a inicial) e 170 cabeças de gado bovino pastoreando em cerca de 600 ha (apenas o piquete com a idade referida foi amostrado - 80 ha). Todos os passos previstos na metodologia foram realizados nesta área. A queimada ocorreu ao final de março de 1993.

(2) Pastagem B : 9 anos de idade; vegetação secundária irrelevante; 6 queimadas anteriores (incluindo a inicial) e 20-30 cabeças de gado bovino pastoreando em aproximadamente 80 ha. Não concluí com satisfação o experimento nesta área devido a grande quantidade de chuvas caídas na região semanas antes do término do trabalho. Isto impossibilitou o manejo por fogo, com apenas a primeira fase do trabalho sendo realizada. O histórico das duas áreas de pastagem estão descritos no APÊNDICE I.

2.3. Métodos de Medição

Dividi o trabalho de campo em duas fases. A primeira foi para a medição da biomassa total acima do solo antes da queima da pastagem (pré-queima) e, a segunda, da mesma forma para a biomassa restante logo após a queimada (pós-queima). Os dois métodos que utilizei para a determinação da biomassa foram o destrutivo e o volumétrico, aproveitando o mesmo desenho experimental de campo nos dois casos. A diferença entre eles é que no volumétrico eu medi apenas o volume das peças de madeira com diâmetro superior ou igual a 10cm (pré e pós-queima), antes que elas fossem removidas do local devido o emprego do método destrutivo (obrigatoriamente realizado entre as diferentes quadras pré e pós-queima).

Nas duas áreas escolhidas, estabeleci ao acaso dois pontos dentro de cada pastagem. Cada um deles determinou o centro de um círculo de onde foram irradiadas 6 quadras de 2m x 30m

cada, equidistantes 60° umas das outras. Cada ponto continha 3 quadras para cada fase, sempre intercaladas (FIGURA 2A). Dividi cada quadra em três sub-quadras de 2m x 10m, para obter uma melhor estimativa da variação (cada uma delas funcionou como uma sub-unidade amostral). Na pastagem "A", este procedimento foi completo (36 sub-quadras), enquanto que na "B" consegui montar apenas 8 quadras (24 sub-quadras). As quadras da pós-queima serviram tanto para o propósito da medição destrutiva quanto para a volumétrica. O desenho experimental proposto neste estudo foi concebido originalmente por Jennifer Robinson (SIMONETT et al., 1986), para facilitar o trabalho e diminuir o erro tendencioso (bias) do corte madeireiro anteriormente realizado. Neste estudo ele sofreu modificações devido a entrada de diferentes fatores.

2.3.1. Método Destrutivo (Direto)

Utilizei este método nas fases pré e pós-queima na pastagem "A" e em parte na pré-queima da "B". A biomassa acima do solo contida nas sub-quadras foi cortada com auxílio de motosserra e terçado. Separei a biomassa por classes de fração e a pesei com o auxílio de balanças com capacidade de 50g a 90kg. Em cada classe de fração retirei uma amostra de 100-200g, com o objetivo de determinar posteriormente a umidade, o peso seco e a concentração de carbono em cada uma.

Separei a biomassa total em três grupos, definindo as frações de cada um deles após uma simulação realizada antes do

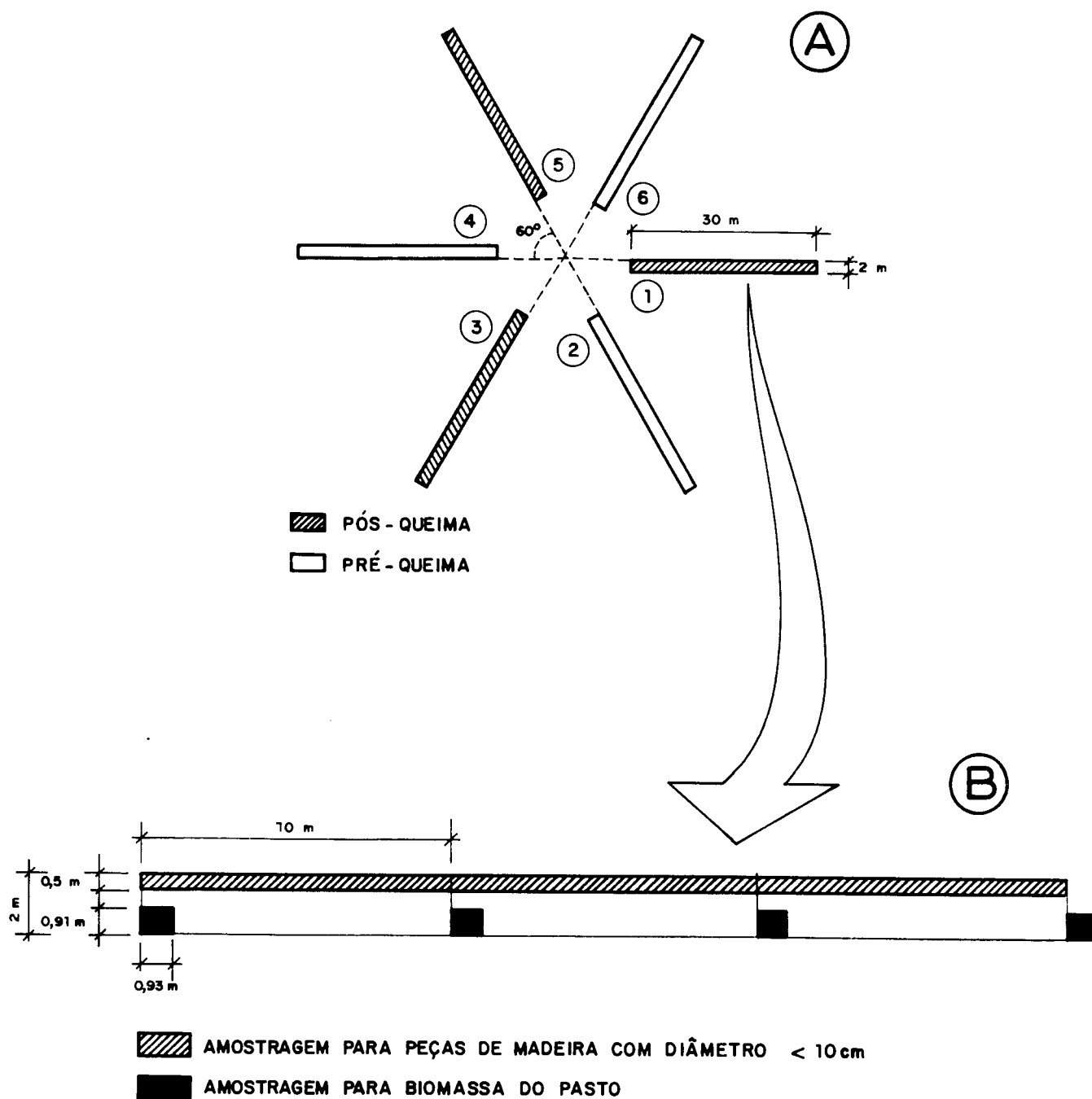


FIGURA 2 - (A) Desenho experimental de um ponto amostral e o posicionamento das quadras com a delimitação das fases de queima. (B) Sub-quadras e divisões de amostragem para biomassa do pasto e frações de madeira com diâmetro menor que 10cm.

início dos trabalhos de campo. Os grupos e as frações foram os seguintes

(1) Biomassa do "pasto"

. Capim - Único representante deste grupo. Fiz a amostragem em quadrados de 0,91m x 0,93m em cada sub-quadra correspondente à sua fase de queima, sempre pelo vértice direito inferior (FIGURA 2B). Além disto, amostrei mais um quadrado ao final de cada quadra completada. Cortei o "capim", com o auxílio de uma tesoura de poda e facão, a um ponto aproximado de 2cm do solo. Esta foi a altura máxima possível de fazer o corte sem interferir nas amostragens de outras frações que foram realizadas no mesmo quadrado.

(2) Biomassa dos "resíduos da floresta original"

. Gravetos - peças de madeira com diâmetro igual ou inferior a 5cm;

. Galhos - peças de madeira com diâmetro maior que 5 e menor que 10cm;

. Troncos - peças de madeira com diâmetro igual ou superior a 10cm.

Amostrei os "troncos" em toda a extensão das sub-quadras. As peças com diâmetro menor que 10cm amostrei em um transecto de 0.5m x 10m dentro de cada sub-quadra pelo lado

esquerdo (FIGURA 2B). Utilizei este artifício devido a grande dificuldade de se encontrar materiais menores dentro do "capim", o que retardaria em muito o trabalho. Os "troncos" ainda foram diferenciadas pela qualidade da peça (podre ou normal).

. Palmeiras - Toda peça de vegetal pertencente a família Arecaceae. Amostrei esta fração em toda a extensão das sub-quadras.

(3) Biomassa da "capoeira"

. Ervas invasoras (lenhosas e não-lenhosas) - crescem junto com a gramínea dominante. Medi em toda a extensão das quadras cortando-as o mais próximo possível do solo. As outras frações sofreram o mesmo processo descrito para biomassa de "resíduos da floresta original".

Além das frações já descritas anteriormente, criei mais três a parte dos grupos mencionados:

. Carvão - Resultado da combustão incompleta do material vegetal. Esta classe foi proveniente tanto de queimadas anteriores como da atual, sendo dividida em duas categorias : solo e biomassa. Defini "carvão do solo" como aquela fração que se formou das peças vegetais pelas seguidas queimadas e, se despreendeu, sendo depositado no solo. Para amostrar esta classe usei o mesmo quadrado de amostragem do "capim", coletando manualmente o carvão

visível na superfície do solo após o corte da biomassa da gramínea. "Carvão da biomassa" defini como aquele que ainda não havia se despreendido da biomassa vegetal (capoeira ou floresta original). Amostrei esta classe raspando o carvão com uma lâmina metálica (faca ou machado) e, coletando o material solto sobre uma lona plástica.

. Litter - Acomodou todo material vegetal residual (mosaico dos três grupos de biomassa) que eu não conseguia mais distinguir visualmente ao final das coletas de "capim" e "carvão do solo". Coletei esta fração manualmente, raspando os dedos superficialmente sobre o solo dentro do perímetro do quadrado. Devido a forma de coleta, esta classe sofreu um processo de limpeza no laboratório por causa do solo (areia e perlitas de argila) que foi coletado juntamente com o material vegetal. Isto serviu para não super-estimar sua participação.

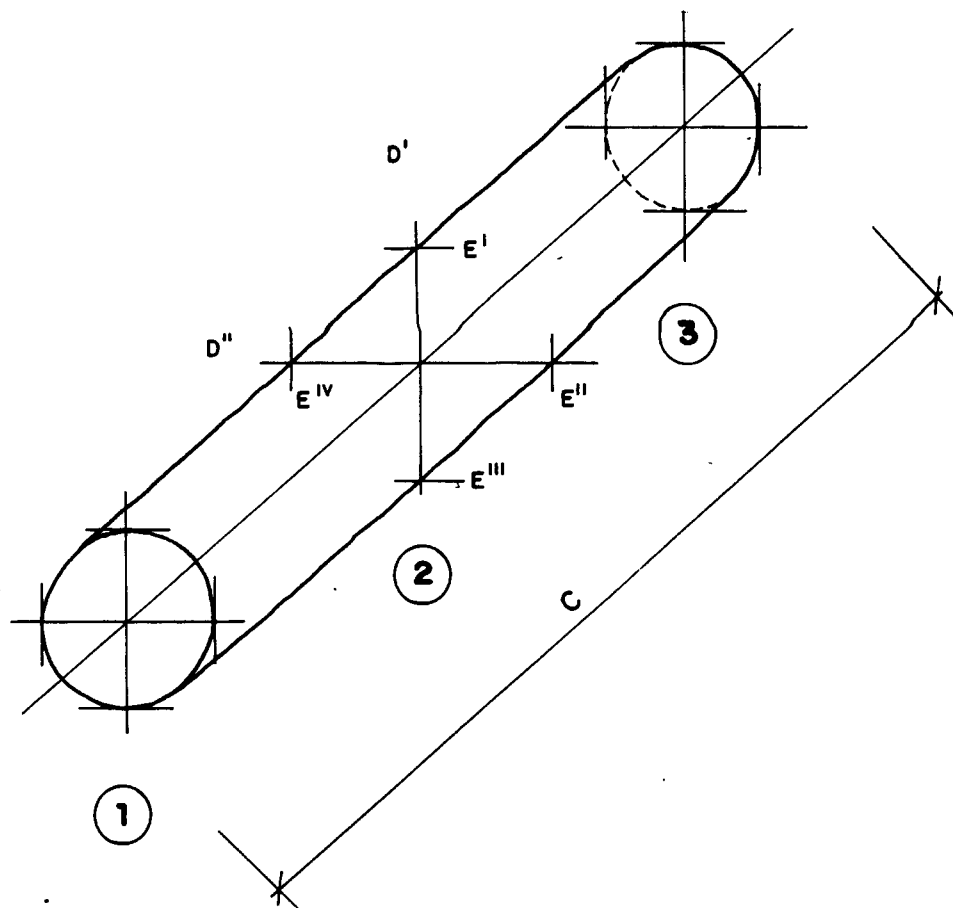
. Cinzas - Apenas para a fase pós-queima. Esta fração foi proveniente da biomassa da pastagem destruída pela ação do fogo. Coletei este material 24-48h após a queimada em todas as sub-quadras, para reduzir as perdas por vento e pisoteio do gado. Para isso, utilizei uma pá metálica com uma lâmina de 10cm de largura que passei ao longo da linha central longitudinal de cada sub-quadra, formando um transecto de 1m². O produto da coleta foi passado em peneira de 0,05mm de malha para retirar o material residual (solo ou vegetal), não enquadrado na definição acima descrita para, da mesma forma, não super-estimar esta fração.

2.3.2. Método Volumétrico (Indireto)

Este método foi utilizado nas duas áreas de pastagem, sendo que completo em "A" e na pré-queima de "B". Ele avaliou o volume dos "troncos" da biomassa residual da floresta original em todas as sub-quadras (pré e pós-queima). Após a medição volumétrica nas quadras pré-queima, as peças tiveram que ser movimentadas para aplicação do método destrutivo. Nas de pós-queima, as peças foram medidas antes e depois da queimada, no mesmo local de origem, sendo movimentadas para a pesagem apenas após este procedimento. Esta metodologia visou comparar os resultados obtidos pelo método destrutivo. Além disto, obtem uma melhor estimativa da taxa de formação de carvão e da eficiência de combustão desta fração, pela possibilidade de se fazer a medida das mesmas peças antes e depois da queimada. Dividi as peças enquadradas nesta classe pela qualidade (normal e podre) e, as medi utilizando os seguintes parâmetros (FIGURA 3) :

(1) comprimento da peça (C) - Medida da distância entre as duas extremidades da peça, estritamente localizada dentro do perímetro das sub-quadras;

(2) diâmetro médio (D) - Medido em três diferentes pontos da peça (os dois extremos e o meio), com cada ponto possuindo duas medidas realizadas com o auxílio de uma suta. Cada ponto foi marcado com uma placa metálica numerada para facilitar o retorno na medição pós-queima;



C = Comprimento da peça

D = Diâmetro (2 medidas em 3 partes da peça)

E = Espessura da capa de carvão (4 medidas em 3 partes da peça)

FIGURA 3 - Esquema das medições realizadas nas peças de madeira com diâmetro igual ou superior a 10cm de diâmetro, pertencentes ao grupo dos resíduos florestais.

(3) Espessura média da "capa" de carvão (E) - Esta envolve a maioria das peças e foi medida em quatro diferentes lugares que formavam um ângulo reto entre si, nos mesmos pontos escolhidos para o diâmetro. Medí com o auxílio de uma faca (que penetrava na "capa") e de uma régua milimetrada.

Com os parâmetros anteriormente descritos, calculei o volume individual e de carvão de cada uma, segundo as equações 1, 2 e 3 descritas abaixo. Com os resultados dos totais por sub-quadra, determinei a relação entre volume (m³) e peso (t) desta fração através de uma regressão linear simples.

$$V_{c/c} = \frac{\pi \times D^2 \times C}{4} \quad (\text{Equação 1})$$

$$V_{s/c} = \frac{\pi \times (D-E)^2 \times C}{4} \quad (\text{Equação 2})$$

$$V_c = V_{c/c} - V_{s/c} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde :

$V_{c/c}$ = volume total da peça com a capa de carvão;

$V_{s/c}$ = volume total da peça sem a capa de carvão;

V_c = volume total de carvão em cada peça;

2.4. Amostras de Solo

Realizei amostragem na pastagem "A" e em duas áreas adjacentes de floresta não-pertubada (contato ON/DS), para os

primeiros 20cm de solo. Na pastagem coletei uma amostra composta por 3 sub-amostras em cada sub-quadra após o término da pesagem da biomassa na pré-queima (n=18) e 7 dias após a queima (n=18). Aos 120 e 210 dias da queimada, fiz nova amostragem composta em pontos aleatórios da pastagem (n=12). Na floresta fiz 12 amostras, sendo 6 para cada área escolhida. A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico modificado de BLAKE & HARTGE (1986).

2.5. Preparação e Análise das Amostras

A preparação das amostras foi realizada na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro de Pesquisa Agroflorestal (EMBRAPA-CPAF/RR) e no Núcleo de Pesquisas do INPA (NPRR), em Boa Vista, Roraima. As análises de carbono foram realizadas no Laboratório de Química do Soló do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba, São Paulo.

2.5.1. Biomassa Vegetal

As amostras de biomassa foram secas em local sombreado, onde o ar circulava livremente para evitar apodrecimento acelerado ou ataque de fungos nas frações menos resistentes. Formei grupos de amostras afins para a secagem em estufa a $80^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ até peso constante. Determinei o peso seco e a umidade de cada amostra e as moi sob peneira com malha de 1 mm de diâmetro. Separei uma sub-amostra de 15-20g de cada fração e re-moi sob uma

peneira de "mesh" 40. Antes da análise da concentração de carbono total (% C), sequei as amostras em estufa a 50°C por 12h para estabilizar a umidade em todas elas. O método empregado foi o da "via seca" através do aparelho CARMOGRAPH - 12A "WOSTHOFF". Este método converte as formas de carbono existentes no tecido vegetal em gás carbônico via combustão à 1.000°C.

2.5.2.- Solo

Sequei as amostras de solo na sombra. Penerei cada amostra em malha de 2 mm, separando manualmente as partículas de carvão visíveis nas amostras para tentar minimizar erros nas análises. Após este procedimento, sub-amostrei 5 g do material submetendo-o a uma moagem mecânica até que ele passasse completamente em malha de "mesh" 100. Esta sub-amostra serviu para análise do carbono total "via seca", da mesma forma que o tecido vegetal.

Embora uma análise em estereomicroscópio de algumas amostras tenha demonstrado a presença de pequenas quantias de partículas de carvão (< 2mm), estas estavam distribuídas aparentemente na mesma proporção entre elas (amostras da floresta não apresentavam carvão). Por isso, descartei qualquer tipo de ajuste empírico que pudesse ser feito, considerando que o efeito das partículas de carvão foi igual em todas as amostras.

3. TRATAMENTO DOS DADOS

Calculei peso (t/ha) e volume (m³/ha) por sub-quadra (2 x 10m) em cada ponto de amostragem. Determinei a média simples, o desvio padrão e o coeficiente de variação entre os resultados de biomassa obtidos nas sub-quadras para as diferentes frações. Além disto, relacionei os dois métodos de medição de biomassa (destrutivo e volumétrico) das peças com diâmetro maior que 10cm e seu carvão agregado, através de regressão linear simples. Com a média da concentração de carbono nas frações, calculei o estoque e a liberação deste elemento para a biomassa da pastagem de 7 anos e estimei para a pastagem de 9 anos (estoque). Determinei a concentração média (%) e o desvio padrão do estoque (t/ha) de carbono orgânico no solo, bem como a variação no "pool" deste elemento ao longo do período de amostragem. Verifiquei também a diferença estatística entre as médias das fases amostradas (Teste de Student-Newmans-Keuls/SNK). Com os resultados obtidos de eficiência de combustão e taxa de formação de carvão, montei uma simulação de desaparecimento de biomassa e perdas de carbono em sistemas de pastagem, auxiliado por algumas presunções.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Biomassa, Eficiência de Combustão e Formação de Carvão

4.1.1. Resultados

4.1.1.1. Método Destrutivo

A biomassa total acima do solo determinada por este método na fase pré-queima da pastagem "A" (7 anos) foi de 122,5 t/ha (TABELA 1). Foram consumidos 24,3 t/ha com a queimada (19,8%). A fração de maior participação nesta fase foi a de "troncos" normais da floresta original (63,5%), seguida da mesma classe para peças podres (12,4%). Todos apresentados sem o peso da capa de carvão. Na fase pós-queima esta sequência foi a mesma com 79,8% para as peças normais e 8,6% para as podres.

As duas outras frações com maior participação na pré-queima foram o "capim" (8,05 t/ha) e o "litter" (4,96 t/ha), enquanto que na pós-queima foram os "galhos" da floresta original (2,76 t/ha) e o "litter" (2,70 t/ha). Excetuando-se os "troncos" normais da biomassa da capoeira (100% consumido), os três maiores consumos foram registrados para "palmeira" da floresta original (99,9%), "capim" (94,0%) e "troncos" podres de capoeira (92,9%).

O grupo de biomassa que resultou em menor eficiência de combustão foi o dos resíduos da floresta original (9,0%).

TABELA 1 - Peso seco (t/ha) e eficiência de combustão (%) da biomassa vegetal da pastagem "A" (7 anos), determinada pelo método destrutivo. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993).

Grupo/Fração	N (e)	Pre-queima	Pos-queima	E.C. (%)
BIOMASSA DO PASTO				
. capim	24	8.05 (5.25) (f)	0.48 (0.50)	94.0
BIOMASSA CAPOEIRA				
. ervas invasoras (a)	18	1.91 (1.54)	1.00 (1.02)	47.5
. madeira (c)				
gravetos	18	2.82 (2.26)	0.91 (1.29)	67.6
galhos	18	0.75 (1.70)	0.09 (0.32)	87.9
troncos (normal)	18	0.36 (1.06)	0.00 -	100.0
troncos (podre)	18	0.27 (0.78)	0.02 (0.08)	92.9
. palmeira (folhas)	18	0.09 (0.15)	0.05 (0.09)	45.1
Sub-total Capoeira		6.20	2.07	66.5
BIOMASSA RES.FLOR.ORIGINAL				
. madeira (c)				
gravetos	18	1.29 (1.49)	0.82 (0.90)	36.1
galhos	18	3.43 (4.96)	2.76 (3.44)	19.8
(b) troncos (normal)	18	77.78 (125.3)	78.41 (122.7)	-0.8
troncos (podre)	18	15.21 (20.90)	8.44 (11.28)	44.5
. palmeira (caules)	18	1.62 (4.43)	0.001 (0.004)	99.9
Sub-total Res.Flor.Or.		99.33	90.43	9.0
LITTER	24	4.96 (5.77)	2.70 (1.65)	45.6
CINZAS	18	-	0.25 (0.19)	-
CARVAO				
. solo	24	0.32 (0.51)	0.51 (1.14)	-58.0
. biomassa				
- capoeira	18	0.006 (0.015)	0.021 (0.027)	-263.2
- flor. original				
troncos (normal)	18	2.80 (5.56)	1.20 (1.57)	57.0
troncos (podre)	18	0.43 (0.53)	0.32 (0.46)	25.3
outros (d)	18	0.36 (0.59)	0.16 (0.21)	54.1
Sub-total Carvao		3.92	2.22	43.2
TOTAL		122.5 (127.0)	98.2 (125.9)	19.8

(a) ervas lenhosas e não-lenhosas da vegetação secundária.

(b) resultado obtido da soma da medida direta com a estimativa de peso dos "troncos" retirados para construções no lote agrícola (havia sub-quadradas onde parte da madeira foi retirada, sendo realizada uma estimativa através do "toco" e da "galhada" remanescente).

(c) peso seco da madeira, sem o carvão da biomassa incluído para evitar duplo aparecimento de dados.

(d) "outros" = soma do carvão de "galhos", "gravetos" e "palmeira" da biomassa dos resíduos florestais.

(e) número de sub-unidades amostrais por fase de coleta.

(f) desvio padrão.

Entretanto, foi o responsável pela maior perda de peso (8,9 t/ha), seguido da biomassa do pasto (7,6 t/ha). A eficiência de combustão dos "troncos" (normais: -0,8% e podres: 44,5%) dos resíduos florestais, medida por este método, sofreu forte influência da variação entre as sub-quadras.

Este método aponta que 0,19 t/ha de "carvão" foram depositados no solo com a queimada, enquanto que o "carvão da biomassa" sofreu um processo inverso, com um consumo de 52,7% sobre o total observado na pré-queima. Com a agregação das duas frações de "carvão" (solo e biomassa), o resultado é um consumo de 43,2% (taxa de formação de carvão negativa). Da biomassa vegetal pré-existente acima do solo, 0,2% (0,25 t/ha) foi transformada em "cinzas".

Na amostragem da pastagem "B" (9 anos), o resultado foi semelhante a de "A" (7 anos) para "capim" (8,15 t/ha), enquanto que "carvão do solo" (0,11 t/ha) e "litter" (2,64 t/ha) apresentaram menor valor. Não foram encontrados componentes do grupo da biomassa capoeira. Para a biomassa da floresta original, o peso estimado para "palmeira" podre foi de 1,78 t/ha, enquanto que o peso dos "troncos" foi estimado apenas pelo método volumétrico, descrito a seguir.

4.1.1.2. Método Volumétrico

O volume total dos "troncos" normais (108,8 m³/ha) e

podres (32,6 m³/ha) na fase pré-queima da pastagem "A" (7 anos) está apresentado na TABELA 2. Estes valores representaram um peso estimado por regressão simples sem a capa de carvão incluída de 79,8 e 14,1 t/ha, respectivamente. A eficiência de combustão do peso estimado foi de (com carvão/sem carvão incluído): (1) 6,8 e 7,3% peças normais; (2) 16,0 e 17,8% peças podres e (3) 8,6 e 9,8% para o total medido.

Na pastagem "B" (9 anos), estimei os resultados de peso dos "troncos" sem carvão da mesma forma que em "A", obtendo 16,5 t/ha para as peças normais e 2,7 t/ha para as podres (17,3 e 2,8 t/ha com carvão, respectivamente). Estes valores representam 20,8% e 18,7% de seus homólogos em "A".

"Carvão da biomassa" desagregado dos "troncos" sofreu o mesmo tratamento matemático nas duas pastagens (regressão simples). Em "A", os valores de peso estimado apresentaram formação de "carvão" tanto para as peças normais (21,4%) como para as podres (17,5%). Por este método, a taxa média de formação de carvão para os "troncos" da floresta original é de 0,85%, sendo 0,84% para peças normais e 0,91% para podres.

4.1.1.3. Estimativa da Biomassa Total

Considerando uma combinação entre os dois métodos de medição testados (peso estimado do "carvão" e "troncos" da floresta original pelo método volumétrico + peso medido das

TABELA 2 - Volume (m^3/ha), peso seco estimado (t/ha), eficiência de combustão (%) e taxa de formação de carvão (%) dos "troncos" residuais da floresta original na pastagem "A" (7 anos) e "B" (9 anos), determinados pelo método volumétrico. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993).

	Qualidade da Biomassa	Volume Com Carvão (m^3/ha)	Volume do Carvão (m^3/ha)	Peso Com Carvão (t/ha)	Peso do Carvão (t/ha)	Peso Sem Carvão (t/ha)	Taxa de Formação de Carvão (%)	
PASTO "A"								
Pre-queima	Normal (a,b)	108.82	3.61	82.99	3.14	79.85	-	0.763
	Podre	32.63	1.07	15.14	0.75	14.40	-	
	Total	141.5	4.7	98.1	3.9	94.2	-	0.464
Pos-queima	Normal (a,b)	101.39	4.39	76.97	3.81	73.16	-	0.759
	Podre	27.33	1.27	12.71	0.88	11.84	-	0.465
	Total	128.7	5.7	89.7	4.7	85.0	-	
E.C. (%)	Normal	6.8	-21.9	7.3	-21.4	8.4	0.84	
	Podre	16.2	-17.9	16.0	-17.5	17.8	0.91	
	Total	9.0	-21.0	8.6	-20.7	9.8	0.85	
PASTO "B"								
Pre-queima	Normal (a,b)	27.72	0.85	17.33	0.80	16.53	-	
	Podre	5.76	0.22	2.83	0.17	2.66	-	
	Total	33.5	1.1	20.2	1.0	19.2	-	

- (a) Relação Peso x Volume $P_n = -5,105 + 0,809.V_n$; $r^2 = 0,984$ e $GL=25$
dos troncos com carvão: $P_p = 0,190 + 0,458.V_p$; $r^2 = 0,726$ e $GL=30$.

Onde: P= peso dos troncos com carvão (t/ha),
V= volume dos troncos com carvão (m^3/ha),
n= peça normal e p= peça podre.

- (b) Relação Peso x Volume $P_{cn} = 0,071 + 0,851.V_{cn}$; $r^2 = 0,851$ e $GL=22$
do carvão: $P_{cp} = 0,020 + 0,678.V_{cp}$; $r^2 = 0,678$ e $GL=30$.

Onde: P= peso do carvão (t/ha),
V= volume do carvão (m^3/ha),
cn= carvão da peça normal e cp= carvão da peça podre.

- (c) Valores negativos na eficiência de combustão representam formação de carvão.

demais frações pelo método destrutivo), a biomassa total acima do solo na pastagem de 7 anos resulta em 124,4 t/ha (pré-queima) e 99,4 t/ha (pós-queima), com uma eficiência de combustão de 20% para a biomassa total (FIGURA 4A e 5A). Para o grupo da biomassa dos resíduos florestais este valor foi de 11,9%, sendo de 9,8% para os "troncos". A taxa média de formação de carvão pela biomassa dos "troncos" da floresta original fica mantida a mesma determinada pelo método volumétrico (0,85%) e, para o total deste grupo em 0,6%. Para a biomassa total da pastagem "A" este índice se estabelece em 0,65%.

A biomassa da pastagem de 9 anos (B) fica registrada com 32,8 t/ha na pré-queima, assim distribuídas: (1) pasto: 8,1 t/ha; (2) capoeira: 0; (3) "troncos" normais e podres da floresta original: 16,5 e 2,7 t/ha; (4) "litter" + "palmeira" do resíduo florestal : 2,6 e 1,8 t/ha e (5) carvão (solo + biomassa): 0,1 e 1,0 t/ha (FIGURA 4B e 5B).

Estes valores serão considerados como o resultado final obtido neste estudo para a biomassa acima do solo das pastagens analisadas.

4.1.2. Discussão

Os resultados de biomassa total acima do solo determinados para as pastagens deste estudo, são comparados diretamente apenas com poucos trabalhos realizados na região. A

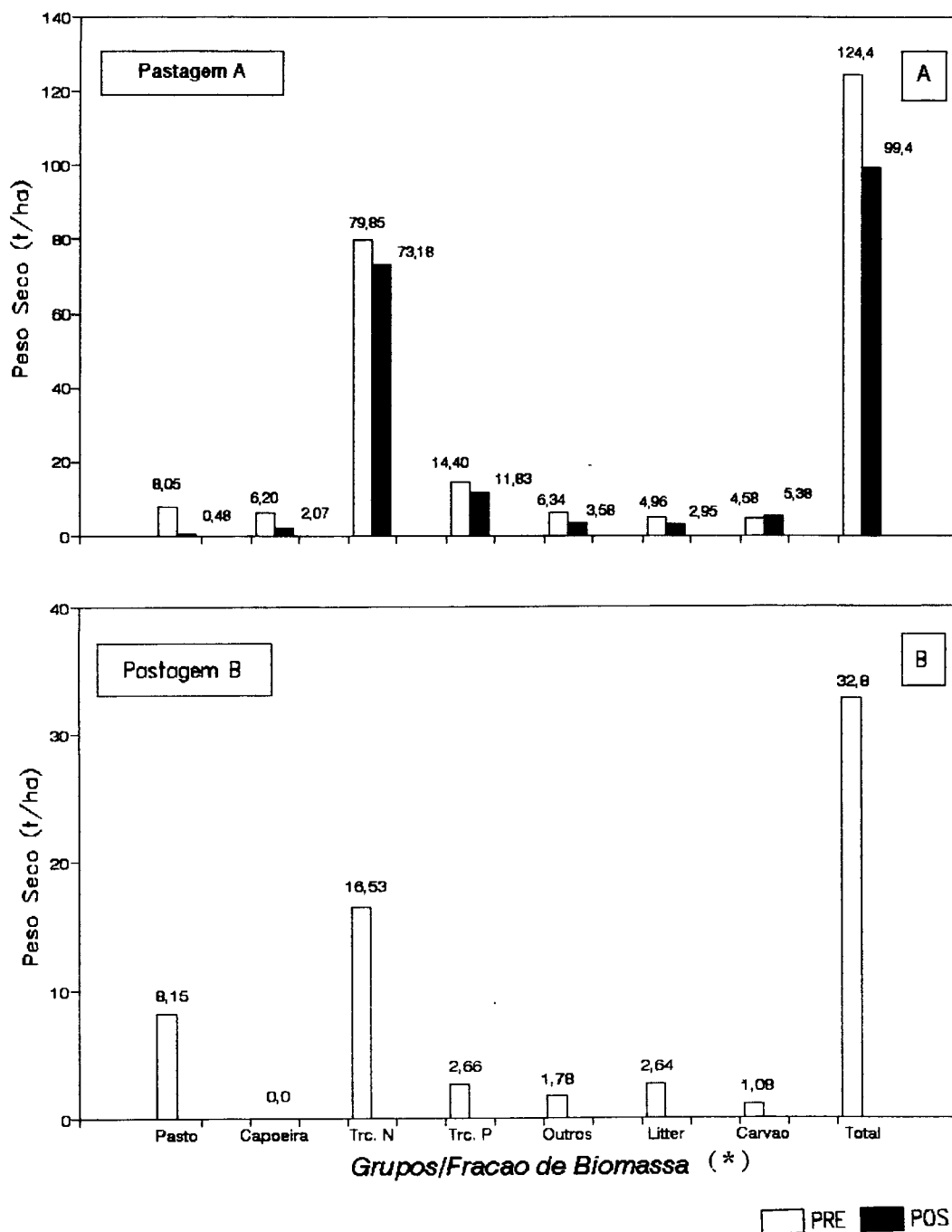


FIGURA 4 - Peso seco (t/ha) da biomassa acima do solo nas pastagens de (A) 7 anos (pré/pós-queima) e (B) 9 anos (pré). Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993).

(*) Trc= tronco da biomassa dos resíduos florestais (N=normal e P=podre); Outros= demais componentes dos resíduos; Carvão= solo + biomassa; Litter na pós-queima de "A" somado às cinzas.

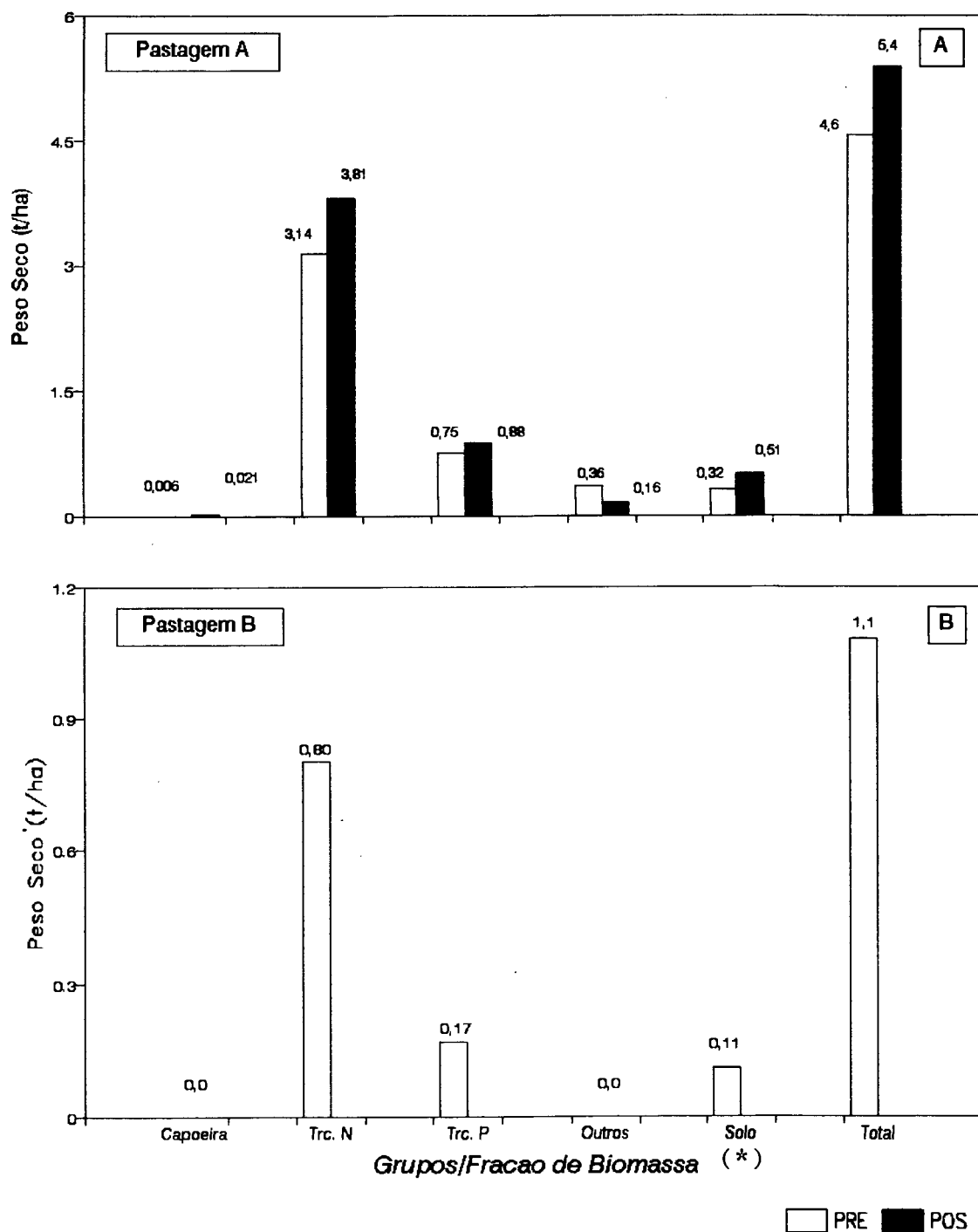


FIGURA 5 - Peso seco (t/ha) do carvão do solo e da biomassa nas pastagens de (A) 7 anos (pré/pós-queima) e (B) 9 anos (pré). Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993).

(*) Trc= carvão dos troncos da biomassa dos resíduos florestais (N=normal e P= podre); Outros= carvão dos demais componentes dos resíduos; Solo= carvão do solo.

TABELA 3 apresenta resultados de alguns estudos obtidos na Amazônia, que possuem registros isolados de frações de biomassa em ecossistemas convertidos.

A variação entre os resultados apresentados demonstra que a biomassa presente em ecossistemas convertidos é função do tipo, do tempo e da intensidade de uso a que foi submetido, como destacado por UHL et al. (1988). Entretanto, algumas similaridades são encontradas. Por exemplo, "troncos" residuais da floresta original da pastagem "B" (9 anos) apresentou semelhança a uma derivação das observações de UHL et al. (1988) em 13 sítios de pastagens abandonadas com média de 6 anos de uso e 5 anos de abandono em Paragominas/PA (21,3 t/ha). Entretanto, a mesma fração na pastagem "A" (7 anos) é 1,7 vezes maior do que a média encontrada por UHL & SALDARRIAGA (s/d), na Venezuela, para antigos sítios de agricultura itinerante com idade entre 6-7 anos (56 t/ha).

Os resultados de biomassa do pasto (Brachiaria humidicola) foram maiores do que os apresentados, com exceção dos derivados de SERRÃO et al. (1978) em Manaus (16,3 t/ha) para áreas re-convertidas em pastagens de B. humidicola. BUSCHBACHER (1984), estudando o comportamento deste grupo em substituição a floresta madura e capoeira de 15 anos, na Venezuela, estimou em 3,3 e 0,6 t/ha (média de três anos) a biomassa da gramínea presente (B. decumbens) após 3,5 anos de uso. Estes valores são, pela ordem, 2,4 e 13 vezes menores do que a média deste estudo

TABELA 3 - Resultados de biomassa acima do solo (t/ha) em diferentes localidades da Amazônia, estabelecidas por grupo em ecossistemas convertidos.

Grupo Biomassa	Uso da Terra	Pasto Capoeira		Floresta		Litter	Total	Metodo de Amostragem	Referencia
		-----	-----	Troncos	Outros				
Localidade				(a)	(a)		(1)		
Apiau/RR (b)	Past. Produtiva	8.0	6.2	94.2	6.3	5.0	124.4	Direto/Indireto	Este estudo
Apiau/RR (b)	Past. Produtiva	8.1	0.0	19.2	1.8	2.6	32.8	Direto/Indireto	Este estudo
Altamira/PA (c)	Capoeira	-	26.1	-	-	-	-	Direto	Guimaraes (1993)
Paragominas/PA (d)	Past. Abandonada	-	-	21.3	-	7.6	-	Indireto	Uhl et al. (1988)
Ouro Preto/RO (e)	Past. Produtiva	4.0 2.6	-	-	-	-	-	Direto	Fearnside et al. (s/d-b)
Cap. Poco/PA (f)	Past. Abandonada	3.6	-	-	-	4.7	-	Direto	Dantas (1989)
Venezuela (g)	Agric.Itinerante	-	-	56.0 45.3	-	-	-	Direto	Uhl & Saldarriaga (s/d)
Venezuela (h)	Past. Produtiva	3.3 0.6	-	-	-	1.5 1.9	-	Direto	Buschbacher (1984)
Apiau/RR (i)	Capoeira	0.0	33.6	71.4	8.5	12.1	126.0	Direto	Fearnside et al. (s/d-a)
Paragominas/PA (j)	Past. Abandonada	-	-	39.0	-	-	-	Direto	Uhl & Kauffman (1990)
Paragominas/PA (k)	Past. Convertida	6.0 16.3	-	-	-	-	-	Direto	Serrao et al. (1978)
Manaus/AM (k)									

- (a) demais componentes da biomassa florestal.
 (b) pastagem produtiva de Brachiaria humidicola de 7 e 9 anos antes da queimada.
 (c) capoeira formada de pastagens abandonadas (média para 10 capoeiras = 4 anos de idade e 8,1 anos de uso).
 (d) pastagens secundárias onde a vegetação secundária é dominante (média de 6 anos de uso e 5 anos de abandono); biomassa dos "troncos" caídos.
 (e) média para pastagens de Panicum maximum com 3-4 e 12-13 anos de idade, pela ordem.
 (f) média de 5 tratamentos em 3 diferentes épocas do ano (início, meio e fim da estação chuvosa); a gramínea é de Hyparrhenia rufa.
 (g) média para amostras de 6-7 (n=3) e 8-10 (n=3) anos, respectivamente, incluindo os "galhos" remanescentes.
 (h) Medidas de 3 idades diferentes no início da formação de pasto com Brachiaria decumbes; o primeiro formado de uma floresta madura e o segundo de uma capoeira de 15 anos; o resultado é uma composição da biomassa viva e morta do capim.
 (i) capoeira de 6 anos de idade (antigo sítio de agricultura).
 (j) restos de madeira com diâmetro superior a 7,6cm.
 (k) B. humidicola introduzida em antigas pastagens de P. maximum (13 e 8 anos de uso respectivamente); resultado experimental controlado e sem adubação.
 (1) incluindo o carvão do solo e da biomassa não listados.

(8,1 t/ha). FEARNSSIDE et al. (s/d-b) encontrou biomassa de 4,0 e 2,6 t/ha em pastagens de Panicum maximum em Rondônia com idade entre 3-4 e 12-13 anos, respectivamente. Porém, estes valores representam a biomassa média ao longo do ano, determinada a uma altura de 10cm acima do solo, que foi o limite de corte utilizado para a amostragem. No presente estudo o corte foi realizado a 2cm do solo e, foi pontual ao final da estação seca na região. Espécie da gramínea, método e período de corte são fatores preponderantes na formação dos resultados neste grupo.

A participação da biomassa do pasto no conjunto total foi dependente do tempo de uso, sendo 6,4% em "A" e 24,7% em "B". Isto porque quanto mais nova a pastagem, maior será a presença proporcional dos resíduos florestais e menor a do "capim". Nas formas abandonadas estes valores se modificam devido a entrada com maior intensidade da biomassa da capoeira. A eficiência de combustão deste grupo (> 90%) foi alta e comparável ao valor assumido por HAO et al. (1990) para queima de pastagens naturais (83%). A média de HAO e colaboradores foi obtida através das estimativas realizadas por HOPKINS (1965) na Nigéria (84%) e, DELMAS (1982) e LAMOTTE (1985) na Costa do Marfim (67-98%).

Biomassa da capoeira é dependente do estágio de degradação da pastagem e do tipo de sistema convertido. Mesmo considerada produtiva, a pastagem "A" possuía 6,2 t/ha deste grupo (pré-queima). Um valor próximo ao da biomassa do pasto. GUIMARÃES (1993) e FEARNSSIDE et al. (s/d-a) encontraram números

com pouca diferença entre si, porém provenientes de sistemas de vegetação secundária diferentes: pastagens abandonadas (26,1 t/ha) e sítio de agricultura com 6 anos de abandono (33,6 t/ha), respectivamente. Estas observações são distantes dos resultados obtidos nas pastagens "A" e "B" pelo diferente estágio de sucessão, manejo e uso da terra.

Os valores de "litter" também variaram entre os dados disponíveis. As 7,6 t/ha obtidos por UHL et al. (1988) em pastagens abandonadas são maiores que os observados neste estudo (5,0 t/ha - "A" e 2,6 t/ha - "B"), se aproximam dos 4,7 t/ha e 1,7 t/ha derivados de DANTAS (1989) e BUSCHBACHER (1984), respectivamente. Esta fração possui dependência com o tipo de biomassa dominante, além da época e do método de coleta. Sua eficiência de combustão foi alta (> 45%) devido a grande quantidade de partículas finas.

Os fatores de distorções nos resultados apresentados, por vezes independem de medições em ambientes similares. Em sistemas de pastagens, a qualidade e a frequência das queimadas são parâmetros que geralmente não são abordados, entretanto, auxiliam nos contrastes. Neste estudo, mesmo com apenas dois anos de diferença, a pastagem "B" apresentou biomassa total 3,8 vezes menor do que em "A" (pré-queima). Este resultado foi devido ao maior número de queimadas em "B" (6) do que em "A" (3). Além disto, as duas últimas queimas em "B" foram de alta qualidade devido ao grande acúmulo de material seco (capim) no solo,

fazendo com que boa parte da biomassa residual desaparecesse (observação pessoal).

A biomassa que sofre ação do fogo é aquela efetivamente presente no sistema na época da queimada. Isto geralmente ocorre ao final da estação seca. Estimativas realizadas fora desta época para cálculos de emissões de gases podem super-estimar, principalmente, os resultados de biomassa de pasto, capoeira e litter, pois o acúmulo de matéria orgânica e crescimento destes grupos estão ligados a condições climáticas favoráveis (umidade e insolação). Além disto, o número de replicatas e a área de amostragem são fatores importantes que podem influenciar nos resultados. Neste estudo, o número total de unidades amostrais (36 em "A" e 24 em "B"), foi distribuída em uma área de 600 m² para as duas fases de queima em pastagens de apenas duas idades. Para se ter uma estimativa mais próxima do real nestes sistemas, seria necessário aumentar o horizonte de medição pelo tempo de uso, além de um maior número de pontos, elevando a quantidade de sub-quadras e, conseqüentemente a área amostrada.

4.1.2.1. Perda da Massa Original

Assumido o valor médio proposto na TABELA 4 para biomassa total acima do solo da floresta primária na região do Apiaú (266 t/ha), a perda da massa florestal original foi de, pela ordem, 165 t/ha (62,0%) e 244 t/ha (91,7%) para as pastagens "A" (7 anos) e "B" (9 anos), considerando o valor pré-queima.

TABELA 4 - Estimativa do peso seco (t/ha) da biomassa total acima do solo para floresta primária na região da Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil.

Categoria/Tipo Floresta Original	Região de Roraima	Tipo de Medição	Estimativa da biomassa acima do solo (t/ha)			Uso do solo	Fonte (d)
			Troncos	Outros	Total		
ON / não-densa	aproximadamente 150 km a oeste do Apiaú	Indireta	179.7	87.3	267	floresta primária (6 pontos amostrais) (e)	BRASIL (1975)
DS / densa	aproximadamente 50 km ao redor do Apiaú	Indireta	177.7	86.3	264	floresta primária (15 pontos amostrais)	BRASIL (1975)
Media			179	87	266		

- (a) categorias e tipos florestais originários da codificação do mapa do IBDF/IBGE (1988): DS (floresta ombrófila densa sub-montana) e ON (área de tensão ecológica sob floresta ombrófila/floresta estacional).
- (b) "troncos" são considerados as peças de madeira com diâmetro maior que 10cm.
- (c) "outros" são o restante dos componentes da floresta (galhos, palmeiras, etc).
- (d) dados oriundos de BRASIL (1975) são estimativas de volume (m^3/ha), ajustados para biomassa seca acima do solo (t/ha) da seguinte forma:
- 1- Total: Biomassa total acima do solo calculada como; $P = V.d.VEF.BEF.FA$, onde:
- . P= peso seco (t/ha) da biomassa acima do solo para a tipologia florestal correspondente;
 - . V= volume médio (m^3/ha) originário de BRASIL (1975), sendo 85,38 m^3/ha (DS) e 74,94 m^3/ha (ON), para todas as árvores com diâmetro a altura do peito (dap) maior que 31,8cm.
 - . d= densidade (g/cm^3), assumindo o valor de 0,67 (DS) e 0,65 (ON) (FEARNSIDE, s/d-c).
 - . VEF= fator de expansão de volume, presumido em 1,25 (florestas densas) e 1,5 (não-densas) por BROWN & LUGO (1992) para ajustar os dados de volume das com dap entre 10-30cm não incluídas em BRASIL (1975).
 - . BEF= fator de expansão da biomassa proposto por BROWN & LUGO (1992), onde:
BEF= $\exp(3,213 - 0,506 \cdot \ln(SB))$ para SB menor que 190 t/ha e,
BEF= 1,74 para SB maior ou igual a 190 t/ha, sendo que SB é a biomassa dos troncos vivos acima do solo ($d.VEF.Vol$ de BRASIL (1975) em m^3/ha).
 - . FA= 1,2894; fator de ajuste derivado de FEARNSIDE (1992) para corrigir a não inclusão de outras frações nas estimativas anteriores.
- 2- Troncos: considerados como 67,3% do total da biomassa (valor derivado de três medidas diretas realizadas em Manaus-2 e Altamira-1, por FEARNSIDE et al.(1993; s/d-c e s/d-d).
- (e) cada ponto amostral refere-se a uma área de 1 ha amostrado por BRASIL (1975), nas proximidades da região do Apiaú.

Parte foi recuperada na forma de vegetação secundária e gramíneas. Entretanto, o volume perdido em poucos anos é superior várias vezes ao reincorporado à paisagem. A pequena quantidade de biomassa que substitui a floresta é um dos fatores de importância no cálculo das emissões de gases por queima de pastagens, pois a vegetação substituta não consegue recuperar o carbono liberado pela queima da biomassa original (FEARNSIDE, 1985). Isto implica em um maior tempo de residência do carbono na atmosfera antes que ele possa retornar a biota.

As perdas estão agregadas por (1) combustão, (2) formação de carvão e (3) decomposição natural. A importância na distinção destas causas se dá pelo fato de que, mesmo em caso de liberação moderada de carbono de uma delas, sua combinação pode produzir efeitos em que o ecossistema convertido funcione como uma fonte líquida de carbono (UHL & SALDARRIAGA, s/d). Contudo, a quantidade de carvão formado pode propiciar um sumidouro de carbono (SEILER & CRUTZEN, 1980), dependendo da taxa de formação de carvão, principalmente das peças de madeira do grupo da biomassa florestal residual. Neste sentido, a dinâmica de desaparecimento deste grupo pode favorecer a uma melhor compreensão do estoque e liberação de carbono por sistemas de pastagem na Amazônia em diferentes fases. A longa resistência que algumas frações do grupo possuem pode propiciar reservatórios e fontes de carbono a longo prazo. Por exemplo, UHL & SALDARRIAGA (s/d) observaram que em sítios de agricultura itinerante de 30-40 anos na Venezuela (incluindo períodos de pousio), ainda existiam

7 t/ha de peças de madeira (troncos e galhos) do antigo uso florestal.

Alguns fatores são complicadores na desagregação da perda de biomassa para formulação de modelos desta natureza. A principal delas é a grande variabilidade de comportamento entre as diferentes frações que compõe a paisagem. Por exemplo, a taxa natural de transformação de peças normais em podres pode variar em função do fogo nas pastagens e ao longo do tempo, trocando assim a proporção entre estas duas frações com as sucessivas queimadas. Se esta proporção é alterada significativamente, então a taxa de desaparecimento da biomassa também pode mudar devido a diferenças na eficiência de combustão.

Do ponto de vista de entrada líquida de carbono na atmosfera, as biomassas do pasto e capoeira em pastagens convertidas e não-abandonadas, assumem papel de importância menor quando comparados com a a biomassa dos resíduos florestais. É presumido que a maior parte do carbono liberado destes dois grupos retorne, devido ao seu rápido crescimento, na forma de CO_2 devido a atividade fotossintética. Porém, outro importante gás também é produzido pelas queimadas - CH_4 (CRUTZEN et al., 1979), entrando de forma líquida na atmosfera e contribuindo para o aquecimento global (FEARNSIDE, 1990). Este potencial de liberação é mal quantificado por parte destes dois grupos. Entretanto, devido a importância que a biomassa dos resíduos florestais assume dentro de pastagens convertidas, adotei este grupo como

aquele que melhor exprime a entrada líquida de carbono na atmosfera.

4.1.2.2. Estimativa da Taxa de Desaparecimento da Biomassa dos Resíduos Florestais em Pastagens

Os modelos que envolvem taxas de desaparecimento de biomassa, geralmente expressam esta perda utilizando taxas constantes. Por exemplo, BOGDONOFF et al. (1985), previram em uma simulação sobre o fluxo de carbono entre os trópicos e a atmosfera, taxa fixa para decomposição natural ao longo do tempo (consideraram também que a formação de carvão e a combustão ocorriam apenas uma vez - na transformação inicial). Este cenário não é o padrão em pastagens da Amazônia. Por exemplo, em trabalho recente, MARTIUS et al. (s/d) estimam taxas individuais de decomposição natural para cada período anual em áreas desmatadas da Amazônia. Isto é o que seria de se esperar em ambientes perturbados e propensos a grandes oscilações bióticas e abióticas, agindo de forma mais acentuada e diferenciada na matéria orgânica residual.

A simulação apresentada na FIGURA 6 leva em consideração as presunções estabelecidas na TABELA 5A e, uma taxa composta de desaparecimento de biomassa (decomposição natural, combustão e formação de carvão), admitida dentro da mesma função logarítmica utilizada por BUSCHBACHER (1984). O modelo aponta para os 10 primeiros anos (incluindo o distúrbio inicial), uma

TABELA 5 - Valores presumidos para os parâmetros de avaliação do desaparecimento da (A) biomassa e do (B) carbono dos "troncos" e "outros" componentes da floresta original, deixados na forma de resíduos em pastagens.

A - BIOMASSA

1. Número de queimadas - 4 (para 10 anos de uso, incluindo a inicial).

2. Desaparecimento da biomassa é regido pelo modelo logarítmico usado por BUSCHBACHER (1984): $\ln X = \ln X_0 - Kc.t$. Onde: X= biomassa no tempo 't'; X_0 = biomassa inicial e Kc= taxa composta de desaparecimento da biomassa (combustão, decomposição natural e formação de carvão).

3. Biomassa acima do solo antes da queima inicial no gradiente ON/DS (Ver TABELA 4):

. biomassa total	= 266 t/ha
. troncos	= 179 t/ha
. outros	= 87 t/ha

a) eficiência de combustão e taxa de formação de carvão na queima inicial (média de 3 resultados para floresta original derivados de FEARNSIDE et al. (1993; s/d-c e s/d-d):

	E.C. (%)	T.F.C (%)
. troncos -	19,9	1,5 (*)
. outros -	66,4	0,4

(*) considerado como 80% do valor total.

b) biomassa após a queima inicial (considerando os itens acima descritos):

. troncos	= 140,7 t/ha
. outros	= 28,9 t/ha

4. Taxa de decomposição natural na capoeira de 6 anos (K_{cap}) após a queima inicial, presumida como igual a da pastagem (K_{pas}) nos primeiros estágios (o mesmo modelo logarítmico é utilizado).

(t/ha)	Biomassa Após Queima Inicial	Biomassa Após 6 anos	$K_{cap}=K_{pas}$
. troncos	140,7	71,4 (*)	0,113
. outros	28,9	8,5 (*)	0,204

(*) derivado de FEARNSIDE et al., s/d-a.

cont. ...

5. A partir da 1ª re-queima nas pastagens - Eficiência de combustão (%) e formação de carvão (%) (este estudo):

	E.C. (%)	T.F.C (%)
. troncos -	9,8	0,85
. outros -	43,5	0,085(*)

(*) - considerado com 10% do valor dos troncos.

B - CARBONO

1. Carbono pré-existente na biomassa inicial:

- . troncos = 85,4 t C/ha (considerando média ponderada de 47,7% de conteúdo de carbono)
- . outros = 40,7 t C/ha (considerando média ponderada de 46,8% de conteúdo de carbono)

2. Taxa de formação de carvão (%) sobre o carbono pré-existente:

	Queima Inicial	Re-queimas (pastagem)
. troncos	2,2 (*)	1,2
. outros	0,5	desprezível

(*) 80% do valor determinado por FEARNSIDE et al. (1993).

3. Eficiência de combustão (%) do carbono pré-existente:

	Queima Inicial (*)	Re-queimas (pastagem)
. troncos	18,9	12,1
. outros	63,1	39,6

(*) derivado de FEARNSIDE et al. (1993).

4. Taxa de decomposição do carvão assumida como desprezível.

5. Perda de carbono pela decomposição natural da biomassa assumida como:

- . troncos = 0,167 (taxa de decomposição natural da biomassa multiplicado por 1,477, derivado da %C)
- . outros = 0,156 (idem, multiplicado por 1,468).

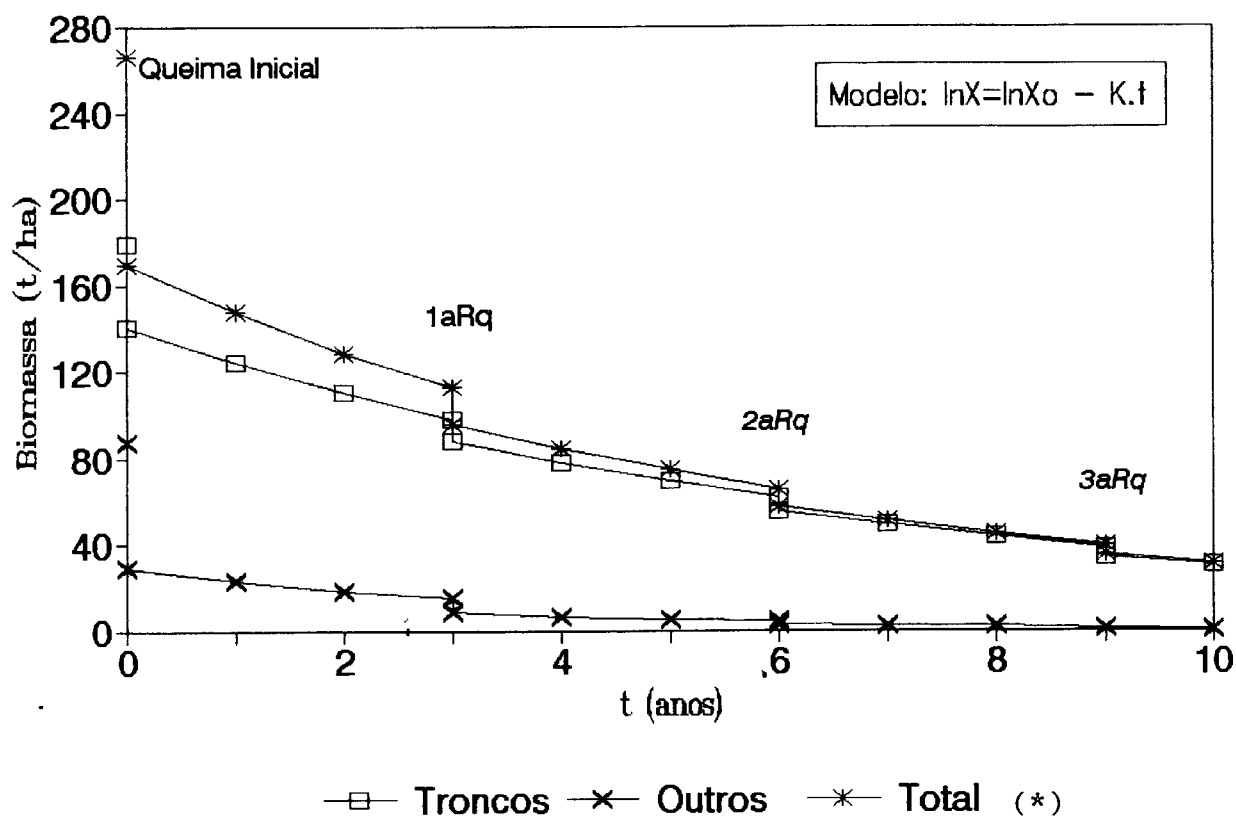


FIGURA 6 - Estimativa do desaparecimento da biomassa florestal em pastagens convertidas, dentro de um período simulado de 10 anos de uso e 4 queimadas (1 inicial e 3 re-queimadas).

(*) Taxa de desaparecimento composta: total (K_{tot}) = 0,216
 troncos (K_{tr}) = 0,178
 outros (K_{out}) = 0,516

taxa de perda média anual de 0,216, sendo 0,178 para os "troncos" e 0,516 para os "outros" componentes (galhos, gravetos, palmeiras, etc).

Estes valores admitiram peso diferente ao efeito da qualidade das queimadas (inicial e re-queimas), sem desprezar a frequência em que ocorreram. A tendência é que as taxas imprimam um ritmo mais lento de desaparecimento a partir de estágios secundários (principalmente decomposição natural) devido a maior resistência que algumas madeiras possuem. Na interpretação dos resultados simulados apresentados na FIGURA 6 deve-se levar em consideração que ele não pretende discutir projeções pontuais. A utilidade do modelo é apresentar a tendência média do desaparecimento da biomassa residual baseado nas medições feitas nas pastagens "A" e "B". Isto possibilita estimar o tempo aproximado de perda total da biomassa florestal nestes sistemas, auxiliando ainda na correção de parâmetros usados nas estimativas de depósitos e fontes de emissão de carbono.

A modelagem indica, da mesma forma que na medição direta realizada, uma grande perda da biomassa total florestal nos primeiros anos de estabelecimento das pastagens: 88,4% até o 10º ano. Estas perdas estão distribuídas da seguinte forma: (1) combustão - 45,6%; (2) decomposição natural - 41,0% e (3) formação de carvão - 1,8%. A diferença permanece como biomassa ainda residente no sistema (11,6%). Isto pode indicar que o carvão formado com as seguidas queimas não seja um significativo

depósito de carbono a longo termo neste tipo de sistema (não foi computada a perda por combustão de carvão). A importância relativa da decomposição em combinação com a combustão, possui um efeito substancial que transforma ecossistemas convertidos em uma fonte líquida de carbono, pelo menos nos estágios iniciais e, dentro de um cenário de 4 queimadas até o 10º ano.

Isoladamente, biomassa dos "troncos" respondeu por 81,4% da decomposição natural e 92,4% da formação de carvão. Porém, em relação a combustão, "outros" componentes participaram com 54,7% das perdas, devido sua maior susceptibilidade a ação do fogo. De modo geral, a importância dos "troncos" na simulação foi maior sobre a biomassa total, com os demais componentes desaparecendo quase que por completo antes de 10 anos de uso como pastagem. Um resultado semelhante ao observado na pastagem "B" (9 anos).

Uma análise de sensibilidade poderia ser feita alterando alguns parâmetros no modelo e, utilizando dados determinados em outros estudos. Entretanto, são poucos os trabalhos que tratam destes fatores e, inexistentes em sistemas de pastagens convertidas, o que provoca algumas controvérsias. Por exemplo, uma taxa de formação de carvão na queima inicial de florestas tropicais foi proposta por SEILER & CRUTZEN (1980) como 20-30% do total da biomassa acima do solo. Contudo, esta extensão para os trópicos foi feita através de uma avaliação qualitativa após queima de uma floresta de Pinus ponderosa nos Estados Unidos

(FEARNSIDE, 1985). Esta taxa foi revisada por CRUTZEN & ANDREAE (1990), que estabeleceram como novo parâmetro um valor de 5%, porém, referente ao total de carbono pré-existente.

Os resultados encontrados no atual estudo são baixos em relação às poucas estimativas existentes. A taxa de formação de carvão foi de 0,6% em função da biomassa total dos resíduos florestais e 0,85% para os "troncos" individualmente. FEARNSIDE et al. (1993) determinaram como 1,8% esta taxa para a biomassa total em uma queima inicial próxima a Manaus. Em recente medida, FEARNSIDE et al. (s/d-c) observaram uma taxa de 1,2%, na mesma localidade do estudo anterior. Formação de carvão após a queima inicial fica dependente quase que exclusivamente dos "troncos", obedecendo um ritmo mais lento devido ao desaparecimento das peças menos resistentes nas primeiras queimadas. Isto pode imprimir uma magnitude menor na formação dos depósitos de carbono de longa duração em ecossistemas convertidos. A simulação apresentada indica que a emissão de carbono pela transformação da biomassa em sistemas convertidos, possui maior significância nos modelos de ciclagem global quando analisadas as perdas por combustão e decomposição natural.

Outro parâmetro que gera discussões é a eficiência de combustão. WONG (1978) sugeriu que um valor de 75% fosse aplicado para os trópicos. Contudo, este dado foi derivado de uma queima experimental de resíduos de madeira parcialmente seca, induzida para fogos ocorridos em zonas temperadas e boreais (FAHNESTOCK,

1979). GOUDRIAAN & KETNER (1984:p.179), baseando-se nas estimativas de SEILER & CRUTZEN (1980), indicaram fatores de 0,9 (galhos) e 0,3 (troncos) como índices de eficiência de combustão na queima inicial dentro de uma simulação sobre o ciclo do carbono. Do mesmo modo que a formação de carvão, a eficiência de combustão da biomassa florestal residual total nos estágios seguintes apontam uma queda (9,0%). Isto é verificado porque apenas as peças mais resistentes a desintegração por fogo ou decomposição continuam no sistema.

Formação de cinzas (não incluída no modelo) é uma outra forma de desaparecimento de biomassa pouco estudada. O valor de transformação na pastagem "A" (0,2%) é baixo em relação ao encontrado por FEARNSIDE et al. (s/d-a) na queima de uma capoeira de 6 anos (4,2%) na mesma região de Roraima. O maior volume de biomassa leve (folhas, litter e gravetos) na capoeira pode ter influenciado esta diferença. Entretanto, esta fração precisa ser melhor estudada juntamente com o material particulado de carbono que é liberado com a fumaça e depositado sobre o solo, podendo formar pequenos depósitos de carbono.

4.1.2.3. Estimativa do Tempo de Desaparecimento da Biomassa dos Resíduos Florestais em Pastagens

Presumindo que a taxa média de desaparecimento da biomassa total se reduza por um fator de 2 (0,108) a partir do 10º ano, toda biomassa desapareceria em aproximadamente 40 anos.

Este valor fica representado dentro de um cenário onde as pastagens permaneceriam como substitutas por longos períodos, com o recobrimento secundário surgindo após esta fase.

Estudos realizados em antigos sítios de agricultura itinerante na Venezuela e Colômbia, observaram que para recompor o estoque de biomassa da floresta original, seriam necessários de 140 a 200 anos (SALDARRIAGA et al., 1988). Mesmo sendo uma estimativa não conservadora, é pouco provável que o sequestro de carbono pela vegetação que sucederá a pastagem, consiga repor esta carga em tempo menor que 80-100 anos. Outros autores acreditam que dependendo da intensidade de uso, algumas centenas de anos poderiam se passar até que pastagens convertidas possam recompor toda a biomassa de uma floresta madura (NEPSTAD et al., 1990).

A grande diferença de tempo entre o completo desaparecimento da biomassa prevista nesta simulação e sua recomposição na forma da vegetação original, faz com que o tempo de residência do carbono emitido para a atmosfera possa contribuir com o aquecimento global. A rapidez com que a biota terrestre pode re-assimilar este excesso de CO₂ atmosférico é produto de discórdias (BOLIN, 1977; WOODWELL et al., 1978; HOUGHTON et al., 1987). A riqueza de CO₂ no ar poderia funcionar como um fertilizante que contribui ao aceleração do crescimento das plantas e acúmulo de matéria orgânica no solo (VAN VEEN et al., 1991). Entretanto, isto só ocorreria em situações ideais de

crescimento. O aumento excessivo na concentração de CO₂ atmosférico poderia então trazer consequências inversas devido aos efeitos nocivos que viriam acoplados a ele. Déficit de água em regiões agrícolas, elevação nos níveis de radiação ultravioleta e aumento de pestes, são alguns efeitos que limitariam qualquer benefício que o aumento de fertilização por CO₂ pudesse produzir (ERICKSON, 1993).

4.1.2.4. Avaliação dos Métodos de Amostragem

A associação de medidas diretas com indiretas podem proporcionar resultados mais eficazes nestes sistemas onde a variabilidade de dispersão da biomassa remanescente é grande (c.v. > 100% entre as sub-quadras). Esta combinação é melhor estabelecida na fração dos "troncos", podendo proporcionar índices de eficiência de combustão e formação de carvão mais confiáveis no componente de maior expressão dentro da paisagem. Isto proporciona ajustes necessários às estimativas não-destrutivas.

O método volumétrico (exclusivo para "troncos") demonstrou ser mais adaptado às condições de alta variabilidade das pastagens. Este método estima volume (total e carvão) pré e pós-queima sem a remoção das peças de madeira do seu local de origem, evitando distorções como o ocorrido no método destrutivo (maior biomassa pós-queima dos "troncos" normais em relação à pré-queima).

As medidas realizadas pelo método destrutivo dependem da forma como as frações estão distribuídas neste sistema. No caso do "capim", algumas sub-quadras obtiveram resultado nulo. Entretanto, como média da paisagem, esta técnica parece ser a mais indicada para este grupo, mesmo com um c.v de 65%. As demais frações, menos representativas dentro da pastagem, possuíam uma distribuição bem irregular porém, este método parece atender as exigências da estimativa.

Para a biomassa total acima do solo, o resultado foi melhor expressado pela combinação entre o método volumétrico (troncos) e o destrutivo (demais frações), embora a diferença tenha sido pequena em relação ao método direto individualmente. As relações obtidas pelo método destrutivo possibilitam estimativas menos trabalhosas e com menos erros de amostragem, além de evitar elevados custos com a utilização de maquinário de corte. Entretanto, resultados de medidas diretas não podem ser descartados porque propiciam a formação de ajustes nos modelos matemáticos de estimativa de biomassa (HIGUCHI et al., 1994).

4.2. Estoque e Liberação de Carbono pela Queima de Biomassa

4.2.1. Resultados

O total de carbono estocado na biomassa acima do solo da pastagem "A" (7 anos) antes da queimada foi de 59,5 t/ha (TABELA 6). Presumidamente, 11,9 t C/ha (20,0%) do total pré-

TABELA 6 - Estoque e liberação (t/ha) de carbono nas diferentes frações de biomassa da pastagem "A" (7 anos) e, o estoque (%) de C deixado em cada fração após a queimada. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993).

Grupo/Fração	Carbono Pre-Queima(a)		Carbono Pos-Queima		Liberação de C (t/ha)	Participação do estoque total de C na pre-queima deixado na fração	Eficiência de Transformação do Carbono
	% C (f)	Estoque	% C	Estoque		(%)	(%)
BIOMASSA DO PASTO							
. capim	42.4 (22;3,1)	3.42	38.4 (21;4,3)	0.19	3.23	0.31	94.6
BIOMASSA CAPOEIRA							
. ervas invasoras	47.2 (18;2,1)	0.90	44.7 (18;2,9)	0.45	0.45	0.75	50.3
. madeira							
gravetos	44.6 (21;2,1)	1.26	45.5 (14;2,4)	0.41	0.84	0.70	67.0
galhos	43.6 (4;5,5)	0.33	47.2 (2; -)	0.04	0.28	0.07	86.9
troncos (normal)	46.1 (2;5,5)	0.17	- -	0.00	0.17	0.00	100.0
troncos (podre)	43.8 (4;5,6)	0.12	41.3 (1; -)	0.01	0.11	0.01	93.3
. palmeira (folhas)	45.7 (14;1,3)	0.04	43.8 (14;2,0)	0.02	0.02	0.04	47.3
Sub-Total Capoeira	45.4 - (d)	2.8	45.1 -	0.9	1.9	1.6	66.7
BIOMASSA RES.FLOR.ORIGINAL							
. madeira							
gravetos	46.8 (16;3,7)	0.60	47.2 (18;3,6)	0.39	0.22	0.65	35.7
galhos	47.7 (13;4,0)	1.64	49.1 (16;3,3)	1.35	0.28	2.27	17.4
troncos (normal)	48.4 (13;2,1)	38.63	47.0 (14;1,7)	34.36	4.27	57.77	11.1
troncos (podre)	47.9 (20;3,0)	6.90	47.8 (14;1,7)	5.66	1.24	9.52	18.0
. palmeira (caules)	39.7 (8;7,0)	0.64	39.7 (8;7,0)	0.00	0.64	0.00	99.9
Sub-Total Res.Flo.Original	48.2 - (c)	48.4	47.2 -	41.8	6.7	70.2	13.7
LITTER	38.1 (24;4,8)	1.89	41.5 (24;7,1)	1.12	0.77	1.88	40.7
CINZAS	- -	-	16.1 (18;7,8) (b)	0.04	-0.04 (e)	0.07	-
CARVAO							
. solo	63.4 (23;6,1)	0.20	66.9 (22;7,1)	0.34	-0.14	0.58	-67.1
. biomassa							
- capoeira	55.8 (7;5,4)	0.00	58.0 (13;5,0)	0.01	-0.01	0.02	-263.8
- flor. original							
troncos (normal)	65.4 (10;5,8)	2.05	66.5 (14;4,9)	2.53	-0.48	4.26	-23.4
troncos (podre)	62.7 (16;6,7)	0.47	61.2 (15;7,6)	0.54	-0.07	0.90	-14.9
outros (g)	60.4 (26;6,7)	0.22	61.6 (28;5,4)	0.10	0.11	0.17	53.2
Sub-Total Carvão	64.4 -	2.9	65.5 -	3.5	-0.6	5.9	-19.8
TOTAL	48.1	59.5	48.3	47.6	-	-	
Liberacao Presumida					11.9	20.0	

- (a) biomassa utilizada para medir o estoque e liberação de carbono é a da FIGURA 4A.
(b) valor para "cinzas" fica representado como "material particulado" (carbono depositado na forma de partículas sobre o solo).
(c) %C da pós-queima em "palmeira" remanescente, assumida como igual a da pré-queima.
(d) %C por grupo de biomassa representa média ponderada entre as frações.
(e) números negativos representam carbono estocado no sistema.
(f) entre parenteses, o número de amostras (n) e o desvio padrão da %C, pela ordem.
(g) "outros" representa o somatório das frações de carvão de "palmeira", "galhos" e "gravetos" do resíduo da floresta original.

existente foram liberados para a atmosfera durante a queima. Biomassa dos resíduos da floresta original foi a que mais contribuiu na liberação com 6,7 t C/ha (56,3% do total), seguida da biomassa do pasto (3,2 t C/ha). Individualmente, os "troncos" normais da floresta original foram os de maior participação (4,3 t C/ha). A eficiência de transformação do carbono (eficiência de perda) foi conservadora para os resíduos florestais (13,7%). O grupo do carvão aglutinou o carbono transformado de outros grupos além de permanecer com grande parte de seu estoque anterior (-19,8%).

Do estoque total de carbono inicialmente existente, 70,2% permaneceram na biomassa dos resíduos florestais e 5,9% na forma de carvão (0,6% - solo e 5,3% - biomassa) após a queimada (FIGURA 7A). O carbono contido nas "cinzas" (contaminado pelo material particulado depositado no solo) juntamente com o do "litter", representaram maior volume estocado após a queima (2,0%) do que biomassa do pasto e capoeira juntas (1,9%).

O resultado do destino do carbono em cada grupo de biomassa individualmente, indicou que os resíduos florestais conservaram 85,4% do carbono pré-existente dentro do grupo (FIGURA 7B). Biomassa do pasto e capoeira, possuíram pouca capacidade de conservação de carbono, liberando 94,4% e 67,9% do pré-estoque (FIGURA 7C e 7D). Transformação do carbono contido na biomassa em carvão representou uma pequena participação: (1) 1,0% para a biomassa total acima do solo, (2) 0,4% para o grupo da

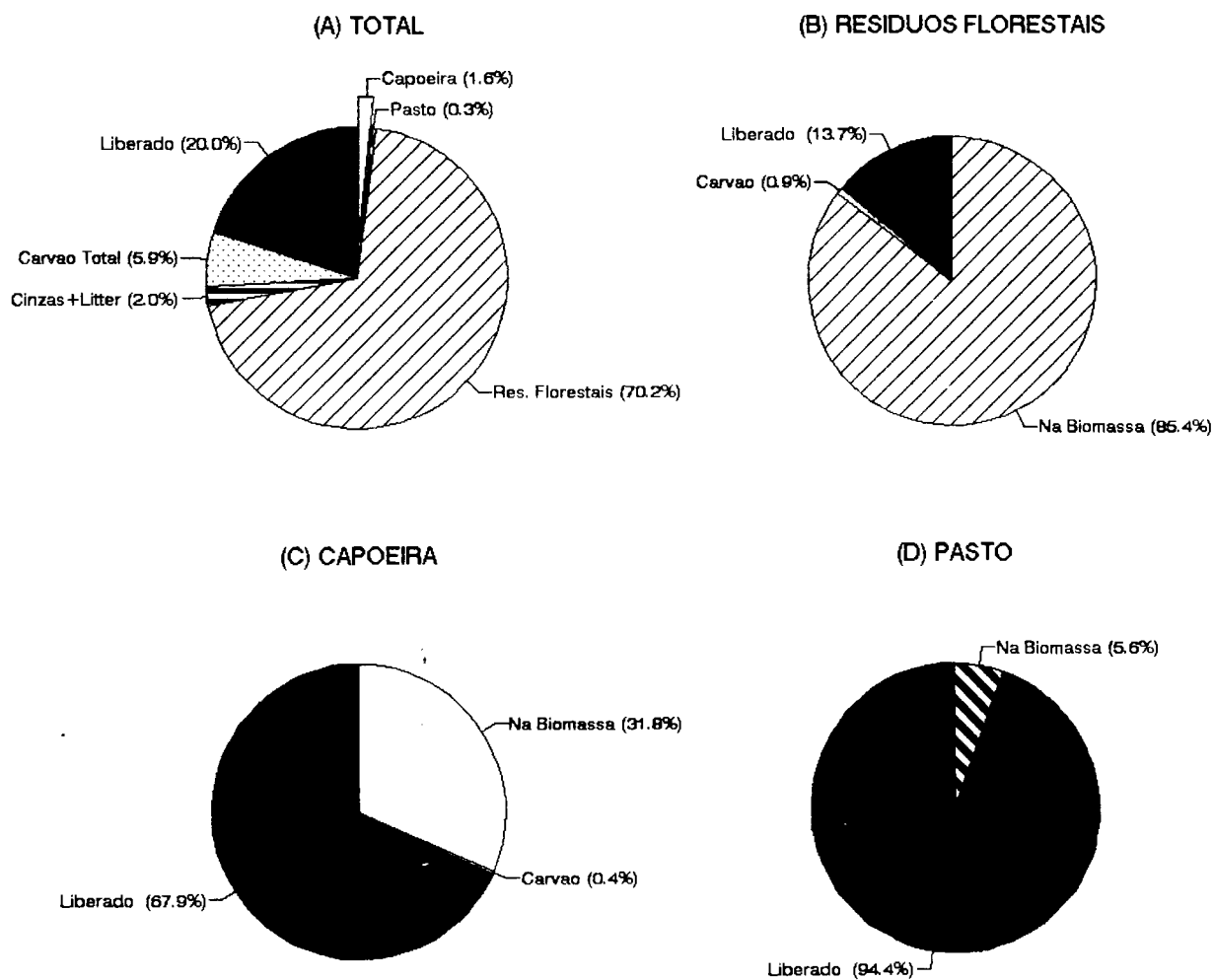


FIGURA 7 - Destino do carbono (%) após a queima em relação ao estoque (A) total pré-existente na pastagem de 7 anos e, dentro dos grupos de (B) resíduos florestais, (C) capoeira e (D) pasto. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993).

capoeira e (3) 0,9% para o grupo dos resíduos florestais, sendo 1,2% para os "troncos" isoladamente.

A concentração de carbono nas diferentes frações de biomassa, excetuando-se "carvão" e "cinzas", variou de 38,1% (litter/pré-queima) a 49,1% (galhos dos resíduos florestais/pós-queima). A média ponderada por grupo de biomassa e frações complementares ficou estabelecida da seguinte forma (pré/pós): (1) pasto - 42,4 e 38,4%; (2) capoeira - 45,4 e 45,1%; (3) resíduos florestais - 48,2 e 47,2%; (4) litter - 38,1 e 41,5%; (5) cinzas - (-) e 16,1%; (6) carvão - 64,4 e 65,5% e (7) total - 48,1% e 48,3%.

Considerando a estimativa de biomassa pré-queima da pastagem "B" (9 anos) e, os mesmos valores encontrados para a concentração de carbono nas frações da pastagem "A", o resultado para "B" é um estoque inicial de 15,1 t C/ha (TABELA 7). Biomassa dos resíduos florestais permaneceram como o grupo que agrega maior quantidade de carbono (66,2%), sendo que, individualmente, os "troncos" normais foram responsáveis por 53,0%. Carvão (solo e biomassa) representou 4,6% de todo carbono estocado acima do solo.

4.2.2. Discussão

Queima de pastagens na Amazônia liberam grandes quantias de carbono para a atmosfera. Apenas parte deste elemento

TABELA 7 - Estimativa do estoque de carbono (t/ha) na pastagem B (9 anos) para a fase pré-queima. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993).

Grupo/Fracao	N (b)	Pre-queima		Estoque de Carbono (t/ha)	Participacao de Cada Fracao no Estoque de C (%)
		t/ha	%C (a)		
BIOMASSA DO PASTO	3	8.2	42.4	3.46	22.8
BIOMASSA CAPOEIRA	24	0.0	-	-	0.0
BIOMASSA RES.FLOR.ORIGINAL					
. troncos (normal)	24	16.5	48.4	8.00	52.8
. troncos (podre)	24	2.7	47.9	1.27	8.4
. palmeira (caule)	24	1.8	39.7	0.71	4.7
Sub-total Res.Flor.Orig.		21.0		10.0	65.9
LITTER	3	2.6	38.1	1.01	6.6
CARVAO					
. solo	3	0.1	63.4	0.07	0.5
. biomassa					
- flor. original					
troncos (normal)	24	0.8	65.4	0.52	3.5
troncos (podre)	24	0.2	62.7	0.11	0.7
Sub-total Carvao		1.1		0.7	4.6
Total	-	32.8	-	15.1	-

(a) concentração de carbono determinada pelo material coletado na pastagem "A".

(b) número de amostras (sub-unidades amostrais).

é recuperado no período seguinte de crescimento devido ao rápido crescimento da biomassa do pasto e da capoeira. Entretanto, a presença da biomassa florestal na paisagem, permite que pastagens sejam uma provável fonte líquida de carbono nos anos iniciais de uso, devido principalmente as seguidas re-queimas e decomposição natural deste grupo. Em estágios avançados de degradação, a pastagem é abandonada, ficando sujeita ao recobrimento secundário da vegetação, aumentando o estoque de carbono no sistema (FEARNSIDE & GUIMARÃES, s/d).

A maior parte dos 11,9 t C/ha presumidamente liberados pela queima da biomassa vegetal da pastagem "A" (7 anos), corresponderam ao grupo da biomassa dos resíduos florestais. A importância relativa destes números se dá pelo fato que somas substanciais de biomassa florestal permanecem na pastagem durante vários anos, como demonstrado nos itens anteriores. Isto contribui para que o grupo continue com grande estoque de carbono mesmo após seguidas queimas. Apenas 13,7% do total de carbono pré-existente neste grupo, foram presumidamente liberados para a atmosfera, com o restante sendo conservado na forma de biomassa ou carvão. Resultados semelhantes em relação a preservação do carbono na biomassa florestal foram determinados por FEARNSIDE et al. (1993 e s/d-d) em queimas iniciais próximas à Manaus (72,5%) e Altamira (56,7%). Independente da quantidade de carbono liberado pela biomassa do pasto e capoeira, são os resíduos florestais os responsáveis pela quase totalidade das emissões líquidas de carbono para a atmosfera. Dependendo da forma de

manejo e da intensidade de uso, a maior quantidade de emissões se dá nos primeiros estágios de formação.

O valor determinado por FEARNSIDE et al. (1993) para transformação do carbono pré-existente em carvão para o total da biomassa florestal (2,7%), é maior do que o encontrado para a biomassa total da pastagem "A" (1,0%) e, individualmente para os "troncos" residuais (1,2%). Números mais baixos também foram encontrados por GUIMARÃES (1993) para os "troncos" remanescentes da floresta em 10 capoeiras no Pará (1,7%).

Fazendo uso dos valores apresentados na TABELA 5B e seguindo o mesmo modelo de desaparecimento de biomassa, é possível estimar o destino médio da perda de carbono pré-existente na massa florestal residual das pastagens (TABELA 8). A taxa média composta de perda de carbono foi de 0,286 ("troncos"= 0,249 e "outros"= 0,601) até o 10º ano. Esta taxa provoca uma perda total de 119 t C/ha (94,4%), presumindo 126 t C/ha pré-existente na floresta original. Pela simulação, apenas 5,7% permaneceriam na biomassa, enquanto que 41,7% se perderiam por combustão, 50,3% por decomposição e 2,3% se alocariam no carvão. Considerando os dados reais obtidos na pré-queima das duas pastagens, exclusivamente para a biomassa dos resíduos florestais, 5,4% do carbono deste grupo em "A" estavam na forma de carvão e, em "B" 4,5%. As duas estimativas (simulada e real) possibilitam a visão de que depósitos de carbono de longa duração vinham sendo super-estimados nos modelos de emissão por queima de

TABELA 8 - Estimativa dos destino das perdas de carbono (t/ha e %) dos componentes da biomassa dos resíduos florestais em pastagens convertidas, para uma simulação de 10 anos de uso contínuo e 4 queimadas (1 inicial e 3 re-queimas).

DESTINO (a)	TRONCOS		OUTROS		TOTAL	
	t C/ha	%	t C/ha	%	t C/ha	%
COMBUSTAO	24.4	28.6	28.2	69.3	52.6	41.7
CARVAO	2.6	3.1	0.2	0.5	2.8	2.2
DECOMPOSICAO	51.3	60.0	12.2	30.0	63.5	50.3
PERMANECEU BIOMASSA	7.1	8.3	0.1	0.2	7.2	5.7
TOTAL	85.4	-	40.7	-	126.1	-

(a) seguindo o modelo e as definições pré-estabelecidas na TABELA 5.

biomassa tropical. O valores de transformação de carbono em carvão em queimas iniciais da floresta superavam os 10% (Ver estimativas de SEILER & CRUTZEN, 1980).

As interpretações destas simulações são similares às de desaparecimento de biomassa. Combustão e decomposição são as responsáveis pela maior perda de carbono do sistema. Entretanto, a importância relativa de cada uma delas foi diferente para "troncos" (28,6% e 60,0%) e "outros" componentes (69,3% e 30,0%), pela ordem. As frações menos resistentes desaparecem mais rapidamente pela ação do fogo do que por decomposição natural. As peças resistentes ficam expostas por períodos mais longos a ação de organismos decompositores, provocando maior perda proporcional por este componente. Isto ocorre porque as queimadas não são anuais mas, em intervalos médios de 2-3 anos, obtendo assim um peso menor proporcional.

Recentes cálculos de emissões de carbono pela queima de biomassa nos trópicos não deixam claro a participação de ecossistemas convertidos (como as pastagens) no contexto regional e global (Ver HOUGHTON, 1991). Estes modelos levam em consideração apenas a queima inicial, ignorando uma importante parcela de biomassa que permanece decompondo e sofrendo re-queimas. Dos resultados apresentados na TABELA 8 para os resíduos florestais em pastagens, as perdas por combustão podem ser em média de 13,1 t C/ha/queimada até os 10 primeiros anos (incluída a queima inicial e considerando uma média de 3 re-queimas no

período). Por decomposição, o valor médio seria de 6,3 t C/ha/ano. Assumindo uma possível combinação de perda anual entre os dois fatores (11,6 t C/ha/ano), esta seria superior por um fator de 4 a uma taxa presumida de recobrimento por biomassa em sistemas agrícolas ou pastagens abandonadas jovens (5,0 t/ha/ano ou aproximadamente 2,5 t C/ha/ano).

Os valores determinados nas simulações deste estudo providenciam novos parâmetros de cálculo das emissões de carbono provenientes da queima de biomassa em pastagens convertidas na Amazônia. Entretanto, a pequena quantidade de trabalhos e a grande variação entre eles não fazem dos resultados obtidos neste estudo números definitivos de entrada nos modelos de emissão. Pelo contrário, aumentam ainda mais as controvérsias e, atentam aos comentários de ROBINSON (1989) sobre as incertezas multiplicativas adicionadas à computação de valores que estimem as emissões de gases pela queima de biomassa. Outras avaliações devem tomar corpo para que se possa ter uma real idéia da escala em que as mudanças no uso da terra na região provocam alteração no clima global.

4.3. Carbono Orgânico no Solo

4.3.1. Resultados

Carbono orgânico contido no horizonte de 0-20cm do solo da pastagem "A" antes da queimada, foi reduzido em 2,9 t C/ha

(10,1%) após a queima (TABELA 9). Este valor foi recuperado aos 120 dias, durante a estação das chuvas e, decaiu aos 210 dias, com a entrada do período seco na região (FIGURA 8).

O total de carbono (ajustado pela densidade) contido nos 20cm superficiais do solo da floresta primária (25,2 t/ha) foi semelhante ao da pré-queima (28,7 t/ha) e a pós-queima para 7 dias (25,8 t/ha), quando comparados pelo Teste de Student-Newman-Keuls (SNK). Entretanto, pré-queima e pós-queima de 120 dias (32,7 t/ha) são significativamente diferentes dos resultados da pós-queima de 210 dias (22,3 t/ha) a um nível $P < 0,01_{(1),4,67}$. Quando comparado isoladamente, a pós-queima de 120 dias também diferiu no mesmo nível estatístico da floresta primária e da pós de 7 dias.

4.3.2. Discussão

A perda instantânea de carbono no solo com a queimada na pastagem "A" para os primeiros 20cm, seguiu o mesmo comportamento registrado em outros estudos na Amazônia, variando apenas no valor liberado. Por exemplo, na queima de capoeiras em Altamira, GUIMARÃES (1993) encontrou perdas de 36 t C/ha. FEARNSIDE (1991) em uma derivação de vários resultados e CERRI et al. (1991) próximo a Manaus, registraram estas perdas na queima inicial da floresta primária como sendo de 3,9 t C/ha e 9,4 t C/ha, respectivamente. Todos dentro do mesmo referencial de profundidade (0-20cm). A redução do carbono do solo em relação ao

TABELA 9 - Concentração (%) e estoque (t/ha) de carbono no solo em amostras realizadas sob floresta primária e na pastagem "A" (7 anos), em diferentes tempos antes e depois da queimada. Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (1993).

Tipo de Vegetacao e Tempo	n (a)	d (g/cm3)	Carbono		
			(%)	(t/ha)	(c)
Floresta Primaria	12	1.0963	1.15	25.3 (7.62)	1,2 (d)
Pastagem "A"					
. (pre-queima)	18	1.2105	1.18	28.7 (5.72)	2,3
. (pos-queima no tempo 7 dias)	18	1.2105	1.07	25.8 (3.24)	1,2
. (pos-queima no tempo 120 dias)	12	1.2105 (b)	1.35	32.7 (9.38)	3
. (pos-queima no tempo 210 dias)	12	1.2105	0.92	22.3 (5.23)	1
Perda Instantanea (t/ha) (Pre-queima subtraida da Pos-queima)				2.9	

- (a) número de amostras compostas (3 sub-amostras/sub-quadra) coletadas a profundidade de 0-20cm.
- (b) densidade da pastagem medida aos 120 dias foi presumida como igual para os demais tempos.
- (c) números ao lado de cada média indicam igualdade entre os valores a um nível $P = 0,01$ para o estoque de carbono (Teste de Student-Newman-Keuls).
- (d) entre parenteses, o desvio padrão.

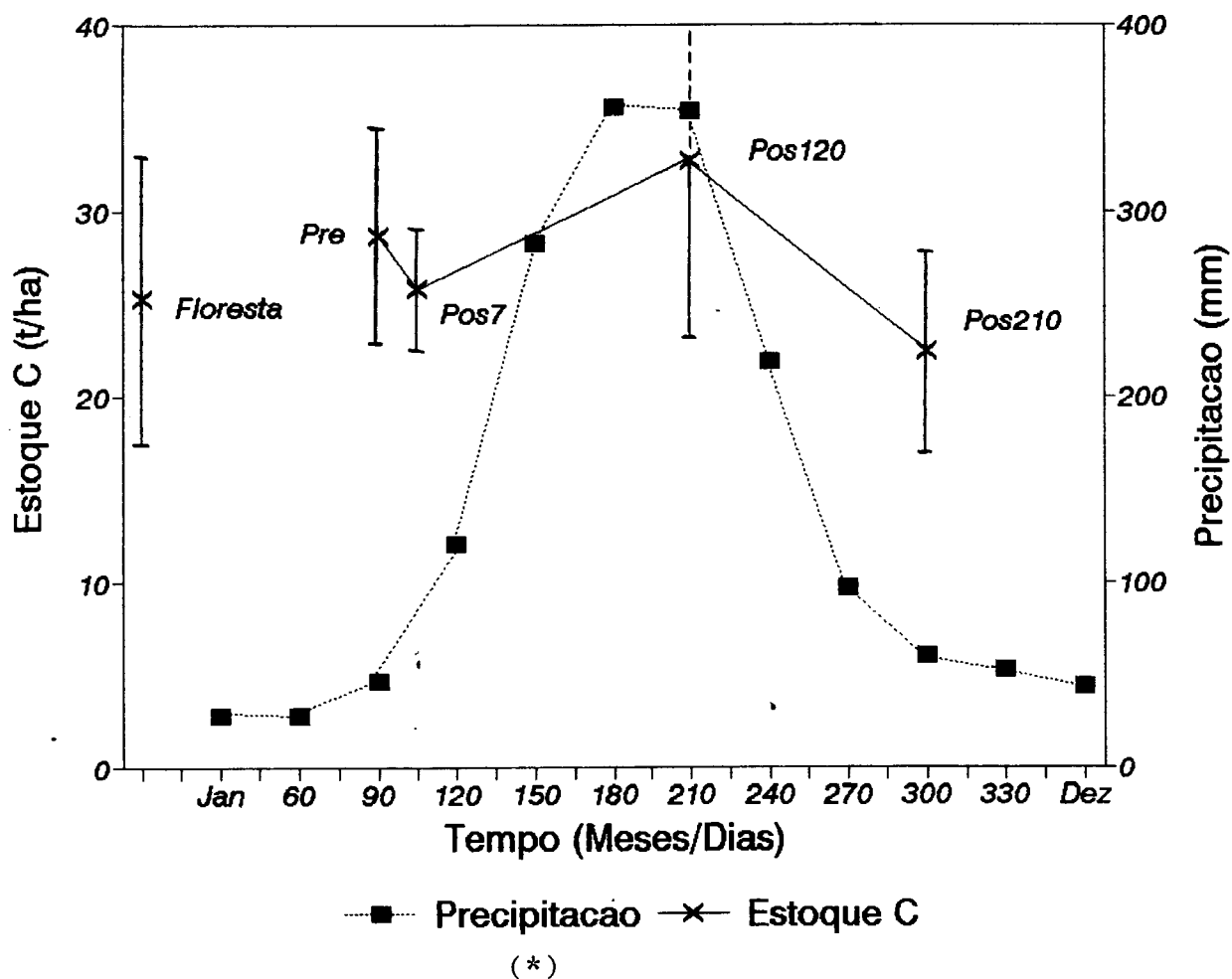


FIGURA 8 - Flutuação do estoque de carbono (t/ha) no solo da pastagem de 7 anos em relação às variações pluviométricas médias ocorridas próximas à região da Colônia do Apiaú.

(*) Dados de pluviometria obtidos do levantamento realizado pela Delegacia Federal de Agricultura/Instituto Nacional de Meteorologia (DFA/INMT) em Boa Vista-Roraima para o período de 1923 a 1978.

total pré-existente nos diferentes ecossistemas relacionados acima foi, pela ordem, 44,4%, 38,0% e 12,8% (derivação dos registros originais dos autores), demonstrando a grande variação entre estes sistemas.

DETWILER (1986) e DETWILER & HALL (1988) sugeriram que o estoque de carbono poderia ser reduzido em 20% na conversão de floresta primária para pastagem, dentro de um perfil de 40cm utilizado como referência em uma modelagem. HOUGHTON et al. (1987) assumiram que as perdas na transformação da terra em uso agrícola poderiam chegar a 25% em uma profundidade de 1m. Mesmo entre as estimativas derivadas de outros estudos, a variação permanece controvertida. É possível que as diferenças sejam pronunciadas em função do tipo de solo em que o sistema esta estabelecido, do que pelo tipo do sistema convertido. Solos argilosos tendem a possuir mais carbono por área (CERRI et al., 1992), o que pode influenciar em uma maior liberação. Além disto, a eficiência da ação do fogo nos resíduos superficiais e na matéria orgânica das camadas inferiores do solo também interferem nos resultados. O solo estudado no atual trabalho é arenoso, sendo proporcionalmente, os que menos perderam carbono (10,1%).

Medidas de acompanhamento a longo prazo do estoque de carbono em solos sob pastagens manejadas (0-30cm) foram realizadas em duas cronosequências (8 e 20 anos) em Rondônia por MORAES (1991). O estudo indicou uma perda inicial de carbono total do solo em relação a floresta primária, tendendo a uma

recuperação gradual devido ao constante acúmulo da matéria orgânica proveniente do pasto. Da mesma forma, quando comparado a floresta madura em Capitão Poço/Pará, DIEZ et al., (1991) encontrou concentrações de carbono (0-20cm) maior em capoeiras (6 e 8 anos) e igual em pastagem de 9 anos.

Entretanto, medidas de curto prazo possibilitam um melhor entendimento da dinâmica do carbono em sistemas tropicais convertidos sob a ação de flutuações climáticas. O conteúdo e a composição de resíduos orgânicos podem ser influenciados como uma consequência das trocas sazonais (ANDREUX et al., 1990), resultando em diferentes fases de acúmulo e perda de carbono abaixo do solo dentro do sistema. Os resultados encontrados na pastagem de 7 anos (pré e pós-queima de 7 dias) e na floresta primária não foram diferentes estatisticamente, podendo induzir a idéia de que a liberação de carbono do solo seja efêmera, recuperando e se estabilizando ao nível da floresta e/ou pré-queima em curto período. Baseando-se em uma revisão de estudos em Porto Rico, LUGO et al., (1986) sugerem mesmo que solos tropicais perturbados e abandonados, que seguem um recobrimento vegetal, possam funcionar como sumidouro de carbono, principalmente em regiões mais secas.

O resultado encontrado no pico da estação chuvosa (FIGURA 8) parece estar intimamente ligado ao aumento da atividade microbiana e ao maior volume de raízes finas que se pronunciam neste período em pastagens. Medidas realizadas próxima

a Manaus indicam que os dois fatores quase dobraram de peso em uma pastagem jovem de B. humidicola na fase chuvosa em relação a seca, principalmente no perfil de 0-5cm (LUIZÃO et al., 1992). Resultado semelhante foi encontrado por VELDKAMP (1993) na Costa Rica em pastagens de B. dictyneura, com esta espécie fixando mais carbono do que perdendo por respiração. Isto provoca um efeito pouco estudado na dinâmica e alocação do carbono abaixo do solo em sistemas convertidos e que sofrem periodicamente a ação do fogo e de clima sazonal marcante.

De modo geral, verifica-se uma perda instantânea de carbono no ato da queimada sob solos tropicais, seguindo um relativo equilíbrio a médio-longo prazo. Alguns autores registram esta estabilidade abaixo (CUNNINGHAM, 1963; FALESI, 1976; HECHT, 1982 e SANCHEZ et al., 1983) ou acima (MORAES, 1991 e CERRI, s/d) do nível inicial da floresta natural. Porém, há os que admitem nenhuma troca significativa (BUSCHBACHER, 1984) ou que as perdas continuam ocorrendo ao longo do tempo, mesmo que em pequenas quantidades (DAVIDSON et al., s/d). Estas controvérsias indicam o vazio de estudos que analisam o efeito das queimadas no estoque de carbono em solos da Amazônia. Fatores como profundidade de amostragem, tipo de solo, nível de compactação, vegetação dominante e época de coleta são de fundamental importância na formulação de valores médios a serem usados nas simulações de emissão e acúmulo de carbono em solos de sistemas convertidos. Isto contemplaria a questão se os solos tropicais sob queimadas periódicas funcionam como fonte líquida de carbono para a

atmosfera ou, se isto ocorre em apenas determinadas fases do uso da terra.

5. CONCLUSÕES

A biomassa total acima do solo em pastagens é função da idade, forma de manejo, frequência e qualidade das queimadas e, da proporcionalidade entre os grupos que as compõe. Neste estudo, combinação de dois métodos de medição (destrutivo e volumétrico) registrou um valor de 124,4 (pré) e 99,4 (pós) t/ha para uma pastagem com 7 anos de uso e, 32,8 t/ha (pré) para outra de 9 anos. Estes números representam uma perda em relação a biomassa da floresta original acima do solo de 165 t/ha (7 anos) e 244 t/ha (9 anos), presumindo um valor médio de 266 t/ha para a floresta primária da região. O grupo dos resíduos da floresta original nas duas pastagens estudadas foi o de maior participação na composição total da biomassa acima do solo, com 80,9% (7 anos) e 64,0% (9 anos), ambas na pré-queima.

A eficiência de combustão entre as frações analisadas antes e depois da queima demonstraram que a composição do material é de importância na formação dos índices. Na pastagem de 7 anos, 20% de toda biomassa acima do solo queimou. Entretanto, este parâmetro foi de apenas 9,0% para o grupo da biomassa residual da floresta (excluída a capa de carvão). Biomassa do pasto perdeu 94% de sua massa original, enquanto que na capoeira este valor foi de 66,5%. Formação de carvão para a biomassa total da pastagem foi de 0,65% e para os "troncos" remanescentes 0,85% (0,84% para as peças normais normais e 0,91% para as podres). As peças de madeira remanescente da floresta original, possuem uma

menor eficiência de combustão e formação de carvão quando comparadas com as mesmas frações em queimas iniciais. Os grupos substitutos (vegetação secundária e capim) apresentam baixa biomassa e alto poder de perda pela ação do fogo.

Na simulação realizada para desaparecimento da biomassa da floresta original, estimei que todo este grupo desapareceria em cerca de 40 anos em um cenário de pastagem de longa duração. Os resultados do modelo para um uso de 10 anos seria de 11,6% continuando na forma de biomassa, 1,8% se transformando em carvão, 45,6% perdidos por combustão e 41,0% por decomposição. Neste cenário, pastagens na Amazônia estariam representando uma fonte líquida de emissão de carbono para a atmosfera nos primeiros estágios de uso da terra, dentro de um sistema de baixa biomassa. Além disto, depósitos de longa duração (carvão) teriam pouca participação neste cenário.

O método mais adequado para medição da biomassa, eficiência de combustão e formação de carvão dos "troncos" residuais em pastagens é o volumétrico. Embora este estudo tenha se utilizado de uma combinação dos dois métodos testados, é o volumétrico que evita a grande variabilidade existente naturalmente nesta paisagem. Menor custo e pouca utilização de equipamento também favorecem a escolha. Entretanto, o método destrutivo indica ser de grande utilidade para as frações de menor participação. Uma combinação entre os dois métodos pode indicar melhores estimativas.

A queima da biomassa vegetal acima do solo presumidamente liberou 11,9 t C/ha na pastagem de 7 anos. Uma redução de 20% do carbono pré-existente. Destes, 56,3% foram devido a biomassa do antigo uso florestal, sendo que, individualmente, os "troncos" normais participaram com 35,9%. A conservação do carbono na biomassa total após a queima também foi maior neste grupo em relação ao carbono pré-existente (70,2%). A taxa de transformação de carbono em carvão para a biomassa total foi 1,0%, enquanto que individualmente para os "troncos" residuais foi de 1,2%. A eficiência de transformação do carbono pré para o pós nos "troncos" foi 12,1%. Estes valores foram utilizados no mesmo modelo proposto para a simulação do desaparecimento da biomassa original. Os resultados estimados prevêem que 5,7% do carbono total se conservaria na biomassa até o 10º ano de uso, 2,3% se transformariam em carvão, 41,0% se perderia por combustão e 50,3% por decomposição.

As duas simulações (biomassa e carbono) apontam similaridades com as conclusões e os resultados das medidas observadas nas pastagens "A" e "B". Pelo modelo logarítmico apresentado, depósitos a longo prazo de carbono (carvão) possuiriam menor importância relativa. Isto condiz com as medidas diretas determinadas exclusivamente para o grupo da biomassa dos resíduos florestais na pastagem de 7 anos: 5,4% do carbono pré-queima estavam na forma de carvão. Na pastagem de 9 anos este valor foi de 4,5%. Ambos superiores à simulação, entretanto, da mesma forma baixos. O modelo utilizado foi capaz de prever a

maior importância da combustão e da decomposição nestas paisagens. Juntos, foram responsáveis pela perda de 92% do carbono pré-existente em um período simulado de 10 anos. Uma combinação hipotética entre as duas fontes de emissão resultaria em liberação média anual de 11,6 t C/ha/ano nos 10 primeiros anos de uso em pastagens, incluindo a queima inicial.

A liberação instantânea de carbono do solo (0-20cm) no ato da queimada foi de 2,9 t C/ha (10,1%) do carbono pré-existente na pastagem de 7 anos. Entretanto, as médias de carbono no solo entre a fase de pré e pós-queima, não diferiram estatisticamente. Além disto, na fase chuvosa, após a queima, o valor médio de carbono no solo foi significativamente maior, propiciando a idéia de que neste período possa haver uma recuperação deste elemento, indicando uma perda líquida igual a zero neste tipo de sistema transformado.

Devido a baixa quantidade de trabalhos realizados na Amazônia e a grande variabilidade entre eles, as incertezas nos cálculos das emissões de gases devido a substituição de sistemas de alta biomassa para outros de baixa (principalmente pastagens) são grandes. Na busca de valores mais conclusivos, é necessário um aumento no número de estudos que avaliem com um maior grau de precisão os valores dos parâmetros que entram nos cálculos e modelos de emissões de gases. As consequências de um virtual aumento destes na atmosfera terrestre e suas consequências ao efeito estufa também devem ser investigados. Só assim será

possível aos planejadores tomarem as decisões políticas que visem o estabelecimento de atividades sustentadas na Amazônia (mesmo que em sistemas convertidos), levando em consideração os efeitos sociais, econômicos e ambientais na região.

6. LITERATURA CITADA

- Andreux, F.G.; Cerri, C.C.; Eduardo, B.P. & Choné, T. (1990). Humus contents and transformations in native and cultivated soils. The Science of the Total Environment 90: 249-265.
- Barbosa, R.I. & Fearnside, P.M. (s/d). Produção e Conteúdo de Carbono e Nutrientes da Littera em uma Floresta Tropical na Colônia do Apiaú, Roraima, Brasil (Manuscrito).
- Blake, G.R. & Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In: A. Klute (ed.), Methods of Soil Analysis. I. Physical and Mineralogical Methods, 2ª ed. Madison, ASA, pp. 363-375.
- Bolin, B. (1977). Changes of land biota and their importance for the carbon cycle. Science 196: 613-615.
- Bolin, B.; Degens, E.T.; Duvigneaud, P. & Kempe, S. (1979). The global biogeochemical carbon cycle. In: Bolin, B.; Degens, E.T.; Kempe, S. & Ketner, P. (eds.), The Global Carbon Cycle, SCOPE 13/ICSU, New York, pp. 1-56.
- Bogdonoff, P.; Detwiler, R.P. & Hall, C.A.S. (1985). Land use changes and carbon exchange in the tropics: III. Structure, basic equations, and sensitivity analysis of the model. Environmental Management 9(4): 345-354.
- Brasil (1975). Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, Volume 8. Ministério das Minas e Energia. Rio de Janeiro. 428p.
- Brasseur, G. & Verstraete, M.M. (1989). Atmospheric Chemistry - Climate Interactions. In: A. Berger; S. Schneider & J. Cl. Duplessy (Eds.), Climate and Geo-Sciences, Dordrecht, pp. 279-302.

- Brown, S. & Lugo, A.E. (1982). The Storage and Production of Organic Matter in Tropical Forests and Their Role in the Global Carbon Cycle. Biotropica 14(3) : 161-187.
- Brown, S. & Lugo, A.E. (1992). Aboveground Biomass Estimates for Tropical Moist Forests of The Brazilian Amazon. Interciencia 17(1): 8-18.
- Buschbacher, R.J. (1984). Changes in productivity and nutrient cycling following conversion of Amazon rainforest to pasture. PhD Thesis, University of Georgia, Athens, Georgia, xiii + 193p.
- Cerri, C.C. (s/d). Dinâmica da matéria orgânica em solos de pastagens. In: V. Favoretto & L.R.A. Rodrigues (eds.) Simpósio sobre Ecossistema de Pastagens (Anais), FUNEP/UNESP. pp. 135-147.
- Cerri, C.C.; Volkoff, B. & Andreux, F. (1991). Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. Forest Ecology and Management 38: 247-257.
- Cerri, C.C.; Moraes, J.F.L. & Volkoff, B. (1992). Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados a pastagens na Amazônia. Rev. INIA Inv. Agr. 1(1): 95-102.
- Crutzen, P.J. & Andreae, M.O. (1990). Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. Science 250 : 1669-1678.
- Crutzen, P.J.; Heidt, L.E.; Krasnec, J.P.; Pollock, W.H. & Seiler, W. (1979). Biomass burning as a source of the atmospheric gases CO, H₂, N₂O, CH₃Cl, and COS. Nature 282: 253-256.

- Crutzen, P.J.; Delany, A.C.; Greenberg, J.; Haagenson, P.; Heidt, L.; Lueb, R.; Pollock, W.; Seiler, W.; Wartburg, A. & Zimmerman, P. (1985). Tropospheric Chemical Composition Measurements in Brazil During the Dry Season. Journal of Atmospheric Chemistry 2: 233-256.
- Cunningham, R.H. (1963). The effect of clearing a tropical forest soil. Journal of Soil Science 14: 334-344.
- Dantas, M. (1989). Studies on succession in cleared areas of Amazonian rain forest. PhD Thesis, Oxford University. 397p.
- Davidson, E.A.; Nepstad, D.C. & Trumbore, S.E. (s/d). Soil carbon dynamics in pastures and forests of the eastern Amazon. Resumo apresentado no Bulletim Ecological Society American 74(2) Supplement: 208, 1993.
- Delmas, R. (1982). On the emissions of carbon, nitrogen and sulfur in the atmosphere during bushfires in intertropical savanna zones. Geophys. Res. Lett. 9: 761-764.
- Detwiler, R.P. (1986). Land use change and the global carbon cycle: the role of the tropical soils. Biogeochemistry 2: 67-93.
- Detwiler, R.P. & Hall, C.A.S. (1988). Tropical Forests and the Global Carbon Cycle. Science 239: 42-47.
- Diez, J.A.; Polo, A.P.; Cerri, C.C. & Andreux, F. (1991). Influência do pousio e da pastagem sobre a dinâmica de nutrientes em oxissolos recentemente desflorestados na Amazônia Oriental. Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira 26(1): 77-83.
- Erickson, J.D. (1993). From ecology to economics: The case against CO₂ fertilization. Ecological Economics 8(2): 157-175.

- Fahnestock, G.R. (1979). Carbon input to the atmosphere from forest fires. Science 204: 209-210.
- Falesi, I.C. (1976). Ecossistema de pastagem cultivada na Amazônia brasileira. EMBRAPA/CPATU, Boletim Técnico nº 1. 193 p.
- Fearnside, P.M. (1980). The Effects of Cattle Pasture on Soil Fertility in the Brazilian Amazon : Consequences for Beef Production Sustainability. Tropical Ecology 21(1) : 125-137.
- Fearnside, P.M. (1985). Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. Interiencia 10(4): 179-186.
- Fearnside, P.M. (1990). Environmental destruction in the Brazilian Amazon. In: Goodman, D & Hall, A. (eds.), The Future of Amazonia: Destruction of Sustainable Development ?, Macmillan, London, pp. 179-225.
- Fearnside, P.M. (1991). Greenhouse Gas Contributions from Deforestation in Brazilian Amazonia. In: J.S. Levine (ed.) Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications, MIT Press, Boston, Massachusetts, EUA. pp. 92-105.
- Fearnside, P.M. (1992). Forest biomass in Brazilian Amazonia: Comments on the estimate by Brown and Lugo. Interiencia 17(1): 19-27.
- Fearnside, P.M. (s/d-a). Emissões de Gases de Efeito Estufa no Desmatamento da Amazônia Brasileira. (Manuscrito).
- Fearnside, P.M. (s/d-b). Amazonia and Global Warming : Annual Balance of Greenhouse Gas Emissions from Land Use Change in Brazil's Amazon Region. (Manuscrito).
- Fearnside, P.M. (s/d-c). Wood density for estimating forest

- biomass in Brazilian Amazonia (Manuscrito).
- Fearnside, P.M. & Guimarães, W.M. (s/d). Carbon Uptake by Secondary Forests in Brazilian Amazonia. (Manuscrito).
- Fearnside, P.M.; Filho, N.L. & Fernandes, F.M. (1993). Rainforest Burning and the Global Carbon Budget : Biomass, Combustion Efficiency and Charcoal Formation in the Brazilian Amazon. Journal of Geophysical Research 98(D9): 16.733-16.743.
- Fearnside, P.M.; Barbosa, R.I. & Graça, P.M.L.A. (s/d-a). Burning of Secondary Forest in Amazonia: Biomass, Combustion Efficiency and Charcoal Formation During Land Preparation for Agriculture in Roraima, Brasil. (Manuscrito).
- Fearnside, P.M.; Filho, N.L.; Graça, P.M.L.A.; Ferreira, G.L.; Custódio, R.A. & Rodrigues, F.J.A. (s/d-b). Pasture biomass and productivity in Brazilian Amazonia. (Manuscrito).
- Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A. & Rodrigues, F.J.A. (s/d-c). Burning of Amazonian rainforests: Combustion efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil (Manuscrito).
- Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A.; Filho, N.L.; Rodrigues, F.J.A. & Robinson, J.M. (s/d-d). Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurements of biomass combustion efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. (Manuscrito).
- Goudriaan, J. & Ketner, P. (1984). A simulation study for the global carbon cycle, including man's impact on the biosphere. Climatic Change 6: 167-192.
- Greenberg, J.P.; Zimmerman, P.R.; Heidt, L. & Pollock, W. (1984). Hydrocarbon and Carbon Monoxide Emissions from Biomass

- Burning in Brazil. Journal of Geophysical Research 89(D1): 1350-1354.
- GTFR - Governo do Território Federal de Roraima (1980). Projeto de Colonização Rio Apiaú - Carta Consulta ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE). Companhia de Desenvolvimento de Roraima/Secretaria de Planejamento (CODESAIMA/SEPLAN-RR). Boa Vista. 151p.
- Guimarães, W.M. (1993). Liberação de carbono e mudanças nos estoques de nutrientes contidos na biomassa aérea e no solo, resultante de queimadas de florestas secundárias em áreas de pastagens abandonadas, em Altamira, Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas (INPA/FUA), Manaus. 69 pp.
- Hao, W.M.; Liv, M.H. & Crutzen, P.J. (1990). Estimates of annual and regional releases of CO₂ and other trace gases to the atmosphere from fires in the tropics. Based on the FAO Statistics for the period 1975-80. In: J.G. Goldammer (ed.), Fire in the Tropical Biota, Springer-Verlag, Berlin, pp. 440-462.
- Hecht, S.B. (1982). Cattle ranching development in the Eastern Amazon: Evaluation of a development policy. PhD Thesis. University of California. 454p.
- Higuchi, N.; Santos, J.M.; Imanaga, M. & Yoshida, S. (1994). Aboveground Biomass Estimate for Amazonian Dense Tropical Moist Forests. Mem. Faculty of Agriculture of Kagoshima University 30: 43-54.

- Hopkins, B. (1965). Observations on savanna burning in the Olokemeji Forest Reserve, Nigeria. The Journal of Applied Ecology 2: 367-381.
- Houghton, R.A. (1990). The Future Role of Tropical Forests in Affecting the Carbon Dioxide Concentration of the Atmosphere. Ambio 19(4) : 204-209.
- Houghton, R.A. (1991). Tropical Deforestation and Atmospheric Carbon Dioxide. Climatic Change 19(1-2): 99-118.
- Houghton, R.A.; Boone, R.D.; Fruci, J.R.; Hobbie, J.E.; Melillo, J.M.; Palm, C.A.; Peterson, B.J.; Shaver, G.R. & Woodwell (1987). The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux. Tellus 1-2: 122-139.
- IBDF/IBGE (1988). Mapa de Vegetação do Brasil. Ministério da Agricultura/Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal/Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (MA/IBDF/IBGE).
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1992). 1992 IPCC Supplement - Scientific Assessment of Climate Change. WMO/UNEP. 24p.
- Lameira, O.A. & Coimbra, J.M. (1988). Levantamento e Distribuição da Precipitação em Roraima. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Unidade Experimental de Âmbito Territorial (EMBRAPA/UEPAT)/Boa Vista-Roraima. Pesquisa em Andamento n° 12. Boa Vista. 5p.
- Lamotte, M. (1985). Some aspects of studies on savanna ecosystems. Tropical Ecology 26: 89-98.

- Lugo, A.E.; Sanchez, M.M. & Brown, S. (1986). Land use and organic carbon content of some subtropical soils. Plant and Soil 96: 185-196.
- Luizão, F.; Luizão, R. & Chauvel, A. (1992). Premiers résultats sur la dynamique des biomasses racinaires et microbiennes dans un latosol d'Amazonie centrale (Brésil) sous forêt et sous pâturage. Cahiers Orstom - Pédologie 27(1): 69-79.
- Martius, C.; Fearnside, P.M.; Bandeira, A.G. & Wassmann, R. (s/d). Deforestation and methane release from termites in Amazonia. (Manuscrito)
- Molofsky, J.; Hall, C.A.S.; Armentana, T.V. & Ault, K.A. (1984). The effects of land use alteration on tropical carbon exchange. In: T.N. Veziraglu (ed.) The Biosphere: Problems and Solutions, Elsevier Science Publishing, Amsterdam, pp. 181-184.
- Moraes, J.F.L. (1991). Conteúdos de carbono e nitrogênio e tipologia de horizontes nos solos da bacia Amazônica. Dissertação de Mestrado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura/Universidade de São Paulo (CENA/USP). Piracicaba, 84p.
- Myers, M. (1989). Tropical Deforestation and Climatic Change. In: A. Berger; S. Schneider & J.Cl. Duplessy (Eds.), Climate and Geo-Sciences, Dordrecht, pp. 341-353.
- Nepstad, D.; Uhl, C. & Serrão, E.A. (1990). Surmounting barriers to forest regeneration in abandoned, highly degraded pastures: a case study from Paragominas, Pará, Brazil. In: Anderson, A.B. (ed.). Alternatives to deforestation: steps

- toward sustainable use of the Amazon rain forest. New York, Columbia University Press. pp. 215-229.
- Robinson, J.M. (1989). On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning. Climatic Change 14: 243-262.
- Saldarriaga, J.C.; West, D.C.; Tharp, M.L. & Uhl, C. (1988). Long-term chronosequence of forest succession in the upper rio Negro of Colombia and Venezuela. Journal of Ecology 76: 938-958.
- Sanchez, P.A.; Villachica, J.H. & Bandy, D.E. (1983). Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. Soil Science Society of America Journal 47(6): 1171-1178.
- Santos, R.D.; Gama, J.N.R.F. & Soares, A.F. (1982). Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Projeto de Colonização Apiaú, Território Federal de Roraima. Boletim de Pesquisa nº 14. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo (EMBRAPA/SNLCS). 175p.
- Seiler, W. & Crutzen, P.J. (1980). Estimates of Gross and Net Fluxes of Carbon Between the Biosphere and the Atmosphere from biomass burning. Climatic Change 2 : 207-247.
- Serrão, E.A.S.; Falesi, I.C.; Veiga, J.B. & Neto, J.F.T. (1978). Produtividade de pastagens cultivadas em solos de baixa fertilidade das áreas de floresta do trópico úmido brasileiro. Belém, EMBRAPA/CPATU. 73p.
- Simonett, D.S.; Robinson, J.M. & Fearnside, P.M. (1986). Mass Transformations in Tropical Forest Burning: Case Study Evaluations and Extension to Biome-Scale Estimates. (Projeto Proposto a National Science Foundation). 116p.

- Thompson, A.M. & Cicerone, R.J. (1986). Possible Perturbations to Atmospheric CO, CH₄, and OH. Journal of Geophysical Research 91 (D10): 10853-10864.
- Uhl, C. & Kauffman, J.B. (1990). Deforestation effects on fire susceptibility and the potencial response of tree species to fire in the rain forest of the eastern Amazon. Ecology 71(2): 437-449.
- Uhl, C.; Buschbacher, R.; & Serrão, E.A.S. (1988). Abandoned pastures in eastern Amazonia. I . Patterns of plant succession. Journal of Ecology 76: 663-681.
- Uhl, C. & Saldarriaga, J. (s/d). The Disappearance of Wood Mass Following Slash and Burn Agriculture in the Venezuelan Amazon. (Manuscrito).
- Van Veen, J.A.; Liljeroth, E.; Lekkerkerk, L.J.A. & van de Geijn, S.C. (1991). Carbon Fluxes in Plant-soil Systems at Elevated Atmospheric CO₂ Levels. Ecological Applications 1(2): 175-181.
- Veldkamp, E. (1993). Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in humid tropics of Costa Rica. Thesis Wageningen, Netherlands. 117p.
- Victória, R.L.; Brown, I.F.; Martinelli, L.A. & Salati, E. (1991). A Amazônia Brasileira e seu Papel no Aumento da Concentração de CO₂ na Atmosfera. In: A.L. Val; R. Figliuolo & E. Feldberg (eds.), Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia: Fatos e Perspectivas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, pp. 9-20.

Wong,C.S. (1978). Atmospheric input of carbon dioxide from burning wood. Science 200: 197-200.

Woodwell, G.M.; Whittaker,R.H.; Reiners,W.A.; Likens,G.E.; Delwiche,C.C. & Botkin,D.P. (1978). The biota and the world carbon budget. Science 199: 141-146.

7. APÊNDICE I

Histórico das áreas de amostragem, segundo informações dos proprietários dos lotes agrícolas.

Pastagem A (7 anos): Localizada na vicinal 6 da colônia, próximo ao entroncamento com a estrada principal de acesso.

- . 1987 - área desmatada e queimada, seguido-se o plantio direto de pasto e retirada de algumas peças de madeira de angelim-ferro (Hymenolobium sp) para construções (queima inicial);
- . 1988 - limpeza da vegetação secundária e queima (1ª re-queima);
- . 1989 - não houve queimada e nem limpeza;
- . 1990 - queimada provocada por fogo vizinho sem que a vegetação secundária tenha sido cortada (2ª re-queima);
- . 1991 - não houve queimada e nem limpeza;
- . 1992 - corte da vegetação secundária mas sem utilização da prática do fogo;
- . 1993 - medição da biomassa pré/pós-queima (3ª re-queima).

Pastagem B (9 anos): Localizada na estrada principal de acesso, próximo à ligação das vicinais 8-9.

- . 1985 - desmatamento e queima seguida do plantio de arroz/milho, com semeio do pasto (queima inicial);
- . 1986 - pasto manejado com fogo (1ª re-queima);
- . 1987 - pasto manejado com fogo mas sem limpeza da vegetação

secundária (2ª re-queima);

. 1988 - fogo sem limpeza da vegetação secundária (3ª re-queima);

. 1989 - pasto sem queima;

. 1990 - pasto sem queima mas com limpeza da vegetação secundária;

. 1991 - fogo intenso devido a grande quantidade de biomassa de capim presente na pastagem (4ª re-queima);

. 1992 - pasto manejado com fogo mas sem limpeza da vegetação secundária (5ª re-queima);

. 1993 - medição da biomassa (pré-queima).

