

DINÂMICA DE NUTRIENTES NA SOLUÇÃO DO SOLO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM IMPLANTAÇÃO

ANA REGINA ARAÚJO MARTINS

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Setembro – 2001

ERRATA

1. Na página 38

onde se lê:

peso fresco e o peso seco

leia-se:

massa da matéria fresca e da matéria seca

2. Na página 54

onde se lê:

processo de absorção de potássio

leia-se:

processo de adsorção de potássio

3. Na página 55, na tabela 10

onde se lê:

PO_4^{3-}

leia-se:

P- PO_4

4. Na página 56, na tabela 11

onde se lê:

PO_4^-

fortemente absorvido

leia-se:

P- PO_4

fortemente adsorvido

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Martins, Ana Regina Araújo

Dinâmica de nutrientes na solução do solo em um sistema agroflorestal em
implantação / Ana Regina Araújo Martins. -- Piracicaba, 2001.

144 p. : il.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.
Bibliografia.

1. Nutriente 2. Sistema agroflorestal 3. Solução do solo I. Título

CDD 634.99

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

DEDICATÓRIA

À Deus, pela oportunidade da vida.

Ao meu pai Walter Banhos de Araújo “in memoriam” e à minha mãe Terezinha Gualberto da Rocha Araújo, exemplos de amor, força, coragem e confiança, pelo incentivo ao trabalho e a vida.

Aos meus amados filhos Marcel Bruno e Fabrício Saulo, pelo amor, companheirismo e cumplicidade, mesmo nas horas mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Antonio Roque Dechen, exemplo de amor, trabalho e gratidão à ESALQ, pela orientação, amizade, consideração, respeito e confiança na concretização deste trabalho;
- À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, representada pelo Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, pela liberação e apoio para realização deste curso;
- Ao Conselho do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, composto pelos professores Dr. Francisco Antonio Monteiro, Dr. Álvaro Pires da Silva e Dr. Luis Reynaldo Ferraucini Alleoni, pela oportunidade de realização deste programa;
- À CAPES/FICDT, pela concessão da bolsa de estudo;
- À Coordenação do programa “SHIFT - Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics”, pela oportunidade de execução deste trabalho;
- Ao professor e amigo incondicional, Dr Horst Fölster, exemplo de bondade, confiança e desprendimento, pelo carinho, dedicação, amor, orientação, e principalmente por acreditar na importância deste trabalho;
- À querida amiga Maria Regina Möller, pela amizade, amor, carinho, atenção, cuidado, com os quais sempre me presenteou durante todo o tempo em que estive distante de Belém;
- Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro, pela coordenação e orientações sobre o programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas;
- Aos amigos e professores José Eduardo Corrente e Maria Cristina Stolf Nogueira pela atenção, dedicação, amizade e carinho despendidos em todos os momentos necessários às avaliações estatísticas dos dados deste trabalho;
- Aos Profs. Dr. Antônio Natal Gonçalves e Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves, exemplos de dedicação acadêmica, pela oportunidade de convivência e aprendizado;
- Ao amigo Rudolf Klinge, pela colaboração e apoio constantes, quando do estágio realizado na Alemanha;

- Às amigas Cristiane Aparecida Cerqueira, Raquel Salomão Chagas e Maria da Glória Bastos de Freitas Mesquita, pelo companheirismo, pelas alegrias e por terem me carregado no colo nas horas de dificuldades;
- À amiga Rosane Aparecida Grisotto, secretária da FEALQ, pela amizade, atenção, consideração e respeito a mim dispensados em todas as oportunidades de convivência profissional;
- Aos queridos amigos da União Espírita de Piracicaba pelo amor, amizade, companheirismo, carinho com que sempre me presentearam durante toda a minha estada em Piracicaba;
- Aos laboratoristas do Institut für Bodenkunde Waldernährung, Universidade de Göttingen, Alemanha, pelo apoio nas atividades laboratoriais;
- A todos os colegas da pós-graduação da ESALQ/USP, pelo agradável convívio;
- A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
SUMMARY	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Considerações sobre o Ecossistema (fundamentação teórica)	4
2.1.1 Sobre balanço de nutrientes	4
2.1.2 Sobre seleção de cultivares envolvidas no sistema agroflorestal	6
2.1.3 Sobre transporte de material no solo	13
2.2 Solução do solo	14
2.3 Descrição de estudos regionais a fins	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Localização geográfica	24
3.2 Descrição da área do experimento	25
3.3 Clima	27
3.4 Solo	32
3.5 Vegetação	34
3.5.1 Identificação florística	34
3.5.2 Amostragem da vegetação do sub-bosque	36
3.5.3 Preparo da área e Implantação das culturas do sistema agroflorestal	37
3.6 Solução do Solo	39
3.7 Tensiometria	41
3.8 Análise química	41
3.9 Balanço de nutrientes – cálculos	41
3.10 Especiação iônica	42
3.11 Análise estatística	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1 Condições gerais ou periféricas	44

4.1.2 Balanço de nutrientes	52
4.2 Elementos na solução do solo	55
4.2.1 Variabilidade no tempo	55
4.2.2 Ordem de ocorrência dos elementos	59
4.2.3 Especificação iônica	64
4.2.4 Comparação Sistema agroflorestal e floresta	69
4.2.5 Flutuação das concentrações dos elementos no tempo	73
4.2.6 Flutuação das concentrações dos elementos na profundidade	81
4.2.7 Comparação com estudos regionais	86
5 CONCLUSÕES.....	101
ANEXOS	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	141
APÊNDICES	145

DINÂMICA DE NUTRIENTES NA SOLUÇÃO DO SOLO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM IMPLANTAÇÃO

Autora: ANA REGINA ARAÚJO MARTINS

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

RESUMO

Os sistemas agroflorestais constituem uma alternativa para produzir alimentos, madeiras e outros produtos não madeireiros, além de desempenhar papel relevante na conservação e manutenção das funções dos ecossistemas tropicais. Assim sendo, um sistema agroflorestal com uma rotação de milho, caupi, feijão-de-porco e mandioca foi estudado na área de CEPLAC, dentro das linhas de pesquisa do Programa “SHIFT – Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics”, em Benevides, Pará, próximo de Belém. Durante o período estudado de 1995/1996, os seguintes parâmetros foram registrados: a precipitação e saturação da água do solo (tensiômetros nas profundidades 10, 45 e 145 cm), a composição química da solução da chuva (pluviômetros) e do solo (lisímetros nas profundidades 25, 40, 60 e 110 cm), a colheita exportada do campo e seu teor de nutrientes, e o resíduo da biomassa restante no campo e seu teor de nutrientes. A ênfase foi no estudo das flutuações na composição química da solução do solo e em sua dependência da atividade humana no campo, visando obter informações adaptáveis à realidade de pequenos e médios produtores. Como observações mais importantes verificou-se que o N foi o elemento de maior importância relativa neste trabalho, por apresentar-se em maior quantidade na solução do solo na faixa de 25 cm, seguido pelo Ca, Mg, K, Cl e Na. A participação efetiva de Cl e Na nos processos de ciclagem foi uma surpresa, gerada provavelmente pela elevada quantidade destes na água da chuva. S-SO₄ e Al tiveram pouca importância por apresentarem pequenas quantidades. Os demais elementos, Fe, Mn, H, P-PO₄ aparecem em quantidades muito baixas. Um

sistema de manejo rotacional, e em consórcio, sugere uma dinâmica mais intensa e rápida, logo a concentração dos elementos estudados na solução do solo foi sempre mais elevada no sistema agroflorestal do que na floresta. Entretanto, as observações durante o período estudado mostraram que Na, Cl e Al são menos sensíveis ao manejo da vegetação, enquanto que Ca, Mg, K, N-NH₄, N-NO₃ e S-SO₄ são mais afetados pelas atividades desenvolvidas dentro do sistema agroflorestal. Especificamente em relação a Na e Cl, a concentração destes elementos na floresta sofreu a influencia da ação da chuva, do impacto da deposição seca (queima) e da água do mar, embora esteja comprovada a participação efetiva destes no sistema agroflorestal. As atividades de manejo desenvolvidas dentro do sistema agroflorestal (plantio, capina, desbaste, colheita, poda, etc.) geraram adições e perdas de nutrientes promovendo uma flutuação com o tempo, o que foi observado principalmente para Ca, K, N-NO₃, Cl e Na. O K movimentou-se mais rápido que Ca na solução do solo. S-SO₄ apresentou pequena flutuação, com comportamento inverso à N-NO₃ e Cl. Para N-NO₃, Ca, Mg e K, a causa das flutuações foi a mesma, isto é liberação e absorção.

DYNAMICS OF THE NUTRIENTS IN SOIL SOLUTION IN THE AGROFORESTRY SYSTEM IN IMPLANTATION

Author: ANA REGINA ARAÚJO MARTINS

Adviser: Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

SUMMARY

The agroforestry systems constitute an alternative to produce foods, wood and other non-wooden products, also playing an excellent role in the conservation and maintenance of the functions of tropical ecosystems. That being so, a agroforestry system with maize, cowpea, jack beans and cassava in rotation were studied in the area of CEPLAC, following the procedures of the Program " SHIFT - Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics ", in Benevides, Pará, near Belém. During the studied period between 1995/1996, the following parameters were registered: precipitation and saturation of the soil water (tensiometers in the depths 10, 45 and 145 cm), the chemical composition of the solution of rain (rain gauges) and the ground (lysimeters in depths 25, 40, 60 and 110 cm), the exported harvest of the field and its content of nutrients, and the residue from the remaining biomass in the field and its content of nutrients. The emphasis was in the study of the fluctuations in the chemical composition of the soil solution and in its dependence on the human activity in the field, aiming to get adaptable information to the reality of small and medium producers. The most important observation verified was that the N was the element with the biggest relative importance in this work, for being present in bigger amounts in the soil solution in the band of 25 cm, followed by the Ca, Mg, K, Cl and Na. The effective participation of the Cl and the Na in the cycling processes was a surprise, probably generated by the high amount of these in the rainwater. The S-SO₄ and the Al had little importance for presenting small amounts. The other elements, Fe, Mn, H, P-PO₄ appear in very low

amounts. A system of rotational handling, and in association, suggests a faster and more intensive dynamics, thus the concentration of the elements studied in the soil solution was always higher in the agroforestry system than that in the forest. However, the observations during the studied period showed that the Na, Cl and Al are less sensitive to the handling of the vegetation, whereas the Ca, Mg, K, N-NH₄, N-NO₃ and S-SO₄ are more affected by the developed activities inside the agroforestry system. Specifically regarding the Na and Cl, the concentration of these elements in the forest suffered influences from the action of rain, from impact of the dry deposition (burn) and from the sea water, even so the participation of these ones in the agroforestry system is corroborated. The handling activities developed inside the agroforestry system (plantation, weeding, thinning, harvesting, pruning) generated additions and losses of nutrients promoting a fluctuation in the course of time. These fluctuations were observed mainly for the Ca, K, N-NO₃, Cl and Na. The K was put into motion faster than the Ca in the soil solution. The S-SO₄ presented a small fluctuation, contrary to the N-NO₃ and the Cl. For the N-NO₃, Ca, Mg and K, the cause of the fluctuations was the same, that is, release and absorption.

1 INTRODUÇÃO

Nas regiões tropicais, áreas de florestas comumente são substituídas pela agricultura, pecuária, cultivos perenes, hidroelétricas. Esta forma de ocupação vem gerando alguns problemas que se agravam com o tempo, dentre os quais podemos incluir, além da colonização de terras florestais, o ordenamento territorial inadequado, a falta de opções competitivas do uso sustentado da floresta e as políticas que favorecem o desmatamento. O processo de colonização começa geralmente com a escolha de um lote onde o agricultor instala sua morada e, a partir daí, empreende uma luta para produzir o sustento da família, que se inicia com a agricultura, o extrativismo e a exploração de madeira. A evolução do sistema de produção tem levado ao estabelecimento da pecuária, o que conduz ao desmatamento quase total das áreas. A opção de utilizar os recursos da floresta através do manejo sustentado está muito longe de ser transformada em realidade. Por outro lado, a maioria das pesquisas em andamento sobre manejo sustentado de florestas tropicais no Brasil está dirigida para grandes áreas, objetivando a produção de grandes volumes de madeira. Neste contexto a agricultura de derruba-e-queima ocupa considerável espaço na Amazônia oriental e sua estabilidade vem sendo ameaçada pela pressão demográfica que tem se agravado nessa região.

O Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental, dentro de seu programa prioritário de pesquisa, desenvolve, desde de 1994, o projeto “Desenvolvimento de Sistemas Sustentáveis para Pequenos Agricultores da Amazônia Oriental”, com o objetivo principal de contribuir para o desenvolvimento rural sustentável da Amazônia, visando o uso racional e a conservação de seus recursos naturais, através da geração, adaptação e difusão de conhecimentos científicos, tecnológicos e socio-econômicos. Dentre as principais tecnologias geradas encontra-se o

“Estudo de sistema de produção agroflorestal”, envolvendo a combinação de algumas espécies florestais com culturas perenes e de ciclo curto.

Na região do trópico úmido o sistema natural existente envolve o equilíbrio entre espécies perenes em solos considerados quimicamente pobres. Entretanto, a necessidade de utilização dessas áreas pelo homem envolve a quebra deste equilíbrio com conseqüências ainda não conhecidas na sua totalidade. O desenvolvimento consorciado de Culturas de ciclo curto e perenes objetiva criar um sistema que possa atender aos interesses de pequenos e médios produtores. Com a retirada das florestas é rompida a cadeia que promove a ciclagem de nutrientes e da água e os solos empobrecidos na sua fertilidade natural perdem rapidamente o seu potencial produtivo (Jordan, 1982).

Os sistemas agroflorestais, definidos como “formas de uso e manejo da terra nas quais árvores ou arbustos são utilizados em associação com cultivos agrícolas e/ou com animais, numa mesma área, de maneira simultânea ou em seqüência temporal” (Dubois et al, 1996), constituem uma alternativa para produzir alimentos, madeiras e outros produtos não madeireiros, além de desempenhar papel relevante na conservação e manutenção das funções dos ecossistemas tropicais. Podem exercer, também, a curto prazo, um papel importante no desenvolvimento sustentável da agricultura do País. Tais sistemas precisam ser estudados sob o aspecto técnico-científico, para que melhorem sua eficiência e eficácia, ajustando-se às mudanças sociais, econômicas, políticas e culturais em curso.

A crescente efetivação de projetos agropecuários utilizando consórcio de culturas vem gerando a necessidade de desenvolvimento de pesquisas para sua sustentabilidade, uma vez que o manejo de um ecossistema promove mudanças no conjunto de espécies que o compõem, gerando assim outras mudanças no sistema solo-planta-atmosfera. Desta forma, a solução do solo constituindo-se um dos pontos principais dentro do referido sistema enfocado pela nutrição mineral de plantas, necessita de informações básicas sobre a dinâmica de nutrientes, por ser fonte imediata destes para as plantas.

Considerando ser o assunto objeto de estudo deste trabalho prioridade dentro das linhas de pesquisa de uma das mais importantes Instituições de Pesquisa do Brasil – a EMBRAPA; particularmente para a região norte, é que iniciamos um estudo como parte das linhas de pesquisa do Programa “SHIFT – Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics”, para avaliar a disponibilidade de nutrientes na solução do solo e os efeitos da exportação pelo sistema em equilíbrio, visando obter informações adaptáveis à realidade de pequenos e médios produtores. Além disso, no presente estudo, foram feitas observações em uma floresta primária explorada, comparando-a com um sistema agroflorestal, para avaliar as flutuações da concentração de nutrientes na solução do solo e sua dependência da atividade humana no campo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Considerações sobre o ecossistema (fundamentação teórica)

2.1.1 Sobre balanço de nutrientes

Um ecossistema está apto a se auto-sustentar em solos relativamente pobres, desde que os nutrientes circulem num sistema bem adaptado para prevenir suas perdas. A conservação de nutrientes e sua eficiência de utilização no crescimento é requerida para sustentar a produção em quaisquer sistemas, principalmente quando estes estão localizados em sítios pobres em nutrientes. Assim sendo, é imprescindível conhecer o ambiente imediato no processo de absorção das plantas para que seja possível precisar informações que subsidiem todo o processo de auto-sustentação, conservação e manutenção dos ecossistemas.

Neste contexto, a água da chuva tem papel fundamental, representando a fase de ligação entre a atmosfera e a fase terrestre do ciclo hidrológico natural, drenando neste processo os nutrientes da atmosfera. A quantidade total e o tempo de precipitação são os fatores dominantes na magnitude do material removido da atmosfera e da cobertura vegetal (Wolaver & Lieth, 1972; Parker, 1985), sendo os nutrientes lavados da atmosfera filtrados pela água da chuva, bem como os lixiviados da vegetação, de fundamental importância nos mecanismos de conservação dos nutrientes que participam no processo de ciclagem (Martins, 1997).

Na região tropical poucos trabalhos foram realizados, particularmente sobre a floresta amazônica. São raros os estudos como os de Lloyd & Marques (1988), Franken et al. (1992), e Ubarana (1994), que apresentam relevantes informações. Embora ainda existam extensas áreas de floresta tropical, elas estão sendo rapidamente reduzidas. Sua

influência no clima local e global é ainda pouco compreendida, sendo o balanço de água da chuva e de nutrientes um aspecto importante a ser considerado, principalmente quando ciclos repetidos de chuva-*evaporação* podem, de forma significativa, alterar o clima, influenciando diretamente na fertilidade do solo.

No entendimento da dinâmica de cátions e ânions, que podem situar-se fora do alcance das raízes da planta, o conhecimento da composição química da solução do solo é imprescindível. Neste sentido, estudos que envolvam rotação de culturas e consorciações entre espécies vegetais são de fundamental importância, uma vez que há a necessidade de se responder a determinados questionamentos, incluindo o balanço de elementos, considerando seus ganhos pela entrada da chuva, e suas perdas por exportação de elementos da biomassa e *lixiviação*.

Um dos aspectos mais importantes que influencia a composição da solução do solo é a formação da *serapilheira*, e as transferências de elementos liberados através destes processos (Delitti, 1982). A deposição deste material orgânico é uma das principais transferências que ocorrem no ecossistema florestal, e sua periodicidade varia de espécie para espécie, sendo que os fatores climáticos influenciam significativamente nesse fenômeno (Schumacher, 1992). Alguns autores citam o clima, a composição de espécies, o estágio sucessional da vegetação e a fertilidade do solo como fatores que causam variação na *ciclagem* de nutrientes em ecossistemas florestais (Vitousek e Sanford, 1986), contribuindo significativamente para a composição quantitativa e qualitativa da solução do solo.

De acordo com as características fisiológicas de cada espécie, os mecanismos de absorção, acúmulo e *ciclagem* diferem nas quantidades dos elementos, bem como em função das interações biológicas que estão ligadas a esse fluxo de nutrientes dentro de qualquer ecossistema, onde cada organismo, com suas adaptações específicas, desempenha papel importante no controle dos estoques de nutrientes e nas taxas de transferência entre eles, de acordo com alguns estudos já realizados na área. Assim sendo, transferências e perdas de nutrientes são também explicadas pelos organismos vivos que compõem os ecossistemas (Golley, 1986).

2.1.2 Sobre seleção de cultivares envolvidas no sistema agroflorestal

Milho (*Zea mays* L.)

O milho é um dos cereais mais utilizados na cadeia alimentícia, de diversas formas, tanto para o uso humano e animal quanto para o fornecimento de matéria-prima para a indústria em geral. É uma cultura que tem inúmeras utilidades no mercado interno e externo, podendo para o produtor, ser considerada como um fator de equilíbrio, já que pode ser usada tanto na sua alimentação, como massa verde, ensilagem, milho verde, fubá, farinha, farelos, grão puro, quanto na alimentação dos animais, como componente de rações. Portanto, desde que o agricultor consiga uma boa produtividade, o milho será sempre um bom negócio.

Na rotação de cultura com leguminosas (feijão, soja, amendoim) favorece altas produções, para todas as culturas envolvidas inclusive para a leguminosa, reduzindo o nível de pragas e doenças e melhorando as condições físicas do solo para a cultura seguinte. É um importante componente nos sistemas de produção de pequenos e médios produtores que praticam o sistema de derruba e queima no nordeste paraense. Normalmente é plantado em consórcio com a mandioca, sendo sua produção destinada, principalmente, para o consumo animal (Kato et al. 1991).

Caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp)

O processo de adaptação do feijão caupi no nordeste paraense foi uma alternativa na solução de problemas ocorridos com o cultivo do feijão comum, por ser uma espécie resistente a pragas e doenças. Nesta região é comum a doença conhecida como *mela*, causada pelo fungo *Thanatephorus cucumeris*, o que inviabiliza o desenvolvimento do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), causando sérios prejuízos na produção (Sartorato & Zimmermann, 1986). Assim, a entrada do caupi no mercado produtor constituiu uma excelente opção na substituição do cultivo do feijão comum, especialmente por apresentar características adaptadas às condições de clima e de solo da região, apresentando considerável capacidade de desenvolvimento em solos ácidos, com baixa fertilidade e em ambiente de elevada umidade relativa (Watt et al., 1985). Sua riqueza, como elevada fonte de proteína para a alimentação humana, atende às exigências

alimentares básicas na região nos trópicos (Timsina et al., 1994), tornando-se assim uma alternativa muito bem aceita pelos produtores da região. Normalmente, o caupi é plantado em sistema de rotação, após cultivo do arroz ou do milho, em cultivos solteiros ou em consórcio com a mandioca.

Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

A mandioca, originária da América do Sul, constitui um dos principais alimentos energéticos para cerca de 500 milhões de pessoas, sobretudo nos países tropicais e sub-tropicais em desenvolvimento, onde é cultivada em pequenas áreas com baixo nível tecnológico (EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 1999), sendo a cultura mais importante de vários sistemas de cultivo adotados pelos pequenos produtores do nordeste paraense.

O sistema de cultivo consorciado é amplamente utilizado por pequenos agricultores na Amazônia, sendo que, entre as espécies cultivadas, a mandioca aparece como uma das mais utilizadas, principalmente quando plantada simultaneamente com milho, feijões e amendoim. Estas espécies são plantadas nos espaços livres deixados pelas fileiras duplas, sem causar prejuízo ao cultivo da mandioca e proporcionando um lucro maior dos seus cultivos.

A mandioca é uma cultura produzida principalmente por produtores de pequeno porte, em sistemas de produção com pouco, ou nenhum uso de tecnologia moderna, especialmente agroquímicos, apresentando potencialidades para participar de outros mercados alternativos. As raízes de mandioca, além da destacada importância na alimentação humana e animal por ser uma importante fonte de carboidratos, são também utilizadas como matéria-prima em inúmeros produtos industriais.

No Brasil, o uso de amidos e féculas modificados é recente e restrito, sendo a farinha a principal forma de utilização da mandioca, atingindo índices superiores a 90% do que é fabricado e comercializado. As farinhas que passam por torrefação, tais como a farinha seca, a farinha d'água ou a farinha do Pará, são, geralmente, utilizadas no consumo direto à mesa, enquanto que as farinhas provenientes de raízes secas como a farinha de raspa ou a farinha de apara, têm fins mais diversificados como farinha

alimentícia panificável, destinando-se também para massas (biscoitos, macarrões e similares) em misturas com a farinha de trigo. Pode ainda ser usada na composição de rações, de lama aquosa na mineração do petróleo, na produção de álcool, na indústria de papel (preparo da massa e recobrimento da superfície), na indústria têxtil (para evitar encolhimento de tecido), produção de adesivos e de agentes ligantes, na indústria de fundições.

O amido (independente de sua origem) é tradicionalmente empregado na indústria alimentícia, metalúrgica, de mineração, de construção, cosmética, farmacêutica, de papel e papelão, têxtil e outras, podendo ser usado para diversos fins na indústria de alimentos: como Espessante, utiliza as propriedades de gelatinização em cremes, tortas, pudins, sopas, alimentos infantis, molhos, caldos; como Recheio, aumenta o teor de sólidos em sopas enlatadas, sorvetes, conservas de frutas, preparados farmacêuticos; como Ligante, impede a perda de água durante o cozimento em salsichas, carne enlatada; e é também utilizado para produtos de panificação na elaboração de pães, biscoitos e outros.

Feijão-de-porco (*Carnavalia ensiformis* (L) DC)

A utilização da adubação verde, fornecendo nutrientes às culturas e melhorando as condições físicas, químicas e biológicas do solo, tem sido recurso viável para pequenos e médios produtores que não dispõem de recursos financeiros nem de uma política governamental bem desenvolvida que possam subsidiar suas necessidades para fazerem frente ao mercado produtor. Assim sendo, as leguminosas têm sido as espécies vegetais mais adaptadas para este tipo de trabalho pela sua rusticidade, elevada produção de matéria seca, sistema radicular profundo e principalmente pela simbiose com bactérias fixadoras de N₂ atmosférico. Alguns autores citam uma fixação variando de 30 a 800 kg de N/ha anualmente, considerando diferentes espécies de leguminosas (Franco & Souto, 1984).

O feijão-de porco tem sido muito utilizado por atender especialmente a maioria das características que justifica a adubação verde: a elevada produção de matéria seca e acúmulo de N, além da sua rusticidade. A quantidade de matéria seca produzida, quando

incorporada ao solo, eleva consideravelmente a colonização micorrízica e a disponibilidade de K na camada superficial do solo (Araújo & Almeida, 1993).

Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)

O cupuaçuzeiro é árvore nativa da parte oriental da Amazônia, em particular da região nordeste do Maranhão, estando atualmente disseminada por toda a bacia amazônica do Brasil e dos países vizinhos. Entre as fruteiras tropicais é uma das mais importantes, sendo seu fruto totalmente aproveitável: a casca pode ser utilizada como ração, a polpa como matéria-prima para sucos e enlatados e a semente para a fabricação do cupulate (chocolate feito a partir do cupuaçu).

O fruto do cupuaçuzeiro (Figura 1) apresenta forma esférica de até 25 cm de comprimento, casca dura e lisa, de coloração castanho-escuro, sementes envoltas por polpa branca, ácida e aromática. Frutifica de janeiro a maio, propagando-se por sementes em regiões de clima quente e úmido, adaptando-se bem em solos de baixa fertilidade.

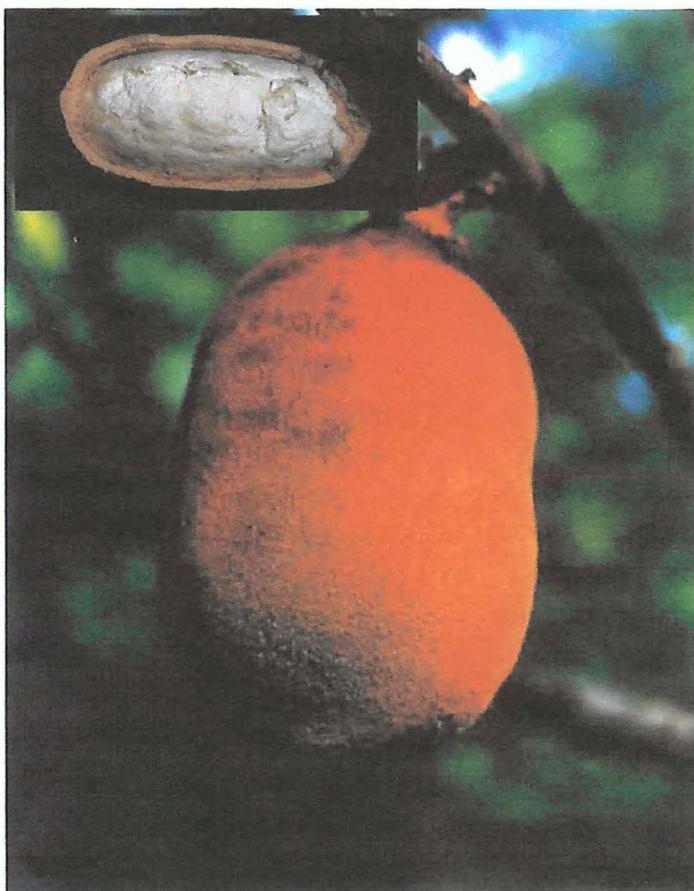


Figura 1 – Fruto do cupuaçuzeiro.

De sua polpa refrescante faz-se todo tipo de doces: sucos, refrescos e sorvetes; licores e aguardentes temperados; cremes, gelatinas, espumas, mousses e pudins; tortas, bolos, pavês, biscoitos e coberturas para outros doces; compotas e geléias; doces cristalizados; e o famoso bombom de cupuaçu.

Sua identificação botânica como *Theobroma* (manjar dos deuses), semelhante ao cacau, traz características similares, sendo também suas amêndoas aproveitáveis na produção de chocolate e de manteiga. Industrializado, o chocolate de cupuaçu já pode ser encontrado em diversas capitais do país e começa a ser exportado, na onda internacional pela busca de produtos naturais e amazônicos. Com isso, o mercado produtor tem crescido, sendo em algumas regiões considerado como o verdadeiro "chocolate branco". Em Nova Califórnia, por exemplo, na estrada que liga Rondônia ao Acre, um grupo de agricultores está obtendo lucro com o cultivo do cupuaçu em escala comercial. Plantado em consórcio com a pupunha palmeira que, além de dar a sombra de que o cupuaçu necessita, ainda fornece o coco e o palmito para a alimentação humana, gordura para sabão, farinha e ração para a criação - o cupuaçu já está sustentando inúmeras famílias que antes insistiam em lutar contra o clima tropical cultivando, sem muito sucesso, arroz, feijão e milho.

No Pará a procura pelo fruto do cupuaçu é maior que a oferta, em função da necessidade das indústrias de suco. Este é um dos motivos pelos quais tem-se procurado adaptar esta espécie aos sistemas agroflorestais, em consórcio com milho, caupi e mandioca, uma vez que o cupuaçuzeiro cresce espontaneamente nas florestas de terra firme. O aproveitamento da fruta, hoje, está assim definido: 38,40% correspondem à polpa, 44,60 % à casca e 17,20 % à semente.

Mogno (*Swietenia macrophylla*)

A área de ocorrência do mogno vai do México até a Bolívia, passando pelo sul do Pará. No passado, verificou-se intensa exploração na Costa Rica e no México. Atualmente, as maiores concentrações da espécie estão no Brasil e na Bolívia. Nos últimos 5 anos, o Brasil comercializou 250.000 m³ da madeira no mercado externo, o que coloca o país na liderança como o maior exportador mundial. Esse volume, no entanto,

representa apenas 40% do total extraído pelas madeireiras, pois a maior parte do mogno retirado das florestas brasileiras serve ao consumo interno. O problema mais grave nesse cenário é o atual sistema de exploração. Sem árvores adultas para produzir sementes, a reprodução natural torna-se impossível, uma vez que o mogno não se regenera bem quando sujeito a práticas de cortes seletivos, além do que seu plantio tem sido extremamente difícil devido à suscetibilidade a pestes naturais.

O árvore do mogno (Figura 2) de copa dominante, atinge altura de 30 a 40 metros, sendo a mais valiosa das espécies de madeira encontradas na Amazônia. O preço do metro cúbico chega a atingir 850 dólares, o que acaba por incentivar a extração indiscriminada. Assim sendo, o Ibama iniciou a maior operação de repressão ao desmatamento já realizada no País, denominada Macauã II (nome de um gavião típico da Amazônia), envolvendo 302 fiscais dos nove Estados que formam a Amazônia Legal. O desmatamento desordenado já degradou, aproximadamente, 20% da área da floresta amazônica. Estima-se que 80% da madeira beneficiada nas serrarias da Amazônia é cortada de modo irregular.

“A principal meta desta operação é conduzir a exploração madeireira no Brasil para a legalidade”, afirmou o presidente do Ibama, Eduardo Martins, completando: “Para termos uma redução significativa da exploração clandestina, é necessário também estabelecer uma agenda positiva, com ações que incentivem o manejo florestal sustentado”.

Considerando o exposto, o governo elaborou um projeto nacional estipulando a cota de 50 milhões de hectares de florestas nacionais, onde a extração de madeira obedeceria a regras rígidas, evitando o corte indiscriminado de árvores. O último relatório sobre o ritmo de desmatamento da Amazônia, divulgado no começo deste ano pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), revelou que só em 1995 e 1996 uma área do tamanho da Suíça foi devastada.

Uma das medidas adotadas pelo governo brasileiro para controlar a exportação do mogno foi a instituição de uma quota máxima de venda ao exterior de 130.000 m³ anuais. Mas, a decisão mais importante, até agora, foi a moratória de dois anos na

autorização de novos projetos de corte de mogno e virola, em vigor desde 1996. No entanto, essas medidas ainda são insuficientes diante do ritmo atual de destruição.



Figura 2 – Árvore de mogno.

Mais de 12% da área original da Floresta Amazônica já foram destruídos devido a políticas governamentais inadequadas, modelos inapropriados de ocupação do solo e à pressão econômica, o que levou à ocupação desorganizada e ao uso não-sustentável dos recursos naturais. Muitos imigrantes foram estimulados a se instalar na região, levando com eles métodos agrícolas impróprios para a Amazônia. Neste contexto a pesquisa entra como principal recurso de informação, gerando possibilidades de atender aos questionamentos feitos no sentido de minimizar os danos causados ao meio ambiente amazônico, procurando avaliar a contribuição que os sistemas agroflorestais podem oferecer.

2.1.3 Sobre transporte de material no solo

A concentração de nutrientes na solução dos solos tropicais é extremamente baixa quando comparada aos solos das regiões temperadas. Particularmente os da região amazônica apresentam pequenas quantidades de minerais primários, não permitindo a reposição rápida de nutrientes na solução do solo quando absorvidos pelas plantas, lixiviados ou volatilizados. Assim sendo, buscar condições de equilíbrio dentro dos sistemas agroflorestais é urgente, considerando a constante perda nutricional por exportação que acontece nestes ecossistemas. Para tanto, informações básicas precisam ser geradas, para subsidiar outros estudos mais detalhados e específicos que possam ser desenvolvidos.

Considerando a matéria orgânica uma das principais fontes de nutrientes para as plantas, que situações de desequilíbrio podemos gerar em áreas com uma dinâmica intensa ocasionada pela rotação de culturas? Se esta rotação ocorrer em áreas consorciadas com espécies de ciclo longo, perenes, que dinâmica se dará no que se refere à nutrição mineral? Uma vez que as espécies de ciclo curto, utilizadas nos sistemas agroflorestais, necessitam de demanda nutricional imediata para a sua sobrevivência, como saber as necessidades de reposição após cada retirada de vegetação gerando perdas de nutrientes por exportação? Entretanto, sabe-se que a mudança na vegetação causa um desequilíbrio no ecossistema, e que as propriedades fisiológicas próprias de cada nova cultura, dentro do processo rotacional, influenciarão os processos físico-químico-

biológicos do solo. Assim sendo, as respostas para estes questionamentos são necessárias e urgentes, considerando-se principalmente que os estudos já realizados sobre a matéria ora enfocada, pertinentes à região amazônica, apresentam um reduzido número de informações - pelo menos no acervo que está disponível para consulta.

2.2 Solução do solo

Inúmeras reações controlam a disponibilidade de íons para as raízes das plantas. A cinética dessas reações, tais como, equilíbrio ácido-base, complexação iônica, precipitação e dissolução de sólidos, reações de oxi-redução e de trocas iônicas, e a taxa de absorção controlam a concentração do íon na solução do solo (Chaves et. al., 1991).

Em estudos realizados caracterizando a solução do solo (latossolo vermelho amarelo) sob diferentes coberturas vegetais (mata natural, eucalipto e pastagem), a composição química da solução do solo variou com o manejo, sendo que na área de mata natural o solo apresentou maior teor de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ e Na^+ e carbono orgânico dissolvido. A caracterização da solução do solo neste trabalho foi realizada através da amostragem do solo, posteriormente umedecida para extração da solução e análise (Miranda, 1993).

As pesquisas têm crescido com o objetivo de minimizar os distúrbios que atingem a floresta, em consequência da sua utilização desenfreada sem monitoramento adequado. Entre estes distúrbios acredita-se que o ciclo hidrológico da Amazônia tenha sofrido grandes mudanças devido à derrubada intensiva desta, com sérias modificações na interação água/meio ambiente. Assim sendo, modificações diretas no manejo de áreas utilizadas na produção agro-silvo-pastoril necessitam de embasamentos científicos objetivando consideráveis produções, sem entretanto causar sérios prejuízos no ambiente. Conhecimentos básicos sobre estas possíveis mudanças ocorridas no solo são objetos de estudos de pesquisadores no mundo todo.

A ciclagem hidrológica envolve complexos processos que ocorrem com a partição da chuva. A ampla variação das características da vegetação: tamanho, idade, estrutura física, interação com espécies próximas (e outras), a variação sazonal no ambiente de desenvolvimento, assim como várias características da chuva em si, tais

como intensidade, duração e ângulo de contato com a vegetação, fazem parte desses processos. Similarmente, uma gama de variáveis influencia a composição química da água da chuva, conseqüentemente influenciando a composição química sob a superfície do solo (Crockford & Johnson,1983).

Uma vez provocados distúrbios na hidrologia de uma região interfere-se em muitos fatores que mantêm o equilíbrio de um ecossistema, natural ou implantado. Assim sendo, a ciclagem de nutrientes é fundamental para este equilíbrio, envolvendo a entrada de elementos presentes na atmosfera lavados pela água da chuva, a participação da vegetação, a absorção e lixiviação de nutrientes. A água da chuva, enriquecida pela passagem no dossel, chega ao solo, onde já se encontram galhos e folhas mortos e uma infinidade de organismos vivos que usam este material no seu metabolismo, formando a liteira, participando dos processos de equilíbrio sólido x solução. A água, agora denominada solução do solo, carrega no seu movimento uma quantidade de nutrientes que são reciclados nas diferentes profundidades do solo, retornando à planta, através das raízes. Assim, as avaliações sobre as modificações relacionadas com a solução do solo são fundamentais no processo de análise de qualquer ecossistema.

Se o solo está equilibrado com solução, a concentração de elementos nesta reflete a quantidade de fontes do elemento e da força de agregação (dissolução e troca constantes) assim caracterizando o solo (Ludwig et al. 1999). Na solução do solo de um ecossistema existem processos adicionais, além da dissolução e troca que devem ser considerados: as raízes das plantas e os microorganismos absorvem os elementos; a decomposição da matéria orgânica, acima e abaixo do solo, liberando os elementos diretamente para a solução; e, finalmente os elementos incorporados ao sistema com a chuva, e deixando-o por lixiviação. Assim, a solução do solo nunca está em equilíbrio, e espera-se então que a concentração de elementos flutue no tempo (e na profundidade do solo), sendo isto considerado uma característica do ecossistema.

Para Cole (1995) a intemperização de minerais primários e secundários representa o principal processo de entrada de uma parte do estoque de nutrientes diretamente na solução do solo, para os cátions, cálcio, magnésio e potássio, e alguns ânions, fósforo, enxofre. A variação do nível de intemperização estaria em função da

mineralização e idade do material parental, além da intensidade do processo de intemperismo.

Zabowski (1990) observou que a intemperização provê um suprimento significativo da maioria dos nutrientes para a absorção pelas plantas, embora existam situações com características bem específicas. Para solos muito jovens, por exemplo, pouco intemperizados ou derivados de material parental com baixo teor de elementos, o suprimento via intemperização pode ser inadequado, ocorrendo deficiências no balanço de nutrientes. Neste contexto Johnson & Lindberg (1991) observaram que os solos que têm alta entrada de íons procedentes da deposição atmosférica potencialmente podem ter altos níveis de perdas por lixiviação, níveis excedendo a reposição daqueles íons dos processos de intemperização.

Na Tabela 1 tem-se a importância dos processos de ciclagem de nutrientes, onde são mostradas as fontes de entrada de nutrientes, de acordo com as observações realizadas por Chapin (1991), sendo fundamentais as observações referentes à dinâmica da solução do solo, como parte destes processos. Estas informações ganham importância por possibilitarem o conhecimento da dinâmica de absorção pelas plantas, dando um direcionamento para estudos em outros ambientes, principalmente se o manejo da área a ser estudada pode provocar intensas mudanças na dinâmica da solução do solo.

Tabela 1. Fontes de disponibilidade de nutrientes para a planta.

Nutriente (floresta temperada)	Fonte de Nutriente (% do total)		
	Atmosfera	Intemperismo	Ciclagem
Nitrogênio	7	0	93
Fósforo	1	< 10	> 89
Potássio	2	10	88
Cálcio	4	31	65

Fonte: Chapin (1991).

Em regiões tropicais, a solução do solo não tem se mostrado muito rica em nutrientes como resultado da intensa intemperização dos minerais do solo. Os primeiros resultados de um projeto desenvolvido próximo de San Carlos de Rio Negro, Venezuela, mostraram que não existe, verdadeiramente, a entrada de nutrientes do solo e subsolo para o ecossistema (Klinge et al. 1977; Stark & Spratt, 1977; Stark & Jordan, 1978). Estes são mais encontrados na atmosfera, sendo esta a maior reserva de nutrientes para a Floresta da Amazônia Central.

Um dos caminhos para avaliar a importância do solo como uma fonte de nutrientes para um ecossistema é comparar a relação entre a entrada de nutrientes da atmosfera com a lixiviação destes. A lixiviação de nutrientes no solo é maior que a entrada de nutrientes da atmosfera (Likens & Bormann, 1995). A diferença entre a entrada de nutrientes da atmosfera para o sistema (florestal) e a saída destes devido à lixiviação é reposta pela liberação de nutrientes do material parental intemperizado, se o sistema não está desgastado (Jordan, 1982).

Para a maioria dos ecossistemas florestais, o nível de perdas por lixiviação é muito baixo. Assim sendo, para altos níveis de perdas encontrados, ou o sistema foi derrubado e queimado, ou o nível de entrada de nutrientes, por fixação ou deposição atmosférica, é excessivo (Cole, 1995).

Nas avaliações dos nutrientes lixiviados da floresta, em território amazônico da Venezuela, o resultado foi igual ou menor que a taxa de nutrientes vindos da atmosfera. Se a floresta não é sucessional, a média do intemperismo da rocha matriz não está contribuindo para a economia de nutrientes da floresta. Então a floresta mantém para si esta condição com a entrada de nutrientes da atmosfera (Jordan, 1982).

Os estudos da solução do solo e de sua composição química em mudança com tempo não são muito frequentes nos trópicos. Alguns estudos foram realizados dentro do contexto do projeto bi-nacional do SHIFT (Estudos do impacto humano em florestas e em áreas inundadas nos trópicos) na Amazônia. Klinge (1998) estudou o impacto da conversão da floresta na solução do solo, e da lixiviação, dentro do mesmo complexo (CEPLAC) e contexto, como o estudo atual. Três estudos concentraram-se em pequenas rotações do campo-pousio nas áreas dos fazendeiros, na Zona Bragantina: o primeiro, de

Hölscher et al (1996) estudou balanço da entrada e saída de nutrientes de um sistema rotacional, com 2 anos de cultivo e 7 de pousio, em que usou-se a composição química da solução do solo para estimar a saída por lixiviação; o segundo, Kato (1998), usou a solução do solo para determinar as flutuações de N em uma seqüência de cultivo de arroz, do caupi e da mandioca; e o terceiro, Sommer (2000), concentrou-se no fluxo de água e de nutrientes do solo em uma seqüência similar de cultivo, porém em profundidades diferentes. Estes estudos serão considerados posteriormente em mais detalhes.

As florestas intactas e variáveis foram estudadas (Dezzeb & Fölster, 1994; Thiel, 1989), porém, na maior parte, com ênfase no distúrbio natural e humano (Brouwer, 1996; Bruijnzeel, 1995; Klinge, 1998; Parker, 1985; Steudler et al., 1991; Uhl et al., 1988; Weston & Attiwill, 1990). O impacto de tais distúrbios na solução do solo varia de acordo com o tamanho da clareira criada. As pequenas clareiras crescendo para as grandes derrubadas parecem aumentar severamente a concentração de elementos na solução do solo, embora momentaneamente, gerando um efeito pronunciado (Brouwer, 1996; Parker, 1985; Uhl et al., 1988). Um efeito muito marcante é o aumento da mineralização e da nitrificação que resultam em uma acumulação de NO_3 (Steudler et al., 1991; Montagnini & Buschbacher, 1989; Palm et al., 1996; Weston & Attiwill, 1996).

Um outro fator que deve ser considerado é que a conversão da floresta é realizada geralmente em grandes áreas, e com o uso do fogo. A queima dos restos orgânicos geralmente acentua o aumento da concentração do elemento na solução do solo (Weston & Attiwill, 1990). A concentração alcança um máximo 3 a 5 meses após a derrubada, dependendo da precipitação e da profundidade (Brouwer, 1996; Klinge, 1998), embora esta reação possa também ser retardada (Parker, 1985).

O nitrogênio representa um caso especial no ciclo biogeoquímico, incluídos um número de processos que envolvem o elemento (formas gasosas) (Odum, 1971). Uma porção significativa da entrada deste elemento no ecossistema florestal ocorre via fixação biológica (Bruijnzeel, 1990). A mineralização e a nitrificação do nitrogênio tem sido negativamente afetadas pelo crescimento da entrada deste elemento em vários solos

ácidos, podendo aumentar ou diminuir aqueles processos. A diferença nos efeitos é provavelmente devida aos diferentes organismos existentes no solo.(Nilsson et al., 1995).

Os estudos na solução do solo em campos cultivados e em sistemas agroflorestais dos trópicos são raros. Na agricultura itinerante a queima da biomassa, no começo de uma nova rotação, tem aparentemente um efeito similar ao do distúrbio da floresta, porém em um nível muito mais baixo. Hölscher et al.(1997) relata um máximo de NO_3 após a queima e após a colheita da mandioca, embora isto não tenha diminuído o pH. A razão pode estar no fato de os solos, na Zona Bragantina, após um século de cultivos, serem mais ricos, deslocando Ca trocável na superfície do solo. Como a maioria do N acima do solo é liberado para a atmosfera com a queima (Mackensen et al., 1996), a fonte de NO_3 é a decomposição da matéria orgânica, incluindo as raízes do solo (Montagnini & Buschbacher, 1989; Khanna & Raison, 1986). O efeito de NO_3 foi registrado também por Kato (1998) e por Sommer (2000).

O fósforo parece ser acumulativo. É o que demonstra a maioria dos estudos referentes a este elemento, refletindo a sua baixa mobilidade. Casualmente, esta baixa mobilidade também traduz a alta exportação do fósforo, registrada na Floresta de San Carlo (Bruijnzeel, 1990).

Em florestas onde a entrada de cálcio, pela precipitação, excede o cálcio lixiviado, o sistema florestal deve estar em sucessão ou em crescimento gradual. O sistema pode ser de floresta madura com pequenas flutuações de temperatura, onde períodos de quedas de árvores resultam em perdas nos fluxos de nutrientes, compensados pelos ganhos durante outros períodos (Jordan, 1982).

Além da mineralização e da nitrificação, é importante mencionar as reações de troca após o distúrbio. O Ca é fortemente envolvido e pode deslocar prótons e Al. Devido ao Al formar complexos com OH, este processo ajustará mais prótons livres, como também no processo de nitrificação. Em consequência, o pH pode temporariamente ser mais baixo (Klinge 1998, Van Breemen et al. 1983). Klinge relata uma diminuição relativamente lenta do K na solução do solo que pode ser explicada por uma seletividade elevada de K em solos cauliniticos (Levy et al. 1988, Udo 1978, Anarugsa 1998).

Entretanto, a relação entre Ca e Mg de um lado, e de K no outro, é ainda pouco explicada.

Hölscher et al. (1997) supõem também que a concentração do Cl na solução do solo resulta principalmente de uma liberação deste elemento das raízes decompostas. Eles fazem referência às observações similares de Khanna & Raison (1986). Klinge (1998) também relatou concentrações elevadas de Cl (1,4 e 3,4 mg g⁻¹) nas folhas de árvores da floresta. Esta observação chama a atenção porque Na e Cl são considerados, geralmente, como de nenhum interesse no processo de ciclagem dos elementos nos ecossistemas.

Entretanto, a estimativa da concentração de elementos na solução do solo depende dos detalhes dos métodos utilizados na extração desta, onde amostras do solo são usualmente perturbadas, desordenadas, ou em menor parte, dominadas por diferentes condições de umidade e da temperatura. Isto significa dizer que não deve ser esperado que amostras extraídas no campo representem a atual solução do solo "in situ". Os resultados devem ser somente comparados estritamente dentro de um método definido, com exatidão. Por exemplo, a amostragem da solução do solo pode estar supersaturada com respeito à fase sólida, a qual pode precipitar durante a percolação através da cápsula lisimétrica de sucção (Grossmann & Udluft, 1991). Isto, provavelmente, poderia conduzir a uma redução da permeabilidade da cápsula de sucção, como mostrado por Hansen & Harris (1975). Assim sendo, é importante visualizar os fatores que influenciam, de maneira mais intensa do que se pode imaginar, os resultados de trabalhos de amostragem da solução do solo.

Outro fator importante a ser considerado é que a solução do solo amostrada nunca é estéril. Então, as atividades dos microrganismos podem causar alterações nas amostras. Conseqüentemente, íons de hidrogênio, amônia, nitrato e substâncias orgânicas (por exemplo) são alterados (Grossmann & Udluft, 1991). Por exemplo, a transformação de nitrato para amônia foi detectado por Hetsch¹ et al., citado por Grossmann & Udluft (1991), além de algumas indicações de elevação do pH, registradas por Grossmann, Merk

¹ HETSCH, W. et al. Die beeinflussung der bodenlösung durch sangkerzen aus nickel-sintermetall und keramik. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, v.142, p.29-38, 1979.

Merkel & Udluft (1988). Neste contexto, deve-se considerar uma metodologia que diminua, ou mesmo anule, os efeitos da atividade microbiana, garantindo assim a “pureza” da solução do solo.

Em sistemas com animais Hobbie (1992) concluiu que algumas espécies de plantas criam um retorno positivo em habitat pobre em nutrientes. O nível de ciclagem de nutrientes é diminuído pelo lento crescimento da vegetação, uso eficiente de nutrientes e produção do material de baixa qualidade nutricional que detêm os herbívoros, resultando em baixa decomposição da liteira. Similarmente, em ecossistemas ricos em nutrientes, as plantas crescem rapidamente, sustentando altos níveis de produção de material dos herbívoros, ocasionando prontamente a decomposição da liteira, acentuando o nível de ciclagem dos nutrientes. Entretanto, segundo Van Breemen (1995), os processos de mobilização e imobilização de nutrientes causados pelo sistema de decomposição herbívoro-planta variam em função do material parental, clima, estágio de desenvolvimento do solo e estágio de sucessão da vegetação.

Outro fator a considerar é a maior ou menor absorção de nutrientes pela planta. De maneira geral, estandes na fase clímax (maduros) mostram maior absorção de nutrientes e uso eficiente destes que os mais jovens. Para o mesmo tempo de observação, o potencial de lixiviação de elementos é maior nos estandes mais velhos (Nilsson et al, 1995).

Os efeitos da estrutura do solo na lixiviação são de fundamental importância para a ciclagem de nutrientes, principalmente a agregação (estabilidade e grau) e a macroporosidade (volume de poros sem água devido à gravidade). A agregação é controlada em parte pela mineralogia do solo e pelo teor de matéria orgânica. O bom desenvolvimento deste fluxo de água evita, portanto, a erosão do solo e contínuas perdas de nutrientes. A baixa transferência de solutos da fase imóvel para a móvel, retarda o processo de lixiviação dos elementos da solução do solo (Sollins, 1996).

Os sistemas agroflorestais na forma de agricultura itinerante foram discutidos, gerando controvérsias. Eles certamente demandam mais terra, porém são considerados mais sustentáveis. Os diferentes aspectos desta discussão são bem sumarizados por

Sommer (2000). Hölscher et al. (1997) encontraram que tais sistemas experimentam uma perda líquida dos nutrientes pela colheita, queima e lixiviação, com colheita e queima sendo os canais mais importantes. As tentativas de eliminar a queima estão sendo estudadas presentemente dentro do projeto SHIFT. O estudo atual concentra-se em um sistema agroflorestal diferente, que não inclua a queima. Neste sistema, naturalmente, ocorrem remoções de nutrientes pela colheita, e o retorno de alguns nutrientes ao solo por meio de composto orgânico. O presente estudo, procurando respostas para estas indagações, propôs-se a estudar as flutuações das concentrações dos nutrientes na solução do solo e suas relações com os sistemas de manejo.

2.3 Descrição de estudos regionais afins

Para efeito de um estudo comparativo dos resultados gerados por este trabalho com os de outros três autores, objetivando embasar a discussão sobre observações relevantes para a região (nordeste paraense), segue-se a descrição dos citados trabalhos.

Klinge (1998), estudando no mesmo complexo da CEPLAC (local de realização do presente estudo) durante 1992 a 1993, estabeleceu três parcelas de observação: uma sob a floresta remanescente (A1) servindo como controle também para o estudo atual (veja 4.2.4), e duas parcelas (A2 e A3) onde a biomassa original foi cortada e queimada de maneira similar à parcela do atual trabalho (A4). O monitoramento da água do solo (tensiômetros) e da solução do solo (lisímetros) foi continuado durante todo o processo de derrubada, secagem e queima dos restos orgânicos e do subsequente plantio de eucalipto. O referido autor constatou que as concentrações dos elementos na solução do solo apresentaram um ponto máximo de concentração durante, e após a seca e a queima dos restos da biomassa.

Kato (1998), em um estudo realizado de outubro/1994 a setembro/1996 no Município de Igarapé-açu, na zona bragantina, a 100 km leste de Belém, projetou testar o impacto da queima, ou da cobertura, de uma vegetação secundária (capoeira) de 4 anos, com 14 t ha^{-1} de biomassa, com o seguinte sistema de rotação: arroz, caupi e mandioca. A solução do solo foi monitorada nos 40 e 110 cm de profundidade do solo, de janeiro/1995 a setembro/1996, com interrupções durante o período seco, que é mais pronunciado

naquela área do que em Belém. A solução do solo foi analisada no laboratório do mesmo Instituto de Ciência do Solo e Nutrição Florestal, da Universidade de Göttingen. A informação mais relevante gerada neste trabalho foi que para a profundidade dos 25 cm ocorreu uma oscilação na concentração de elementos na solução do solo, em função da interferência do homem, no ecossistema estudado.

Um estudo na dinâmica da água e dos nutrientes do solo em um experimento de rotação de culturas, com e sem queima da capoeira, foi conduzido por Sommer (2001). O experimento iniciou-se em novembro/1995, com a derrubada da cobertura vegetal. Em seguida, no começo de dezembro, houve a queima da vegetação, após o que foi iniciado o sistema de rotação de milho, de caupi e de mandioca, os quais foram colhidos em junho/1996. Foram instalados lisímetros em 90 cm, 1,8 e 3 m de profundidade. Neste trabalho de comparação somente os dados dos 90 cm são considerados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização geográfica

Este trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental de Pesquisa "José Haroldo", da CEPLAC, situada no município de Benevides/Pará, na rodovia BR 316, a 17 km de Belém (Figura 3), no ponto de 10°22'00''S de latitude interceptando o meridiano 48°13'30''WGr (Neves & Barbosa, 1983). O experimento foi instalado em área de floresta primária, explorada há aproximadamente 40 anos. As áreas de observação foram ordenadas segundo a seguinte disposição: uma área de floresta, como ponto de observação do ecossistema inicial, e uma segunda área com um sistema agroflorestal implantado incluindo o consórcio e a rotação de culturas, sendo cada parcela experimental de 0,25 ha. As observações foram feitas entre 1995 e 1996.

A CEPLAC – Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - é uma estação de pesquisa com o maior banco de germoplasma de cacau (*Theobroma sp*) do norte e nordeste do Brasil. Possui uma área de 269 ha, sendo 30 a 40 % ocupada com variedades de cacau, e o restante por florestas nativas, primária e secundária, exploradas. A vegetação predominante é provavelmente o resultado desses 40 anos de exploração (Neves & Barbosa, 1983).



Figura 3 – Mapa do Brasil, com detalhamento do mapa do Estado Pará e do município de Benevides.

3.2 Descrição da área experimental

As áreas experimentais selecionadas para instalação do projeto mediram 0,25ha cada (50m x 50m) onde foram instalados lisímetros – para coleta da solução do solo e tensiômetros – para medir o potencial de água no solo (Figuras 4 e 5). Nas duas áreas

experimentais (A4 e floresta explorada), as instalações ocorreram em épocas diferentes. Na área de floresta, em função desta servir de referência às condições iniciais do ecossistema, as instalações aconteceram no início da primeira fase do projeto (1992), junto com as áreas de Eucalipto (A2 e A3). A área de implantação do sistema agroflorestal (A4), fazendo parte somente da segunda fase do projeto SHIFT, recebeu as mesmas instalações em 1995 (Tabela 2).

ÁREA EXPERIMENTAL

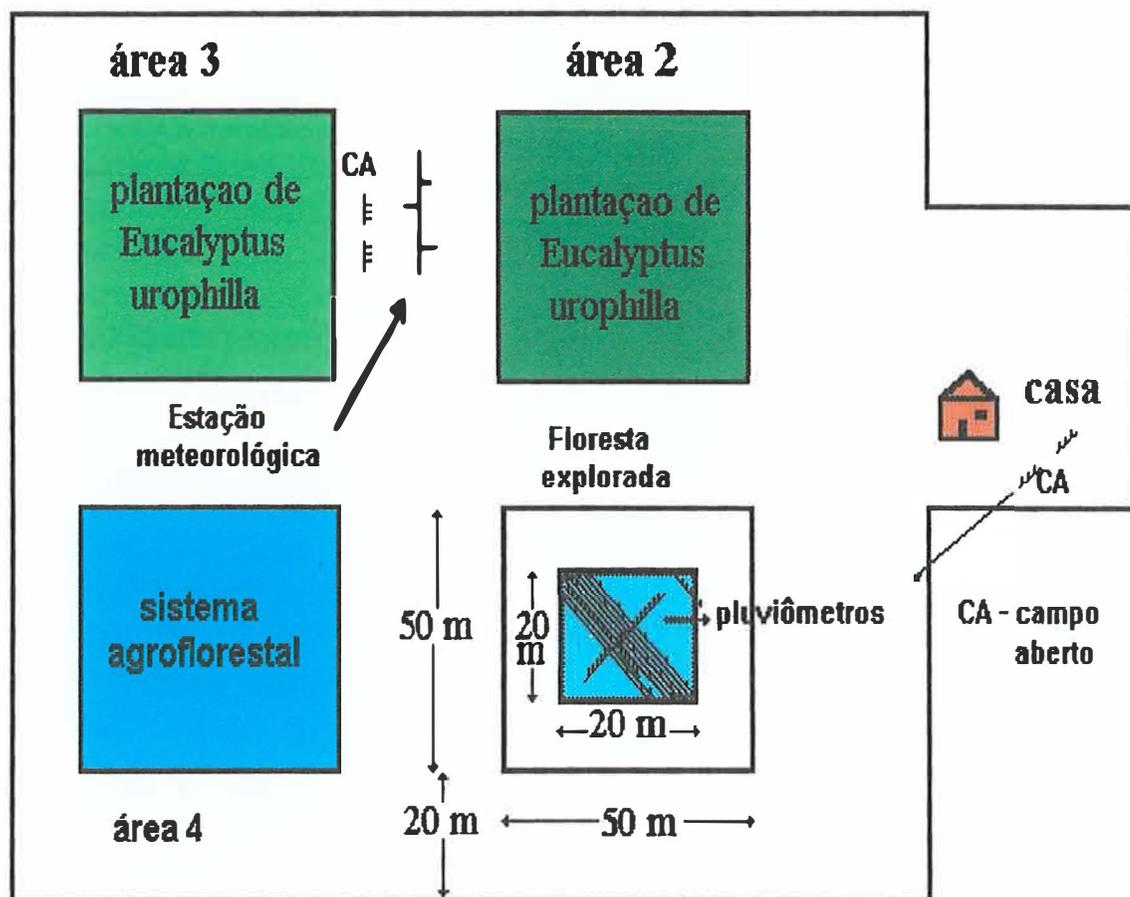


Figura 4 – Croqui da área experimental.

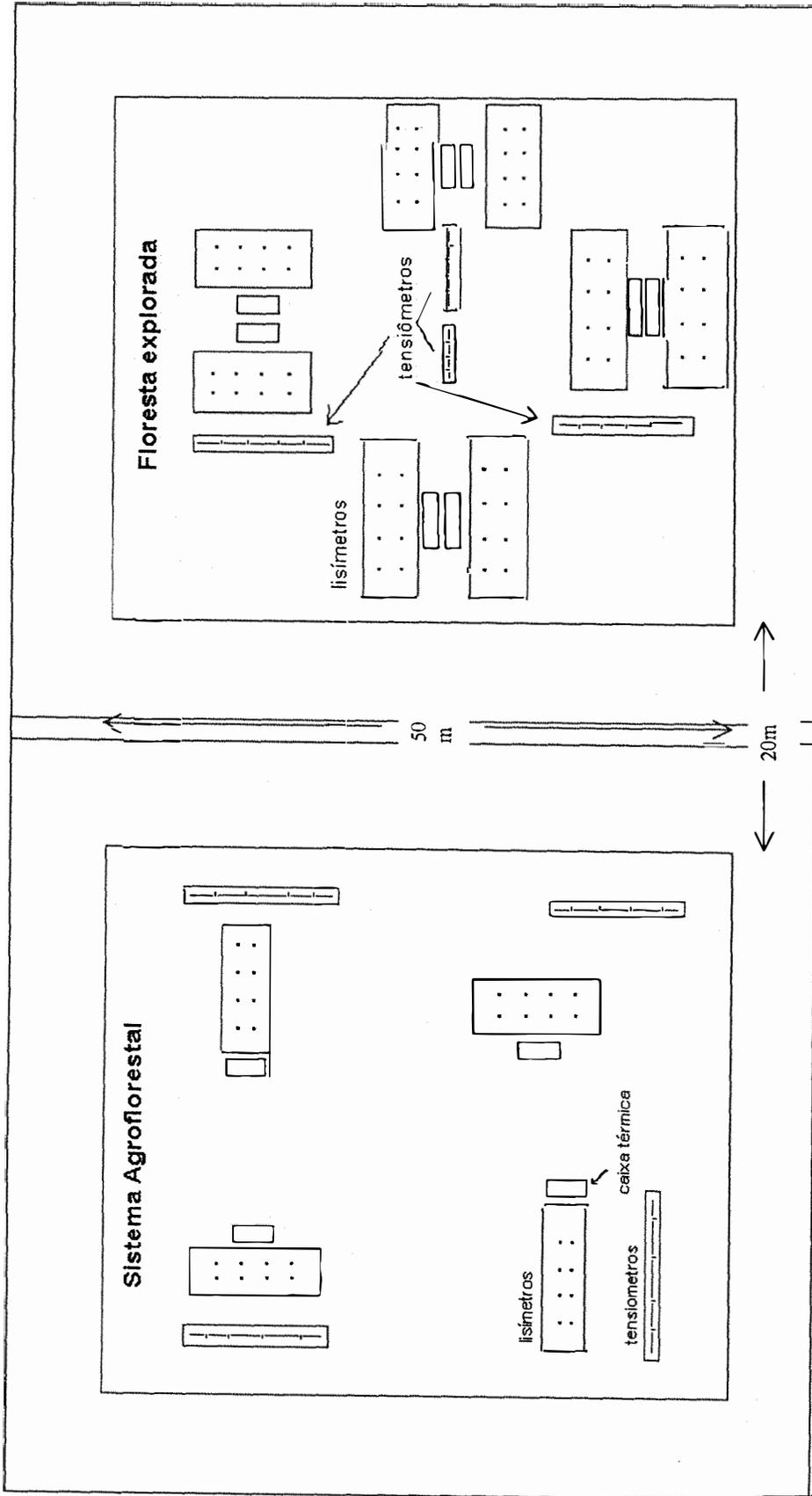


Figura 5 – Croqui de instalação de lisímetros e tensiômetros nas áreas em estudo (floresta e SAF).

Na área de implantação do sistema agroflorestal foi inicialmente feito o consórcio de Mogno (espécie perene) com cupuaçu (espécie frutífera semi-perene) e duas espécies de ciclo curto – mandioca e milho. Após o ciclo do milho, foi cultivado em sistema de rotação o caupi, e em seguida o feijão-de-porco, usado como adubação verde (Tabela 2).

Tabela 2. Cronograma do trabalho de instalação dos equipamentos de medição e da implantação das culturas, dentro da área de floresta (controle) e do sistema agroflorestal (SAF).

	FLORESTA (controle)	SAF
Instalação dos equipamentos		
- lisímetros	20/07/1992	24/02 – 07/03/1995
- tensiômetros	07/07/1992	08/02/1995
Implantação das culturas		
- mogno		13/12/1994
- cupuaçu		13/12/1994
- mandioca		14 – 15/12/1994
- milho		03 – 04/01/1995
- caupi		27 - 29/06/1995
- feijão-de-porco		05 – 06/10/1995
-milho e mandioca (2o ano)		03/01/1996

3.3 Clima

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo AF, cujas características são: temperatura média anual em torno de 25,9 °C com pluviosidade bastante elevada, sendo que no período mais seco do ano apresenta índices pluviométricos superiores a 60 mm (Neves & Barbosa, 1983).

É importante ressaltar que o local selecionado para a efetivação das observações em estudo localiza-se aproximadamente a 30 km tanto da estação meteorológica de Belém, quanto da DENPASA - fábrica de dendê que investe parte de seus recursos financeiros no cultivo da palmeira que fornece a matéria-prima de base para o seu funcionamento industrial. Nesta área a temperatura média fica em torno dos 26,4 °C com variação de 2,2 °C. A umidade relativa do ar fica em torno de 79 a 92%. A proximidade geográfica existente entre as estações meteorológicas situadas nas áreas da DENPASA e do experimento possibilitou subsidiar esta pesquisa permitindo comparações entre os índices pluviométricos registrados (DENPASA, 1995).

A Tabela 3 faz referência aos índices pluviométricos dos últimos 25 anos, aproximadamente, considerando os índices dos anos em estudo (95/96). O índice pluviométrico registrado neste trabalho, no período observado dentro do sistema agroflorestal, correspondeu a 62% da média dos 4 anos de instalação do projeto (1993/1996). Se fossem computados os meses de março, abril e maio de 1995 ter-se-ia um acréscimo de 1464 mm de chuva, dando um total para o ano de 1995 de 3662 mm de chuva. Este índice pluviométrico estaria somente 3% acima da média dos 4 anos de observação dentro da área do projeto.

Tabela 3. Índices pluviométricos registrados na área experimental (Benevides /PA) e na estação meteorológica da DENPASA (Sta Bárbara/PA).

Local	Período	Precipitação (mm)
DENPASA *	1974 - 1988	3326
Sta Bárbara/PA		
Benevides/PA *	09/1992 – 08/1993	2479
Benevides /PA	1993- 1996	3552
Benevides/PA	06/1995 – 02/1996	2198
(este trabalho)	1995	3662

* Fonte: KLINGE, 1998.

O gráfico de distribuição de chuva desde o período inicial do projeto instalado mostra o comportamento das chuvas durante o período anterior ao observado dentro do

sistema agroflorestal (Figura 6). Observa-se que 1994, 1995 e 1996 foram anos com índices pluviométricos mais elevados que 1992 e 1993, sendo estes considerados anos atípicos para a região. A Figura 7 mostra a distribuição das chuvas no período estudado (06/95 – 02/96).

A metodologia de coleta da precipitação (Van Eimern & Häckel, 1979) foi feita através de 12 pluviômetros instalados no centro de duas áreas abertas, sendo uma de 120 x 50 m, e outra de 20 x 20 m (6 pluviômetros em cada). Estes eram, basicamente, funis de material plástico, com 10 cm de diâmetro apoiados em suportes de tubos PVC a 1 m do solo, tendo-se o cuidado de mantê-los nivelados paralelamente ao chão. Os funis foram acoplados a garrafas plásticas de 1 litro, e no interior destas foram colocadas telas plásticas para evitar a contaminação pela entrada de qualquer material trazido pela água da chuva, ou pelo vento (insetos mortos, folhas, etc).

Os dados gerados pelos pluviômetros foram calibrados através das leituras da Estação Meteorológica instalada dentro da área experimental, próxima aos pluviômetros. O objetivo de se usar pluviômetros e os dados da estação foi exatamente para calibrar os dados dos primeiros, já que estava sendo realizado um estudo sobre ciclagem na área, com a utilização de pluviômetros móveis e fixos dentro da área de floresta. Para se ter maior segurança sobre os dados gerados por aqueles pluviômetros, os dados gerados no campo aberto foram calibrados com os da estação, bem como comparados aos da estação meteorológica mais próxima - DENPASA (já mencionada anteriormente no item 3.3) (Figura 8).

As perdas por evaporação foram minimizadas com a realização das coletas na manhã subsequente a 1 dia de chuva, e na tentativa de diminuir os efeitos da vegetação (2 a 3 m de altura) próximas a área de coleta, bem como os da interferência do vento na direção da queda da chuva nos coletores, procurou-se usar um funil com a menor dimensão de área possível (Veneklaas, 1990).

As amostras coletadas foram inicialmente conservadas com a adição de 5 mL de clorofórmio, filtradas, sendo adicionados mais 2 mL de clorofórmio, e posteriormente armazenadas em geladeira até o encaminhamento para o laboratório de análises químicas

do Institut für Bodenkunde und Waldernährung / Universidade de Göttingen / Alemanha, onde foram analisadas.

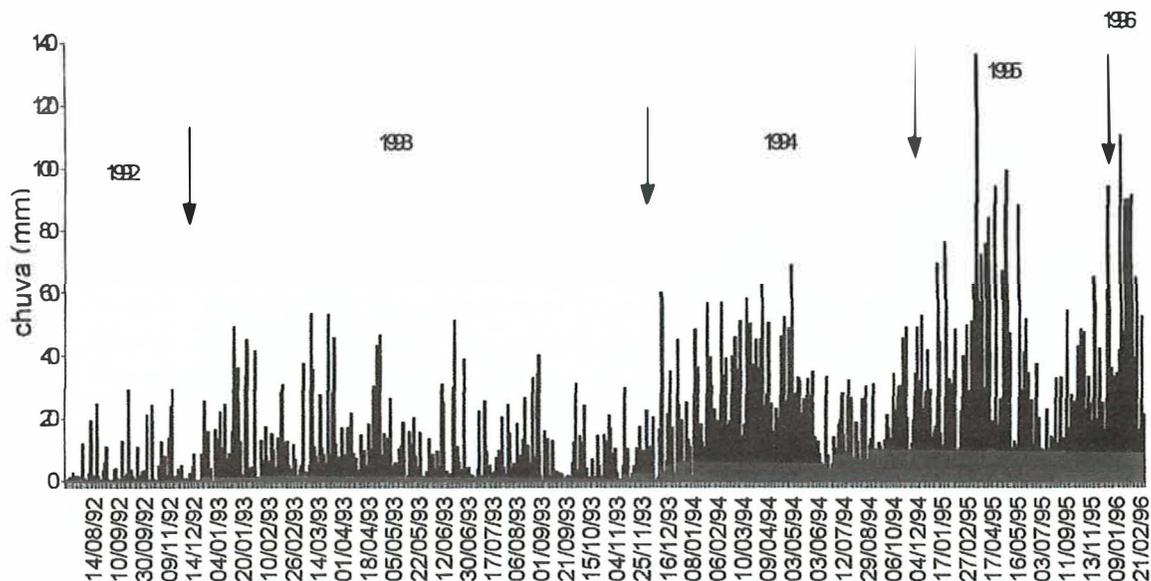


Figura 6 – Distribuição das chuvas durante todo o período de observação, desde fase inicial do projeto (08/92 a 02/96).

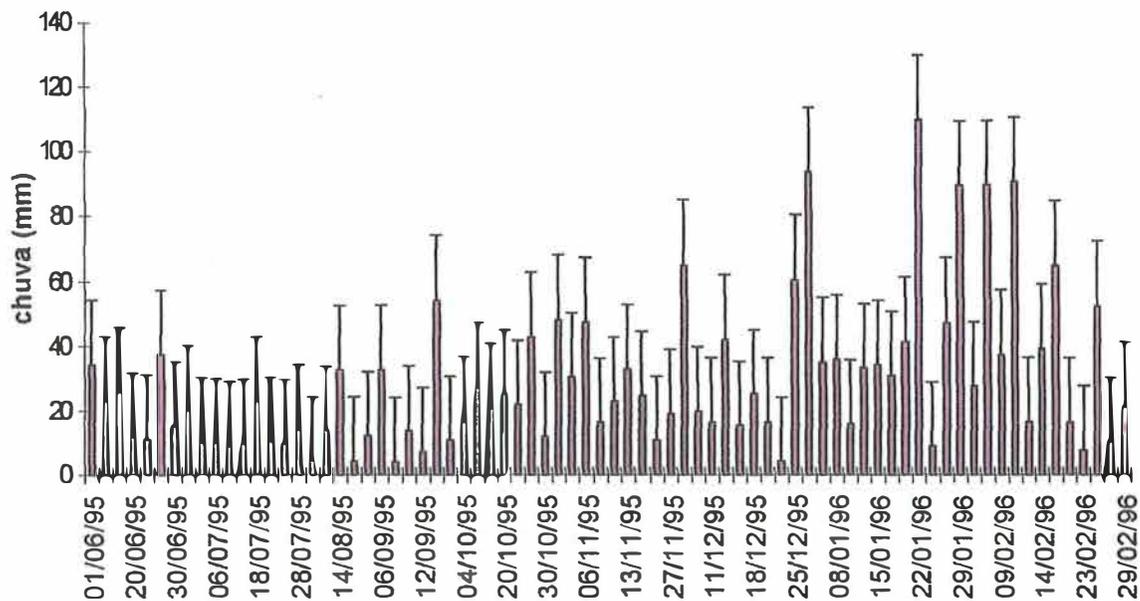


Figura 7 – Distribuição das chuvas durante o período estudado (06/95 – 02/96).



Figura 8 – Fotos da área mostrando a distribuição dos pluviômetros instalados na área de floresta e do SAF.

3.4 Solo

O relevo da região de Belém (24 m acima do nível do mar) está na altitude de até 60 m (Denich, 1989), variando de plano para levemente ondulado. O sedimento de terra firme da região foi depositado entre o período terciário e o quaternário, condicionado através da elevação dos Andes no Mioceno. No plioceno e no pleistoceno a bacia amazônica tornou-se uma paisagem aquática (com lagos) quando foi então preenchida com sedimentos de água doce. Na região da costa atlântica os sedimentos eram compostos principalmente pela intemperização de granitos, gnaisses e arenitos da região guiana e brasileira. Com o tempo, o fluxo de água deslocou-se para o Atlântico e com isso a zona de sedimentação secou, aparecendo então as dunas (Bigarella & Ferreira, 1985; Sioli, 1983; Grabert, 1991; Vieira & Santos, 1987).

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo álico A moderado textura média relevo plano (Vieira, 1988), sendo que estes resultados vieram confirmar a classificação feita por Neves & Barbosa, 1983. Na classificação da FAO este solo corresponde ao Xantic – Haplic Ferrasol (ISSS, 1998) e ao Typic Hapludox na classificação USDA (Estados Unidos, 1994). As características dos latossolos são: solos não hidromórficos, profundos, caulíníticos, sendo sua principal característica apresentar um horizonte diagnóstico B latossólico (Tabela 4). Os latossolos amarelos e os vermelho-amarelos representam 38% da área da Amazônia, sendo portanto típicos desta região (Moraes et al., 1995; Richter & Babbar, 1991).

Tabela 4. Características de classificação do perfil do solo.

Horizonte	Ah1	Ah2	AB	BA	Bv1	Bv2
Profundidade	0-5	5-10	10-30	30-50	50-80	80-100
Cor	10YR3/2	10YR3/2	10YR5/4	10YR6/2	10YR6/6	10YR6/8
Estrutura	granular	granular	Bloco sub- angular	Bloco sub- angular	Bloco sub- angular	Bloco sub- angular
Textura	Média	média	Média	Franco	Franco	Franco
	Franco	Franco	Franco	Argilo	Argilo	Argilo
	Arenosa	arenosa	arenosa	arenosa	arenosa	arenosa

A área selecionada para instalação do projeto foi escolhida considerando-se o fato da mesma apresentar um conjunto de fatores que mantêm preservadas a maioria das condições de vegetação, tipo de solo, relevo, drenagem, declividade, erosão e material de origem originais do ecossistema local (Neves & Barbosa, 1983). Nas tabelas 5 e 6 podemos observar as caracterizações granulométrica (teores de areia grossa, areia fina, silte e argila) e química da área experimental (Ca, Mg, Na, K, P, C, N, MO) e valor de pH. Observa-se que quando os valores de areia diminuem no perfil do solo, os teores de argila aumentam, confirmando as características do tipo de solo identificado. Pode-se ainda confirmar os resultados desta análise comparando-se aos de Klinge, 1998, obtidos na mesma área experimental.

Tabela 5. Caracterização granulométrica do solo da área experimental.

Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	%			
0 - 5cm	57,64	21,51	8,33	11,52
5 - 10cm	56,33	21,46	6,30	15,30
10 - 30cm	55,52	20,09	6,59	17,70
30 - 50cm	52,10	20,50	4,61	22,72
50 - 80cm	51,65	20,02	4,80	23,53
80 - 100cm	49,80	20,75	4,54	24,36

Tabela 6. Caracterização química do solo da área experimental.

Profundidade	pH	Al	Ca	Mg	Na	K	P	C	N	MO	
		mmol kg ⁻¹									g kg ⁻¹
0 - 5cm	4,09	13,3	5,5	1,3	0,9	0,8	122	172	10	35,7	
5 - 10cm	4,23	15,6	2,5	0,8	0,4	0,5	103	113	6,4	23,4	
10 - 30cm	4,43	13,7	1,5	0,4	0,4	0,3	45,8	73,3	5,7	14,6	
30 - 50cm	4,71	12,2	1,5	0,4	0,4	0,3	30,0	52,5	4,3	10,8	
50 - 80cm	4,76	11,5	1,3	0,4	0,4	0,0	24,2	40,0	3,6	8,3	
80 - 100cm	4,92	10,7	1,3	0,0	0,0	0,0	12,6	21,7	2,9	4,5	

A amostragem do solo para análise de caracterização da área foi realizada antes da derrubada da vegetação original, sendo coletada em 6 profundidades: 0-5, 5-10, 10-30, 30-50, 50-80 e 80-100 cm. Em cada linha de amostragem recolheram-se 6 amostras individuais para formar uma amostra composta por profundidade. As amostras individuais foram tiradas a cada 10 metros, num total de 36 amostras simples, em toda a área de 50 x 50 m, gerando 6 amostras compostas por profundidade.

Para a determinação do peso, volume e curvas de pF iniciais, foram coletadas, em cada parcela selecionada, seis amostras de solo indeformada (8 cm de diâmetro, 5 cm de altura: 250 cm³) em cada uma das 5 profundidades, coletadas com o kit de amostragem de solo Eijkelkamp, Netherlands.

3.5 Vegetação

3.5.1 Identificação florística

Na primeira fase de realização do projeto foi feito um inventário na área experimental da floresta de terra firme, com o objetivo de fazer a identificação florística na área (Anexo 1). Esta identificação é importante no estudo da dinâmica de nutrientes durante a conversão de floresta para uma área com um sistema de manejo agriculturável. Foi objetivo do projeto fazer associações entre as espécies identificadas que fossem de maior representatividade na área de acordo com a área basal e o conteúdo de nutrientes depositados nestas espécies, possibilitando conhecer o estoque de reserva de nutrientes na vegetação, considerando que em área de floresta, particularmente na região amazônica, a principal fonte de reserva de nutrientes é a própria vegetação. Entretanto, neste trabalho, isto não será considerado, uma vez que o material amostrado não pôde ser analisado, devido a imprevistos ocorridos no trajeto das amostras até o laboratório de análise. Sabe-se, entretanto, que poucos estudos relacionam informações desta natureza, observando o estoque de nutrientes da vegetação, porém em estudos de modelos de ciclos biogeoquímicos, este é um conhecimento imprescindível para detalhar os dados (Fölster e Khanna, 1997).

Assim, nesta etapa, as 20 espécies mais importantes identificadas pelo levantamento florístico, considerando a área basal, como já foi dito anteriormente, estão

citadas na tabela 7. Alguns parâmetros referentes ao levantamento feito na área do sistema agroflorestal (A4) são comparados às outras áreas trabalhadas dentro do projeto, apenas a título de informação, considerando-se duas diferentes tomadas de DAP (diâmetro a altura do peito). As outras áreas referidas são: A1 – área de controle (ecossistema inicial da floresta); A2 e A3 – áreas plantadas com eucalipto (Tabela 8).

Tabela 7. Principais espécies (20) identificadas na área pelo levantamento florístico, de acordo com a área basal.

Nº.	Espécie	Família	Nome vulgar	Área basal m ² ha ⁻¹
1	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Ucuúba vermelho	3,467
2	<i>Hancornia amapa</i>	Apocinaceae	Amapá	2,808
3	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecythidaceae	Matamata branco	2,352
4	<i>Eschweilera sp</i>	Lecythidaceae	Matamata preto	2,216
5	<i>Inga maginata</i>	Mimosaceae	Ingá branco	1,480
6	<i>Cecropia juranyana</i>	Moraceae	Imbaúba vermelha	1,477
7	<i>Sloanea dentata</i>	Tiliaceae	Urucurana	1,415
8	<i>Cecropia paraensis</i>	Moraceae	Imbaúba branca	1,372
9	<i>Symphonia globulifera L.f.</i>	Clusiaceae	Anani	1,328
10	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	1,320
11	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	1,103
12	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	1,053
13	<i>Lucuma lasiocarpa</i>	Sapotaceae	Abiurana	0,875
14	<i>Ocotea rubra</i>	Lauraceae	Louro vermelho	0,836
15	<i>Lucuma dissepala</i>	Sapotaceae	Guajará	0,801
16	<i>Theobroma subincanum</i>	Sterculiaceae	Cupuí	0,605
17	<i>Protium decandrum Swart.</i>	Burseraceae	Breu vermelho	0,546
18	<i>Protium cf. pilosum</i>	Burseraceae	Breu	0,489
19	<i>Guatteria poeppigiana</i>	Anonaceae	Envirao	0,391
20	<i>Xylopia maginata</i>	Anonaceae	Envira preta	0,241

De acordo com a área basal as 20 espécies mais representativas, na área em estudo, somaram $26,175\text{m}^2\text{ha}^{-1}$, representando 75% do total da área basal das espécies com diâmetro maior que 7cm ($35\text{m}^2\text{ha}^{-1}$).

Tabela 8. Parâmetros avaliados na área A4 (sistema agroflorestal) comparados aos dados das áreas A1 (floresta – controle), A2 e A3 (áreas plantadas com eucalipto), baseados em duas medidas de DAP (diâmetro a altura do peito).

	DAP	A1	A2	A3	A4
	cm		0.25 ha (cada)		
Número de árvores	>10	167	198	177	151
Número de espécies		71	69	82	47
Número de famílias		37	29	33	21
Área basal (m^2ha^{-1})		25.0	22.1	25.2	33.7
Número de árvores	>7	263	294	256	212
Número de espécies		96	93	114	47
Número de famílias		43	33	42	21
Área basal (m^2ha^{-1})		27.1	24.2	26.9	35.0

3.5.2 Amostragem da vegetação do sub-bosque

Para amostragem da vegetação do sub-bosque foram definidos aleatoriamente 4 sub-parcelas medindo 2 x 5 m, sendo todo o material separado e coletado da seguinte maneira:

- material verde
- galhos de 0 – 1 cm de diâmetro
- galhos de 1 – 7 cm de diâmetro
- galhos > 7 cm de diâmetro
- galhos mortos
- madeira morta

O material foi coletado com o objetivo de informar o estoque de nutrientes contido na vegetação como reserva natural. Entretanto, não foi possível realizar a análise química por motivos já considerados anteriormente. Após a coleta das sub-parcelas todas as árvores com diâmetro maior que 7 cm foram cortadas e pesadas para determinação da biomassa residual da área, usando-se como medida o peso fresco e o peso seco. Destas foram selecionadas 5 árvores representativas das espécies de maior área basal e coletados discos de amostras, considerando os seguintes compartimentos:

- disco da área basal (a 30 cm do solo)
- disco do DAP
- disco de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ da árvore
- disco do tronco para diâmetro = 7 cm
- casca
- galhos 0 – 1 cm de diâmetro
- galhos 1 – 7 cm de diâmetro
- folhas

Após as coletas, o material foi seco em estufa e encaminhado para análise química para determinação do estoque de reserva de nutrientes. A biomassa residual foi deixada na área para queima (novembro/1994). Os troncos que não queimaram totalmente foram retirados da área experimental e depositados nas faixas divisórias laterais (20 m) situadas entre as parcelas de observação. A metodologia de amostragem adotada está sugerida em Hase, 1981.

3.5.3 Preparo da área e implantação das culturas do sistema agroflorestal

A área toda foi inicialmente demarcada e piqueteada para implantação inicial de mogno, cupuaçu e mandioca (Anexo B). Em seguida, foram plantadas 25 mudas de mogno, no espaçamento de 10 x 10 m, em covas de 40 x 40 x 40 cm. As mudas de mogno (mudas de 1 ano de idade) foram provenientes da produção interna da CEPLAC, cuja procedência das sementes foi o município de Medicilândia/Pa, na transamazônica.

Foram plantadas ao mesmo tempo 36 mudas de cupuaçu, também oriundas da produção interna da CEPLAC (mudas enxertadas com 2 anos de idade), no espaçamento 10 x 10 m, em covas de 50 x 50 x 50 cm. No dia seguinte a estes plantios, foram plantadas as estacas de mandioca, nome vulgar “Jabuti”, proveniente de uma comunidade próxima à área de pesquisa da CEPLAC chamada Rio Doce, Benevides/Pa. As estacas de mandioca foram plantadas em espaçamento 1 x 2 m, o que é definido em sistemas de consórcio para esta espécie, no nordeste paraense, onde seu cultivo é feito, na sua quase totalidade, em sistemas de cultivos associados, devido à predominância de pequenas propriedades que requerem um uso mais intenso dos recursos escassos, representados pelo capital e mão-de-obra. (Figura 9).

O plantio de milho foi realizado no espaçamento de 1 x 0,5 m, com 3 sementes/cova, ficando duas plantas por cova após o desbaste. A semente comprada foi do híbrido EMBRAPA BR 5107, por ser considerado, para a região, de elevada produtividade. Seguindo o sistema rotacional, em substituição ao milho foi plantado caupi, no espaçamento de 0,6 x 0,6 m, com 3 sementes por cova, ficando duas plantas/cova após o desbaste. A variedade plantada foi BR-3 Tracuateua, por ser a cultivar recomendada pela EMBRAPA - Amazônia Oriental para a região do nordeste paraense.

O feijão-de-porco, utilizado como adubação verde, após a colheita do caupi, foi plantado no espaçamento de 1 x 0,5 m, com 2 sementes/cova. Esperou-se o ciclo de 80 dias aproximadamente para que a biomassa produzida cobrisse toda a área, para que o feijão pudesse ser cortado e deixado sobre o solo. Em seguida foi iniciada a nova etapa do sistema de rotação de culturas para o ano de 1996 com os plantios simultâneos de milho e de mandioca, nos esquemas supra citados. Ressalte-se que nessa fase da pesquisa foi efetuada uma inversão das linhas de plantio, ou seja, onde foi plantada a mandioca no ano anterior (1995), nesse (1996) plantou-se o milho, e vice-versa.

Foram executadas todas as práticas de manejo usuais dentro de um sistema de cultivo tais como: adubação (composto orgânico e adubação verde), coroamento, capina, roçagem, poda, colheita, de acordo com a exigência de cada cultura. É importante ressaltar que, embora tenha-se incluído a adubação como um manejo usual, no contexto

deste trabalho o tipo de adubação utilizada (composto orgânico e adubação verde) não se enquadra como prática usual para a região. Este tipo de manejo ainda requer viabilização de outros projetos de pesquisa.

Na composição do composto orgânico o material utilizado foi serapilheira da floresta, sendo que uma parte desta foi transformada em cinza, após o que as duas partes foram misturadas e enriquecidas com esterco de galinha.

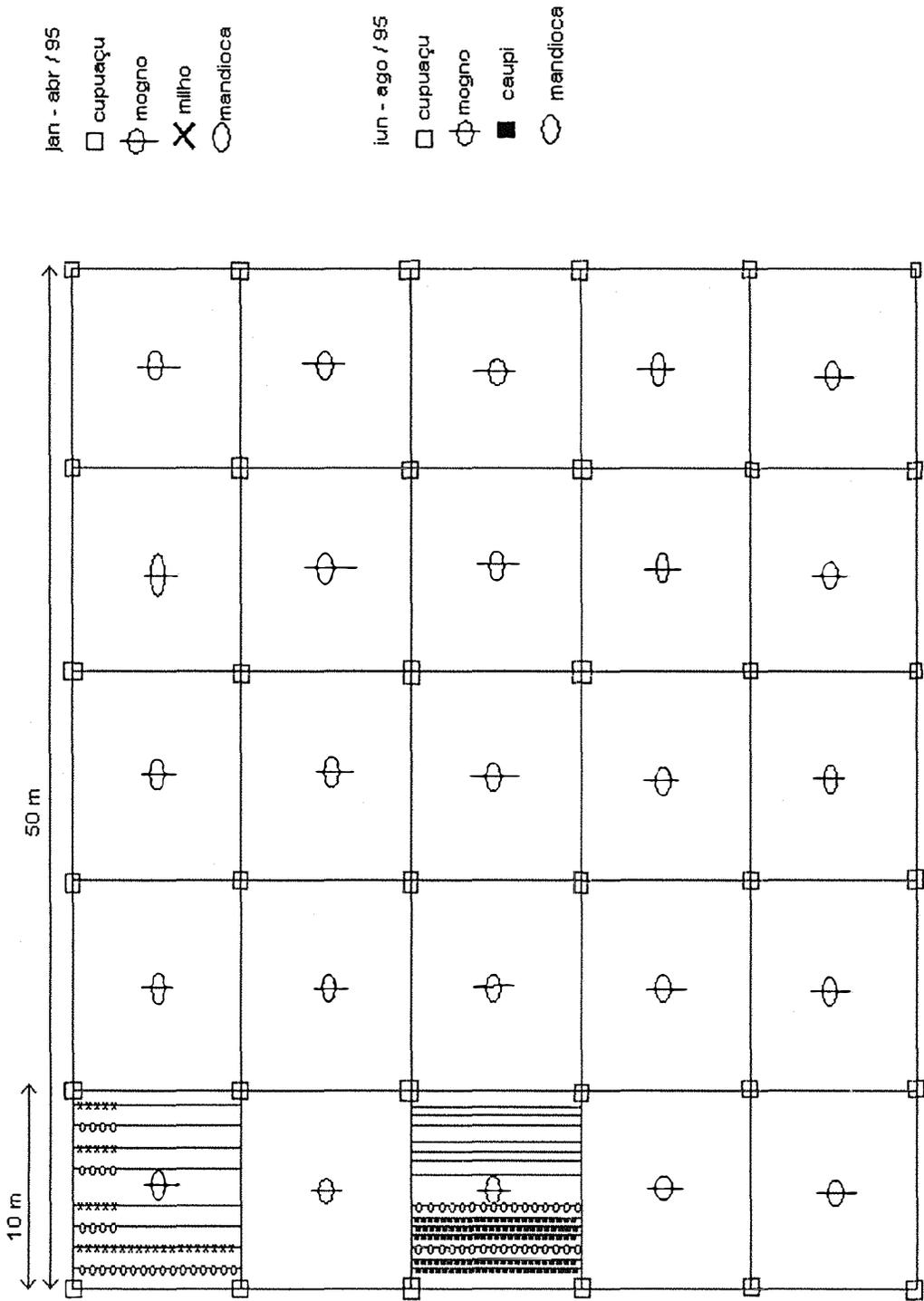


Figura 9 – Croqui da área experimental mostrando a disposição das culturas implantadas no sistema agroflorestal (SAF).

3.6 Solução do Solo

A coleta da solução do solo foi feita através de cápsulas lisimétricas instaladas em 8 parcelas de 10 m², em 4 profundidades (25, 40, 60 e 110 cm), com 2 repetições/profundidade (Figura 10). Os lisímetros constituíam-se de cápsulas lisimétricas acopladas a tubos plásticos (tipo mica), os quais eram ligados a garrafas de vidro por meio de tubos plásticos finos. Na garrafa de vidro era aplicada tensão permanente, ligeiramente elevada em relação aos valores indicados pelos tensiômetros instalados na mesma área, variando a pressão negativa entre 0,4 – 0,8 bar (Jordan, 1968; Grossmann, 1988; Grossmann & Udluft, 1991). A solução do solo era coletada quinzenalmente, armazenada em garrafas plásticas de 100 mL, sendo adicionados 5 mL de clorofórmio para conservação, como prevenção do desenvolvimento de microrganismos. As amostras, após filtradas, recebiam mais 2 mL de clorofórmio, sendo em seguida enviadas à Alemanha, para análise química.

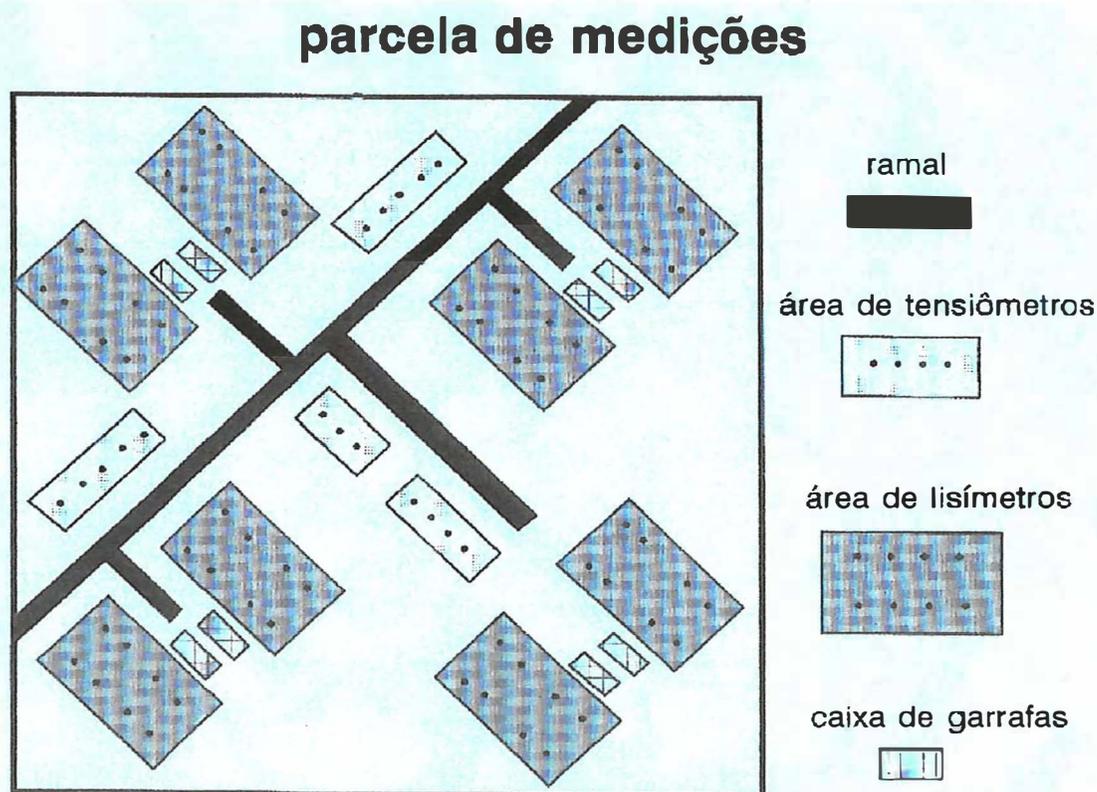


Figura 10 - Esquema geral das instalações dos lisímetros.

3.7 Tensiometria

Os dados de tensiometria foram coletados através de tensiômetros, os quais eram formados por um tubo plástico duro com uma capsula cerâmica na ponta, instalados na área em 4 profundidades: 15, 45, 145 e 500 cm. Estes eram ligados a um computador instalado na área, o qual funcionava com bateria solar, através de cabos tipo telefônicos, registrando os dados de campo a cada 15 minutos. Entretanto, para melhor entendimento da metodologia utilizada na coleta dos dados de tensiometria, sugere-se observar o que está referenciado em Klinge et al, 2001.

3.8 Análises químicas

As determinações analíticas foram realizadas no Laboratório de solos do Institute of Soil Science and Forest Nutrition, Universidade de Göttingen, Alemanha. Na solução do solo e na água da chuva os cátions sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, alumínio e silício foram determinados por ICP – AES, além de fósforo total e enxofre. Utilizando-se o método de colorimetria por fluxo contínuo foram determinados a amônia, nitrato, nitrogênio total e cloro. O pH foi determinado diretamente nas amostras por meio de potenciômetro de eletrodo combinado. Nas amostras de solo, os cátions foram extraídos com NH_4Cl 1N e determinados por absorção atômica, sendo o fósforo determinado colorimetricamente após digestão. Todas as determinações foram interpoladas com aproximadamente 20 % de padrões internos e externos. Uma descrição mais detalhada das metodologias e valores limites pode ser encontrada em Ludwig, 1993; Meiwes et al, 1984; König & Fortmann, 1996a, 1996b.

3.9 Balanço de nutrientes – cálculos de entrada e saída

Nos cálculos de entrada entraram os dados de concentração dos elementos na água da chuva. A determinação das quantidades destes elementos em kg ha^{-1} foi calculada adotando-se o seguinte critério:

$$\text{chuva total (mm)} \times \text{média das concentrações dos elementos (mg L}^{-1}\text{)} / 100$$

Optou-se por utilizar os dados de concentração de 93/94 porque os dados de 95 apresentaram concentrações muito elevadas, por serem médias de somente 4 eventos de chuva. Assim, as médias utilizadas para o balanço foram as médias mensais de 1 ano, o que os aproxima da realidade, minimizando-se os erros (Anexo C).

Para determinação das quantidades de elementos em kg ha^{-1} perdidos por lixiviação utilizou-se o Programa SILPLOT tomando-se como base os valores de concentração encontrados nos 100 cm de profundidade, e 80% da quantidade total de chuva ocorrida no período, devido à densidade de cultivos na área (Klinge, 1998). Este programa possibilitou calcular a drenagem em 90% da chuva para a A2 (área com eucalipto). Entretanto, para efeito de determinação dos valores de drenagem no presente trabalho, devido à semelhança dos sistemas em estudo, os dados de referência utilizados foram os de Sommer (2000), onde considerou-se 80% da chuva e 20% evapotranspiração. A determinação das quantidades dos elementos em kg ha^{-1} perdidos por lixiviação foi calculada da seguinte maneira:

$$\text{média das concentrações (mg L}^{-1}\text{) x chuva (80\% do total) / 100}$$

Para a determinação da quantidade de elementos exportada pela biomassa de cada cultura envolvida no sistema (grãos de milho, vagens do caupi e tubérculos da mandioca), em kg ha^{-1} , tomou-se como base os dados de exigências das culturas, de acordo com Malavolta et al. (1997) (Anexo D).

3.10 Especificação iônica

A especificação iônica foi executada com o Programa Wako (Prenzel, 1990) o qual é utilizado regularmente pelo Institute of Soil Science and Forest Nutrition, Universidade de Göttingen, Alemanha, para avaliar dados. A concentração, analisada em mg L^{-1} é transformada direto em $\mu\text{mol L}^{-1}$, para a atividade de íon em concentrações de partículas carregadas (íons) e de sua porcentagem. Os possíveis complexos daí decorrentes são observados separadamente, bem como a força iônica e o balanço de

cargas positivas e negativas. Em um parágrafo separado o produto da atividade do íon é comparado aos produtos da solubilidade conhecidos da literatura.

3.11 Análise estatística

Os resultados foram analisados utilizando-se vários recursos estatísticos. Para análise dos resultados gerados pela dinâmica da solução de solo no tempo, foram usados os recursos das Análises de Séries Temporais, através do Programa S-Plus (1996). Foram feitas autocorrelações a partir do número total de observações para todas as variáveis, com o objetivo de identificar algum tipo de dependência entre os resultados de uma amostra e outra, o que poderia possibilitar uma estimativa destes. Os dados foram ajustados pelo Modelo AR(p), definidos através do seguinte modelo matemático, onde Y é o valor observado no tempo t , α são os coeficientes do modelo autoregressivo e e_t é o que se chama de “ruído branco”, que significa que os valores observados não são correlacionados, têm média nula e variância constante.

$$Y_t = \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + e_t$$

Nos estudos de correlações entre os elementos no perfil do solo foram feitas análises usando-se Regressões Lineares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições gerais ou periféricas

4.1.1 Chuva e saturação de água no solo

O fluxo de água é essencial para o desenvolvimento vegetativo das espécies, apresentando-se o solo como um reservatório temporário, atendendo às exigências das plantas de acordo com suas necessidades. Associando-se chuva com saturação de água no solo (capacidade de campo) é possível identificar se estas encontram-se de acordo com as condições de sazonalidade observadas para uma determinada região e período. Neste particular, considerando os resultados observados na área de instalação do projeto (Benevides/Pa), pode-se demonstrar que o sistema de distribuição das chuvas na região promove uma oscilação no processo de saturação de água do solo.

As condições gerais de chuva e saturação de água no solo estão demonstradas nas figuras 11, 12 e 13, onde se pode identificar 3 fases distintas dentro do período estudado: fase I (01/06 – 05/10/95), fase II (06/10 – 26/12/95) e fase III (27/12/95 – 29/02/96). Estas fases foram identificadas considerando-se os níveis de saturação assim denominados: fase I – fase de menor saturação de água no solo; fase II – fase de saturação intermediária; fase III – fase de saturação de água no solo, atingindo a capacidade de campo. Observa-se que a distribuição da chuva está de acordo com as condições de classificação climática para a região (Köppen), onde se tem um período mais chuvoso e outro menos chuvoso (Anexo E).

Para avaliar o processo de saturação de água do solo deve-se considerar o período, com bastante chuva, ocorrido antes da fase I. No início desta fase, observa-se que o solo apresentou-se com nível de capacidade de campo em função, provavelmente,

do período chuvoso anterior. O que se observa em seguida é que o solo passa por um processo acentuado de encharcamento e ressecamento, pois nesta fase o número de eventos de chuvas é pequeno, porém estas são intensas. É possível notar ainda algumas épocas sem observações. Isto pode ser um efeito de baixos índices pluviométricos, ou mesmo ausência destes, bem como dever-se ao fato de nestes momentos ocorrerem variações no gradiente de pressão da água do solo em relação ao tensiômetro. Como o solo está mais seco, a tensão do solo é alta, então os poros das cápsulas dilatam, permitindo a saída da água e a entrada de ar nos tensiômetros. Assim, não se tem possibilidade de medir a quantidade de água que está no solo, provocando inclusive o ressecamento da cápsula cerâmica do tensiômetro. Até o final desta fase, com a diminuição das chuvas, o solo apresentou-se ressequido, com pouca água disponível para as plantas.

Já na fase II tem-se o solo retomando níveis de saturação intermediários entre a época mais seca e o período de maior saturação, com chuvas mais freqüentes e bem distribuídas, atingindo a fase III. Nesta última fase, pode-se observar que o ciclo hidrológico está mais equilibrado, com o tempo de chuva, encharcamento e ressecamento do solo melhor sincronizados. Os níveis de capacidade de campo ou saturação de equilíbrio são: para a fase II – 100 hPa (= pF2) e para fase III – 50 hPa.

Na profundidade de 10 cm é possível identificar pontualmente quando ocorrem os eventos de chuva. As depressões nas linhas do gráfico mostram isso. Entretanto, na profundidade de 45 cm essas depressões são suavizadas, diminuindo a possibilidade de visualização dos momentos de ocorrência das chuvas. Na profundidade de 145 cm as linhas se apresentam mais suavizadas que na profundidade de 45 cm, dificultando ainda mais a identificação de início ou término de um evento de chuva.

Comparando-se as 3 figuras (11, 12, 13) é possível ver que o ressecamento do solo em cima é mais rápido que embaixo. Entretanto, o encharcamento é mais lento embaixo e tem menos oscilação. Se ocorre um tempo grande de ressecamento, e ocorre uma chuva, bruscamente o encharcamento do solo acontece na superfície, demorando mais para encharcar embaixo que em cima.

No perfil do solo a saturação de água na fase I está aumentando de acordo com a profundidade. Na profundidade de 10 cm o solo está com menor quantidade de água aumentando sua capacidade de encharcamento um pouco mais quando atinge a profundidade de 45 cm, porém é possível visualizar uma oscilação no processo de encharcamento/ressecamento, em função dos eventos de chuvas. Já na profundidade de 145 cm, o solo encontra-se mais encharcado com a massa de água distribuída uniformemente. Da metade para o final da fase II percebe-se que o nível de saturação de água já começa a atingir a capacidade de campo nas 2 profundidades observadas. Porém, somente na fase III é que se pode notar que o solo apresenta-se em sua capacidade de campo, nas 3 profundidades.

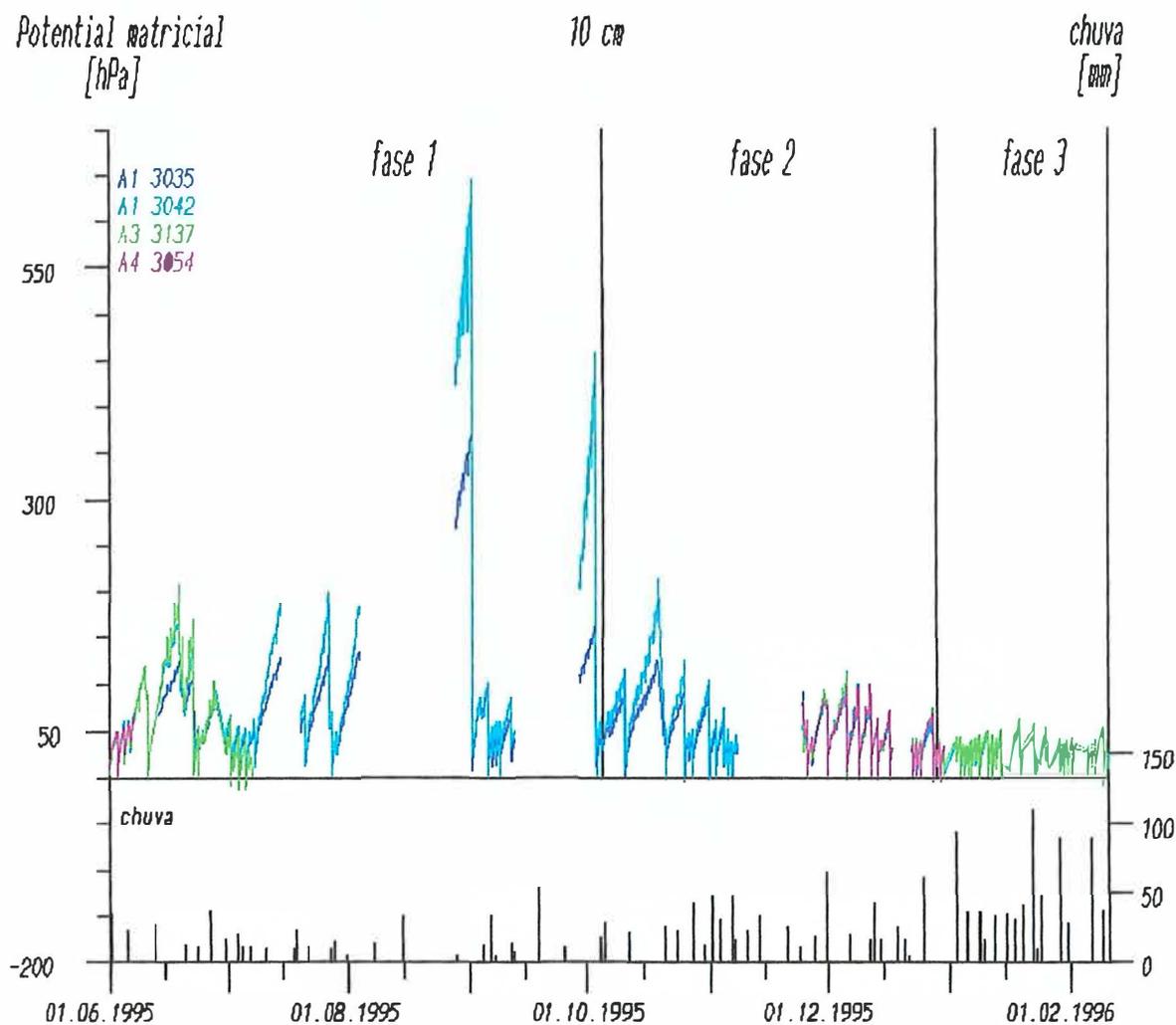


Figura 11 - Saturação de água no solo na profundidade de 10 cm, e precipitação pluviométrica, no período de 01/06/95 a 29/02/96, mostrando as 3 fases (linhas perpendiculares ao eixo de datas, dentro da área do gráfico).

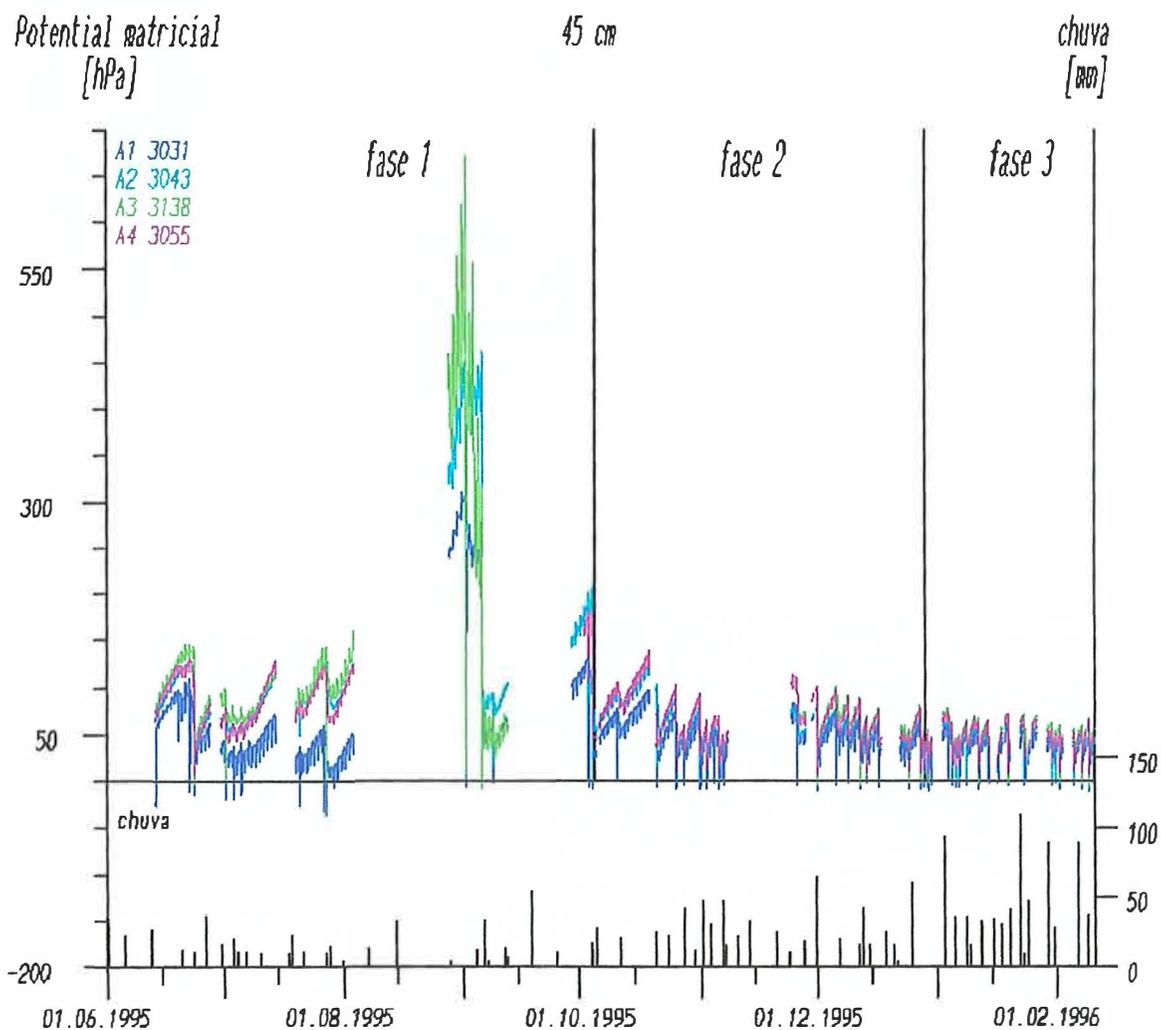


Figura 12 – Saturação de água no solo na profundidade de 45 cm, e precipitação pluviométrica, no período de 01/06/95 a 29/02/96, mostrando as 3 fases (linhas perpendiculares ao eixo de datas, dentro da área do gráfico).

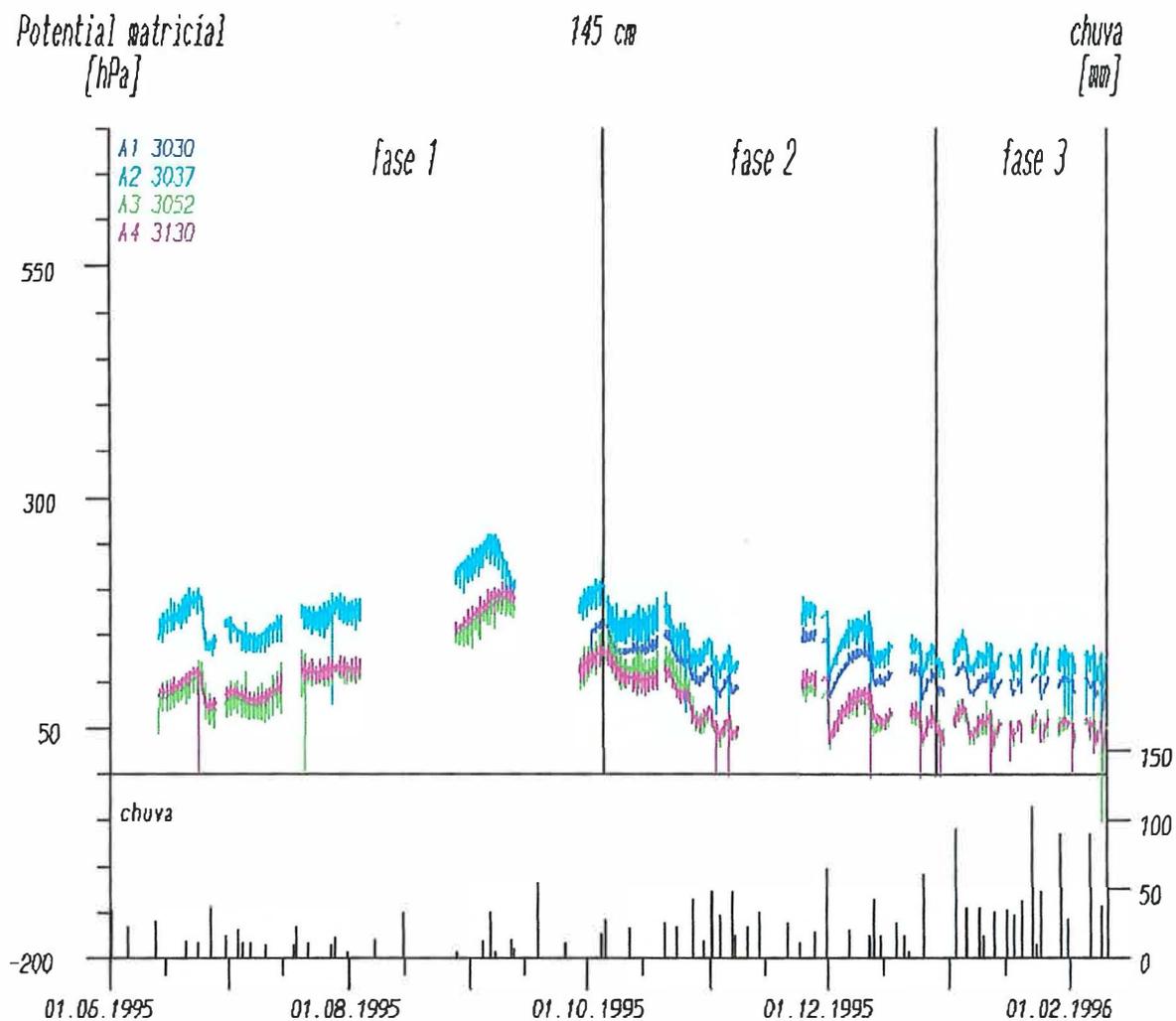


Figura 13 – Saturação de água no solo na profundidade de 145 cm, e precipitação pluviométrica, no período de 01/06/95 a 29/02/96, mostrando as 3 fases (linhas perpendiculares ao eixo de datas, dentro da área do gráfico).

Na fase I, correspondente a aproximadamente 120 dias, choveu 500 mm em 30 dias, resultando 17 mm de chuva/dia, após o que estimou-se 4 mm de chuva/dia para esta fase, considerando-se os 120 dias do período. Observou-se que nas fases seguintes a quantidade de chuva aumentou, para 640 e 1050 mm de chuva, na segunda e na terceira fases, respectivamente (Tabela 9).

Observa-se, entretanto, que o percentual de aumento na quantidade de chuva entre as fases é bem diferenciada. Entre a primeira e a segunda fase houve um aumento de 28% aproximadamente, enquanto que da segunda para a terceira fase ocorreu 64% de aumento. Em relação à quantidade de chuva/dia, a diferença entre a I e II fases foi de 65% e entre a II e a III fase foi de 57%.

Da fase I para a II os aumentos entre quantidade de chuva total e quantidade de chuva/dia nos períodos foram bem diferenciados. Isto pode ser explicado pelo fato da fase I encontrar-se centralizada na época menos chuvosa da região e a fase II encontrar-se no início da época mais chuvosa. Entre as fases II e III, o aumento na quantidade de chuva (64%) acompanhou o aumento do número de dias de chuva (57%). Isto, provavelmente, pode ser explicado em função das duas fases encontrarem-se no período mais chuvoso da região, onde as chuvas são bem distribuídas ao longo do período e menos espaçadas. Entretanto, é importante observar que o número de dias considerados para definir as fases estudadas decrescem da I ($\cong 120$) para a III ($\cong 65$), enquadrando-se nas condições características da região (Tabela 9). Os resultados apresentados possibilitam concluir que estas informações estão coerentes com as características, já observadas por outros autores, para a região.

Considerando a média dos índices pluviométricos dos 4 anos do projeto (1993-1996), observa-se que a quantidade de chuva no período estudado é coerente com os dados gerados pelas estações meteorológicas próximas da área do projeto (Tabela 3, anteriormente citada).

Tabela 9. Chuva total, chuva diária considerando o número de dias de chuva, e estimativa de chuva diária considerando o total de dias, para cada fase estudada.

	FASE*			Acréscimo percentual	
	I	II	III	I → II	II → III
	mm			%	
Chuva total	500	640	1050	28	64
número dias de chuva	30	23	24		
chuva / dia	17	28	44	65	57
chuva / dia (total de dias)	4	7	16		

*Fases: I (01/06-05/10) II (06/10-26/12) III (27/12/95-29/02/96)

Na figura 14 é possível um melhor entendimento das observações descritas anteriormente.

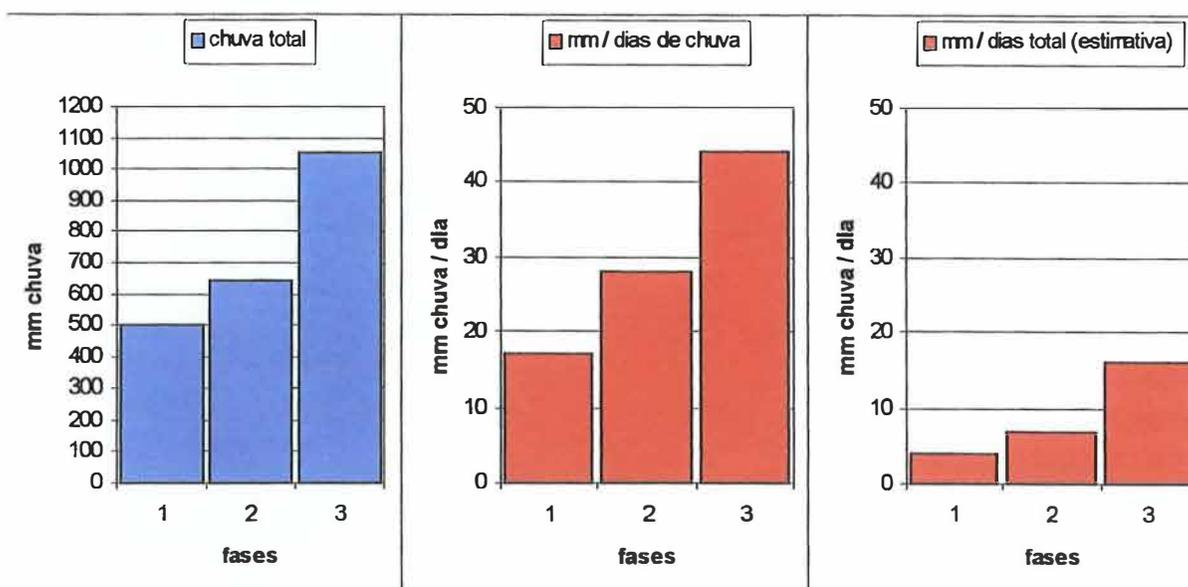


Figura 14 – Chuva total, chuva diária efetiva, e estimativa de chuva diária considerando o total de dias, para cada fase estudada.

4.1.2 Balanço de elementos

Um caminho para avaliar a importância do solo como fonte de nutrientes para um ecossistema é comparar a relação entre a entrada de nutrientes da atmosfera com a lixiviação destes (Likens et al., 1977). Se o sistema não estiver desgastado, uma das formas de reposição de nutrientes para o sistema será a liberação destes do material parental intemperizado, suprimindo a diferença entre a entrada de nutrientes da atmosfera e a saída pela lixiviação (Jordan, 1982).

Neste trabalho, considerando-se o acima exposto, o balanço de elementos mostra que a entrada de nutrientes lavados da atmosfera pela água da chuva não foi suficiente para atender as necessidades das culturas envolvidas no sistema, considerando-se os dados de Malavolta et al. (1997), tendo em vista as perdas por lixiviação e exportação. Assim é que a entrada de nutrientes pela água da chuva é menor que a saída destes através dos processo supra citados, gerando um desequilíbrio (Tabela 10).

Normalmente, para a maioria dos ecossistemas florestais, o nível de perdas por lixiviação é muito baixo. Assim sendo, no caso do potássio (que neste estudo foi muito lixiviado), uma outra explicação possível, concordando com Cole (1995), é que para altos níveis de perdas encontrados, ou o sistema foi derrubado e queimado, ou o nível de entrada de nutrientes, por fixação ou deposição atmosférica, é excessivo. Entretanto, esta questão referente ao potássio será melhor discutida no capítulo 4.2.6.

De maneira geral as perdas foram maiores por lixiviação do que por exportação da biomassa (Tabela 10). Os elementos que apresentaram maiores perdas totais foram: potássio, nitrogênio e enxofre, com 205, 86 e 82 kg ha⁻¹, respectivamente. Observou-se que as maiores perdas de K, N e S-SO₄ foram através do processo de lixiviação, representando 92%, aproximadamente, das perdas totais, para ambos os elementos. É possível que, no processo de absorção de potássio, este se encontre em menor afinidade com o sítio de troca, ou com o carregador, o que acarretaria um aumento de sua concentração na solução do solo, e se ele está em alta concentração no solo, e considerando as condições de baixa CTC, típicas de latossolos, esta poderia ser uma das razões para justificar a sua elevada perda por lixiviação. Outra possibilidade é a grande

perda de K ser explicada pela lixiviação lenta deste elemento, após o distúrbio precedente da floresta. Hölscher et al. (1997) e Sommer (2000) mostraram um desbalanço similar para sistemas tradicionais de agricultura itinerante. Entretanto, as perdas de K e S-SO₄ não são facilmente entendidas e requerem maiores observações.

Tabela 10. Teores de nutrientes (kg ha⁻¹) e pH na água da chuva no período observado (6/95-2/96).

	mm	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Al ³⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Nt	PO ₄ ³⁻
Entrada													
	kg ha ⁻¹												
- Quantidade	2184	4,9	18,9	1,8	4,6	1,3	2,0	0,4	40,5	0	4,0	5,3	0
Total			18,9	1,8	4,6	1,3	2,0	0,4	40,5	0	4,0	5,3	0
Saída													
	kg ha ⁻¹												
- lixiviação			48,9	188	31,7	12,1	0,1	0,7	37,0	39,0	75,6	42,8	0,4
- exportação			-	17,2	3,0	3,9	-	-	-	-	6,4	43,4	5,4
Total				205	34,7	16,0					82,0	86,2	5,8

No que se refere às retiradas de nutrientes por exportação da biomassa, o caupi foi o principal responsável com 58% (46 kg ha⁻¹) do total das retiradas por exportação, exceto para o P, que foi mais exportado pela cultura do milho (Tabela 11).

Para o N, as perdas ocorreram de forma bem dividida, com aproximadamente 50% para as perdas por lixiviação e 50% para a remoção dos nutrientes pela exportação da biomassa. O caupi e o milho foram as principais culturas responsáveis pelas retiradas de N por exportação, com 54% e 40%, respectivamente. A cultura da mandioca representou somente 6% do total das retiradas por exportação da biomassa. Estes resultados podem ser explicados pelas exigências nutricionais dessas culturas em relação ao N, confirmando os dados encontrados na literatura (Malavolta et al., 1997).

Para K, o caupi foi responsável pela maior retirada deste elemento por exportação da biomassa (64%), seguido do milho (23%) e da mandioca (13%).

Tabela 11. Retirada de nutrientes por exportação da biomassa de milho, caupi e mandioca, para o ano de 1995.

Retiradas por exportação	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	N-total	PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	Total
				kg ha ⁻¹			
- grãos de milho	3,90	0,26	1,04	17,40	3,12	1,30	27,02
- vagem de caupi	11,00	2,00	2,5	23,50	2,00	5,00	46,00
- raiz de mandioca	2,3	0,76	0,38	2,50	0,25	0,09	6,28
Total	17,20	3,02	3,92	43,4	5,37	6,39	79,30
				%			
- grãos de milho	23	9	26	40	58	20	34
- vagem de caupi	64	66	64	54	37	78	58
- raiz de mandioca	13	25	10	6	5	2	8

Para Ca e Mg as retiradas ocorreram principalmente via processo de lixiviação, com 91% e 76 %, respectivamente. É importante ressaltar que as retiradas por exportação para estes elementos foram baixas em relação aos demais elementos observados, em função dos níveis de exigências das culturas do caupi, milho e mandioca. O caupi foi a principal cultura responsável pelas retiradas por exportação para estes elementos.

O P foi o único elemento onde as retiradas por exportação da biomassa (93%) foram maiores do que as requeridas pelo processo de lixiviação (7%), sendo o milho o principal responsável por essas retiradas (58%), concordando com os resultados de Sommer (2000). Neste caso particular, sabe-se que, embora os níveis exigidos pelas culturas do caupi, milho e mandioca não sejam elevados comparados aos outros elementos, o P não é um elemento que se perde facilmente por lixiviação, provavelmente porque este elemento é fortemente absorvido, formando complexos com Al, Fe e Ca (Malavolta et al., 1997). Entretanto, mais adiante, no capítulo sobre especiação iônica ter-se-á a oportunidade de uma melhor discussão sobre este ponto.

Os resultados obtidos neste trabalho para P, N, Mg e S-SO₄ concordam com os de Sommer (2000). No caso de K e Ca, os resultados deste estudo indicaram o caupi

como a principal cultura responsável pelas retiradas por exportação, enquanto que nos estudos de Sommer a mandioca foi a principal responsável.

4.2 Elementos na solução do solo

4.2.1 Variabilidade no tempo

Na análise da variabilidade no tempo utilizou-se um programa para a análise de séries temporais (S-Plus), determinando-se a autocorrelação entre os dados para cada variável, nos dois ecossistemas. De maneira geral, a autocorrelação foi sempre maior no SAF do que na floresta (Tabela 12), provavelmente influenciada pelas atividades antrópicas. Entretanto, não se pode explicar detalhadamente esta autocorrelação, devido à especificidade do material analisado. Os dados coletados no campo impossibilitaram uma melhor previsão de eventos, considerando a sazonalidade, com um período mais e menos chuvoso.

Os índices incluídos na tabela 12 referem-se ao número de observações necessários para a previsão do próximo valor, sendo portanto possível estimar-se o valor para cada variável determinada, através de modelos matemáticos. Tomando-se como exemplo Ca e N-NO₃, pode-se constatar a viabilidade de uso do referido programa nas análises de séries temporais em estudos dessa natureza. Assim sendo, temos que os dados de Ca e de N-NO₃ (Anexo F) ajustados pelo Modelo AR(2), verificados pelo critério de Akaike, indicaram uma defasagem de ordem 4, o que significa dizer que a observação para estes elementos num tempo qualquer depende de 4 observações anteriores, ou seja, que o valor decorrente de um momento pontual depende dos valores (quantidades) de 4 outros momentos anteriores. Fazendo-se um ajuste do modelo autorregressivo de passo 4 observa-se que não se tem mais correlação a partir do quarto passo, tanto para Ca (Figura 15) quanto para N-NO₃ (Figura 16).

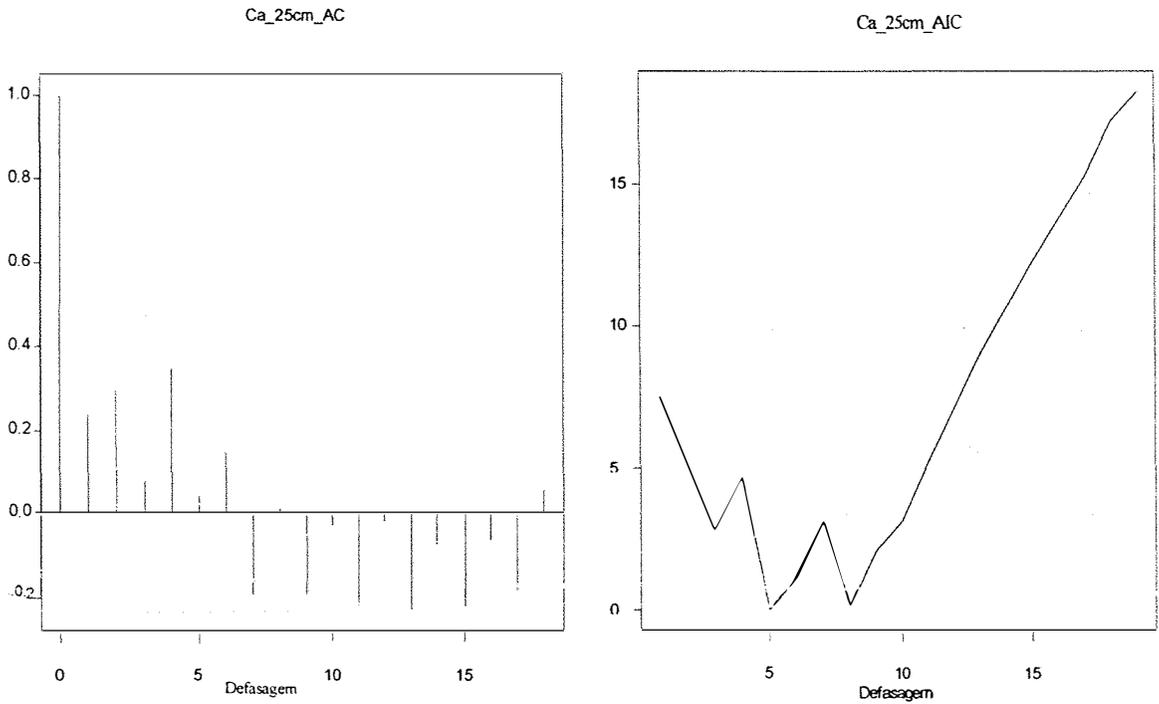


Figura 15 – Autocorrelação (AC) e o critério de Akaike (AIC) para o modelo autoregressivo de passo 4 para Ca, na profundidade de 25cm, no SAF.

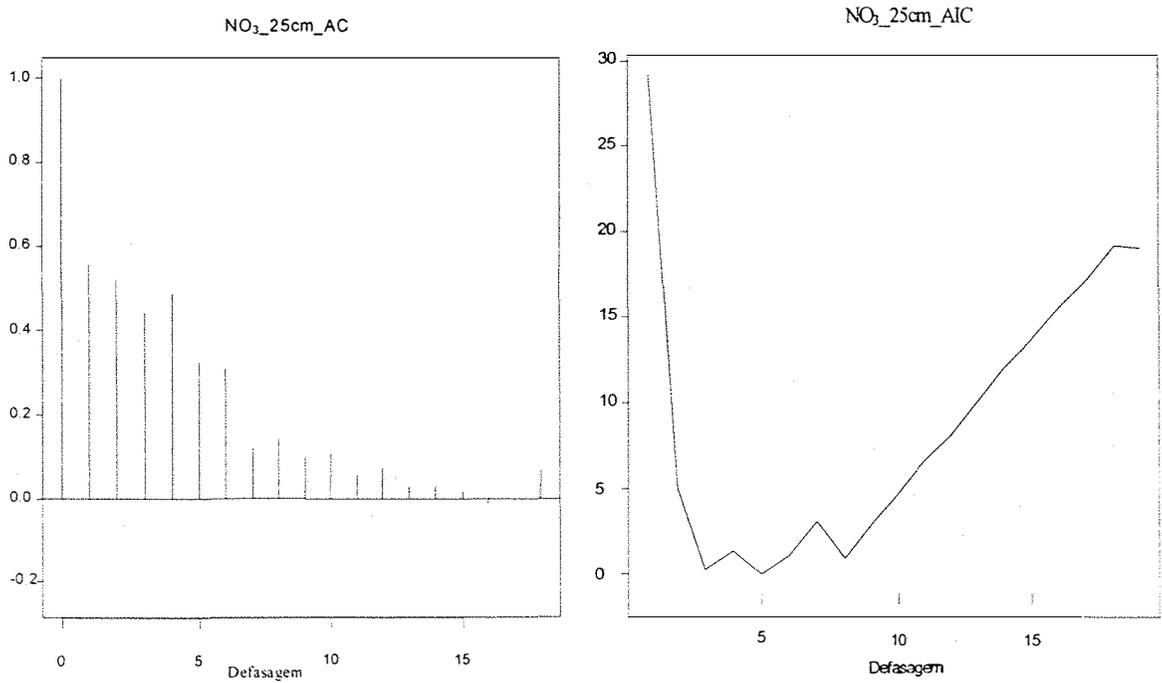


Figura 16 – Autocorrelação (AC) e o critério de Akaike (AIC) para o modelo autoregressivo de passo 4 para NO₃, na profundidade de 25cm, no SAF.

Analisando os resíduos dos modelos ajustados verifica-se que após o ajuste destes não existe qualquer tendência de subida ou queda dos valores determinados, o que ocorre é uma constância ao redor do ponto zero indicando o bom ajuste do modelo. Com o modelo matemático definido é possível prever um quarto valor amostrado. Para o Ca, na profundidade de 25 cm, a equação do modelo ajustado é:

$$Y_t = 0,2012053Y_{t-1} + 0,1826711Y_{t-2} + 0,0999704Y_{t-3} + 0,3017213Y_{t-4} + e_t$$

Para N-NO₃, na profundidade de 25 cm, a equação do modelo matemático ajustado é:

$$Y_t = 0,32965583Y_{t-1} + 0,20455718Y_{t-2} + 0,03549381Y_{t-3} + 0,21679626Y_{t-4} + e_t$$

Entretanto, é importante ressaltar que, apesar do bom ajuste do modelo, constatado através da tendência dos valores determinados ao redor do ponto zero, ainda assim este pode produzir erros, devido ao elevado coeficiente de variação dos resultados (CV variando de 30 a 400). Portanto, deve-se ter cautela na previsão de novos valores.

Observa-se na tabela 12 que o manejo de um sistema agroflorestal promove uma dinâmica tão intensa na solução do solo que praticamente todos os elementos estudados estão correlacionados com significativos números de observações anteriores. Existe certo grau de dependência entre eles, ou seja, eles não estão dissociados uns dos outros. Muitos fatores devem interferir nas concentrações destes elementos dentro deste ecossistema, entretanto o gradiente de flutuação referente à concentração é significativo. Na área de floresta, quando se observam os resultados analisados para os mesmos elementos, percebe-se que estes não estão relacionados no tempo, exceto, basicamente, para Cl, Mg e S-SO₄, que fogem a esta regra, mostrando certa dependência.

Tabela 12. Valores estimados para defasagem no processo de AR (Akaike), no sistema agroflorestal (SAF) e na floresta (Flo), para as profundidades observadas: 25, 40, 60 e 110 cm.

Variável	25 cm		40 cm		60 cm		110 cm	
	SAF	Flo	SAF	Flo	SAF	Flo	SAF	Flo
pH	4	1	7	2	4	1	-	1
Na ⁺	5	1	6	0	7	1		1
Cl ⁻	7	5	1	0	2	4	-	1
K ⁺	4	0	5	4	8	0	-	0
Ca ²⁺	4	0	4	0	5	0	-	3
Mg ²⁺	5	4	4	0	4	4	-	0
N-NH ₄ ⁺	9	0	3	0	4	0	-	0
N-NO ₃ ⁻	4	0	6	0	5	0	-	0
Nt	2	0	6	0	5	0	-	0
Norg	4	1	5	2	4	2	-	1
S-SO ₄ ⁻	10	8	7	2	9	0	-	1
P-PO ₄ ⁻	1	1	2	1	2	1	-	1
Si ⁺	1	2	1	2	1	0	-	0
Al ³⁺	4	1	4	0	4	0	-	1
Fe ³⁺	4	1	4	0	0	0	-	0
Mn	7	0	6	4	13	0	-	1
Zn	-	1	-	1	-	1	-	1

4.2.2 Ordem de ocorrência dos elementos

No sistema solo-planta todos os nutrientes são importantes, porém a ordem de ocorrência é variável. Neste capítulo tem-se uma visão geral dos elementos analisados e suas participações dentro do sistema estudado.

De maneira geral ocorreu um comportamento similar entre os elementos observados no perfil do solo, tanto na profundidade dos 25 cm quanto na profundidade dos 110 cm. Observa-se, entretanto, que os elementos com as menores concentrações ocorreram de forma similar nas duas profundidades, exceto o Al que apresentou concentrações bem diferenciadas tanto na superfície do solo, quanto na profundidade dos 110 cm, onde diminui sensivelmente (Figura 17).

Observou-se que o N, nas formas de N-NO₃, N-NH₄ e N_{org}, foi o elemento que mais ocorreu na solução do solo dentro do sistema agroflorestal. Se este elemento apresentou-se em maior quantidade na solução do solo na profundidade dos 25 cm, pode-se entender isto através dos processos de ciclagem. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos por Chapin (1991) no seu estudo sobre fontes de disponibilidade de nutrientes para a planta, onde ele conclui que para o nitrogênio a principal fonte é a ciclagem deste no sistema (com 93% do N-total oriundo deste processo) e em menor participação, a atmosfera. Entretanto, é importante ressaltar que o N-NO₃ predomina sobre as formas N-NH₄ e N_{org}, os quais só ocorrem esporadicamente, e de maneira geral, em quantidades muito pequenas. Note-se, ainda, que as chuvas freqüentes na região têm papel importante nos processos de ciclagem, favorecendo a ocorrência de N-NO₃ obtido da nitrificação. Neste estudo, a utilização de clorofórmio nas garrafas de coleta possibilitou o aparecimento de N-NH₄ e N_{org} nas amostras de solução de solo.

Seguindo a ordem de ocorrência de forma decrescente evidencia-se um grupo que é constituído por Ca, Mg, K, Cl e Na. Neste grupo, Ca e Mg são os elementos de maior ocorrência. Estes elementos, similarmente ao N, têm nos processos de ciclagem a principal fonte de disponibilidade de nutrientes para as plantas. Chapin (1991), em seus experimentos, obteve como resultado que 65% do total de Ca e 88% de Mg encontrados na solução do solo são provenientes dos processos de ciclagem, e que outras fontes de

disponibilidade seriam o intemperismo atuando sobre os minerais primários e a atmosfera.

Em relação ao K observou-se que ocorreu uma diferença considerável entre as quantidades deste elemento em profundidade, acontecendo um aumento na solução do solo da profundidade dos 25 para a profundidade dos 110 cm. Possivelmente, esta questão será melhor entendida quando forem feitas as considerações sobre flutuação na profundidade (4.2.6).

Um terceiro grupo é constituído por S-SO₄ e Al, representando o grupo de menor ocorrência neste sistema para a profundidade de 25 cm. O Al ocorreu de forma significativa somente na profundidade dos 25 cm. Entretanto, praticamente desaparece da solução com a profundidade (110 cm), influenciado pelo pH. Isto pode ser explicado por existir uma estreita relação entre eles. Se o pH baixa, dissolve mais Al. Assim, no que se refere ao fato do Al estar em maior concentração na profundidade dos 25 cm, existem 2 fatores que podem estar influenciando: de um lado, o pH sendo mais baixo na profundidade dos 25 cm, dissolve mais Al amorfo; de outro lado, ocorrem complexos orgânicos que podem manter o Al na solução do solo. Estas considerações fazem parte do item 4.2.3.

Os demais elementos, Fe, Mn, P-PO₄ aparecem em quantidades muito baixas, neste estudo. No caso do P-PO₄, os resultados deste trabalho mostram que este elemento está sendo liberado para a solução do solo, sendo imediatamente absorvido pelas plantas ou mesmo retido pela fase sólida. A absorção deste ânion pelas raízes ou formando complexos (ver 4.2.3) pela parte sólida do solo impossibilitaram o estudo deste elemento na solução do solo.

Neste estudo, a seqüência da ordem de ocorrência dos elementos na solução do solo não foi a mesma que em outros estudos realizados na região do nordeste paraense. O K teve um papel muito maior neste, e no estudo de Klinge (1998), do que no de Kato (1998), de Sommer (2000) e de Hölscher et de al.(1996). O entendimento é que isto reflete a quantidade da biomassa queimada: floresta no primeiro caso, pouso da vegetação arbustiva no último caso, e o movimento relativamente lento de K no perfil. Isto está mais explicado em 4.2.3.

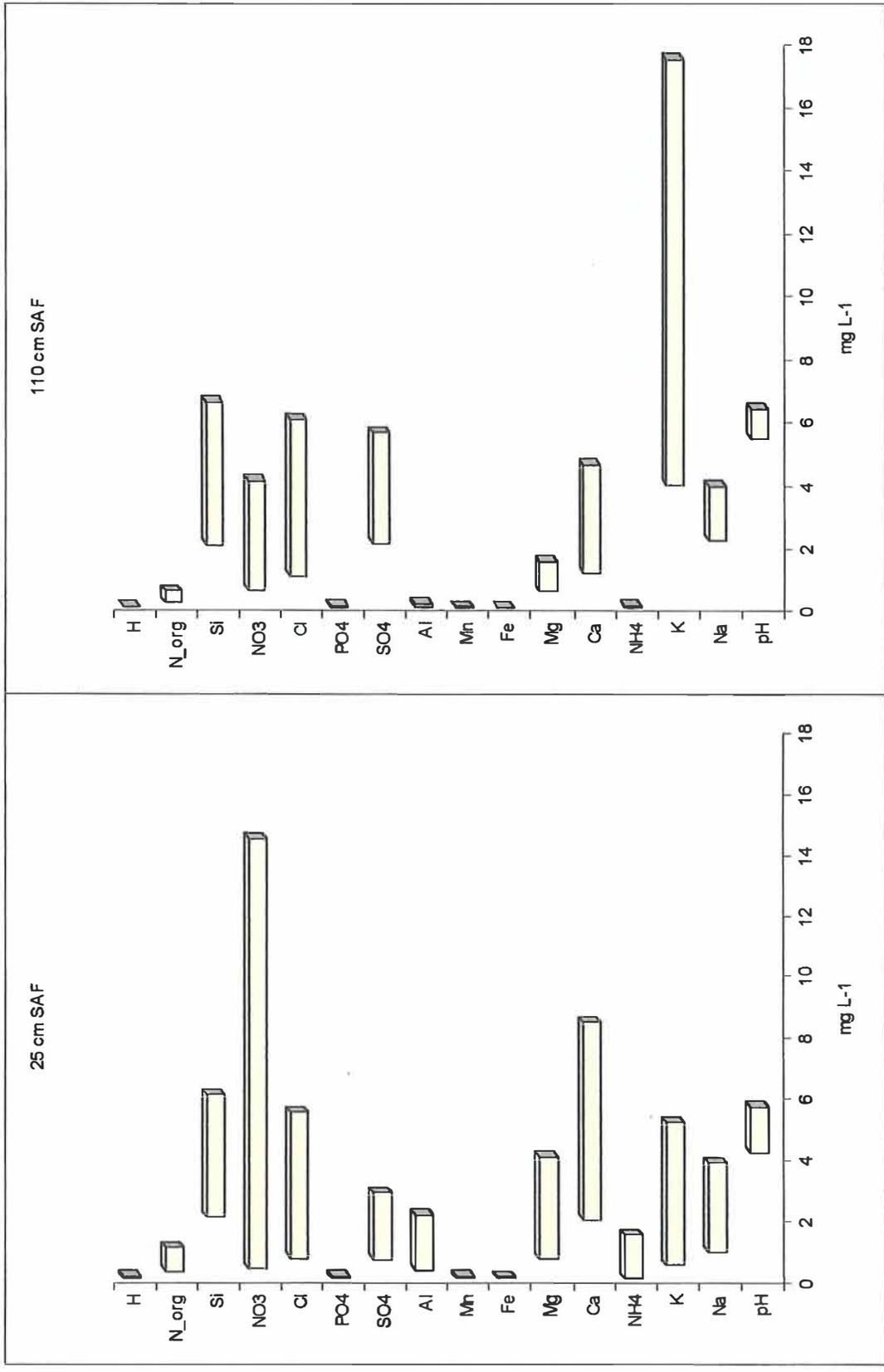


Figura 17 – Determinações químicas na solução do solo, nas profundidades dos 25 e 110 cm.

4.2.3 Especificação iônica

A especificação iônica pode contribuir para a compreensão da química da solução do solo. Neste estudo, a utilização desta ferramenta de análise foi básica e menos variável quando considerou-se os dados entre soluções e datas individuais de amostragem. Para o grupo de elementos analisados, os resultados mostraram uma associação entre os íons formando poucos complexos. A fim de demonstrar esta informação, foram selecionados 3 casos de soluções individuais (Tabela 13) dentre os 200 casos que foram analisados pelo programa Wako (Prenzel, 1990).

Tabela 13. Características das amostras selecionadas da solução do solo.

Caso (número)	Profundidade (cm)	Data	PCO ₂ (suposto)	pH	Força iônica	Balanco de cargas μmol L ⁻¹
1	25	03/07/95	0,33	3,9	1760	31
2	25	02/01/96	0,33	5,2	258	173
3	100	02/01/96	0,33	5,2	811	37

A amostra 1, para a profundidade de 25 cm, apresentou um baixo pH e uma alta força iônica, o que é indicativo de uma solução relativamente rica em sais. O déficit de ânions inorgânicos (31 μmol L⁻¹) encontrado na solução do solo provavelmente foi compensado pelos ânions orgânicos, o que normalmente ocorre no solo. Além do que, a maioria dos cátions são neutralizados pelos ânions inorgânicos.

A quantidade elevada de ácidos orgânicos foi encontrada na superfície do solo e está decrescendo no perfil. A quantidade de ácido orgânico encontrada nesta solução pode ser explicada pelo elevado fluxo de N-NO₃⁻ liberado da decomposição de milho e da vegetação de regeneração da área, após capina (1020 μmol L⁻¹) (Tabela 14).

A maioria dos elementos ocorrem na solução na forma de íons livres (> 99%). Os complexos são dominantes nos casos do Fe³⁺ e do P-PO₄³⁻ (> 99%). Aproximadamente 10% do Al forma complexos, principalmente com OH⁻, e aproximadamente 13% de S-SO₄²⁻ forma complexos, principalmente com Al (Tabela 14).

No segundo caso, a solução examinada também em uma profundidade de 25 cm, é deficiente em sais com uma força iônica de somente $258 \mu\text{mol L}^{-1}$, e em um pH muito mais elevado (5,2). O N-NO_3^- tem uma concentração muito baixa, mas a quantidade de ácidos orgânicos muito mais alta (carga positiva em excesso de $173 \mu\text{mol L}^{-1}$). Outra vez, Fe^{3+} e P-PO_4^{3-} ocorrem somente nos complexos, mas em contraste com o caso 1, a quantidade de complexos aumentou drasticamente para 94% no caso do Al, e diminuiu simultaneamente para menos que 2% no caso do S-SO_4^{2-} . Isto pode ser explicado pelo pH mais elevado (Tabela 15).

Comparando a solução do solo do caso 2 com a do caso 3 na profundidade de 110cm, a primeira é muito mais rica em sais (força iônica de $811 \mu\text{mol}$), o que é explicado pela carga elevada de K^+ ($404 \mu\text{mol L}^{-1}$); a origem disto será considerada em 4.2.6. Novamente, Fe^{3+} e P-PO_4^{3-} ocorrem somente como complexos. As porcentagens de complexos de Al (93,5%) e de S-SO_4^{2-} (< 1%) são comparáveis ao caso 2, que não é nenhuma surpresa, porque o pH é igual em ambas as soluções. Para os outros elementos, os complexos podem outra vez ser ignorados (Tabela 16).

Pode-se concluir que os principais cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e ácidos inorgânicos (N-NO_3^- , Cl^-) movem-se completamente dissociados, como íons livres na solução. O comportamento de S-SO_4^{2-} e de Al^{3+} depende do pH. Com pH crescente, 3,9 a 5,2, há um drástico aumento de complexos entre o Al e OH^- , embora estes possam carregar uma carga positiva imóvel (Al(OH)^{2+}). No caso do S-SO_4^{2-} , a porcentagem de complexos diminui de 13 para 6. A redução vai principalmente para o total de Al. Como consequência, uma parte menor de S-SO_4^{2-} em pH mais baixo ocorre na forma de Al(OH)SO_4 , que tem sua estabilidade máxima no pH 4.

Assim sendo, aproximadamente 90% dos íons de S-SO_4^{2-} estão livres, sem formação de complexos, e 10% estão associados, basicamente, a Al. Então, o Al que não está livre, além da associação com S-SO_4^{2-} , está ligado a OH^- , indicando um alto grau de solubilidade neste solo.

Tabela 14. Especificação iônica para a amostra 1 da solução de solo na profundidade de 25cm, dentro da área do sistema agroflorestal.

	atividade		íons livres		complexos	
	mg L ⁻¹	pa	μmol L ⁻¹	%		
Na ⁺	1,91	4,101	83,069	99,99	0,01 SO ₄	
K ⁺	2,51	4,213	64,188	99,99	0,01 SO ₄	
N-NH ₄ ⁺	1.00E-02	6,167	0,71394	100,00		
Ca ²⁺	6,76	3,856	168,14	99,69	0,31 SO ₄	
Mg ²⁺	2,04	4,159	83,715	99,74	0,26 SO ₄	
Fe ³⁺	1.00E-02	9,039	1.39E-03	0,78	0,14 SO ₄	0,06 PO ₄ 0,01 NO ₃ 0,06 H 99 OH
Mn ²⁺	8.00E-02	5,919	1,4519	99,70	0,28 SO ₄	0,02 Cl
Al ³⁺	3,42	4,125	114,22	90,11	1,81 SO ₄	8,08 OH
S-SO ₄ ²⁻	0,8225	4,732	22,369	87,19	0,03 Na	0,03 K 2,05 Ca 0,85 Mg 0,02 Mn ²⁺ 8,9 Al 0,91 H
P_PO ₄ ³⁻	1.00E-04	20,286	7.89E-15	0,00	0,33 Ca	3,55 Fe ³⁺ 100 H
Cl ⁻	1,906	4,291	53,619	99,99	0,01 Na	
N-NO ₃ ⁻	14,29	3,012	1020	100,00		
H ⁺		3,9	131,93			
OH ⁻		10,1	8.32E-05			
CO ₃ ²⁻		13,831	1.78E-08			

Tabela 15. Especificação iônica para a amostra 2 da solução de solo na profundidade de 25 cm, dentro da área do sistema agroflorestal.

	atividades			íons livres		Complexos	
	mg L ⁻¹	iônica		μmol L ⁻¹	%		
		pa					
Na ⁺	1,19	4,294	51,755	99,99	0,01 SO ₄		
K ⁺	1,06	4,575	27,107	99,98	0,02 SO ₄		
N-NH ₄ ⁺	1.00E-02	6,154	0,71394	100			
Ca ²⁺	1,37	4,5	34,035	99,57	0,43 SO ₄		
Mg ²⁺	0,8	4,516	32,798	99,64	0,36 SO ₄		
Fe ³⁺	7.00E-02	10,622	2.82E-05	0	99,99 OH		
Mn ²⁺	1.00E-02	6,774	0,18131	99,61	0,38 SO ₄	0,01 Cl	
Al ³⁺	0,68	5,897	1,4974	5,94	0,18 SO ₄	93,88 OH	
S-SO ₄ ²⁻	0,7945	4,644	24,448	98,65	0,02 Na	0,02 K	0,59 Ca 0,47 Mg 0,19 Al 0,06 H
P-PO ₄ ³⁻	1.00E-04	17,663	2.57E-12	0	0,09 Ca	0,02 Mg	1,88 Fe ³ 100 H
Cl ⁻	0,842	4,634	23,688	99,99			
N-NO ₃ ⁻	1.00E-04	8,154	7.14E-03	100			
H ⁺		5,2	6,4276				
OH ⁻		8,8	1.61E-03				
CO ₃ ²⁻		11,231	6.32E-06				

Tabela 16. Especificação iônica para a amostra 3 da solução de solo na profundidade de 110 cm, dentro da área do sistema agroflorestal.

	atividade		íons livres		Complexos
	iônica				
	mg L ⁻¹	pa	μmol L ⁻¹	%	
Na ⁺	1,87	4,104	81,262	99,9	0,09 SO ₄
K ⁺	15,8	3,408	403,57	99,87	0,13 SO ₄
N-NH ₄ ⁺	1.00E-02	6,16	0,71394	100	
Ca ²⁺	0,82	4,76	19,792	96,74	3,26 SO ₄
Mg ²⁺	0,49	4,764	19,61	97,27	2,73 SO ₄
Fe ³⁺	1.00E-02	11,473	4.50E-06	0	0,01 SO ₄ 99,99 OH
Mn ²⁺	1.00E-02	6,809	0,1767	97,07	2,91 SO ₄ 0,01 Cl
Al ³⁺	9.00E-02	6,79	0,21695	6,5	1,49 SO ₄ 92,01 OH
S-SO ₄ ²⁻	6,936	3,725	214,35	99,07	0,04 Na 0,25 K 0,31 Ca 0,25 Mg 0,02 Al 0,05 H
P_PO ₄ ³⁻	1.00E-04	17,662	2.92E-12	0	0,05 Ca 0,01 Mg 0,27 Fe ³ 100 H
Cl ⁻	1,066	4,537	29,987	99,98	0,01 Na 0,01 K
N-NO ₃ ⁻	1,082	4,126	77,249	100	
H ⁺		5,2	6,5169		
OH ⁻		8,8	1.64E-03		
CO ₃ ²⁻		11,231	6.68E-06		

4.2.4 Comparação sistema agroflorestal e floresta

Comparando-se os dois ecossistemas, floresta (controle) e sistema agroflorestal, os resultados encontrados mostraram que a concentração dos elementos estudados foi sempre mais elevada na solução do solo no sistema agroflorestal do que na solução do solo da floresta, embora apresentando flutuações tanto em um sistema quanto em outro. Esta diferença de comportamento entre os dois ecossistemas sugere uma dinâmica ocorrendo de forma muito mais intensa no sistema agroflorestal (SAF), com grandes flutuações, as quais refletem as mudanças no ecossistema, enquanto que no outro (floresta) indica uma melhor continuidade do processo (Anexo G).

Observou-se a formação de dois grupos distintos de acordo com algumas variações que lhes são próprios. O primeiro grupo é constituído pelos cátions Ca, Mg, K e pelos ânions N-NO₃ e S-SO₄. O segundo grupo composto por Na, Cl e Al. Na Figura 18, o primeiro grupo é representado pelo Ca e o segundo pelo Na.

A Figura 18 mostra o Ca como um elemento típico representante do primeiro grupo, o qual tem como principal característica a maior concentração dos elementos na solução do solo dentro do sistema agroflorestal. Na floresta, a concentração remanescente de nutrientes é muito baixa, exceto para um pico que aparece em novembro, o que se pode observar para todas as profundidades. Na chuva não acontece uma alta concentração neste período, então o que se pode deduzir é que esse pico deve ser resultado de uma deposição seca na cobertura da floresta. Esta deposição deve resultar de queimadas típicas que ocorrem neste período na região do nordeste paraense.

No segundo grupo, representado na Figura 18 pelo Na, a principal característica é que não se evidenciam diferenças na dinâmica dos elementos na solução do solo entre os dois sistemas, sendo esta ligeiramente mais acentuada no sistema agroflorestal. Esta pequena variação é decorrente da dinâmica que o próprio sistema de manejo possibilita.

As oscilações que ocorreram entre os dois sistemas não são idênticas, embora se assemelhem. Durante o período compreendido entre o final de julho e outubro faltaram dados sobre a solução do solo para a floresta, impossibilitando o controle das oscilações.

O Na apresentou valores mais altos no final de outubro. Esta fase de maior concentração de Na não tem nenhuma influência da chuva, podendo resultar da deposição seca (resíduos de queima, de adubação, sais derivados da proximidade com o mar, etc, trazidos pelo vento), como no caso do Ca. Observando a figura 18 nota-se que o Na está sempre presente na solução do solo antes do Ca, o que pode significar que o Na está sendo liberado para a solução do solo, na profundidade de 25 cm, antes do Ca.

Os efeitos deste período se refletem muito menos no segundo grupo que no primeiro, mostrando que Na, Cl e Al são pouco sensíveis ao manejo da vegetação. Entretanto as concentrações de Ca, Mg, K, N-NH₄, N-NO₃ e S-SO₄ são diretamente afetadas pelas atividades desenvolvidas dentro do sistema agroflorestal.

É possível que as concentrações de Na, Cl e Al sejam mais estáveis dentro destes sistemas considerando-se apenas a vegetação, onde estes elementos são ciclados. Entretanto, são elementos influenciados diretamente pela sazonalidade, cujos efeitos se refletem promovendo uma inversão na dinâmica destes elementos entre os dois sistemas, ou seja, normalmente o que ocorre é uma maior concentração na solução do solo do sistema agroflorestal, enquanto neste caso a maior concentração está ocorrendo na floresta. Uma explicação para este fato é que nas épocas em que aumenta a disponibilidade de água e da temperatura do solo, a produção de raízes é acelerada, suportando incrementos das taxas de crescimento da parte aérea. De forma diferente, o crescimento radicular das espécies de ciclo curto, como as anuais, segue o ritmo do desenvolvimento fisiológico da planta, passando por fases de crescimento vegetativo bem definidas até a colheita., quando perecem. Assim, a produção e a renovação de raízes finas são de grande importância no processo de ciclagem de nutrientes, assim como no incremento de matéria orgânica no solo (Gonçalves & Mello, 2000).

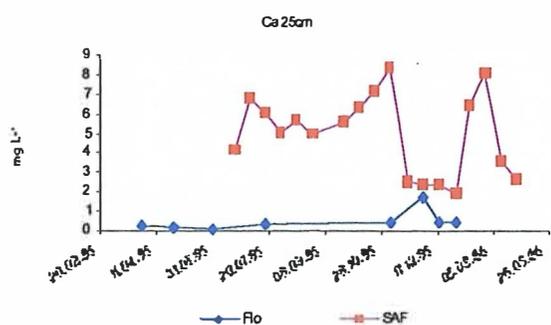
Quando a concentração dos elementos oscila de forma mais ou menos pronunciada no sistema agroflorestal, o comportamento é diferente na solução do solo, sob a floresta. O N-NO₃, o Ca, o Mg e o K tiveram concentrações baixas durante todo o período de medição na solução do solo na área de floresta. A exceção foi para o Ca, que apresentou uma concentração mais elevada no período de dezembro/95. De maneira geral, o comportamento similar entre N-NO₃, o Ca, o Mg e o K mostra que a liberação

destes elementos para a solução, disponibilizando-os, e a absorção pelas plantas estão em equilíbrio. Somente Na e Cl mostraram um comportamento diferente. Ocorreram algumas diferenças de concentração destes elementos que não podem ser relacionados às mudanças na entrada com a chuva (dissolvidos). Sugere-se, conseqüentemente, que tais diferenças possam resultar da deposição seca, oriunda das queimadas comuns na região neste período, e dos sais depositados derivados do mar próximo.

Uma conclusão é que a floresta sofre mais influência na concentração de Na e Cl pela ação da chuva, pelo impacto da deposição seca - queima e água do mar (Martins, 1997), do que a vegetação que participa do sistema agroflorestal. Pode-se confirmar a grande participação da chuva na entrada destes elementos observando os dados já citados anteriormente na Tabela 10.

De maneira geral, diante do exposto, pode-se concluir que as concentrações de Na, Cl e Al na solução do solo da floresta oscilam mais do que as concentrações de Ca, Mg, K, N-NO₃ e S-SO₄, e que estas não são paralelas entre os dois sistemas.

Primeiro grupo:



Segundo grupo:

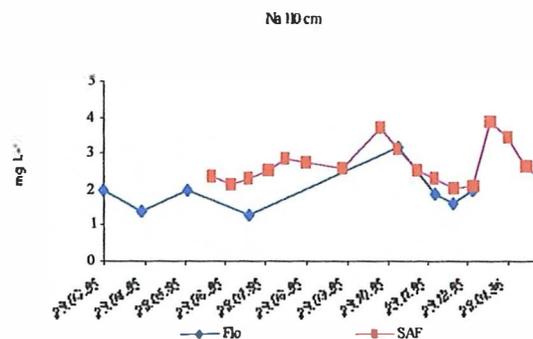
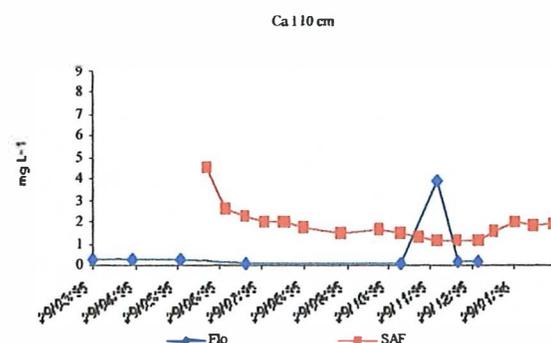
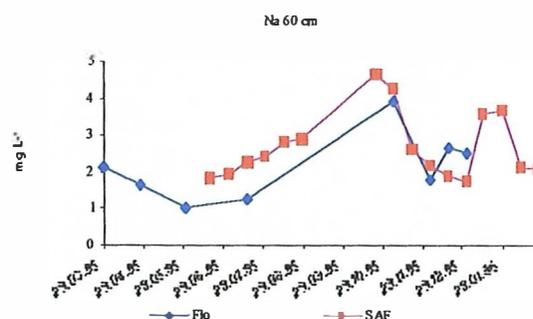
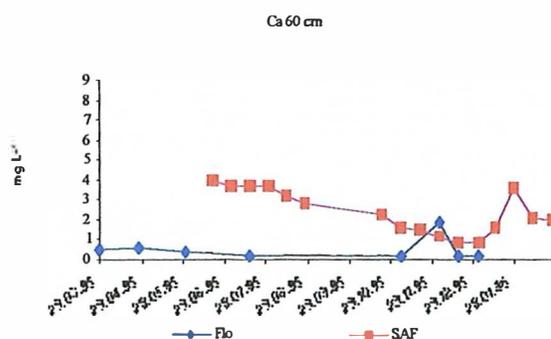
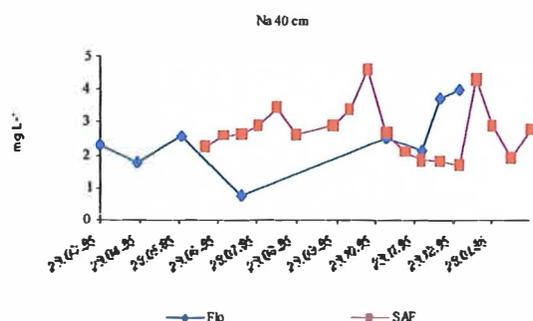
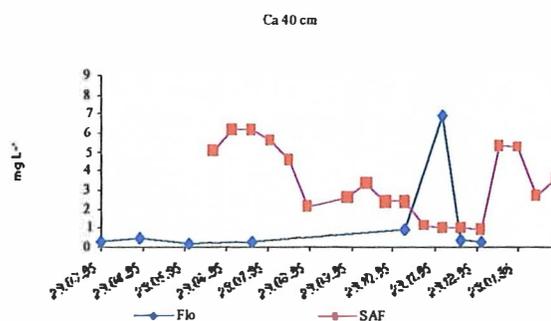
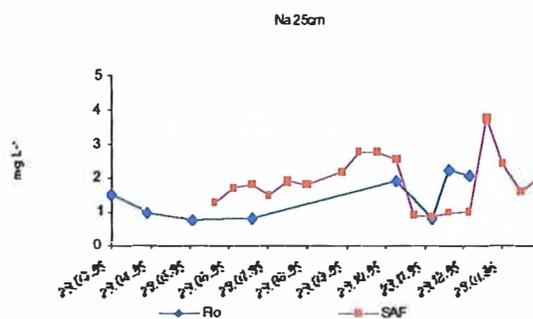


Figura 18 – Comportamento de Ca e Na nos dois sistemas estudados (floresta e agrofloresta), em diferentes profundidades (25, 40, 60 110 cm).

4.2.5 Flutuação das concentrações dos elementos com o tempo

O fato de Na e Cl apresentarem oscilações de concentração em função do tempo implica, provavelmente, que estes elementos estão sendo absorvidos e liberados pela mudança da biomassa. Somente em um determinado momento, quando as ervas daninhas foram cortadas (primeiro ponto de maior concentração para os outros elementos), nenhuma resposta de Na foi observada. Infelizmente, estes elementos, especialmente Cl, não são normalmente analisados na biomassa, porém pode-se supor que as plantas diferem na absorção destes elementos. As observações feitas por Hölscher et al. (1996) mostraram as oscilações de Cl e Na no tempo, sugerindo que estes elementos participam do processo de ciclagem.

Neste capítulo foram analisadas as oscilações das concentrações de nutrientes na solução do solo em função do tempo. Assim, para fundamentar esta discussão foram considerados: o comportamento de ácidos e bases, suas correlações, e os efeitos do manejo da área (plantio, capina, composto, colheita), na solução do solo para a profundidade de 25cm. Sabe-se que é aproximadamente nos primeiros 30cm de solo que as raízes finas se encontram num processo dinâmico de crescimento e decomposição, o que implica em liberação e absorção de nutrientes.

Entretanto, estes dados foram gerados em uma área de conversão de floresta para sistema agroflorestal. Para fundamentar os resultados deste trabalho foram utilizados os dados de Klinge (1998), que mostram o comportamento do ecossistema original, comum às duas áreas em estudo, neste processo de conversão.

Na Figura 19, Ca, K, Cl e S-SO₄ foram selecionados para demonstrar as mudanças nas concentrações dos elementos durante o processo de conversão. Neste caso, a floresta foi cortada em setembro/1992 e os resíduos orgânicos queimados em novembro do mesmo ano. O Ca, apresentando dinâmica na solução do solo semelhante à do N-NO₃, sofreu os efeitos imediatos da derrubada da floresta e mais ainda com a queima. O Cl, com dinâmica semelhante ao Na, também sofreu os efeitos da derrubada da floresta de forma mais rápida que Ca e N-NO₃. A derrubada e a queima da floresta promovem o aumento da concentração de elementos na solução do solo, resultante da lixiviação do material orgânico em decomposição e da dissolução das cinzas.

O K também sofreu influência da derrubada e da queima da floresta, sendo liberado para a solução do solo muito rapidamente. Porém, isto só aconteceu na profundidade dos 25cm, chegando tardiamente aos principais picos de concentração deste nutriente (Klinge, 1998). O fato é que K pode mostrar uma alta seletividade na troca catiônica em solos caulíníticos (Anurugsa, 1998, Levy et al., 1988, Udo 1978). O S-SO₄ aparece também tardiamente na solução do solo, o que mostra que sua liberação após a derrubada e a queima da floresta ocorreu de forma mais lenta que Ca, K e Cl.

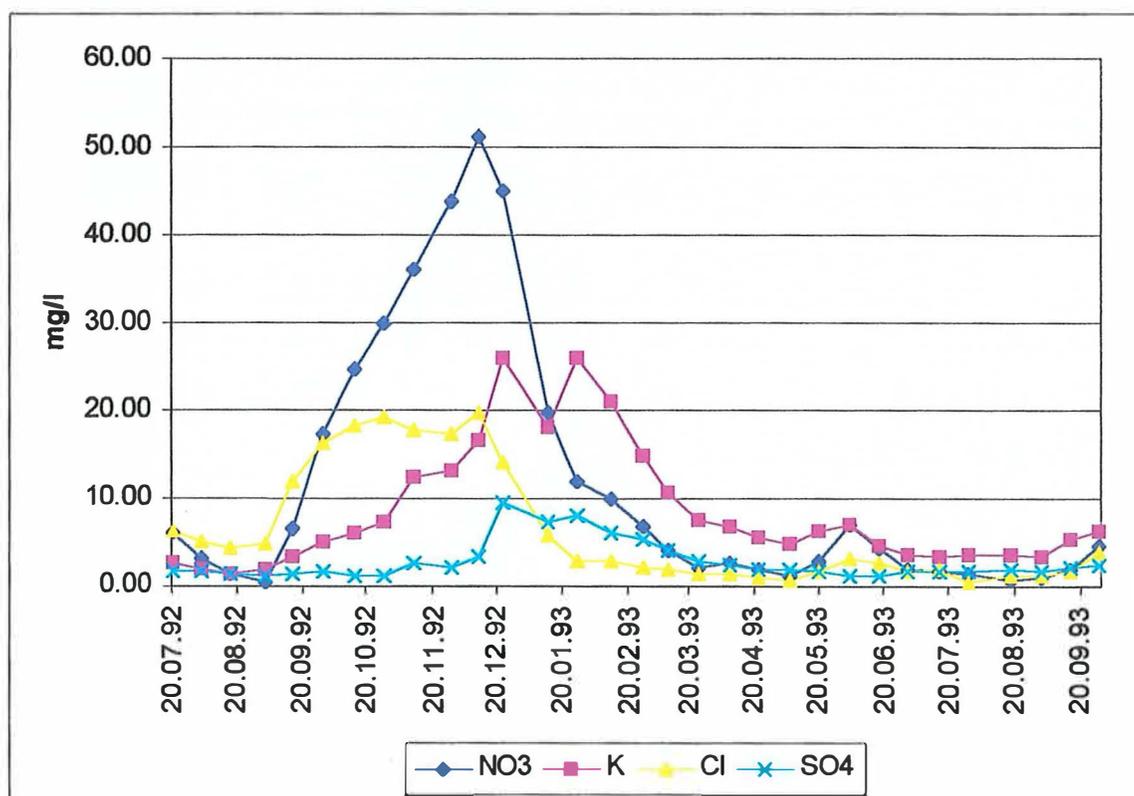


Figura 19 – Flutuação de K, Ca, Cl e SO₄, no período de conversão da floresta (Klinge, 1998).

A variação nas concentrações dos elementos em função do tempo tem causas diversas: externas e internas ao ecossistema. Neste trabalho, as causas externas já foram explicadas em 4.1.1, e não têm nenhuma importância porque não estão afetando o sistema. As internas, como a absorção e liberação de nutrientes, estão diretamente

relacionadas à entrada e saída destes no ecossistema, produzindo uma flutuação, provavelmente coincidente com os períodos de manejo dentro da área em estudo.

Neste trabalho, de maneira geral, a dinâmica de todos os elementos foi similar, o que pode significar que estes sofreram as influências do manejo desenvolvido dentro do sistema estudado, de maneira semelhante. Na Figura 20 pode-se observar que as concentrações de Ca, K e Na estão oscilando com o tempo de maneira paralela, apenas a concentração de K está diminuindo. Uma possibilidade seria a influência da queima realizada no preparo da área, gerando o acúmulo deste elemento no perfil do solo, o qual está gradualmente diminuindo. As análises de correlação entre estes elementos mostram que existe alta correlação entre Ca e Na (0,6), uma correlação baixa entre Ca e K (0,37) e praticamente nenhuma correlação entre K e Na (0,05).

Com respeito aos ânions (Figura 20), observa-se que N-NO₃ e Cl têm comportamentos similares, apresentando acentuada flutuação, o que provavelmente está associado aos eventos de manejo, podendo significar que estes dois elementos estão presentes e liberados de forma semelhante na biomassa. Entretanto, o S-SO₄ apresenta uma pequena flutuação, com comportamento inverso à N-NO₃ e Cl. As análises de correlação confirmam este movimento, mostrando que existe alta correlação entre N-NO₃ e Cl, porém entre N-NO₃ e S-SO₄, e entre Cl e S-SO₄, praticamente não existe. As correlações com o pH também são relativamente distintas para N-NO₃ (0,7) e Cl (0,5), porém inexistem para S-SO₄ (Tabela 18).

Na Figura 20, pode-se notar que os movimentos de Ca e N-NO₃ estão muito semelhantes. Na Tabela 18 observa-se a alta correlação entre eles (0,8), confirmando este comportamento. K, Na e Cl seguem a mesma flutuação, sendo que apenas a correlação entre os movimentos de Na e Cl está significativa (0,6). Entre K e Cl praticamente não existe. S-SO₄ apresenta baixa correlação com K (0,4), porém forma complexo com este elemento.

Observa-se que o primeiro pico de concentração (30/06/95) ocorre após as atividades de capina (adição de nutrientes para a solução do solo pela decomposição do material). Entretanto, nota-se que Cl não se movimenta como os outros elementos, porém Na está participando de maneira similar àqueles.

Um pequeno aumento na concentração dos elementos, na solução do solo, ocorre por volta de 14/08/95. Neste momento, todos os elementos estão participando de forma similar, inclusive Na e Cl.

O segundo pico na concentração dos elementos (set – nov/95), relacionado com colheita de caupi e capina para o preparo da área para o plantio de feijão-de-porco, não acontece ao mesmo tempo para Na, K e Ca, como ocorreu anteriormente. O K está se movimentando para a solução do solo logo após o corte da vegetação, seguido de Na e Ca. Nesta fase, o ponto de elevação da concentração de K cai bem antes que ocorra o pico de concentração de Ca, o que pode significar que ele está sendo liberado para a solução do solo mais rapidamente que Ca. Entretanto, K permanece por mais tempo na solução do solo que Ca. Existem duas possibilidades para explicar este fato. Uma poderia ser que: o Ca está sendo absorvido quase que imediatamente após sua liberação para a solução do solo, enquanto K vai sendo absorvido de forma mais gradativa. Uma segunda possibilidade seria o fato de que K poderia estar sendo lixiviado de forma mais rápida durante o processo de decomposição e liberação do que Ca, por isso continua caindo. O Na está se movimentando como Cl e N-NO₃, porém mais cedo que Ca, após o K.

Após o segundo pico de concentração dos elementos, ocorre uma diminuição para todos na solução do solo (20/11/95 à 02/01/96). Este fato está associado ao desenvolvimento do feijão-de-porco e à fase de intensificação da tuberização da mandioca, iniciada aproximadamente 6 meses após o plantio (Sangoi & Kruse, 1993).

Em seguida a este período ocorre um aumento "brusco" na concentração de todos os elementos na solução do solo. Provavelmente, este fato está associado à colheita de mandioca, ao corte do feijão-de-porco e à aplicação de composto orgânico. Neste último ponto de aumento de concentração é importante notar que o comportamento de K e Ca ocorreu após o Na, ou seja, o elemento que está sendo primeiramente lixiviado para a solução do solo é o Na.

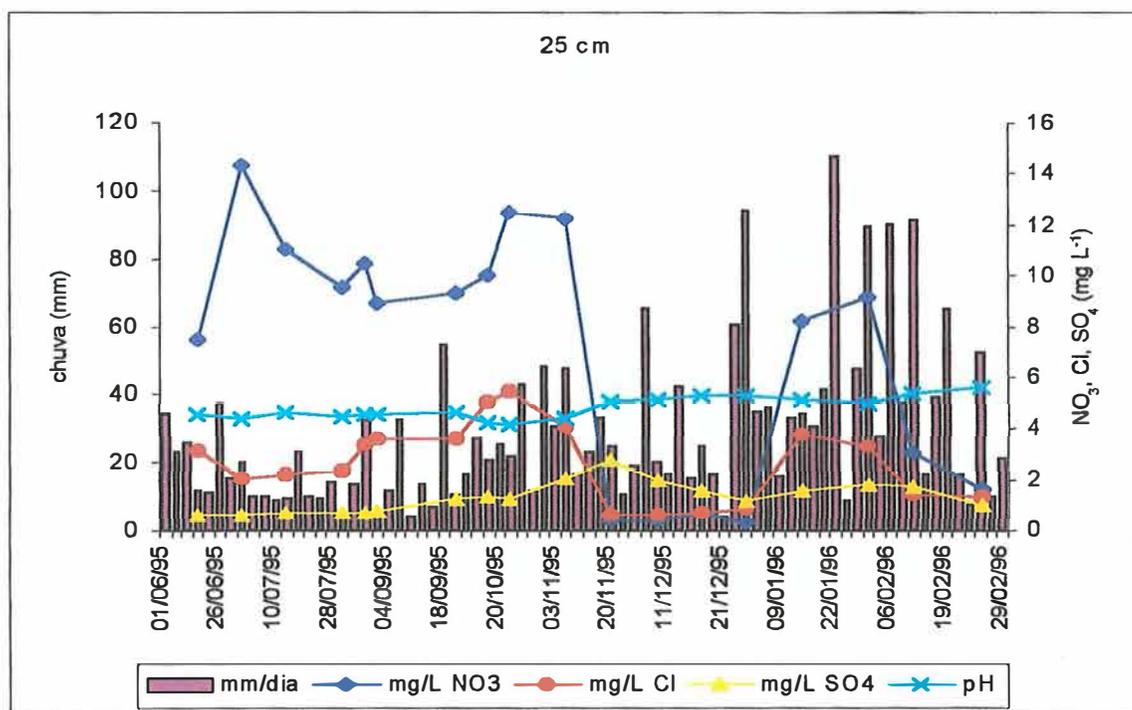
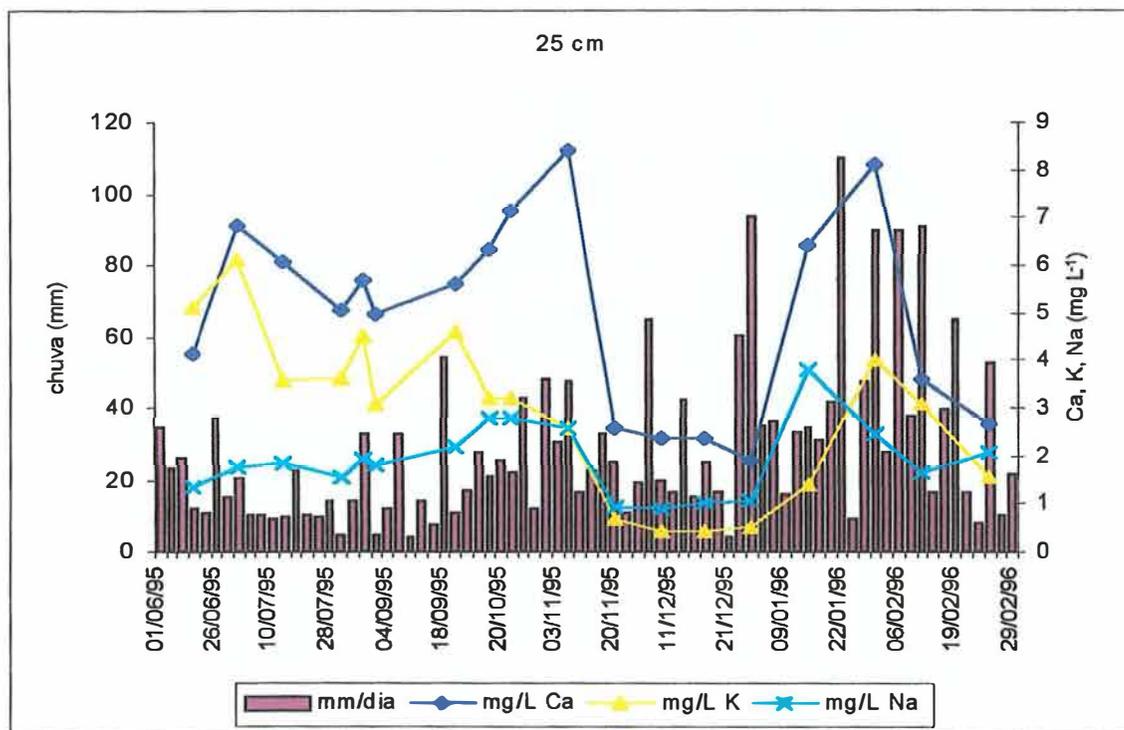


Figura 20 –Variação da dinâmica da concentração de cátions (Ca, K, Na), ânions (N-NO₃, Cl, S-SO₄) e pH na solução do solo no período de 06/95 a 02/96, em função da precipitação.

Tabela 18. Correlações entre os parâmetros medidos, em função do manejo, nos 25 cm de profundidade, na área do sistema agroflorestal (SAF).

Correlações	R ²	Equação de regressão (linear)
25 cm		
N-NO ₃ x Mg	0,9024	Y = 0,2338x + 0,7329
N-NO ₃ x Ca	0,8237	Y = 0,3935x + 2,1822
N-NO ₃ x pH	0,7152	Y = -9,5158x + 52,896
PH x Al	0,6883	Y = -1,1305x + 6,5078
Ca x Cl	0,6392	Y = 0,5832x - 0,2583
N-NO ₃ x K	0,6241	Y = 0,2856x + 0,8219
Cl x Na	0,6213	Y = 0,4028x + 0,8427
Cl x N-NO ₃	0,6069	Y = 0,2464x + 0,8925
Cl x pH	0,5621	Y = -2,668x + 15,478
Ca x Na	0,5556	Y = 0,2779x + 0,5232

No sistema solo-planta, a velocidade de ciclagem dos nutrientes é um dos fatores que influencia o nível de correlação entre estes. Normalmente todas as correlações que ocorrem nos 25 cm de profundidade estão associadas aos processos de decomposição, liberação e absorção. O N-NO₃, como a forma nitrogenada de maior ocorrência neste trabalho, apresenta uma alta velocidade de ciclagem, com um pequeno reservatório de nitrogênio no solo, segundo Golley et al. (1978), em seus estudos em área de floresta, quando estes compararam a velocidade de ciclagem dos nutrientes da vegetação para o solo com relação ao reservatório do próprio solo. É possível que estas informações, associadas aos resultados encontrados neste trabalho sobre correlações, justifiquem o fato do N-NO₃ ser a forma de nitrogênio que apresentou as maiores correlações. Este resultado também está de acordo com Chapin (1991), no seu estudo sobre fontes de absorção de nutrientes para a planta, onde para o nitrogênio a principal fonte é a ciclagem (com 93% do N total oriundo do processo de ciclagem) e em menor participação a atmosfera.

Então, pode-se considerar que as oscilações das concentrações dos elementos em função do tempo, resultam das atividades de manejo, gerando adições e perdas dentro do sistema em estudo. Ressalta-se ainda que neste caso não se enquadram somente Ca, K e N-NO₃, mas também Cl e Na (Tabela 19).

Outra conclusão importante é que K parece mover-se rápido para a solução do solo em alguns casos, e mais lentamente em outros casos. Logo após o corte da vegetação a seqüência de lixiviação dos elementos é: K alcançando primeiro as profundidades observadas, seguido de Na e Ca, e em outro momento há uma inversão entre Na e K.

Tabela 19. Dinâmica da concentração dos nutrientes observados neste estudo, na solução do solo, em função do manejo na área.

	N-NO ₃ ⁻	Ca	Mg	K	Cl	Na	S-SO ₄ ²⁻
	mg L ⁻¹						
22/05/95 Capina							
19/06/95 Ponto inicial	7,5	4,1	2,4	5,1	3,2	1,3	0,6
	27/06/95 plantio de caupi						
03/07/95 Adição à solução do solo da Decomposição de ervas daninhas	14,4	6,8	3,9	6,1	2,1	1,8	0,6
28/08/95 Perdas da solução devido ao crescimento do caupi	8,9	5	2,6	3,1			
14/09/95 1° colheita de caupi							
20/09/95 poda do cupuacu				4,6			
25/09/95							
29/09/95 2° colheita de caupi							
05/10/95 Capina							
23/10/95 Liberação para a solução do solo devido a decomposição	12,4	7,1	4		5,4	2,8	
06/11/95		8,4					
	plântio de feijão-de-porco						
20/11/95 Perdas da solução do solo							2,8
04/12/95 devido ao					0,7	0,9	
02/01/96 crescimento do feijão-de-porco	0,3	1,9	0,9	0,5			1,2
	21/12/95 Início do corte de feijão-de-porco, colheita de mandioca, aplicação de composto						
	03/01/96 plantio milho, mandioca						
15/01/96 Liberação para a solução do solo			2,9		3,8	3,8	
29/01/96 devido a decomposição dos resíduos	9,1	8,1		4			1,8
	12/02/96 Perdas da solução do solo devido 26/02/96 o crescimento de milho e mandioca						
	1,7	2,7	0,6	1,6	1,4	1,6	1

4.2.6 Flutuação das concentrações dos elementos na profundidade

Os aumentos das concentrações que ocorreram na profundidade dos 25 cm, também ocorreram nas demais profundidades (40, 60, 110 cm). Esta seqüência indica o movimento anterior vertical de lixiviação que conduzirá à perda dos nutrientes por este processo. Assim sendo é possível identificar-se um grupo de elementos mostrando um gradiente vertical das concentrações (N-NO₃, Ca, Mg), e um outro grupo com um estreito gradiente (Na, Cl) e a seqüência não muito clara das camadas em profundidade. O comportamento anterior indica o movimento lento, lixiviação mais rápida, que apóia as conclusões precedentes. O K poderia participar provavelmente do primeiro grupo, à exceção de seu lento esgotamento da queima precedente, portanto aqui será considerado como um grupo independente.

A flutuação das concentrações dos elementos não ocorreu somente na superfície do solo, mas também no perfil observado, ou seja, de maneira geral esta flutuação pode ser observada também nos 40, 60 e 110 cm de profundidade. Para demonstrar isto foram identificados 3 grupos de elementos, considerando-se o gradiente vertical entre as profundidades avaliadas. O primeiro grupo formado pelo Ca, Mg e N-NO₃. O segundo grupo composto pelo Na e Cl. O terceiro grupo formado somente por K. Os demais elementos não foram considerados neste item por apresentarem valores muito baixos nas suas concentrações na solução do solo.

Na Figura 21, N-NO₃ e Na foram selecionados para demonstrar os diferentes comportamentos de cátions e ânions, formando 2 grupos. O N-NO₃, representando o primeiro grupo, e Na, o segundo. O K (Figura 22) combina propriedades das duas formas, sendo analisado isoladamente. Em adição a estas análises, na Figura 23 é mostrada a dinâmica do pH na solução do solo, nas diferentes profundidades.

As flutuações das concentrações dos elementos nas profundidades estudadas foram similares, principalmente, para os grupos 1 e 2, exceto que não ocorreu o primeiro pico de concentração para o grupo 2. Uma possibilidade para explicar o movimento similar entre os grupos é que se pode considerar que os elementos do grupo 2 (Na e Cl) também participam do processo de absorção. Uma outra explicação é que a chuva poderia estar contribuindo para a flutuação destes elementos na solução do solo.

Entretanto, o que ocorreu é que a flutuação das concentrações destes elementos foi contrária e independente do nível de flutuação das concentrações deles na água da chuva, mostrando que não houve uma relação com esta. Por isso, ambos, Na e Cl, devem participar dos processos de decomposição e absorção, de forma mais intensa do que se conhece através da literatura. Entretanto, o que falta no primeiro pico de concentração de Na (e Cl) é de interesse. Isto pode significar que quando ocorreu o primeiro pico na concentração de N-NO₃ e sendo este produzido pela decomposição da biomassa seguido de lixiviação, ou a biomassa não continha aqueles elementos, ou os continha somente em pequenas quantidades.

A variação vertical das concentrações é mais estreita no grupo 2 que no 1. Outra observação interessante é que no primeiro grupo (Ca, Mg, N-NO₃) o gradiente vertical foi coerente: todas as concentrações diminuíram da profundidade de 25 cm para os 110 cm de profundidade, na seqüência esperada dentro do perfil. No grupo 2 (Na, Cl), entretanto, as concentrações entre as zonas de profundidade não diferiram muito, e não foi possível observar uma clara seqüência nas concentrações destes elementos da profundidade dos 25 cm para os 110 cm de profundidade. De fato, a concentração na profundidade dos 25 cm é na maioria das vezes mais baixa, e para os 40 cm de profundidade, mais elevada, pelo menos foi o que ocorreu na primeira parte do período de observação. A diferença entre os dois grupos pode ser interpretada supondo-se que Na e Cl são transportados mais rapidamente no solo para baixo, com o movimento da água do solo.

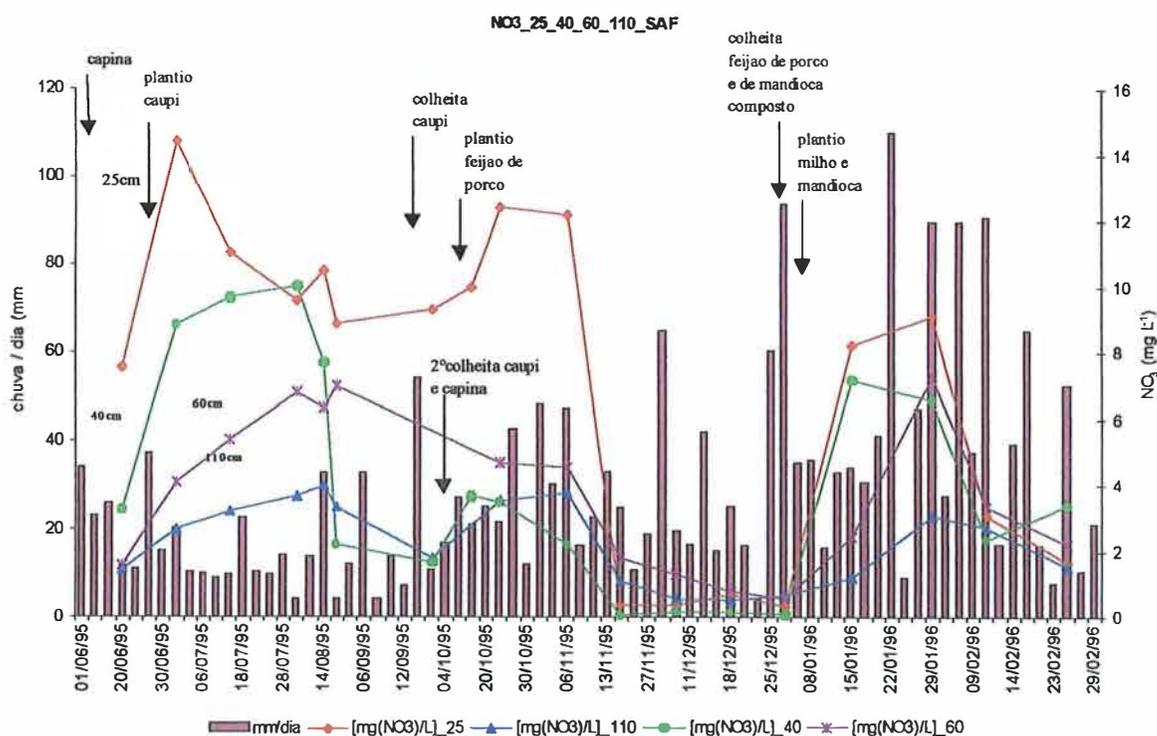
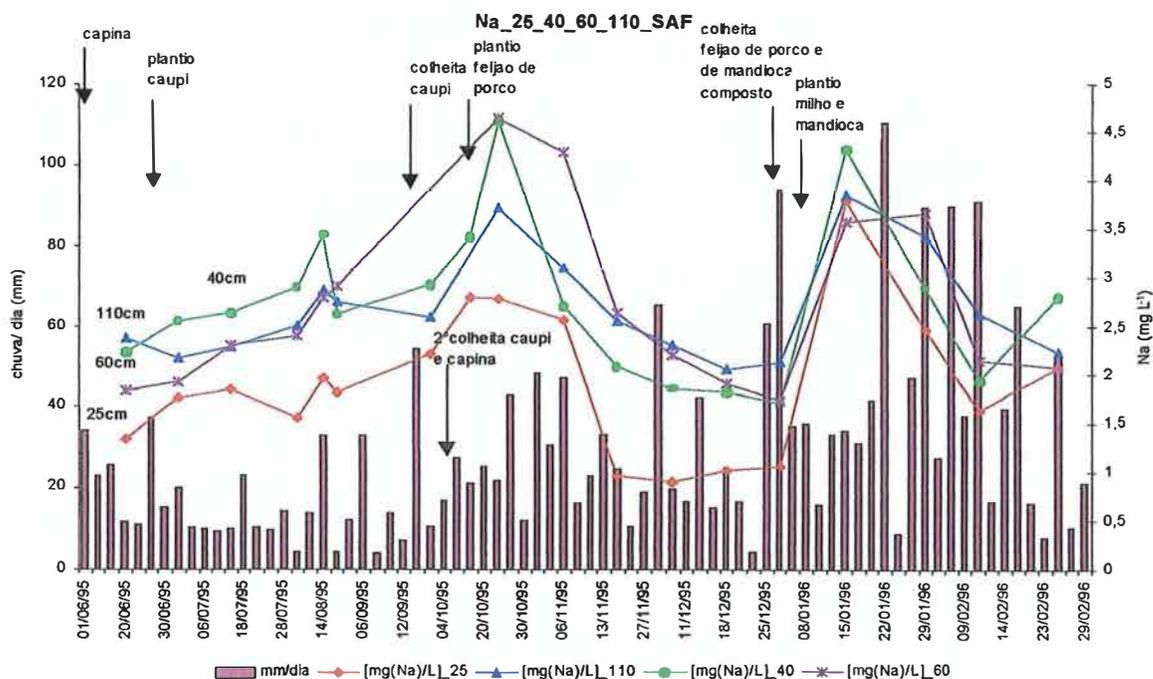


Figura 21 - Flutuação da concentração de Na e N-NO₃ nas profundidades (25, 40, 60 e 110 cm), em função das atividades desenvolvidas no sistema agroflorestal (SAF).

A flutuação da concentração de K na solução do solo é semelhante a flutuação das concentrações dos elementos do grupo 1, e tem também uma escala larga de concentração entre zonas da profundidade. Entretanto, como no grupo 2, as zonas de profundidade não seguem a seqüência apropriada, de cima para baixo. A concentração é muito alta na profundidade dos 110 cm durante todo o período de observação, e foram também elevadas na profundidade dos 40 cm, até setembro. As concentrações diminuíram na profundidade dos 25 cm, de junho até novembro/95, sendo as mais baixas, porém as mais uniformes. Em 4.2.5, foi sugerido que esta diminuição pudesse indicar a mudança de altos teores de K após a queima, sendo que este argumento pode ser estendido para todas as zonas da profundidade. Porém, se isto for assim, tem-se duas frentes possíveis de lixiviação, para a profundidade dos 40 e dos 110 cm, embora não se possa apontar a causa.

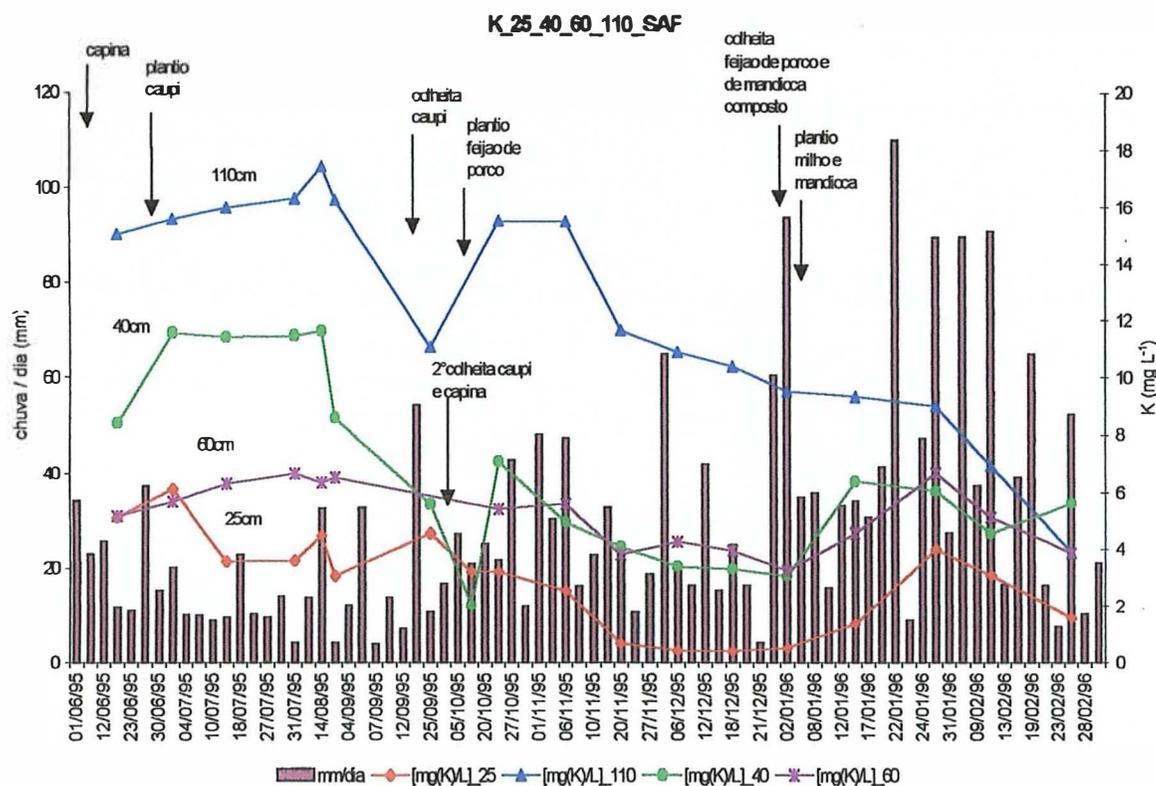


Figura 22 – Flutuação da concentração de K nas profundidades (25, 40, 60 e 110 cm), em função das atividades desenvolvidas no sistema agro florestal (SAF).

O pH da solução do solo teve uma oscilação mais claramente identificada para a profundidade dos 25 cm, estando correlacionado com o N-NO₃, resultando da variação deste na solução do solo. Ele está baixo durante a primeira parte do período de observação até novembro. Observa-se que o pH está mais baixo na profundidade dos 25 cm, porém para o resto do solo estudado não ocorreu uma seqüência correta. Os valores mais altos de pH da solução do solo na profundidade de 40 cm não são explicados facilmente.

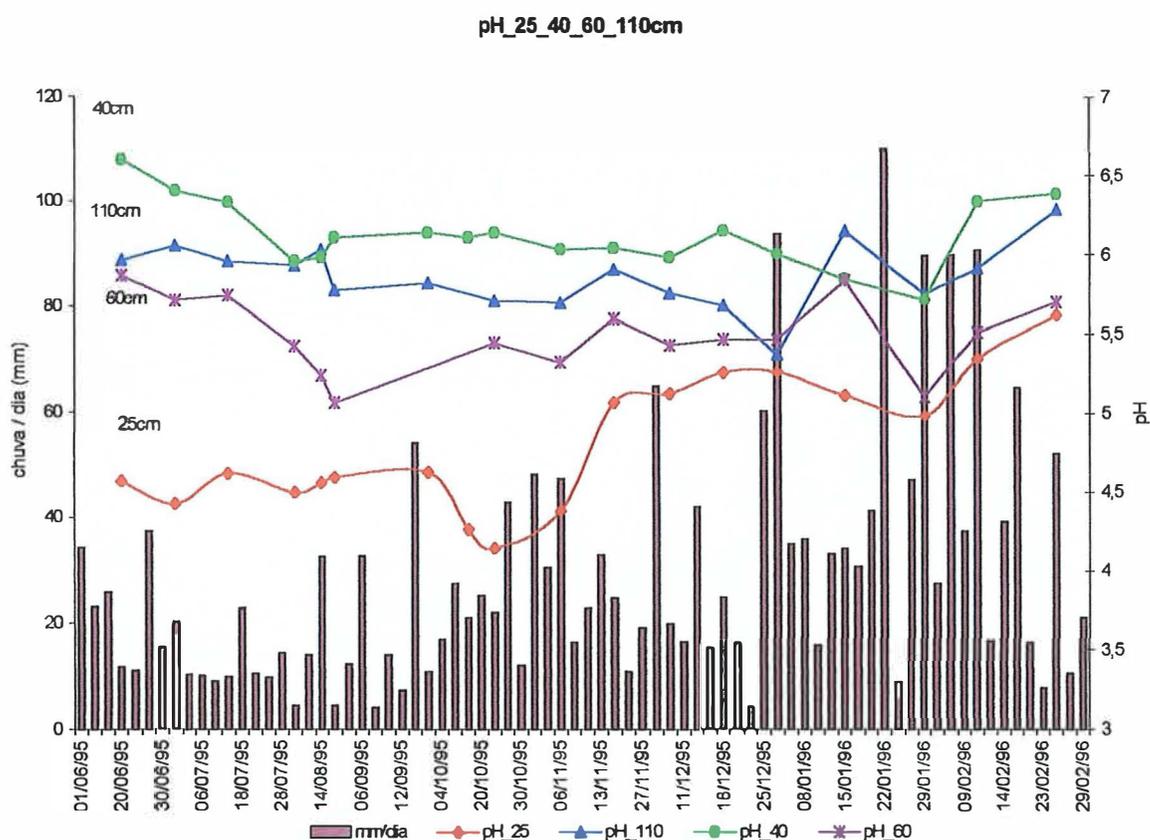


Figura 23 – Variação do pH da solução do solo nas profundidades (25, 40, 60 e 110 cm), em função das atividades desenvolvidas no sistema agroflorestal (SAF).

A concentração de S-SO₄ foi muito baixa, exceto na profundidade dos 110 cm. É possível, que como para K, a concentração de S-SO₄ tenha tido um acúmulo prévio.

Porém esta flutuação não se pode explicar facilmente, o que neste caso é mais complicado devido ao processo de fixação temporária, como na formação de AlOSO_4 .

A seqüência de cultivos resulta em uma intensiva dinâmica de crescimento e decomposição. As oscilações das concentrações dos elementos na solução do solo são indesejáveis porque a concentração nos pontos mais elevados, em todas as profundidades, indica que estes são perdidos por lixiviação. A fim de reduzir esta perda, o gerenciamento do cultivo deve visar sobrepor um possível distúrbio devido à liberação e à absorção de nutrientes dentro do sistema (Hölscher et al. 1997). Em um sistema agroflorestal isto é alcançado em parte pela presença das árvores, mas com respeito ao gerenciamento da colheita, ao menos dois dos três picos de concentração dos elementos resultam da colheita combinada e da remoção das ervas daninhas que liberam nutrientes, quando as plantas novas da colheita seguinte tiverem ainda pouca capacidade de absorver nutrientes. Aqui, a pesquisa agrônômica é requerida para alcançar melhor superação destas dificuldades. Os resultados devem ser testados monitorando-se a solução do solo.

4.2.7 Comparação com estudos regionais

Neste tópico, alguns estudos relacionados com a área e o assunto aqui tratados servirão de base na comparação de estudos realizados na região.

Comparando o presente estudo com as observações de Klinge (1998), as concentrações dos elementos apresentaram um aumento significativo durante, e após, a seca e queima dos restos da biomassa, tanto em um estudo quanto em outro. Para exemplificar, a Figura 19 (ver 4.2.5) mostra o comportamento para N-NO_3 no estudo de Klinge (1998). A parcela A4 deste estudo também apresentou um ponto máximo similar, após corte e queima. Como o estudo atual concentrou-se na química da solução do solo durante as fases do cultivos, o monitoramento começou após estes eventos. Por essa mesma razão, os dados dos estudos de Klinge (1998) são considerados somente para o período de abril até o final de setembro/1993. Este foi um período de distúrbio muito pequeno, pois a parcela A3, aqui considerada, não experimentou nenhum cultivo ou colheita, somente algumas ervas daninhas superficiais foram removidas.

As Tabelas 20 e 21 contêm as concentrações médias e as correlações entre os diferentes elementos, tanto dos resultados gerados neste trabalho, quanto dos resultados originados nos estudos de Klinge (1998), Kato (1998) e Sommer (2001). A distribuição das concentrações está demonstrada na Figura 24.

Uma primeira comparação pode ser feita entre os dados deste estudo com os dados de Klinge (1998) e Kato (1998), no solo mais superficial (25 cm). Os dois estudos também mostraram uma oscilação na concentração de elementos em relação à interferência do homem, nos respectivos ecossistemas.

Neste estudo e no estudo de Kato (1998), Ca e N-NO₃ apresentaram as mais elevadas concentrações. Porém, somente em Klinge (1998) o K alcançou níveis mais elevados do que o Ca. Entretanto, os picos de maior concentração dos elementos são distintamente mais baixos em Klinge (1998), porque resultaram somente da remoção de ervas daninhas. No estudo de Kato (1998), o primeiro ponto de concentração de elementos mais elevada, nos meados de julho, ocorreu após a colheita de arroz e a capina realizada um mês antes do que no presente estudo. O segundo ponto de concentração de elementos mais elevada, no fim de setembro de 1995, ocorreu após a colheita de caupi e capina, também aproximadamente 1 mês mais cedo. A queda rápida das concentrações expressas nas curvas, após este período, não reflete um comportamento óbvio, porque nenhuma solução do solo foi coletada durante a estação seca e durante janeiro e fevereiro de 1996 (Figuras 24, 25, 26).

Tabela 20. Níveis das concentrações médias dos elementos na solução do solo e do pH para duas profundidades dos 4 estudos regionais.

	pH	N-NO ₃	Ca	Mg	K	Cl	Na	Al	S-SO ₄
	mg L ⁻¹								
AM* 25	4,80	7,20	5,02	2,42	2,88	2,67	1,92	1,08	1,31
RK** 25	5,65	2,60	2,20	0,51	4,82	4,12	2,54	1,14	1,79
OK *** 40	5,70	4,13	3,75	1,44	0,98	1,17	0,88	0,34	0,32
AM 100	5,86	2,28	1,86	0,75	12,37	2,18	2,68	0,05	4,67
RK 110	6,51	2,40	1,34	0,44	7,07	2,52	2,83	0,34	1,30
OK 100	6,21	2,80	4,97	1,25	1,55	3,40	2,31	0,10	0,40
RS**** 90	5,60	3,87	5,21	1,12	0,66	8,26	3,81	0,07	0,15

- Presente estudo
- **Klinge (1998)
- ***Kato (1998)
- ****Sommer (2001)

Tabela 21. Correlações entre cátions e ânions na solução do solo dos 4 estudos regionais.

	AM*	RK**	OK***	AM	RK	OK	RS****
	25	25	40	110	110	100	100
pH- N-NO ₃	0,7	0,6	0,69	0	0,79	0	0,78
pH-Cl	0,56	0	0,51	0	0	0	0,26
pH- S-SO ₄	0	0,29	0,26	0	0	0	0,21
N-NO ₃ -Cl	0,61	0	0,47	0	0,25	0,24	0,59
N-NO ₃ - S-SO ₄	0,23	0	0	0	0	0,23	0
N-NO ₃ -Mg	0,9	0,55	0,99	0	0	0,79	0,84
N-NO ₃ -Ca	0,82	0,76	0,96	0	0	0,72	0,9
N-NO ₃ -K	0,62	0,59	0,54	0,35	0	0,36	0,46
N-NO ₃ -Na	0,36	0	0	0	0	0	0,44
Ca-K	0,37	0,32	0,64	0	0	0	0,29
Cl-Ca	0,64	0	0,43	0	0	0,25	0,83
Cl-Na	0,61	0,48	0	0,37	0,24	0,84	0,87
Cl-K	0,25	0	0,31	0	0	0,54	0
S-SO ₄ -Ca	0	0	0	0	0	0	0,24
S-SO ₄ -K	0,37	0	0	0,34	0	0	0
S-SO ₄ -Na	0	0,27	0	0	0,2	0	0
S-SO ₄ -Al	0,2	0	0	0	0	0	0,36
Al-pH	0,69	0	0,54	0,38	0,73	0	0,68

- Presente estudo
- **Klinge (1998)
- ***Kato (1998)
- ****Sommer (2001)

A curva das concentrações de K flutua paralela à de N-NO₃ e de Ca, em todos os 3 estudos. No caso deste estudo, os níveis de K diminuíram mais rapidamente após cada ponto de concentração mais elevada, como indicado antes (4.2.5). Isto é menos pronunciado exceto em Kato (1998), possivelmente porque os níveis de concentração são distintamente mais baixos.

Já em 4.2.5 indicou-se que o nível de K (presente estudo), independente de suas variações, declinou entre junho e outubro 1995, quando permanece elevado no estudo de Klinge (1998), e baixo no caso de Kato (1998) (ver também a tabela 19). Um fator que poderia influenciar o comportamento de K poderia ser a biomassa da vegetação previamente queimada que era muito baixa no estudo de Kato (1998). No presente estudo discutiu-se isso em 4.2.6, a lixiviação de K, a qual ocorreu durante o período de medição, diminuindo rapidamente no solo de superfície, apresentando um nível muito elevado na profundidade de 100 cm. Porém, o que aconteceu no caso de Klinge (1998) é que o nível na profundidade dos 100 cm foi também alto (7 mg L⁻¹, ver tabela 19) porém, na superfície do solo o nível de K não diminuiu assim fortemente, como neste estudo. Uma explicação possível pode ser que, na área de Klinge (1998), o elemento não foi retirado do sistema por colheitas seqüenciais, adicionando-se a isso o fato de cortar e queimar até maio 1993, com chuvas subnormais na maioria dos meses (de setembro/1992 a agosto/1993: 2400 mm em vez de normalmente 3300 mm).

Conseqüentemente pode-se concluir que, embora os pontos mais elevados das concentrações de K, Ca e N-NO₃ apareçam depois do corte e da queima da vegetação da floresta, definitivamente eles partem antes de iniciado o período de comparação, podendo-se ainda observar neste estudo uma lixiviação de K que se move para baixo no solo, em contraste com o Ca.

No presente estudo, Na e Cl seguem as oscilações de Ca e N-NO₃ (ver 4.2.5), exceto para o primeiro ponto de elevada concentração em junho/julho/1995, o qual seguiu a operação de capina. Em Klinge (1998) (Figura 25), o pico na concentração de elementos em junho/1993 acontece tanto para Na quanto para Cl, sendo mais pronunciado para este último. O aumento de Na em julho não pode ser explicado, mas o aumento em setembro está outra vez em linha com Cl e N-NO₃, sendo explicado pelo

distúrbio causado pela remoção de ervas daninhas. Em Kato (1998) (Figura 26) as reações de Cl são moderadas mas distintas, e no caso de Na muito fracas. Em ambos os casos, as curvas seguem a do N-NO₃ no primeiro ponto de elevada concentração, porém se desfaz muito cedo.

Como já foi concluído em 4.2.4, tem-se que aceitar que tanto Cl quanto Na participam da ciclagem de elementos entre a liberação e a absorção dentro do sistema. Entretanto, seus pontos de máxima concentração nunca são muito pronunciados. Isto pode resultar de uma passagem mais rápida através da coluna superficial do solo.

De maneira geral, as menores diferenças nos pontos de elevadas concentrações entre os elementos, podem ser claramente observadas. Estes pontos podem aparecer mais cedo ou mais tarde, ou diminuir mais cedo ou mais tarde. Tem-se que considerar dois aspectos: os elementos podem lixiviar da biomassa ou serem liberados durante sua decomposição. Se a lixiviação ocorre mais cedo afeta, provavelmente, cátions monovalentes mais rapidamente. Todos os elementos têm que se mover com água através do solo antes que alcancem as cápsulas lisimétricas. Durante este processo, a reação da troca com o solo pode alterar a composição da solução do solo. Uma diminuição adiantada de um pico do começo, como observada ocasionalmente no caso de K, pode significar uma lixiviação mais rápida ou uma forte adsorção pelo complexo de troca. No caso de Na, isto pode enfatizar uma lixiviação média, porque o Na tem baixa seletividade nas reações de troca comparadas aos outros cátions. No caso do K, entretanto, o mecanismo pode ser a adsorção no complexo de troca. Independente do seu caráter monovalente, K provou ter uma elevada seletividade em solos cauliniticos (Udo 1978; Levy et al. 1988; Anurugsa 1998) que explica o esgotamento lento após a queima, neste estudo e em Klinge (1998).

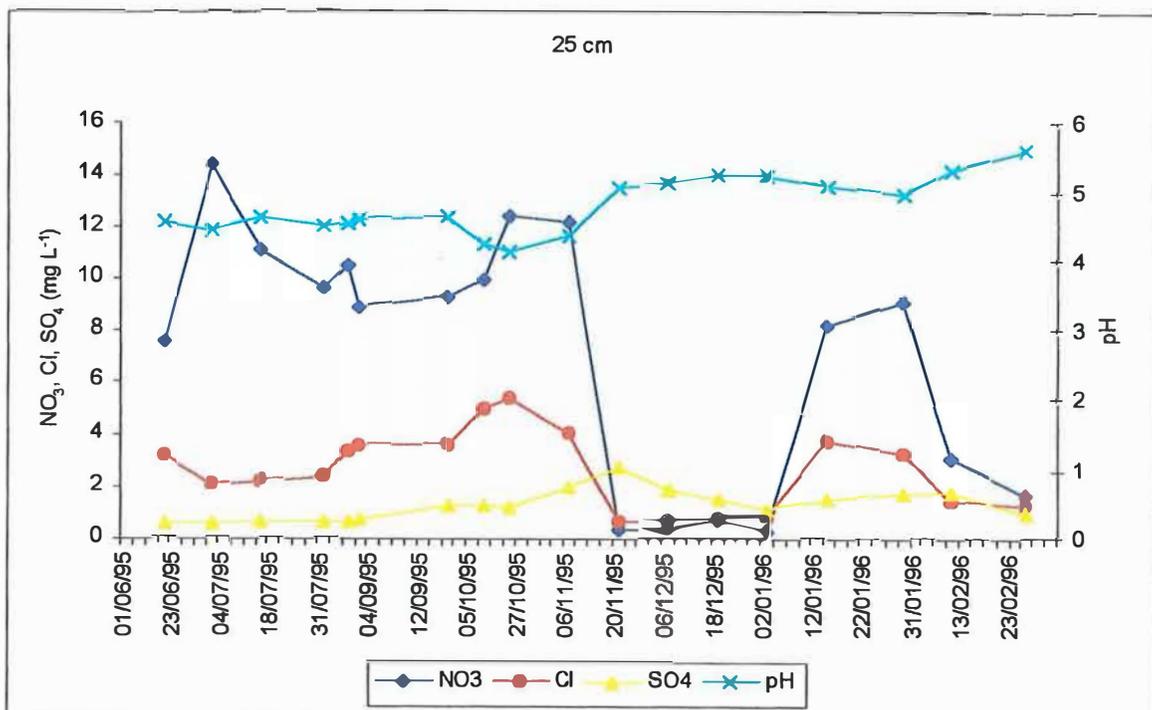
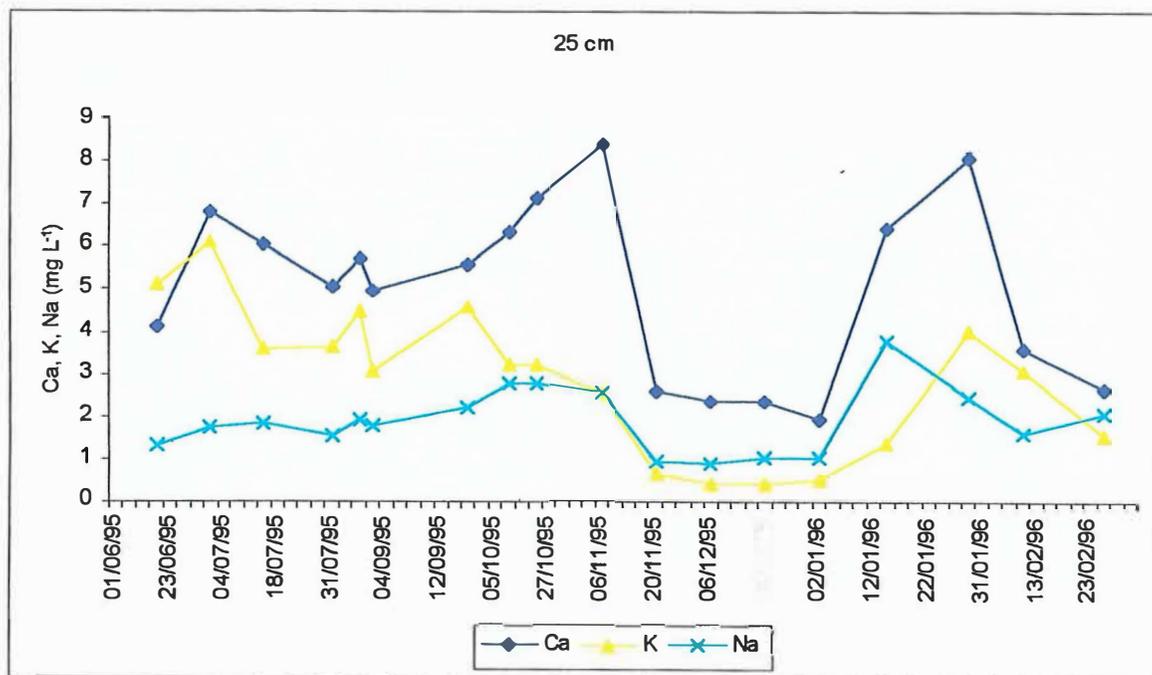


Figura 24 – Concentração de cátions (Ca, K, Na) e ânions (N-NO₃, Cl, S-SO₄) e pH, na solução do solo, na profundidade de 25 cm, no presente estudo.

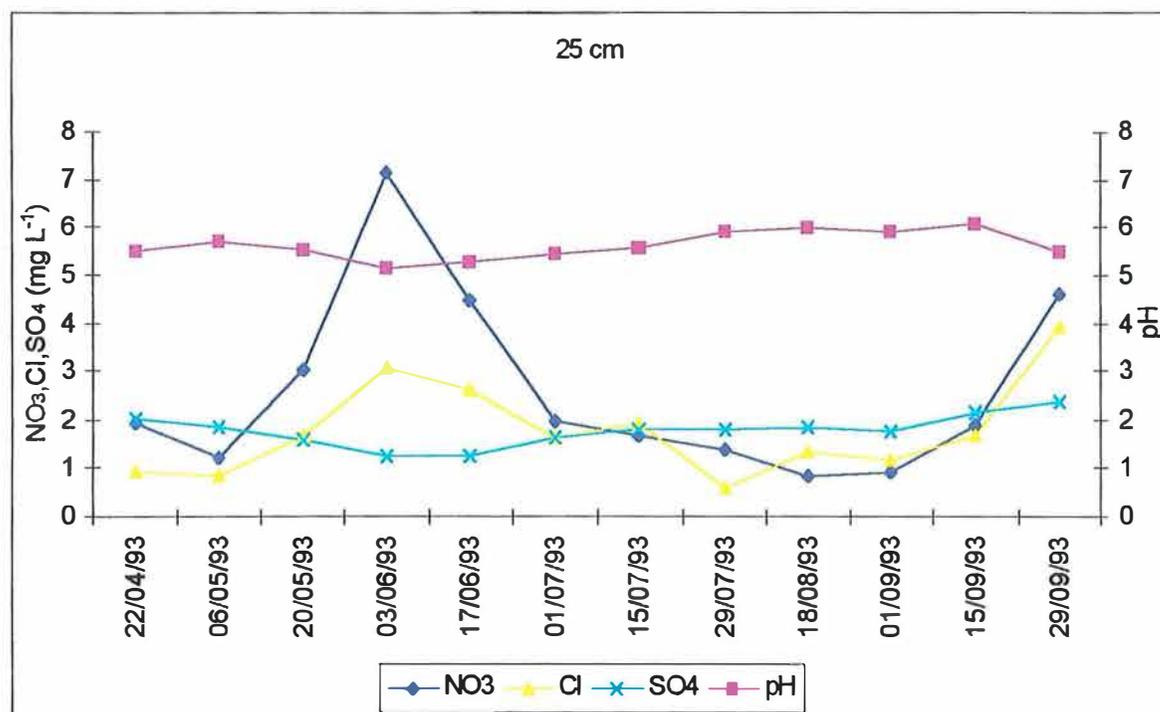
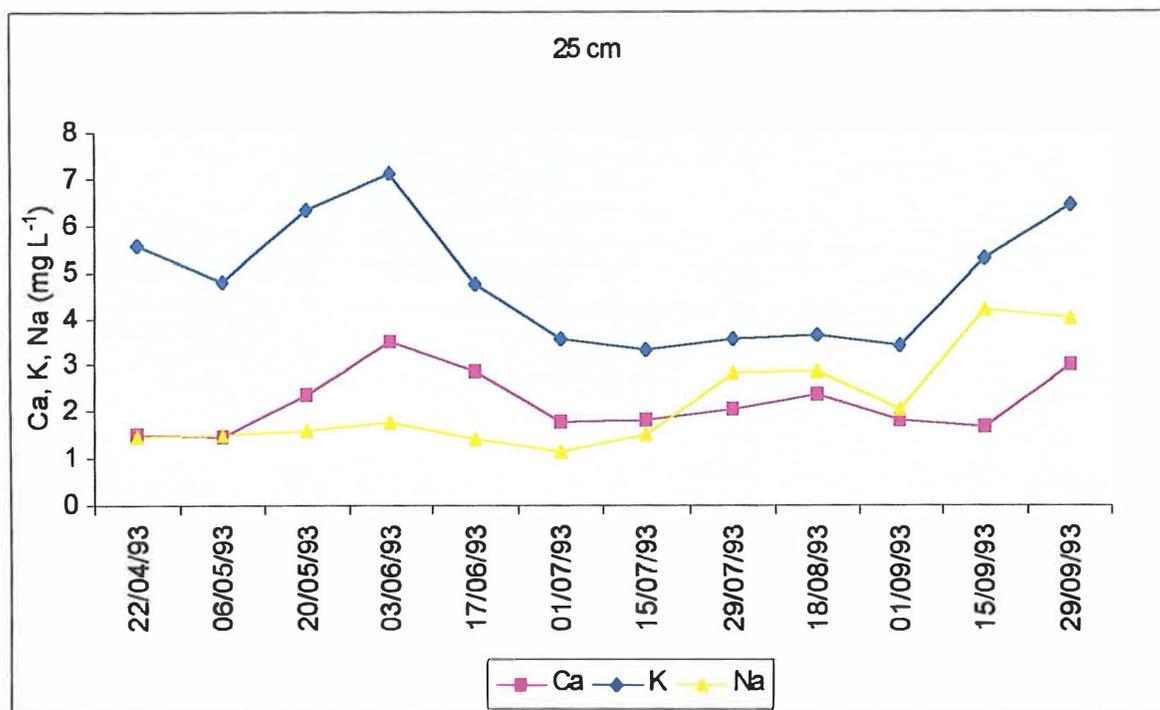


Figura 25 – Concentração de cátions (Ca, K, Na) e ânions (N-NO₃, Cl, S-SO₄) e pH, na solução do solo, na profundidade de 25 cm, no estudo de Klinge (1998).

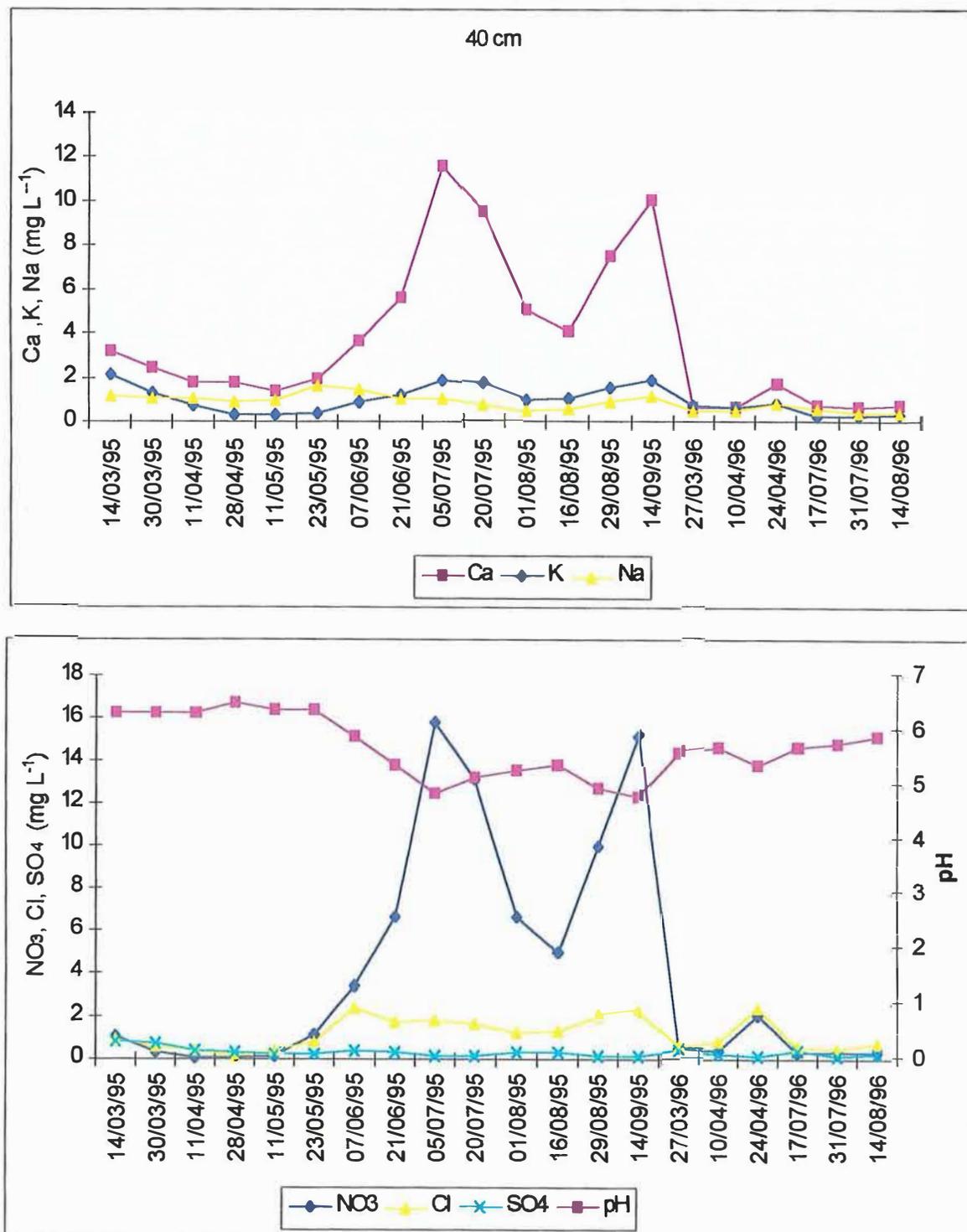


Figura 26 – Concentração de cátions (Ca, K, Na) e ânions (N-NO₃, Cl, S-SO₄) e pH, na solução do solo, na profundidade de 40 cm, no estudo de Kato (1998).

No presente estudo, na profundidade dos 100 cm (Figura 27), as oscilações das concentrações dos elementos na solução do solo são dominadas por K e S-SO₄. No caso de Klinge (1998) (Figura 28), os níveis de N-NO₃ e Cl foram mais elevados, porém S-SO₄ teve também um papel importante (Tabela 19). Isto foi explicado em 4.2.6, sendo justificado pelo aumento do pH após a queimada, o que pode conduzir o estoque provisório de AlOHSO₄ para uma dissolução. O processo não foi importante em Kato (1998) (Figura 29), porque a queima da pequena quantidade de biomassa não alterou o pH precedente do solo.

Entretanto, o que é interessante neste estudo é que os dois pontos de maior concentração para Ca e N-NO₃, na superfície do solo, coincidiram em um único momento. Porém, ambos os elementos, como também Cl, aumentaram na fase do primeiro ponto de elevada concentração, embora a concentração não aumente bastante rápido para dar forma a um pico separado. É importante ainda ressaltar o ponto de elevada concentração de ácidos e cátions no começo do período de observação, o que, não se refletindo no solo de superfície, pode ser considerado como o último indicador da lixiviação do período após a queima da vegetação.

Para os principais elementos, N-NO₃, Ca, Mg e K, a causa das oscilações é a mesma, isto é, liberação e absorção, porque as correlações entre elas são relativamente elevadas na superfície do solo nos três estudos (presente estudo; Klinge (1998); Kato (1998)) o que permite esta comparação. Em dois estudos comparando os sistemas (presente estudo; Kato (1998)) N-NO₃ e Cl também estão correlacionados, sendo que o Na mostra uma correlação mais próxima com Cl. Comparando-se as curvas para estes elementos, observa-se que ambos são freqüentemente adiantados em relação aos outros elementos nos picos de mais elevada concentração. Isto pode estar relacionado ao fato de que eles são mais facilmente lixiviados da matéria orgânica em decomposição, e/ou que alcançam as cápsulas lisimétricas mais rapidamente por causa da falta da capacidade de absorção na parte sólida do solo.

O S-SO₄ mostra flutuações menores, porém não relacionadas aos outros elementos. A maior correlação ($r^2=0.37$) ocorre com K, e esta pode estar relacionada de

forma similar a pós-queima, associada ao processo de esgotamento de um estoque provisório de $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$ com o aumento do pH.

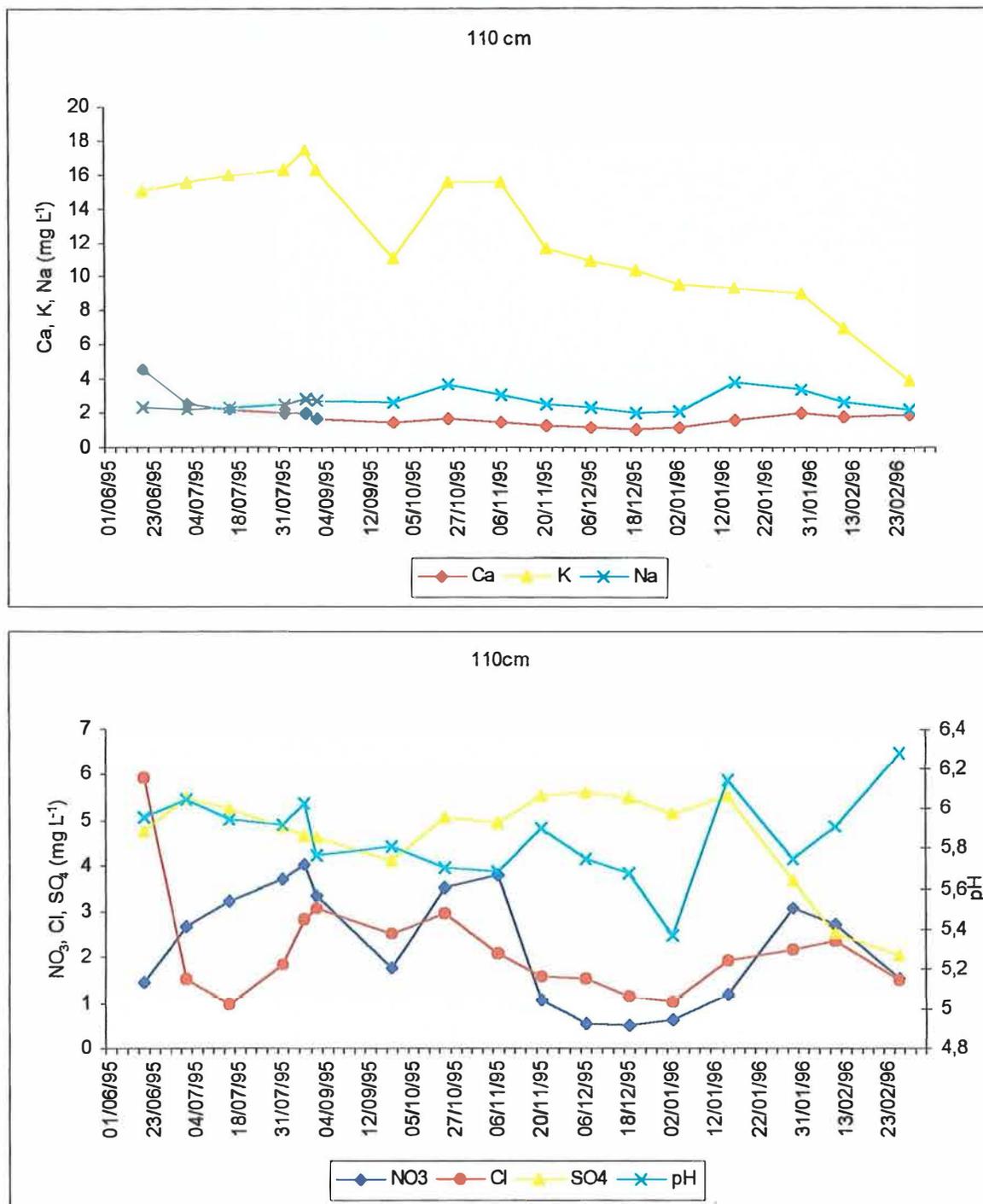


Figura 27 – Concentração de cátions (Ca, K, Na) e ânions (N-NO₃, Cl, S-SO₄) e pH, na solução do solo, na profundidade de 110 cm, no presente estudo.

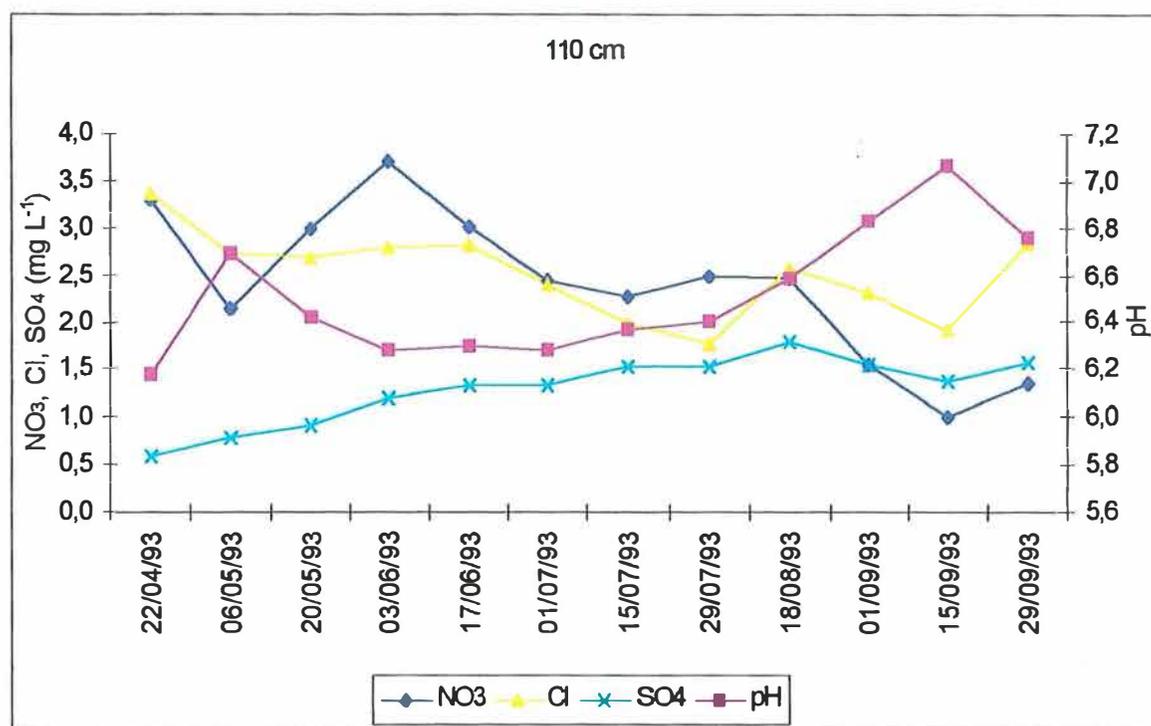
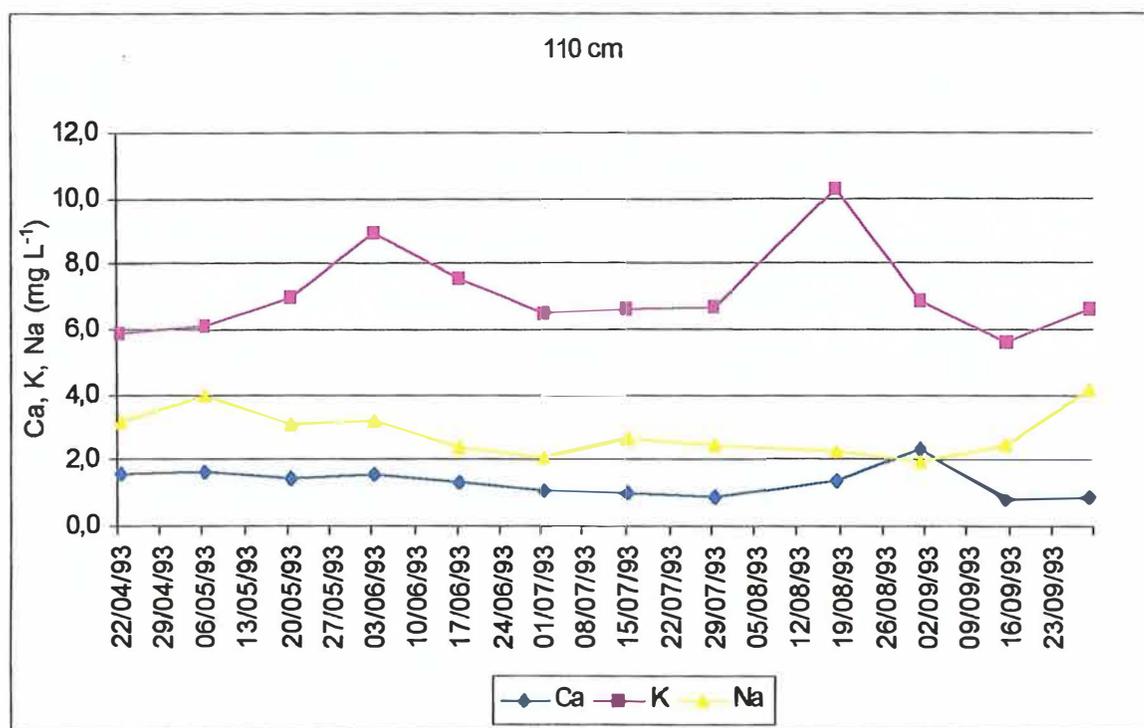


Figura 28 – Concentração de cátions (Ca, K, Na) e ânions (N-NO₃, Cl, S-SO₄) e pH, na solução do solo, na profundidade de 110 cm, no estudo de Klinge (1998).

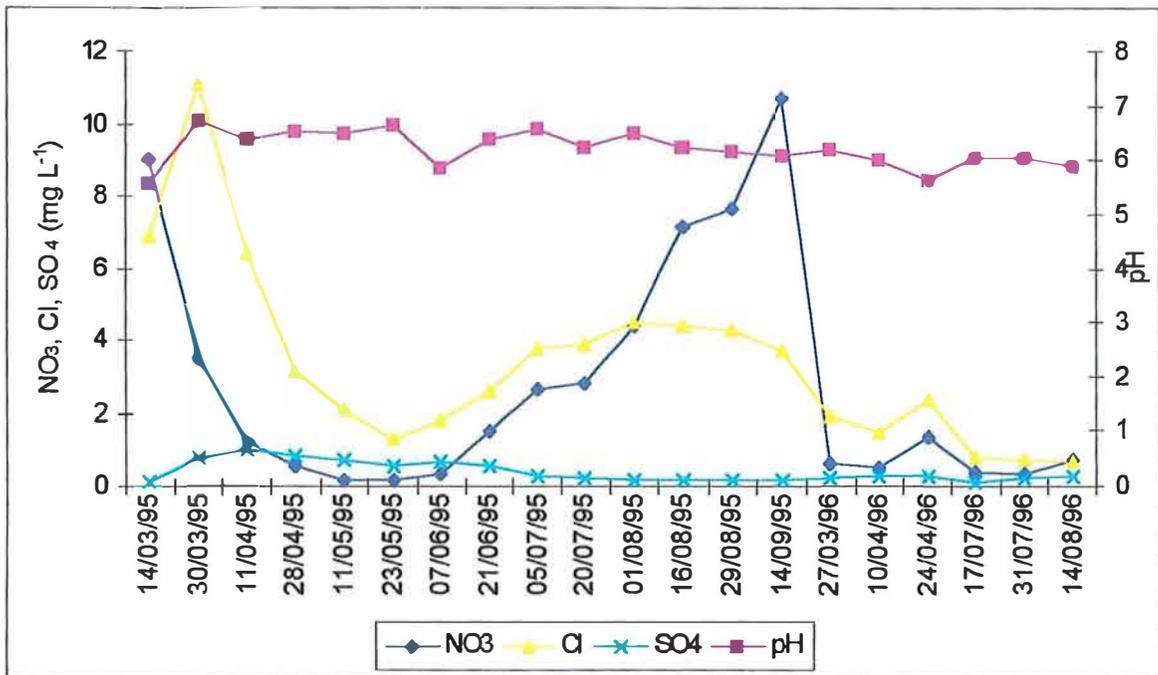
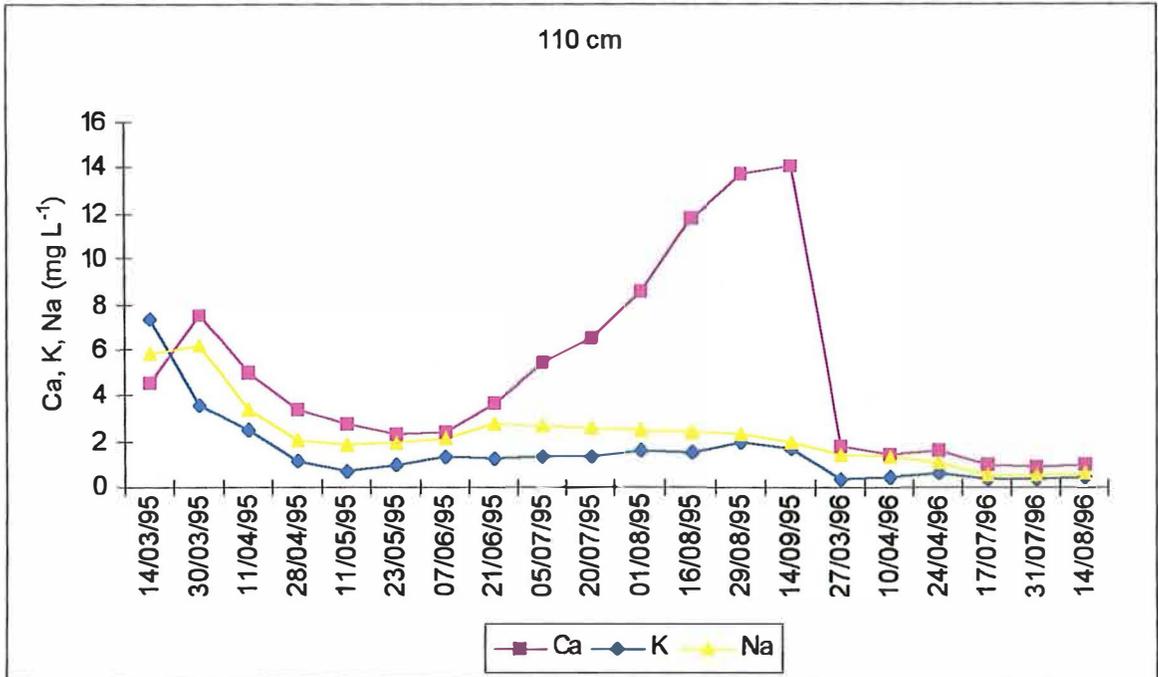


Figura 29 – Concentração de cátions (Ca, K, Na) e ânions (N-NO₃, Cl, S-SO₄) e pH, na solução do solo, na profundidade de 110 cm, no estudo de Kato (1998).

Neste estudo e no estudo de Kato (1998) o pH foi correlacionado negativamente ao N-NO₃ e ao Cl, porém o nível de pH diferiu entre eles. Na primeira parte deste estudo, o pH variou entre 4 e 5, enquanto que no outro estudo a variação ficou em torno de 6. Um pH crescente é esperado geralmente quando a cinza da queima entra no solo (Hölscher et al. 1997). Este efeito é compensado em parte por efeitos da acidificação da nitrificação, e pela ação do Ca no complexo de troca deslocando Al trocável, o que no presente estudo dura até a segunda parte do período registrado, quando o pH estabiliza entre 5 e 6. Esta parece ser a escala que é encontrada geralmente na superfície dos solos nas tradicionais áreas de agricultura itinerante registrada nos estudos de Kato (1998) e Sommer (2001) (Figura 30).

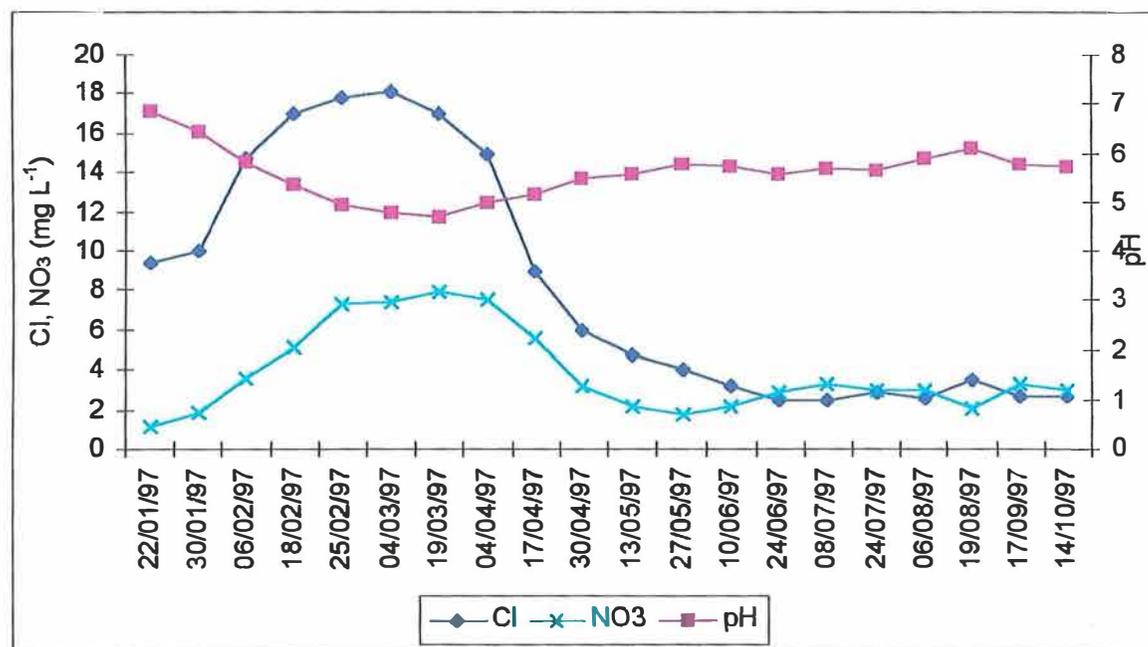
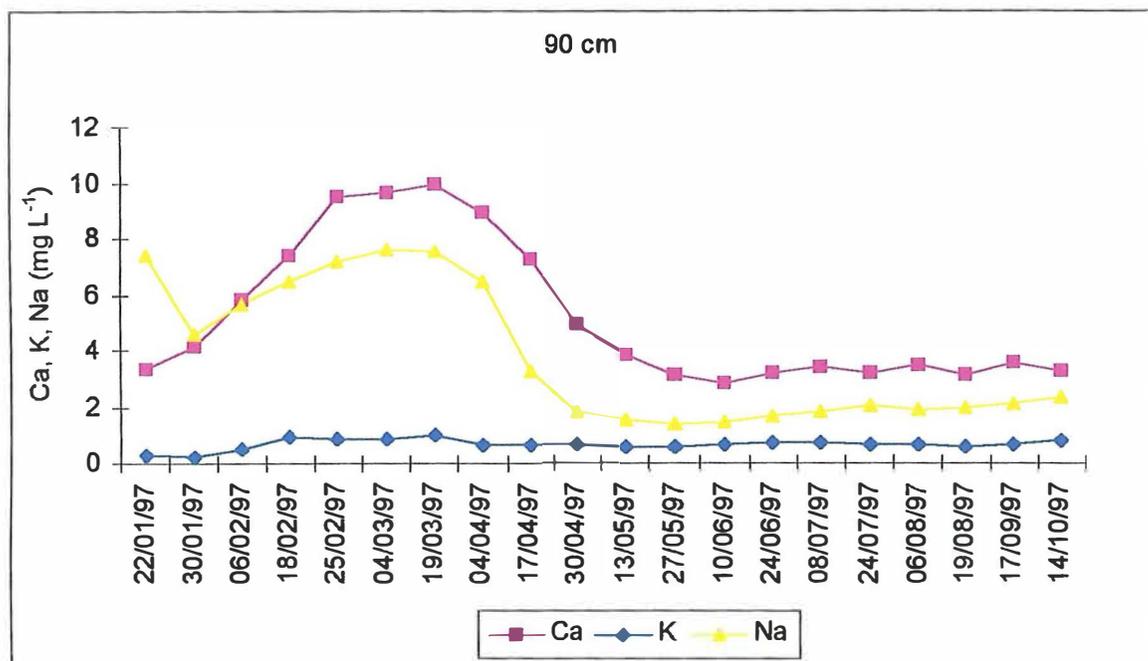


Figura 30 – Concentração de cátions (Ca, K, Na) e ânions (N-NO₃, Cl, S-SO₄) e pH, na solução do solo, na profundidade de 90 cm, no estudo de Sommer (2001).

Considerações finais

O balanço de nutrientes possibilitou concluir que, num sistema agroflorestal envolvendo rotação de culturas em um período curto, a entrada de nutrientes da atmosfera não é suficiente para atender às necessidades das plantas. As remoções de nutrientes por exportação e lixiviação promovem rapidamente o esgotamento do solo. De maneira geral as perdas foram maiores por lixiviação do que por exportação da biomassa, sendo que as vagens de caupi foram responsáveis por 58% (46 kg ha^{-1}) do total das remoções por exportação. Os elementos cujas perdas foram mais significativas neste estudo foram: K, N e S-SO₄, com 205,3, 86,2 e 82 kg ha^{-1} , respectivamente. Isto significa que uma compensação por fertilizantes será certamente necessária sob todo o sistema de uso de terra.

O N é o elemento de maior ocorrência neste trabalho, apresentando-se em maior quantidade na solução do solo na profundidade dos 25 cm, seguido pelo Ca, Mg, K, Cl e Na. A participação efetiva de Cl e Na nos processos de ciclagem foi uma supresa, gerada provavelmente pela elevada quantidade destes na água da chuva. O S-SO₄ e Al foram encontrados em pequenas quantidades. Os demais elementos, Fe, Mn, H, P-PO₄ apareceram em quantidades muito baixas, e por este motivo não foram considerados neste estudo.

A especiação iônica contribui para a compreensão da química da solução do solo. Assim, é possível concluir que os principais cátions (Ca, Mg, K, Na) e ácidos inorgânicos (N-NO₃, Cl) movem-se completamente dissociados, como íons livres na solução do solo. Os comportamentos de S-SO₄ e de Al foram dependentes do pH. Com o aumento do pH de 3,9 para 5,2, ocorreu um drástico aumento de complexos com o Al. Neste caso, a porcentagem de S-SO₄ diminui formando complexos, principalmente com Al. Como consequência, uma parte menor de S-SO₄ em pH mais baixo ocorreu na forma de Al(OH)SO₄. A maioria dos elementos ocorre na solução na forma de íons livres (> 99%).

Um sistema de manejo rotacional, e em consórcio, sugere uma dinâmica mais intensa e rápida, logo a concentração dos elementos estudados na solução do solo foi

sempre mais elevada no sistema agroflorestal do que na floresta. Entretanto, os efeitos do período de observação mostraram que Na, Cl e Al são menos sensíveis ao manejo da vegetação, enquanto que Ca, Mg, K, N-NH₄, N-NO₃ e S-SO₄ são mais afetados pelas atividades desenvolvidas dentro do sistema agroflorestal. Especificamente em relação à Na e Cl, a concentração destes elementos na floresta sofreu a influência da ação da chuva, do impacto da deposição seca (queima) e da água do mar, embora esteja comprovada a participação efetiva destes no sistema agroflorestal.

As atividades de manejo desenvolvidas dentro do sistema agroflorestal (plantio, capina, desbaste, colheita, poda) geraram adições e perdas de nutrientes, promovendo uma flutuação com o tempo. Estas flutuações foram observadas principalmente para Ca, K, N-NO₃, Cl e Na. O K movimentou-se mais rápido que Ca na solução do solo. Logo após o corte da vegetação a seqüência de lixiviação dos elementos foi: K alcançando primeiro as demais profundidades, seguido de Na e Ca, ocorrendo, em outro momento, uma inversão entre Na e K. N-NO₃ e Cl tiveram comportamentos similares, apresentando acentuada flutuação. SO₄ apresentou pequena flutuação, com comportamento inverso à NO₃ e Cl, sem relação alguma com os demais elementos.

A flutuação da concentração dos elementos na profundidade definiu um gradiente mais estreito para Na e Cl que para Ca, Mg e NO₃. O gradiente vertical para Ca, Mg e NO₃ diminuiu da profundidade dos 25 para a profundidade dos 110 cm. Para Na e Cl a seqüência não foi clara. A concentração de K apresentou flutuação na profundidade com características muito específicas, num momento apresentando comportamento similar à Na e Cl, e em outro à Ca, Mg e N-NO₃. O pH da solução do solo foi baixo na profundidade dos 25 cm, e também não seguiu a seqüência relatada na literatura, variando entre 4 e 5.

A flutuação da saturação de água do solo durante o período estudado acompanhou o sistema de distribuição das chuvas na região, com um período menos chuvoso (dezembro/1995 a fevereiro/1996) e um mais chuvoso (junho a novembro/1995). Essa distribuição influenciou diretamente o processo de encharcamento e ressecamento do solo. No período menos chuvoso (Fase I) a saturação de água no solo aumentou com a profundidade. No período intermediário (Fase II) a saturação aumentou

de forma mais lenta em profundidade, e na fase III o solo apresentou-se em sua capacidade de campo, nas 3 profundidades. A aplicação do modelo adotado na determinação da água do solo forneceu uma visão diferenciada na dinâmica da água.

A aplicação de um programa de análise de séries temporais possibilitou os ajustes das análises de autocorrelação pelo modelo de Akaike, definindo um modelo matemático que permitiu prever a tendência do próximo valor amostrado, com um baixo índice de erro (<20%).

Considerando as observações de Klinge (1998), Kato (1998) e as referenciadas neste estudo, a causa das variações nas concentrações de N-NO₃, Ca, Mg e K foram as mesmas, isto é liberação e absorção, uma vez que as correlações entre elas são relativamente elevadas na superfície do solo, o que permitiu esta comparação. Comparando-se os estudos de Kato (1998) com o presente trabalho N-NO₃ e Cl foram também correlacionados, enquanto o Na mostrou uma correlação mais próxima com Cl, entretanto no que se refere ao pH da solução do solo, este foi correlacionado negativamente ao NO₃ e ao Cl, porém o nível de pH diferiu entre eles: neste estudo variou entre 4 e 5, e em Kato (1998), ficou em torno de 6. Independente do seu caráter monovalente, o K provou ter uma elevada seletividade em solos caulínicos, o que explicou o esgotamento lento após a queima, tanto neste estudo quanto nas observações feitas no trabalho de Klinge (1998).

5 CONCLUSÕES

Os estudos realizados no sistema agroflorestal, com rotação de milho, caupi, feijão-de-porco e mandioca, implantado na área da CEPLAC em Benevides /Pará possibilitaram as seguintes conclusões:

- Em um sistema agroflorestal a entrada de nutrientes da atmosfera não é suficiente para atender as necessidades das plantas. As perdas de nutrientes por exportação e lixiviação promovem rapidamente o esgotamento do solo e estas são maiores por lixiviação do que por exportação da biomassa.
- A cultura do caupi foi a principal responsável pelas remoções por exportação, sendo potássio, nitrogênio e enxofre os nutrientes mais exportados.
- A concentração dos elementos estudados na solução do solo foi sempre mais elevada no sistema agroflorestal do que na floresta. Na, Cl e Al são menos sensíveis ao manejo da vegetação, enquanto que Ca, Mg, K, N-NH₄, N-NO₃ e S-SO₄ são mais afetados pelas atividades desenvolvidas dentro do sistema agroflorestal.
- Na e Cl sofreram a influência da ação da chuva, do impacto da deposição seca (queima) e da água do mar, na área de floresta.
- O manejo do sistema agroflorestal (plantio, capina, desbaste, colheita, poda) gerou adições e perdas de nutrientes promovendo uma flutuação com o tempo. A movimentação do K foi mais rápida do que a do Ca na solução do solo.
- Logo após o corte da vegetação a seqüência de lixiviação dos elementos foi: K alcançando primeiro as profundidades estudadas (25, 40, 60, 110 cm), seguido de Na e Ca, ocorrendo, em outro momento, uma inversão entre Na e K. O N-NO₃ e o Cl tiveram comportamentos similares apresentando

acentuada flutuação. O S-SO₄ apresentou pequena flutuação, com comportamento inverso à N-NO₃ e Cl. A capina não influenciou a dinâmica do Cl na solução do solo.

- A flutuação das concentrações dos elementos na profundidade definiu um gradiente mais estreito para as concentrações de Na e Cl que para Ca, Mg e N-NO₃. A variação das concentrações de Ca, Mg e N-NO₃ diminuiu da profundidade dos 25 cm para a profundidade dos 110 cm. Para Na e Cl a seqüência não foi clara. A concentração de K apresentou variação na profundidade com características muito específicas, num momento apresentando-se similar à Na e Cl, e em outro à Ca, Mg e N-NO₃.

ANEXOS

Anexo A - Identificação florística da área em estudo (Sistema Agroflorestal)

Nº	Espécie	Família	Nome vulgar	DAP (cm)
1	<i>Licania glabra</i>	Chrysobalanaceae	Macucu branco	12,5
2	<i>Britoa acida</i>	Myrtaceae	Goiabarana	10
3				96,8
4	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	10,8
5	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	8,4
6	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	**42,3
7	<i>Protium decandrum Swart.</i>	Burseraceae	Breu vermelho	**25,8
8	<i>Guatteria poeppigiana</i>	Anonaceae	Envirão	14
9	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Virola vermelha	7,9
10	<i>Protium decandrum Swart</i>	Burseraceae	Breu vermelho	8,3
11	<i>Ingá maginata</i>	Leguminosa	Ingá branco	11,7
12	<i>Mimusops paraensis</i>	Sapotaceae	Maparajuba	7,4
13				21
14	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Virola vermelha	** 93,2
15	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Virola vermelha	7,4
16	<i>Protium decandrum Swart.</i>	Burseraceae	Breu vermelho	9,6
17	<i>Guatteria poeppigiana</i>	Anonaceae	Envirão	19
18	<i>Lucuma lasiocarpa</i>	Sapotaceae	Abiurana	11,4
19	<i>Eschweilera matamata (spp)</i>	Lecitidaceae	Matamata preto	8,3
20	<i>Symphonia globulifra</i>	Gutiferaceae	Anani	29,5
21	<i>Xylopia maginata</i>	Anonaceae	Envira preta	12
22	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	7,2
23	<i>Protium decandrum Swart.</i>	Burseraceae	Breu vermelho	11,4
24	<i>Symphonia globulifra</i>	Gutiferaceae	Anani	7
25	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	43,9
26	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	22,5
27	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	21,5
28	<i>Xylopia maginata</i>	Anonaceae	Envira preta	7
29	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	19,5
30	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	11,5
31	<i>Sloanea dentata</i>	Tiliaceae	Urucurana	25,1
32	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Virola(ucuúba)ver	24
33	<i>Martusia elata</i>	Cesalpinoideae	Canela de velho	7,2
34	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	17,5
35	<i>Protium cf. pilosum</i>	Burseraceae	Breu	8,9
36	<i>Lucuma lasiocarpa</i>	Sapotaceae	Abiurana	30,1
37	<i>Guatteria poeppigiana</i>	Anonaceae	Envirão	11,1
38	<i>Cecropia paraensis</i>	Moraceae	Imbaúba branca	12,9
39	<i>Britoa acida</i>	Myrtaceae	Goiabarana	10,3
40	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	7,1
41	<i>Cecropia juranyana</i>	Moraceae	Imbaúba ver.	11,8
42	<i>Lucuma dissepala</i>	Sapotaceae	Guajará	50,5
43	<i>Cenostigma tocantinus</i>	Cesalpinoideae	Acariquara f larga	16,4
44	<i>Vatairea erythocarpa</i>	Leguminosa	Fava f fina	11,1
45	<i>Eschweilera matamata (spp)</i>	Lecitidaceae	Matamata preta	8,4

Anexo A - Identificação florística da área em estudo (Sistema Agroflorestal)

Nº	Espécie	Família	Nome vulgar	DAP (cm)
46	<i>Cecropia juranyana</i>	Moraceae	Imbaúba ver.	9,5
47	<i>Cecropia juranyana</i>	Moraceae	Imbaúba ver.	** 37,5
48	<i>Martusia elata</i>	Cesalpinoideae	Canela de velho	7,9
49	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	16,2
50	<i>Cecropia juranyana</i>	Moraceae	Imbaúba ver.	**28,7
51	<i>Eschweilera matamata (spp)</i>	Lecitidaceae	Matamata preto	12,1
52	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	28,3
53	<i>Aniba sp</i>	Lauraceae	Louro branco	8,6
54	<i>Ingá marginata</i>	Leguminosa	Ingá vermelha	24,7
55	<i>Hancornia amapá</i>	Apocinaceae	Amapá	65,2
56	<i>Vochisia vismiaefolia</i>	Voquisiaceae	Quaruba ver.	15,9
57	<i>Ingá marginata</i>	Leguminosa	Ingá vermelha	** 41,5
58	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	13,6
59	<i>Xylopia maginata</i>	Anonaceae	Envira preta	13,2
60	<i>Ingá marginata</i>	Leguminosa	Ingá branco	8,3
61	<i>Aniba sp</i>	Lauraceae	Louro pimenta	10,1
62	<i>Cecropia paraensis</i>	Moraceae	Imbaúba branca	28,3
63	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	9,3
64	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	8,1
65	<i>Sloanea dentata</i>	Tiliaceae	Urucurana	28
66	<i>Viola surinamensis</i>	Myristicaceae	Ucuúba vermelha	7,1
67	<i>Protium decandrum Swart.</i>	Burseraceae	Breu vermelho	10
68	<i>Lucuma lasiocarpa</i>	Sapotaceae	Abiurana	22
69	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	11,3
70	<i>Protium cf. pilosum</i>	Burseraceae	Breu	9,8
71	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	8,8
72	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	30,3
73	<i>Lucuma lasiocarpa</i>	Sapotaceae	Abiurana	10
74	<i>Ingá marginata</i>	Leguminosa	Ingá vermelha	30,8
75	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	19
76	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	7,3
77				11,4
78	<i>Cecropia paraensis</i>	Moraceae	Imbaúba branca	** 52,2
79	<i>Viola surinamensis</i>	Myristicaceae	Ucuúba verm.	7
80	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	11
81				12,9
82	<i>Guatteria poeppigiana</i>	Anonaceae	Envirão	10,2
83	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	20,2
84	<i>Cecropia juranyana</i>	Moraceae	Imbaúba ver.	30,8
85	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	13,7
86	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	14,4
87	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	** 23
88	<i>Symphonia globulifra</i>	Gutiferaceae	Anani	11,2
89	<i>Viola surinamensis</i>	Myristicaceae	Ucuúba verm.	19,5

Anexo A - Identificação florística da área em estudo (Sistema Agroflorestal)

Nº	Espécie	Família	Nome vulgar	DAP (cm)
90	Martusia elata	Cesalpinoideae	Canela de velho	7,7
91	Protium heptaphyllum	Burseraceae	Breu branco	13,2
92	Sloanea dentata	Tiliaceae	Urucurana	23,8
93	Vochisia vismiaefolia	Voquisiacaea	Quaruba ver.	18,6
94	Lucuma lasiocarpa	Sapotaceae	Abiurana	8,5
95	Protium heptaphyllum	Burseraceae	Breu branco	10,1
96	Guatteria poeppigiana	Anonaceae	Envirão	12,1
97	Protium decandrum Swart.	Burseraceae	Breu vermelho	* 6,9
98				42
99	Vochisia melinonii	Voquisiacaea	Quaruba branca	42,5
100	Symphonia globulifra	Gutiferaceae	Anani	36,2
101	Lucuma lasiocarpa	Sapotaceae	Abiurana	7,5
102	Eschweilera matamata	Lecitidaceae	Matamata branca	35,5
103	Licania sp	Rosaceae	Pintadinho	13,7
104	Protium decandrum Swart.	Burseraceae	Breu vermelho	9,9
105	Licania sp	Rosaceae	Pintadinho	12,7
106	Hirtella americana	Rosceae	Macucuraria	9,1
107	Xylopia maginata	Anonaceae	Envira preta	18,1
108	Licania heteromorpha	Rosaceae	Macucu	8,4
109	Protium decandrum Swart.	Burseraceae	Breu vermelho	7,6
110	Licania glabra	Rosaceae	Macucu branco	17,9
111				27,7
112	Protium heptaphyllum	Burseraceae	Breu branco	19,5
113	Licania sp	Rosaceae	Pintadinho	13,4
114	Virola surinamensis	Myristicaceae	Ucuúba vermelha	22,6
115	Protium decandrum Swart.	Burseraceae	Breu vermelho	15
116	Theobroma subincanum	Esterculiaceae	Cupuí	16,1
117	Lucuma lasiocarpa	Sapotaceae	Abiurana	15,3
118	Theobroma subincanum	Esterculiaceae	Cupuí	10,2
119	Licania heteromorpha	Rosaceae	Macucu	12,3
120	Lucuma lasiocarpa	Sapotaceae	Abiurana	9,8
121	Xylopia maginata	Anonaceae	Envira preta	8,6
122	Ingá marginata	Leguminosa	Ingá vermelha	30
123	Virola surinamensis	Myristicaceae	Ucuúba ver.	11
124	Ingá marginata	Leguminosa	Ingá vermelha	18,1
125	Lucuma lasiocarpa	Sapotaceae	Abiurana	11
126	Cecropia paraensis	Moraceae	Imbaúba branca	26
127	Hancornia amapá	Apocinaceae	Amapá	68,5
128	Licania sp	Rosaceae	Pintadinhc	10,8
129	Carapa guianensis	Meliaceae	Andiroba	31
130	Licania sp	Rosaceae	Pintadinho	8,2
131				33,5
132	Protium cf. pilosum	Burseraceae	Breu	11,5
133	Guatteria poeppigiana	Anonaceae	Envirão	12,8
134				15,9

Anexo A - Identificação florística da área em estudo (Sistema Agroflorestal)

Nº	Espécie	Família	Nome vulgar	DAP (cm)
135	<i>Licania</i> sp	Rosaceae	Pintadinho	13,1
136	<i>Protium decandrum</i> Swart.	Burseraceae	Breu vermelho	13,6
137	<i>Symphonia globulifera</i>	Gutiferaceae	Anani amarelo	31,8
138	<i>Licania</i> sp	Rosaceae	Pintadinho	12,8
139	<i>Sloanea dentata</i>	Tiliaceae	Urucurana	** 26,6
140			eliminada	*** 6,8
141	<i>Symphonia globulifera</i>	Gutiferaceae	Anani	19,8
142	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Ucuúba ver.	16,2
143	<i>Apeiba tibourbou</i>	Tiliaceae	Pente de macaco	10
144	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Ucuúba ver.	12,8
145	<i>Lucuma lasiocarpa</i>	Sapotaceae	Abiurana	7
146	<i>Protium decandrum</i> Swart.	Burseraceae	Breu vermelho	7
147	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	13,2
148	<i>Britoa acida</i>	Myrtaceae	Goiabarana	8,8
149	<i>Aniba</i> sp	Lauraceae	Louro branco	16,6
150	<i>Tovomita brasiliensis</i>	Gutiferaceae	Manguirana	11
151	<i>Cecropia juranyana</i>	Moraceae	Imbaúba ver.	36
152	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	8,4
153	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Ucuúba ver.	8,1
154	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	15,1
155	<i>Lucuma lasiocarpa</i>	Sapotaceae	Abiurana	9,1
156	<i>Licania</i> sp	Rosaceae	Pintadinho	16,3
157	<i>Britoa acida</i>	Myrtaceae	Goiabarana	6,6
158	<i>Carapa guianensis</i>	Meliaceae	Andiroba	15,7
159	<i>Protium</i> cf. pilosum	Burseraceae	Breu	8,3
160	<i>Mimusops paraensis</i>	Sapotaceae	Maparajuba	9,3
161	<i>Protium</i> cf. pilosum	Burseraceae	Breu	17,3
162	<i>Xylopia grandiflora</i>	Anonaceae	Envira branca	14,1
163	<i>Sloanea dentata</i>	Tiliaceae	Urucurana	25
164	<i>Eschweilera matamata</i> (spp)	Lecitidaceae	Matamata preto	82
165	<i>Acacia multipinnata</i>	Leg., Mim.	Cipo devastador	13,8
166	<i>Bagassa guianensis</i>	Moraceae	Tatajuba	44,3
167	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	8,6
168	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	12,5
169	<i>Lucuma lasiocarpa</i>	Sapotaceae	Abiurana	21,3
170	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	17,6
171	<i>Vochysia eximia</i>	Voquisiaceae	Quaruba	11,3
172	<i>Theobroma subincanum</i>	Esterculiaceae	Cupuí	7,9
173	<i>Licania</i> sp	Rosaceae	Pintadinho	8,9
174	<i>Sloanea dentata</i>	Tiliaceae	Urucurana	27
175	<i>Protium</i> cf. pilosum	Burseraceae	Breu	8,5
176	<i>Gutteria poepiggiana</i>	Anonaceae	Envirão	9,4
177	<i>Protium</i> cf. pilosum	Burseraceae	Breu	9,4
178	<i>Chrysophyllum sericeum</i>	Sapotaceae	Guajará branco	21,4
179	<i>Chrysophyllum sericeum</i>	Sapotaceae	Guajará branco	15,5

Anexo A - Identificação florística da área em estudo (Sistema Agroflorestal)

Nº	Espécie	Família	Nome vulgar	DAP (cm)
180	<i>Protium cf. pilosum</i>	Burseraceae	Breu	9,2
181	<i>Ormosia coutinho</i>	Papilionaceae	Tinteiro	17,1
182	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	16,6
183	<i>Virola surinamensis</i>	Myristicaceae	Ucuúba	7,6
184	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	9,1
185	<i>Ocotea rubra</i>	Lauraceae	Louro vermelho	51,6
186	<i>Aniba terminalis</i>	Lauraceae	Louro rosa	21
187	<i>Sloanea dentata</i>	Tiliaceae	Urucurana	12,1
188				36,9
189	<i>Eschweilera matamata (spp)</i>	Lecitidaceae	Matamata preto	7
190			Pau macaco	16,9
191	<i>Hernandia guianensis</i>	Hernandaceae	Ventosa	33,1
192	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	32,3
193	<i>Vochysia eximia</i>	Voquisiaceae	Quaruba	22,7
194	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	7
195	<i>Chrysophillum excelsum</i>	Sapotaceae	Guajará pedra	24,5
196	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	8,6
197	<i>Licania sp</i>	Rosaceae	Pintadinho	7,8
198	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	10,6
199	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	30,7
200	<i>Gutteria poeppigiana</i>	Anonaceae	Envirão	7,9
201	<i>Piptadenia suaveolens</i>	Leguminosa	Faveira f pequena	11,3
202	<i>Symphonia globulifra</i>	Gutiferaceae	Anani	21,7
203	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	15,3
204	<i>Protium cf. pilosum</i>	Burseraceae	Breu	7,1
205	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	32,8
206	<i>Eschweilera matamata</i>	Lecitidaceae	Matamata branco	19,5
207	<i>Acacia multipinnata</i>	Leg., Mim.	Cipo devastador	10,6
208	<i>Protium cf. pilosum</i>	Burseraceae	Breu	24,2
209	<i>Mimusops paraensis</i>	Sapotaceae	Maparajuba	8,5
210	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	18,5
211	<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae	Breu branco	14,9
212	<i>Sloanea dentata</i>	Tiliaceae	Urucurana	17,8
213	<i>Licania heteromorpha</i>	Rosaceae	Macucu	21
214	<i>Protium decandrum Swart.</i>	Burseraceae	Breu vermelho	8,2
215	<i>Mimusops paraensis</i>	Sapotaceae	Maparajut:a	8,7

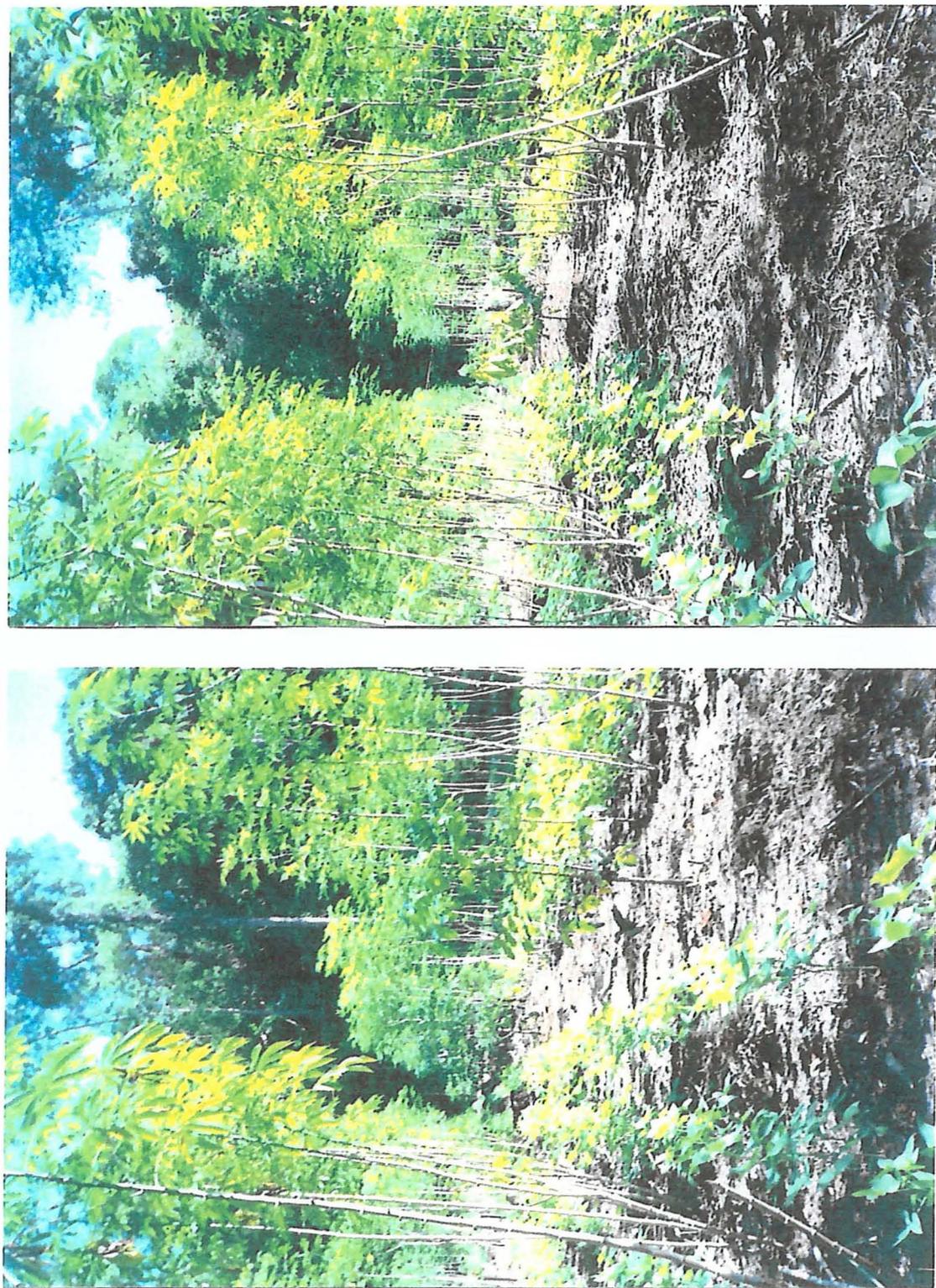
ANEXO B – Área de implantação do sistema agroflorestal: cupuaçu e mogno.



ANEXO B – Área de implantação do sistema agroflorestal: cupuaçu, mogno, milho e mandioca.



ANEXO B – Área de implantação do sistema agroflorestal: cupuaçu, mogno, caupi e mandioca.



ANEXO B – Área de implantação do sistema agroflorestal: cupuaçu, mogno, caupi e mandioca.



Anexo C - Médias das concentrações de elementos na chuva no período estudado (06/95-02/96) e média das concentrações para o período de 93/94.

	data	mm	pH	Na	K	Ca	Mg	Al	Si	SO ₄	Cl	NO ₃	NH ₄	N
média das	27/07/95	9,62	4,3	1,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	2,6	0	1,2	1,7
concentrações	20/10/95	21,85	4,3	0,8	0,2	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	1,9		0,4	0,7
	23/11/95	10,71	4,3	1,5	0,4	0,7	0,2	107	0,1	0,5	3,1	0,09725	0,5	0,9
	20/12/95	16,36	4,7	2,3	0,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,6	2,1	0,04	0	0,2
média da média			4,4	1,4	0,3	0,5	0,2	0,1	0,1	0,4	2,4	0,04	0,6	0,9
6.95 - 2.96	kg/ha	2184	4,4	32	6,8	11	3,3	2	2,6	7,9	53	0,9	12	20
93/94		3397												
média Klinge, (2000).			4,9	0,9	0,1	0,2	0,1	0	0,2	1,8		0	0,1	0,2
6/95 - 2/96	kg ha⁻¹	2184	4,9	19	1,8	4,6	1,3	0,4	4	41	0	2	5,3	

Anexo D - Biomassa de milho, caupi, mandioca, feijão-de-porco, no período estudado.

Milho	ms (kg m ⁻²)	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
			N	P	K	Ca	Mg	S
grãos	0,13	1300	17,4	3,12	3,9	0,26	1,04	1,3
parte aérea	0,27	2700	30	5,4	33	7,8	6	4,2
raiz	0,024	240	4,8	0,24	4,8	4,8	1,2	2,4

Feijão	ms (kg m ⁻²)	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
			N	P	K	Ca	Mg	S
vagem	0,05	500	23,5	2	11	2	2,5	5
folha	0,02	200	8,8	0,8	9,5	6,7	2	1,8
caule	0,04	400	8	0,6	11	8	1	4
raiz	0,006	60	1,2	0,06	1,2	1,2	0,3	0,6

Mandioca	0,5	5000pls/ha	planta/ha	kg ha ⁻¹					
	plantas/m ²	kg ha ⁻¹		N	P	K	Ca	Mg	S
tuberculo	0,12	1200		2,5	0,25	2,3	0,76	0,38	0,09
haste	0,26	2600	5000	15,6	1,8	10,8	10,8	3	1,8
folha	0,03	300	5000	28,8	1,5	7,5	7,5	1,8	0,6

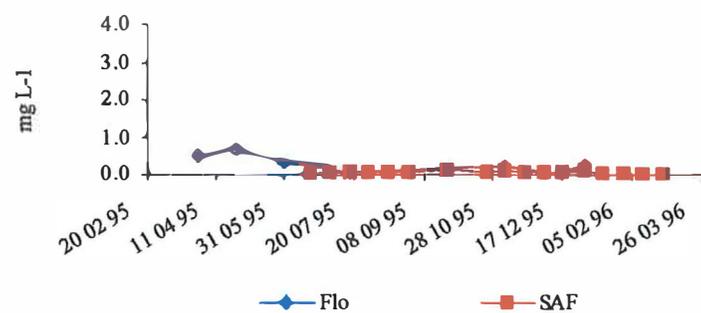
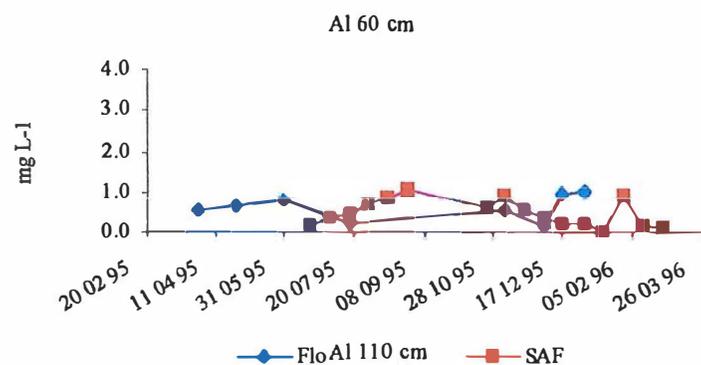
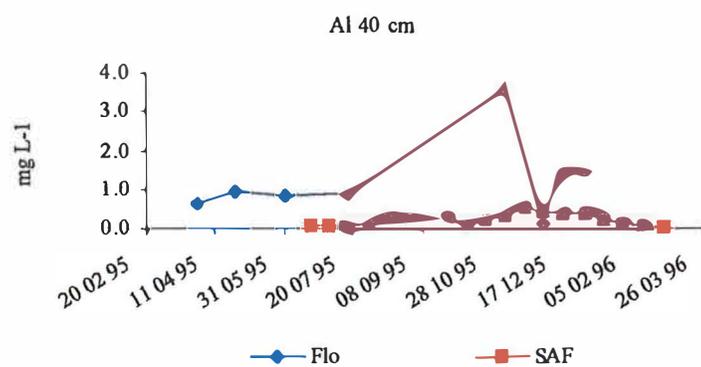
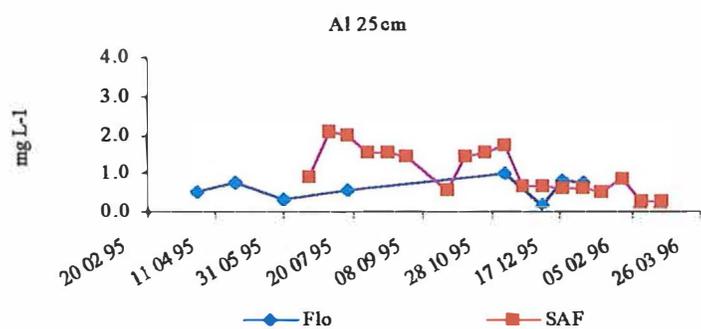
feijão-de-porco	ms (kg m ⁻²)	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
			N	P	K	Ca	Mg	S
vagem	0,05	500	23,5	2	11	2	2,5	5
folha	0,03	300	39,7	3,75	42,8	30	9	8,25
caule	0,03	300	6	0,45	8,25	6	0,75	3
raiz	0,006	60	1,2	0,06	1,2	1,2	0,3	0,6

Anexo E – Pluviosidade (mm) no período de Jan/95 a Fev/96.

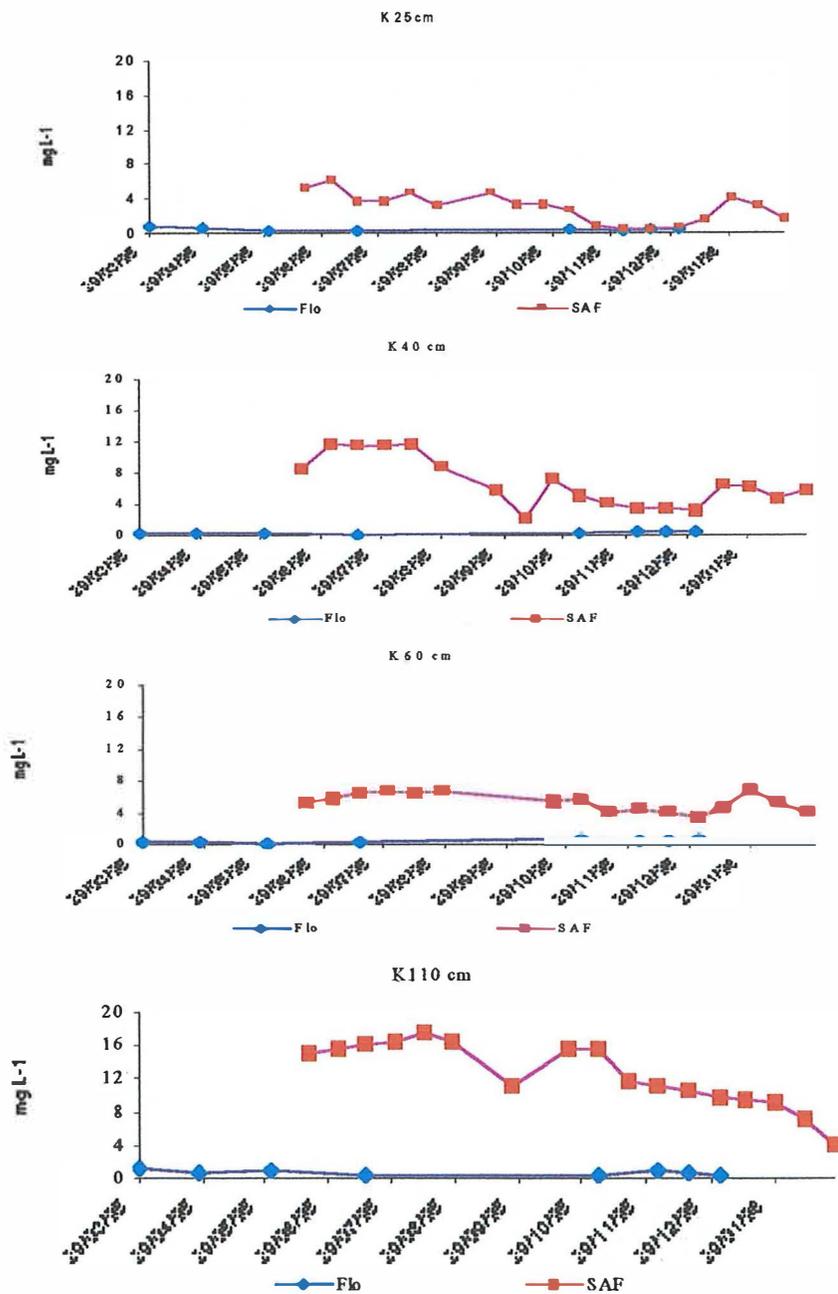
Dia	1995												1996	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Feb
1	0,00	0,00	49,34	0,00	0,00	34,30	0,00	0,00	0,00	0,00	48,11	0,00	0,00	0,00
2	28,96	32,41	0,00	0,00	23,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,72
3	0,00	5,36	23,77	72,19	0,00	0,00	20,18	0,00	0,00	0,00	30,48	0,00	0,00	0,00
4	14,13	0,00	0,00	9,72	67,15	0,00	10,19	0,00	12,10	16,77	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	29,70	9,42	23,04	0,00	0,00	0,00	27,36	0,00	0,00	35,13	0,00
6	11,26	0,00	28,54	0,00	0,00	0,00	9,96	0,00	32,72	0,00	47,30	19,81	0,00	89,72
7	0,00	30,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,86	4,00	0,00	16,26	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	99,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,02	0,00
9	15,42	0,00	50,45	0,00	20,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,87	37,53
10	0,00	35,13	13,20	75,59	46,86	0,00	8,99	0,00	0,00	0,00	22,80	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,81	20,95	0,00	16,42	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	8,71	25,79	0,00	0,00	7,17	0,00	0,00	42,06	33,25	90,77
13	17,18	48,12	0,00	6,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,95	0,00	0,00	16,16
14	0,00	8,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,61	0,00	0,00	0,00	15,27	0,00	39,27
15	0,00	0,00	62,54	0,00	10,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,25	0,00
16	69,27	9,51	0,00	0,00	12,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00
17	44,21	10,46	0,00	83,76	4,40	0,00	9,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,81	0,00
18	15,21	0,00	24,25	11,54	0,00	0,00	22,81	0,00	54,16	0,00	0,00	25,02	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	19,11	11,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,51	64,84
20	10,55	22,16	0,00	13,94	0,00	11,67	0,00	0,00	0,00	25,21	24,68	16,36	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,27	0,00	0,00	0,00	0,00	4,19	0,00	16,35
22	0,00	0,00	0,00	0,00	87,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	110,12	0,00
23	11,40	39,58	0,00	0,00	0,00	10,97	0,00	0,00	0,00	21,85	10,71	0,00	8,90	7,63
24	0,00	0,00	0,00	93,79	28,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,28	0,00
25	0,00	0,00	0,00	17,98	8,41	0,00	0,00	0,00	10,73	0,00	0,00	60,43	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	40,99	37,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	27,11	0,00	9,52	0,00	0,00	9,62	0,00	0,00	42,83	18,94	0,00	0,00	52,30
28	0,00	0,00	136,18	25,99	0,00	0,00	14,21	4,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,28
29	0,00	0,00	0,00	0,00	51,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	89,54	21,16
30	76,05	0,00	56,77	0,00	11,75	15,30	0,00	0,00	0,00	11,93	64,94	0,00	0,00	0,00
31	18,34	0,00	5,52	0,00	0,00	0,00	4,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,60	0,00
Total	331,97	269,08	450,56	469,75	543,77	158,46	120,24	50,70	134,68	166,89	317,17	199,56	604,00	446,02

ANEXO F - Amostra de dados de Ca e NO₃ usados para construção dos modelos matemáticos.

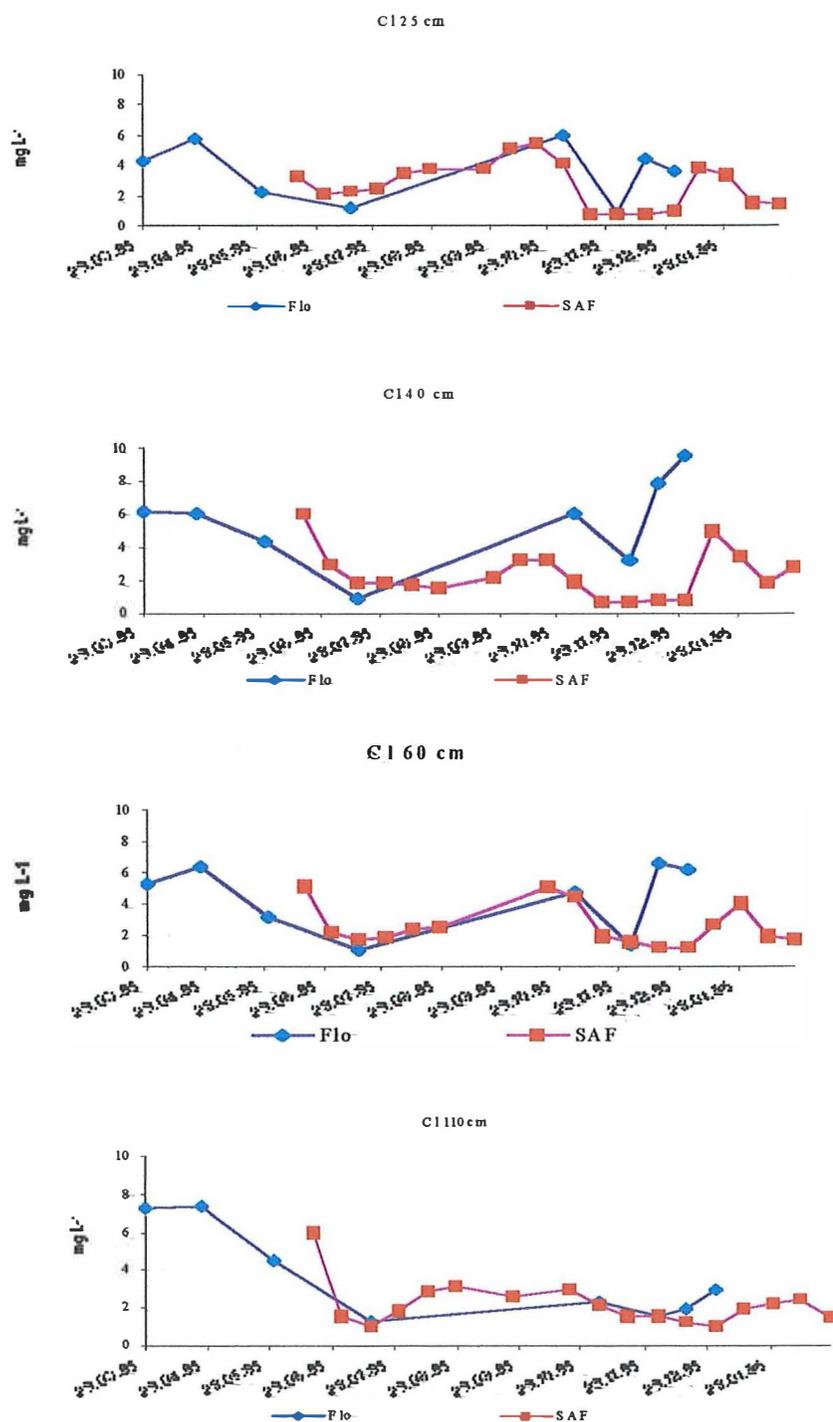
Ca	NO ₃	Ca	NO ₃
mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
6,39	8,88	4,24	7,36
4,49	8,34	5,84	8,72
3,25	6,39	4,17	0,32
2,39	6,51	1,24	0,63
6,86	12,67	3,21	0,47
6,76	14,29	1,74	0,00
4,11	11,04	3,45	0,26
9,14	16,68	1,56	1,12
5,24	9,03	2,89	0,15
1,26	2,04	1,49	0,00
6,30	11,09	3,31	0,44
5,76	9,64	1,74	1,69
5,94	11,85	3,07	0,62
2,31	5,70	1,33	0,00
5,89	10,01	3,25	0,72
6,84	11,69	0,99	0,54
6,60	11,42	2,07	0,00
3,53	8,82	1,37	0,00
4,80	7,99	7,25	7,21
6,49	11,92	6,81	10,97
6,52	11,23	5,13	5,70
2,08	4,44	6,52	9,00
4,83	7,79	5,29	4,94
6,39	10,83	5,39	5,79
5,68	9,34	6,03	7,67
6,04	10,62	3,50	1,23
8,73	11,74	3,29	3,12
4,98	8,23	3,78	3,80
7,32	13,90	3,77	4,22
6,24	11,66	2,78	0,22
9,02	13,64	4,11	4,19
5,96	10,54	1,77	1,87
8,82	12,47	2,02	0,42



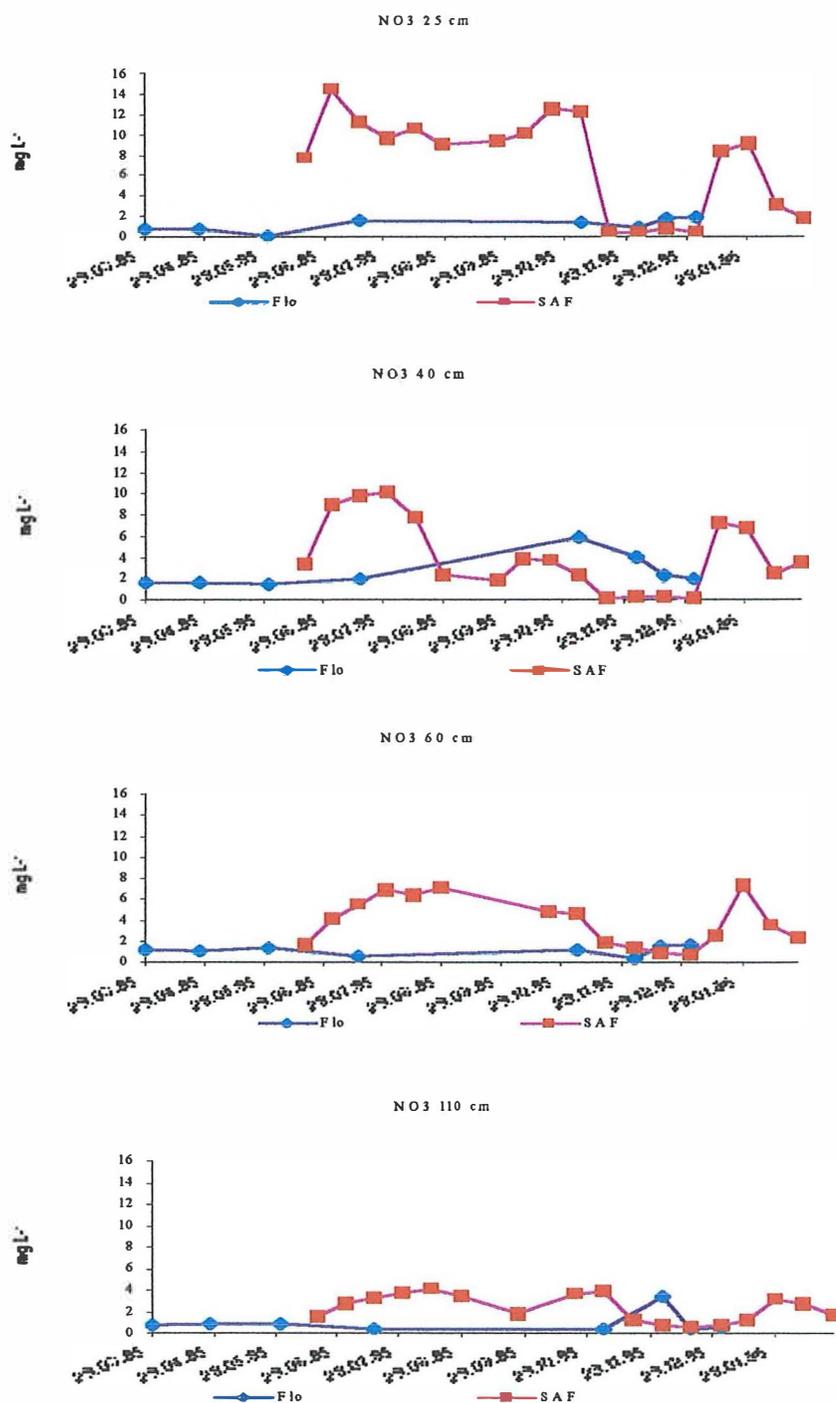
Anexo G – Variação da concentração de Al no perfil do solo, no período estudado (01/95 a 02.96), na floresta e no sistema agroflorestal.



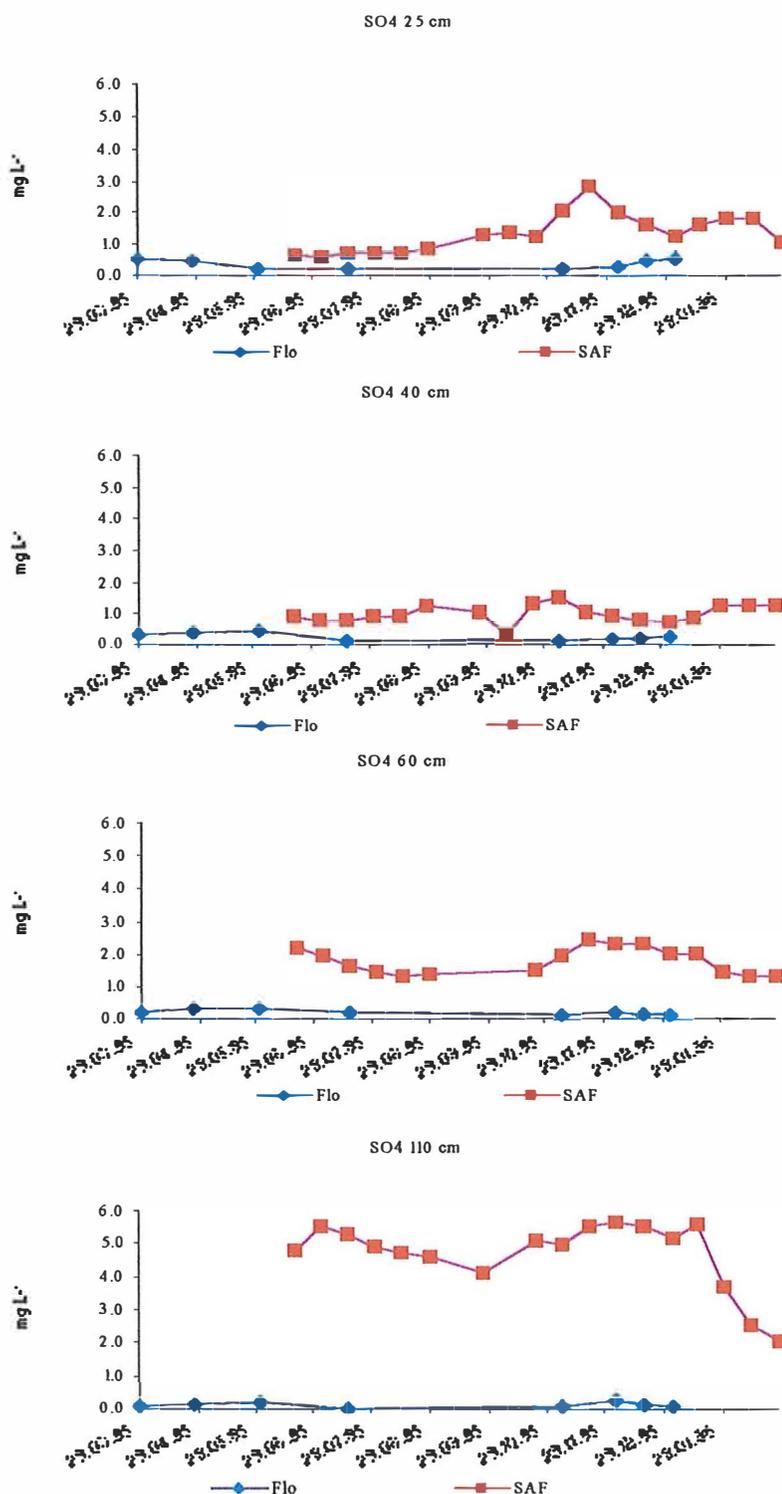
Anexo G – Variação da concentração de K no perfil do solo, no período estudado (01/95 a 02.96), na floresta e no sistema agroflorestal.



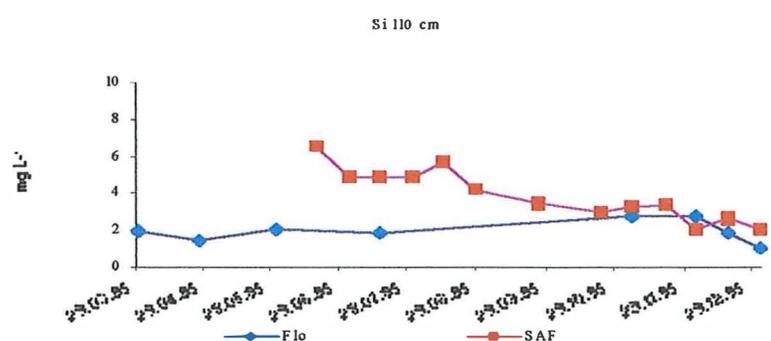
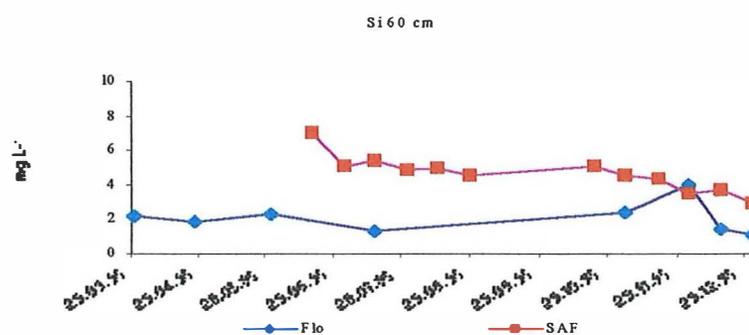
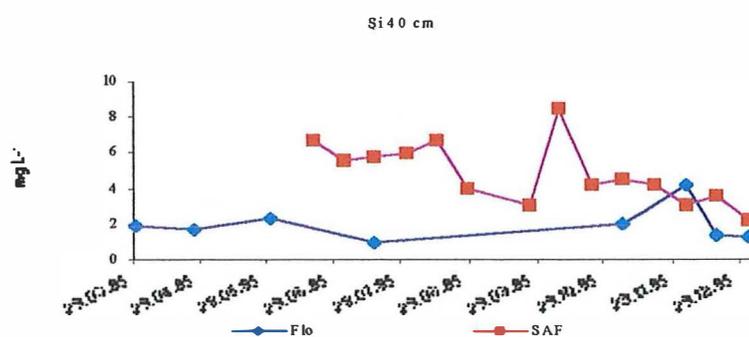
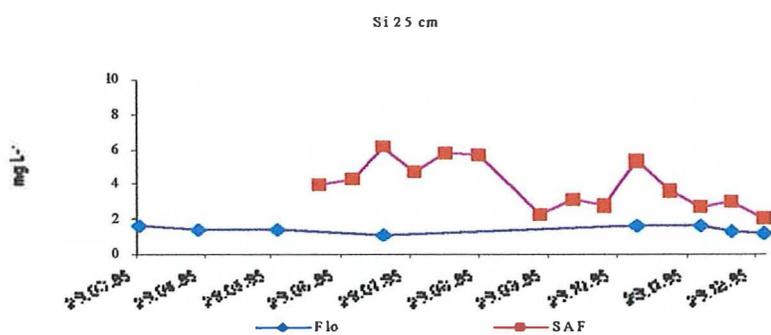
Anexo G – Variação da concentração de Cl no perfil do solo, no período estudado (01/95 a 02.96), na floresta e no sistema agroflorestal.



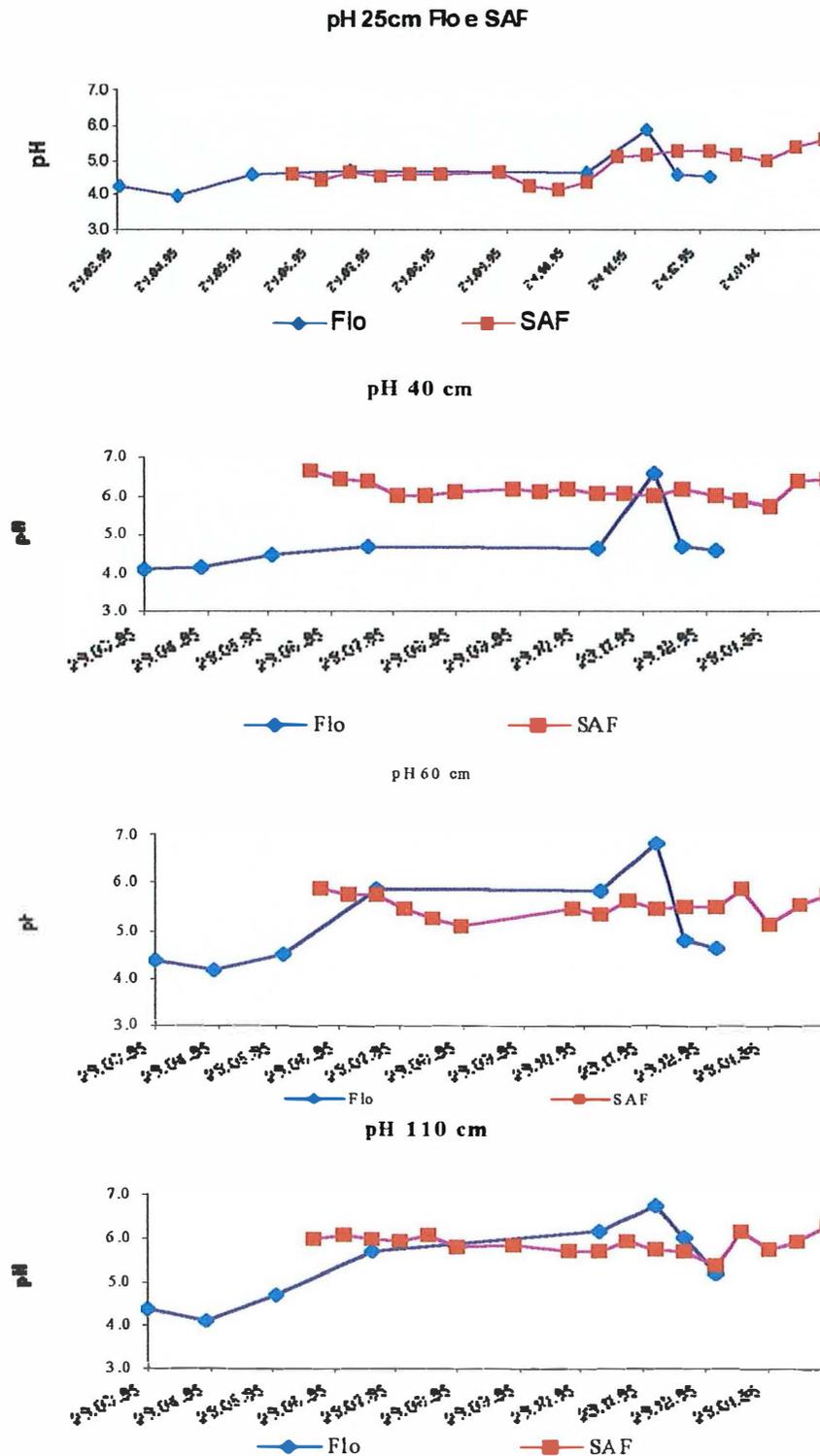
Anexo G – Variação da concentração de N-NO₃ no perfil do solo, no período estudado (01/95 a 02.96), na floresta e no sistema agroflorestal.



Anexo G – Variação da concentração de S-SO₄ no perfil do solo, no período estudado (01/95 a 02.96), na floresta e no sistema agroflorestal.



Anexo G – Variação da concentração de Si no perfil do solo, no período estudado (01/95 a 02.96), na floresta e no sistema agroflorestal.



Anexo G – Variação do pH no perfil do solo, no período estudado (01/95 a 02.96), na floresta e no sistema agroflorestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANURUGSA, B. Experimentelle untersuchungen und modellierungen bodenchemischer reaktionen in ferrallitischen böden unter bedingungen traditioneller feldumlagewirtschaft. Göttingen, 1998. 215p. Ph.D.(thesis) - University of Göttingen.
- ARAÚJO, A.P.; ALMEIDA; D.L de. Adubação verde associada a fosfato de rocha na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.2, p.245-251, 1993.
- BIGARELLA, J.J.; FERREIRA, A.M.M. Amazonian geology and the pleistocene and the cenozoic environments and paleoclimates. In: PRANCE, G.T; LOVEJOY, T.E. (Ed.). **Key environments: amazonian**. Oxford: Pergamon Press, 1985. p.49-71.
- BROUWER, L.C. Nutrient cycling in pristine and logged tropical rain forests, a study in guyana. **Tropenbos**, Guyana Series, v.1, p.23-35, 1996.
- BRUIJNZEEL, L.A. Soil chemical and hydrochemical responses to tropical forest disturbance and conversion: a hydrologists perspective. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILS OF TROPICAL FOREST ECOSYSTEMS. CONFERENCE OF FOREST SOILS, 3., 1995. **Proceedings: ISSS; AISS**, 1995. v.3, p.5-47.
- BRUIJNZEEL, L.A. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. **UNESCO**, Neitherland IHP Committe; ETC; IAHS; VUA, 1990. p.39-66.

CHAPIN, F.S. **Effects of multiple environmental stresses on nutrient availability and use.** San Diego: **Academic Press**, 1991. 218p.

CHAVES, C.D.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. Especificação química da solução do solo para interpretação da absorção de cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.447-453. 1991.

COLE, D.W. Soil nutrient supply in natural and managed forests.. **Plant and Soil**, v.168, n.169, p.43-53, 1995.

CROCKFORD, R.H.; RICHARDSON, D.P. Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia. **Hydrological Processes**, v.4, p.145-155, 1990.

CROCKFORD, R.H.; JOHNSON, M.E. Some errors in the measurement of precipitation, throughfall and stemflow and the implications for estimation of interception. In: **HYDROLOGY AND WATER RESOURCES SYMPOSIUM**, 1983. **Proceedings**: IC-Hobart, 1983. p.130-145.

DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes em matas ciliares. **Silvicultura em São Paulo**, v.16, n.único, p.88-98, 1982.

DENICH, M. Untersuchungen zur Bedeutung junger Sekundärvegetation für die Nutzungssystemproduktivität im östlichen Amazonasgebiet, Brasilien. Göttinger, 1989. 265p. Thesis (Ph.D.) – Universität zu Göttingen.

DENPASA – DENDÊ DO PARÁ S/ A. **Climatologia**: ano 1968/1995. Belém, 1995.

DEZZEO, N.; FÖLSTER, H. Los suelos. **Scientia Guianae**, v.4, p.45-78, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Boletim Agrometeorológico (1974 a 1988)**. Belém: EMBRAPA, CPATU, 1988. 112p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Keys to soil taxonomy**. 5.ed. Pocahontas Press, 1994.

FÖLSTER, H.; KHANNA, P.K. Dynamics of nutriente supply in plantation soils. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.) **Management of soil, water and nutrients in tropical plantation forests**. Camberra: ACIAR, 1997. p.339-378.

FÖLSTER, H. Forest-savanna dynamics and desertification processes in the Gran Sabana. **Interciencia**, v.11, p.311-316. 1986.

FRANCO, A.A.; SOUTO, S.M. Contribuição da fixação biológica de N₂ na Adubação verde. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Adubação verde no Brasil**. Campinas, 1984. p.199-215.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.D.G. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazônica**, v.12, n.3, p.15-22, 1992.

GOEDERT, W.J. Management of acid tropical soils in the savannas of South America. In: IBSRAM, INAUGURAL WORKSHOP. MANAGEMENT OF ACID TROPICAL SOILS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, Bangkok, 1987. **Proceedings**. Bangkok: IBSRAM, p.109-127. 1987.

GOLLEY, F.B. Chemical plant-soil relationship in tropical forest. **Journal of Tropical Ecology**, v.2, p.219-229. 1986.

GOLLEY, F.B. **Ciclagem de nutrientes em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: EPU, EDUSP, 1978. 256p.

GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L. M. O sistema radicular das árvores. In. GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.220-267.

GRABERT, H. **Der Amazonas: geschichte und probleme eines stromgebietes zwischen Pazifik und Atlantik**. Berlin: Springer Verlag, 1991. 235p.

GROSSMANN, J. Physikalische und chemische Prozesse bei der Probenahme von Sickerwasser mittels Saugsonden. München, 1988. 137p. Dissertation (M.Sc) - Universität München.

GROSSMANN, J.; UDLUFT, P. The extraction of soil water by the suction-cup method: a review. **Journal of Soil Science**, v.42, p.83-93. 1991.

GROSSMANN, J., MERKEL, B., UDLUFT, P. Carbonate equilibrium in soil water samples. **Zeitschrift für Wasser-und Abwasser-Forschung**, v.21, p.177-181, 1988.

HANSEN, E.A., HARRIS, A.R. Validity of soil-water collected with porous ceramic cups. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.39, p.528-536, 1975.

HOBBIE, S.E. Effects of plant species on nutrient cycling. **Tree Physiology**, v.7, p.336 - 339, 1992.

HÖLSCHER, D. Wasser- und stoffhaushalt eines agrarökosystems mit waldbrache im östlichen Amazonasgebiet. **Göttinger Beiträge zur Land - und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen**, v.106, p.1-133, 1995.

HÖLSCHER, D., LUDWIG, B., MÖLLER, R.F., FÖLSTER, H. Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.66, p.153-163. 1997.

JOHNSON, D.W.; LINDBERG, S.E. **Atmospheric deposition and nutrient cycling in forest ecosystems**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 226p.

JORDAN, C.F. The nutrient balance of an Amazonian rain forest. **Ecology**, v.63, n.3, p.647-654, 1982.

JORDAN, C.F. A simple tension-tree lysimeter. **Soil Science**, v.105, p.81-86, 1968.

KATO, O.R. Fire-free Land Preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina Region, Eastern Amazon: crop performance and nitrogen dynamics. Göttingen: **Cuvillier Verlag Göttingen**, 1998. 132p.

KATO, M.S.A.; FREITAS, M.N.; DIAS, C.S. ; KATO, O.R. Caracterização dos sistemas de produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no município de Bragança, Pará. **Revista Brasileira Mandioca**, v.10, n.1/2, p.31-45, 1991.

KHANNA, P.K.; RAISON, R.J. Effect on fire intensity on solution chemistry of surface soil under a *Eucalyptus pauciflora* forest. **Australian Journal of Soil Research**, v.24, p.423-434, 1986.

KLINGE, R., SCHMIDT, J., FÖLSTER, H. Simulation of water drainage of a rain forest and forest conversion plots using a soil water model. **Journal of Hydrology**, 2001. /No prelo/.

KLINGE, R. Wasser-und Nährstoffdynamik im Boden und Bestand beim Aufbau einer Holzplantage im östlichen Amazonasgebiet, Brasilien. Göttingen: 1998. 261p Thesis (Ph.D.) – Universität zu Göttingen.

KLINGE et al. Studies on the ecology of Amazon caatinga forest in southern. Venezuela. **Acta Cientifica Venezuela**, v.28, p.270-276, 1977.

KÖNIG, N.; FORTMANN, H. Probenvorbereitungs, Untersuchungs und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabors II des Forschungszentrums Waldökosysteme. Teil 1: **Elementbestimmungsmethoden A-M**. Göttingen: Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe, 1996a. 26p.

KÖNIG, N.; FORTMANN, H. Probenvorbereitungs, Untersuchungs und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabors II des Forschungszentrums Waldökosysteme. Teil 2: **Elementbestimmungsmethoden N-Z und Sammelanhänge**. Göttingen: Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe, 1996b. 26p.

LEVY, G.J., VAN DER WATT, H.V.H., SHAINBERG, I., DU PLESSIS, H.M. Potassium-calcium and sodium-calcium exchange on kaolinite and kaolinitic soils. **Soil Science Society America Journal**, v.52, p.1259-1264, 1988.

LIKENS, G.E.; BORMANN, H. **Biogeochemistry of a forested ecosystem**. New York: Springer -Verlag, 1995. 316p.

LLOYD, C.R.; MARQUES, F.A.D. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian Rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.42, p.63-73, 1988.

- LUDWIG B., MEIWES, K.J., KHANNA, P., GEHLEN, R., FORTMANN, H., HILDEBRAND, E.E. Comparison of different laboratory methods with lysimetry for soil solution composition- experimental and model results. **Journal Plant Nutrition and Soil Science**, v.162, p.1-9, 1999.
- LUDWIG, B. Bodenchemische Gleichgewichtsmodelle für Batchversuche mit Berücksichtigung metallorganischer Komplexe. Göttingen, 1993. 122p. Dissertation (M.Sc) - Universität zu Göttingen.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações** 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARTINS, A.R.A. Ciclagem hidrológico-química: precipitação incidente, precipitação sob dossel e solução do solo, em área de floresta, em Benevides/PA. Belém, 1997. 76p. Dissertação (MSc.) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará.
- MEIWES, K.J., N. KÖNIG, P.K.KHANNA, J.PRENZEL, B. ULRICH. Chemische Untersuchungsmethoden für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Göttingen: Berichte des Forschungszentrum Waldökosysteme/Waldsterben, 1994. 67p.
- MIRANDA, J. **Caracterização da solução do solo e das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo sob diferentes coberturas vegetais**. Viçosa, 1993. 65p. Dissertação (MSc) – Universidade Federal de Viçosa.
- MONTAGNINI, F., BUSCHBACHER, R.J. Nitrification rates in two undisturbed tropical rain forests and slash-and-burn sites of the Venezuelan Amazon. **Biotropica**, v.21, p.9-14, 1989.

- MORAES, J.F.L.; CERRI, C.C.; MELILLO, J.M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; SKOLE D.L.; STEUDLER, P.A. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, n.1, p.244-247. 1995.
- NEVES; A.A.S.; BARBOSA, R.C.M. **Levantamento detalhado dos solos do campo de introdução de theobroma na Amazônia**. Ilhéus:CEPLAC, Centro de Pesquisas do Cacau, 1983. 30p. (CEPLAC. CEPEC. Boletim Técnico, 109).
- NILSSON, L.O. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems - present status and future research directions. **Plant and Soil**, v.168/169, p.5-13, 1995.
- ODUM, E. P. **The fundamentals of ecology**. Pennsylvania:W.B. Saunders, 1971. 574p.
- ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science**, v.144, p.262-270, 1969.
- PALM, C.A.; SWIFT, M.J.; WOOMER, P.L. Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.58, p.61-74. 1996.
- PARKER, G.G. **The effect of disturbance on water and solute budgets of hillslope tropical rainforest in north-eastern Costa Rica**. Athens, 1985. 161p. Thesis (Ph.D.) - University of Georgia.
- POGGIANI, F. Alterações dos ciclos biogeoquímicos em florestas. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 2., São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v.4, p.734-739, 1992.
- PRENZEL, J. **WAKO**: a program for the calculation of complexation equilibria in aqueous solutions. Introduction and Example, **Reports Forest Ecosystem Research Center, Göttingen University**, v. 16. p.1-15, 1990.

- RICHTER, D.D.; BARBAR, L.I. Soil diversity in the Tropics. **Advances in Ecological Research**, v.21, p:315-389, 1991.
- SARTORATO, A.; ZIMMERMANN, M.J.O. Mela (*Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk) nas culturas do feijoeiro comum e do caupi no trópico úmido brasileiro. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO 1. Belém, 1984. Anais. **Documentos EMBRAPA,CPATU**, n.36, p.195-207, 1986.
- SCHUMACHER, M.V. Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. torelliana*. Piracicaba, 1992. 104p. Dissertação (MSc) – ESALQ/USP.
- SIOLI, H. **Amazonien**: Grundlagen der Ökologie des größten tropischen Waldlandes. Stuttgart: Paperback der Zeitschrift Naturwissenschaftliche Rundschau, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, 1983. 64p.
- SOLLINS, P.; Factors affecting nutrient cycling in tropical soils. **Anonymous Blackwell Scientific Publications**. Oxford, 1996. v.1-459, p.85-95.
- SOMMER, R. **Water and nutrient balance in deep soils under shifting cultivation with or without burning in the Eastern Amazon.**, Göttingen: Cuvillier Verlag, 2000. 225p.
- S-PLUS – for Windows, v.3.3, MathSoft, Inc, Seattle, Washington. 1996.
- STARK, N.; SPRATT, M. Root biomass and nutrient storage in rain forest oxisols near San Carlos de Rio Negro. **Tropical Ecology**, v.18, p.1-9, 1977.
- STARK, N.; JORDAN, C.I. Nutrient retention in the root mat of an Amazonian Rain Forest. **Forest Ecology**, v.59, p.404-432, 1978.

- STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; BOWDEN, R.D.; CASTRO, M.S. The effects of natural and human disturbances on soil nitrogen dynamics and trace gas fluxes in Puerto Rican wet forest. **Biotropica**, v.23, p.356-363, 1991.
- THIEL, H.C. Zeitliche und räumliche variabilität der bodenlösung aus drei Walsökosystemen im Südosten von Venezuela. Göttingen, 1989. 89p. Thesis (M.Sc.) – Universität zu Göttingen.
- TIMSINA, J.; GARRITY, D.P; PANDEY, R.K. The interaction of cowpea maturity with degree of waterlogging in the post-rice environment. **Field Crops Research**, v.39, p.39-48, 1994.
- UBARANA, V.N. Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na Floresta Amazônica. São José dos Campos, 1994. 107p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- UDO, E.J. Thermodynamics of potassium-calcium and magnesium-calcium exchange reactions on a kaolinitic soil clay. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.556-560, 1978.
- UHL, C.; CLARK, K.; DEZZEO, N.; MAQUIRINO, P. Vegetation dynamics in Amazonian treefall gaps. **Ecology**, v.69, p.751-763, 1988.
- VAN BREEMEN, N. Nutrient cycling strategies. **Plant and Soil**, v.168/169, p.321-326, 1995.
- VAN BREEMEN, N.; MULDER, J.; DISCROLL, C.T. Acidification and alkalization of soils. **Plant and Soil**, v.75, p.283-308, 1983.

- VAN EIMERN, J.; HÄCKEL, H. **Wetter und klimakunde**. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1979. 269p.
- VENEKLAAS, E.J. Nutrient fluxes in bulk precipitation and throughfall in two montane tropical rain forest, Colombia. **Journal of Ecology**, v.7, p.974-992, 1990.
- VIEIRA, L.S. **Manual de ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1988. 464p.
- VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 416p.
- VITOUSEK, P.M.; SANFORD Jr, r.l. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.17, p.137-167, 1986.
- WATT, E.E.; KUENEMAN, E.A.; ARAÚJO, J.P.P. Achievements in breeding cowpeas in Latin America. In: SINGH, S.R.; RACHIE, K.O. (Ed.) **Cowpea research, production and utilization**. London: John Wiley, 1985. p.125-135.
- WESTON, C.J.; ATTIWILL, P.M. Effects of fire and harvesting on nitrogen transformations and ionic mobility in soils of Eucalyptus regnans forests of South-Eastern Australia. **Oecology**, v.83, p.20-26, 1990.
- WIESENMÜLLER, J. Einfluß landwirtschaftlicher flächenvorbereitung auf die dynamik des wurzelsystems und die oberirdische regeneration der sekundärvegetation Ostamazoniens, Para, Brasilien. Göttingen, 1999. 102p. Thesis (M.Sc.) - Universität zu Göttingen.
- WOLAVER, T.M.; LEITH, H. **US Precipitation chemistry-theory and quantitative models**. North Carolina: Research Triangle Park EPA, 1972. 75p.

WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES. In: DECKERS, J.A.; NACHTERGAELE, F.O.; SPAARGAREN, O.C.; (Ed). Acco, Leuven, ISSS; ISRIC; FAO, 1998.

ZABOWSKI, D. Role of mineral weathering in long-term productivity. Rotorua, NZ. **F.R.I. Bulletin**, n.159, p.35-72, 1990.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- ANDERSON, J.M.; SPENCER, T. Carbon, nutrient and water balance of tropical rain forest ecosystem subject to disturbance: management implication and research proposals. UNESCO, Paris, 1991. p.1-94. (**MAB Digest**, 7).
- BELLOTE, A.F.J.; SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P; OLIVEIRA, G.D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função da idade: 1 - macronutrientes. **IPEF**, n.20, p.1 – 23, 1980.
- BELLOTE, A.F.J.; SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P; OLIVEIRA, G.D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função da idade: 2 - micronutrientes. **IPEF**, n.20, p.27 – 45, 1980.
- BINKLEY, D.; RICHTER, D. Nutrient cycles and H⁺ budgets of forest ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v.16, p.1-51, 1987.
- BREDEMEIER, M. Experimental manipulation of the water and nutrient cycles in forest ecosystems (patch - scale roof experiments: EXMAN). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.73, p.307-320, 1995.
- BRINGMARK, L. Ion leaching through a podsol in a Scots Pine stand. **Ecology Bulletin**, v.32, p.341-361, 1980.

- FASSBENDER, H.W.; GRIMM, U. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. II. Producción y descomposición de residuos vegetales. **Turrialba**, v.31, p.101 – 108, 1981.
- FASSBENDER, H.W. **Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina**. San José: IICA, 1984. 398p.
- FINN, J.T. Flow analysis of models of the Hubbard Brook Ecosystem. **Ecology**, v.61, p.562-571, 1980.
- FÖLSTER, H. Stability of forest ecosystems in the humid tropics. **Interciencia**, v.19, n.6, p.291-296, 1994.
- FÖLSTER, H. Naturally instable ecosystems in the Humid Tropics. Samarinda (Indonesia): **Forestry and Forest Products**, GFG-Report, v.4, p.25-36, 1986.
- HELMISAARI, HELJÄ - SISKU. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. **Plant and Soil**, v.168/169, p.327-336, Jan./Feb. 1995.
- JORDAN, C.F.; UHL, C. Succession and nutrient dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. **Ecology**, v.65, p.1476 – 1490, 1984.
- MACKENSEN, J.; HÖLSCHER, D.; KLINGE, R.; FÖLSTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in Eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.86, p.121-128, 1996.
- MACKENSEN, J.; TILLERY-STEVENSON, M.; KLINGE, R.; FÖLSTER, H. Site parameters, species composition, phytomass structure and element stores of a Terra-firme forest in East-Amazonia, Brazil. **Plant Ecology**, 2000. (No prelo).

- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Livroceres, 1976. 528p.
- MYHR, K.; OSKARSEN, H.; HARALDSEN, T. K. The kvithamar field lysimeter. I. Objectives, methods and results of soil analyses. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, v.10, n.2, p.1997-2100, 1996.
- POGGIANI, F. Ciclo de nutrientes e produtividade de floresta implantada. **Silvicultura**, v.1, n.3, p.45-48, 1970.
- POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z.; SIMÕES, J.W. Aspectos ecológicos dos “mini-rotações” e do aproveitamento dos resíduos florestais. **Circular Técnica IPEF**, n.74, p.1-7, 1979.
- PRIESS, J. A.; THEN, CH.; FÖLSTER, H. Litter and fine-root production in three types of tropical premontane rain forest in SE Venezuela. **Plant Ecology**, v.143, p.171-187, 1999.
- PRIESS, J. A.; FÖLSTER, H. Microbial properties and soil respiration in submontane forests of Venezuelan Guyana: characteristics and response to fertilizer treatments. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p.503-509, 2001.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, v.72, p.40-44, 1980.
- SANGOI, L.; KRUSE, N.D. Acúmulo e distribuição de matéria seca em diferentes frações da planta de mandioca no planalto catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.10, p.1151-1164, 1993.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.

SCHMIDT, J.P. Eine Einführung in die hydrologische Untersuchung von Waldökosystemen. **Forstarchiv**, v.64, p.158-163, 1993.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Número de publicações consultadas sobre o assunto de acordo com o ano de publicação.

