

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**Sustentabilidade de Sistemas de Produção de Gengibre
(*Zingiber officinale* R.) Consorciado com Leguminosas
no Bioma Mata Atlântica em Ubatuba**

Antônio Carlos Caetano Marchiori

2008



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GENGIBRE
(*Zingiber officinale* R.) CONSORCIADO COM LEGUMINOSAS
NO BIOMA MATA ATLÂNTICA EM UBATUBA**

ANTÔNIO CARLOS CAETANO MARCHIORI

Sob a Orientação da Professora

Eliane Maria Ribeiro da Silva

e Co-orientação dos Professores

Dejair Lopes de Almeida

Raul de Lucena Duarte Ribeiro

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciências em Agronomia,
Área de Concentração em Ciência do
Solo

Seropédica, RJ

Maio de 2008

664.369

M315s

T

Marchiori, Antônio Carlos Caetano, 1961-
Sustentabilidade de sistemas de produção de gengibre (*Zingiber officinale* R.) consorciado com leguminosas no bioma Mata Atlântica em Ubatuba / Antônio Carlos Caetano Marchiori – 2008.
150f.

Orientador: Eliane Maria Ribeiro da Silva.
Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.
Bibliografias: 115-150.

1. Gengibre - Cultivo – Ubatuba (SP) - Teses 2. Agrossilvicultura – Mata Atlântica – Ubatuba (SP) - Teses 3. Economia agrícola – Mata Atlântica – Ubatuba (SP) - Teses. I. Silva, Eliane Maria Ribeiro da. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO

ANTÔNIO CARLOS CAETANO MARCHIORI

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 20/05/2008

Eliane Maria Ribeiro da Silva. Dra., Embrapa Agrobiologia

Dejair Lopes de Almeida. Dr., Embrapa Agobiologia

Marcos Gervásio Pereira. Dr., UFRRJ

Leonardo Oliveira Médici. Dr., UFRRJ

Adriano Perin. Dr., CEFET Rio Verde

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Rogério e Maria José, por tudo que plantaram e colheram em suas vidas.

A título de intróito: Visão de Mundo...

“Reflexão racional sobre os dilemas da vida contemporânea a partir da observação e do estudo da manutenção de sua própria motocicleta”.

(Pirsig, Robert M. *Zen e a Arte da Manutenção de Motocicletas - uma investigação sobre valores*, 1984.)

"Todos usam suas facas para dividir o mundo em partes, construindo uma estrutura. Durante todo o tempo, estamos cientes dos milhões de coisas que nos rodeiam - essas formas em transformação, esses morros ardentes, o som do motor, a tensão do acelerador, cada pedra, cada planta e estaca e destroço à margem da estrada - percebemos essas coisas, mas não tomamos realmente consciência delas, a menos que vejamos algo que nos chame a atenção ou que elas nos revelem algo que estamos predispostos a ver. Não nos seria possível tomar consciência dessas coisas e lembrar de todas elas, porque nossa mente ficaria tão sobrecarregada de detalhes inúteis que não poderíamos nem pensar. A partir desta percepção, precisamos selecionar, e aquilo que selecionamos e denominamos consciência nunca coincide com a percepção, pois o processo de seleção a transforma.

Retiramos um punhado de areia da infundável paisagem da percepção que nos rodeia e achamos que esse bocado de areia é o mundo.

Depois que nos apoderamos desse punhado de areia, o mundo do qual tomamos consciência, começa a funcionar um certo processo de discriminação. **É a tal faca.** Dividimos a areia em várias partes. Isso, aquilo. Aqui, ali. Preto, branco. Antes, depois. **A discriminação é a divisão do universo consciente em diversas partes.**

O punhado de areia parece uniforme à primeira vista, mas quanto mais olhamos para ele, mais variado ele nos parece. Cada grão de areia é diferente do outro. Não há dois grãos iguais. Alguns se assemelham em dados aspectos, e assim podemos formar montinhos menores com base nessas semelhanças e diferenças. Os grãos de mesma tonalidade, um monte; mesmo tamanho, outro monte; mesma forma, outro monte, sendo graus de opacidade diferente amontoados em pilhas distintas. E daí por diante. **Parece que esse processo de subdivisão e classificação vai terminar a qualquer momento, mas não; ele continua e continua e continua, interminavelmente.**

A visão clássica preocupa-se com os montinhos, os critérios de sua seleção e a correlação entre eles. A visão romântica preocupa-se com o monte de areia como um todo, antes da seleção. Ambas as maneiras de ver o mundo são válidas, embora incompatíveis entre si (a maioria das vezes se mostram dessa forma).

Torna-se, no entanto, cada vez mais necessário descobrir uma maneira de encarar o mundo que não violente nenhuma das duas formas de conhecimento e que as funda numa só. Tal visão, não desprezaria a seleção dos grãos de areia, nem a contemplação da interminável planície de onde foi retirada a areia”.

Quando for possível, use os dois lados do papel !

Carpe diem!



AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e a minha família.

Aos meus orientadores, Dejair, Raul e Eliane, pelo apoio em todos os momentos.

Aos membros da banca examinadora, pela leitura cuidadosa do trabalho.

Aos funcionários e funcionárias da Embrapa Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia, e também a Adriana França e a Alecsandra de Almeida, pelo apoio significativo.

Aos professores e professoras da UFRRJ pela oportunidade, em especial a professora Lucia e ao professor Nelson, pela compreensão, e ao professor Gabriel, pela sapiência.

Aos professores e professoras da UNESP Jaboticabal pela minha formação, em especial a professora Maria Esmeralda – minha orientadora.

Aos professores e professoras da Esalq – USP, em especial ao Chitolina pela orientação e ao Armênio pela perspectiva de reconstrução dos sistemas de produção agropecuária.

Aos funcionários e funcionários da UNESP Jaboticabal, da Esalq – USP e da UFRRJ, pelo apoio, em especial a Nádia, a Silvia, a Kátia, a Luciene e ao Roberto.

Aos amigos Luciano Reis, Eduardo Drolhe, Lucila, Farid, Seiti, Benjamin e a dona Naídes, grandes camaradas.

Ao Dr. Jésus Marden, ao Cláudio, ao João, ao Arnaldo e, também ao INPE, pelo apoio nos aspectos agrometeorológicos.

Ao Dr. Caruso e a APTA pela ajuda nas determinações fisiológicas com o IRGA.

À Prefeitura Municipal de Ubatuba.

Ao Sindicato de Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Ubatuba.

Aos agricultores que participaram efetivamente deste trabalho, em especial o Luciano Niyama, a Dona Eliza, a Dona Annie e o Amarildo Pazelli.

Aos funcionários da CATI, em especial aos da CATI no Litoral Norte e ao Dr. João Bosco.

Ao Programama Estadual de Microbacias Hidrográficas, executado pela CATI e entidades parceiras, pela perspectiva de sustentabilidade para a agropecuária.

RESUMO

MARCHIORI, Antônio Carlos Caetano. **Sustentabilidade de Sistemas de produção de gengibre (*Zingiber officinale* R.) consorciado com leguminosas no bioma Mata Atlântica em Ubatuba.** 2008. 150 p. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

Este trabalho foi desenvolvido em Ubatuba, SP, com o objetivo de verificar os efeitos de consórcios no cultivo do gengibre, em três experimentos: Os experimentos 1 e 2 em um Gleissolo Háplico e o experimento 3 em um Cambissolo Háplico. O experimento 1 teve seis tratamentos: dois tipos de monocultivo (adubação convencional ou orgânica) e quatro tipos de consórcio (gandu, crotalária, gandu + crotalária e capim napier + gandu + crotalária + mamona). O experimento 2 teve 7 níveis de N (0, 100, 200, 400, 800, 1 600 e 2 400 kg ha⁻¹ de N). O delineamento foi de blocos ao acaso com seis repetições. No experimento 3 testou-se duas formas de cultivo: sombreado pelo consórcio com gandu e aléias de gliricídia (7 x 2 m) ou cultivado a pleno sol. Nas sub-parcelas utilizou-se cinco níveis de N (0, poda das aléias, 100, 400 e 800 kg.ha⁻¹ de N). O delineamento foi em parcelas subdivididas, com cinco repetições. No experimento 1 a produção de gengibre orgânico em monocultivo não diferiu das parcelas de cultivo consorciado com leguminosas e foi significativamente superior à produtividade do gengibre convencional. Com relação à fauna do solo, os índices de diversidade e equidade foram iguais para os vários sistemas de cultivo do experimento 1. No Experimento 2, o tratamento que recebeu apenas o aporte periódico das podas de gandu produziu 22 ton ha⁻¹ de rizoma, o que não diferiu dos tratamentos em que se aplicou torta de mamona. Com exceção da dose mais elevada de N, o uso da torta de mamona contribuiu para o incremento da fauna do solo. No experimento 3 foi verificado que os níveis de N avaliados não causaram diferenças nas populações de nematóides, enquanto que, o consórcio com gandu aumentou significativamente a proporção de fitonematóides e bacteriófagos. A radiação fotossinteticamente ativa alcançou o ponto de saturação com 750 μmol de fótons m² s⁻¹ para plantas cultivadas na sombra e 1 000 μmol de fótons m² s⁻¹ para plantas cultivadas no sol, ou seja, cerca de 50% do maior valor atingível. Porém, a baixa disponibilidade de radiação em Ubatuba sugere um sombreamento menos intenso. As áreas com gandu apresentaram maior resistência à penetração. As parcelas consorciadas proporcionaram uma infiltração acumulada cerca de duas vezes maior, contudo, esta diferença não foi estatisticamente significativa. Para as condições estudadas, o cultivo do gengibre com aléias de leguminosas tem potencial para, em médio prazo, aumentar os teores de matéria orgânica do solo sem reduzir a produção. O risco do incremento de fitonematóides em consórcios deverá sempre ser ponderado.

Palavras Chave: Agroecologia. Agrofloresta. Sombreamento.

ABSTRACT

MARCHIORI, Antônio Carlos Caetano **Sustainability of ginger's production systems (*Zingiber officinale* R.) in consortium with leguminous in the bioma of the Atlantic forest in Ubatuba.** 2008. 150 p. Thesis (Doctor Science Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

This study was developed in Ubatuba (SP), with the objective of verifying the effect of hedgerows in the culture of ginger, in three experiments: Experiments 1 and 2 in an Aquent and experiment 3 in an Inceptisol. Experiment 1 had six forms of ginger cultivation, separately organic or conventional, and with four types of consortium (*Cajanus*, *Crotalaria*, *Cajanus* + *Crotalaria* e *Cajanus* + *Crotalaria* + *Riccinus* + *Pennisetum*). Experiment 2 consisted of seven levels of N (0, 100, 200, 400, 800, 1 600 e 2 400 kg ha⁻¹ of N). The experimental delineation was of randomized blocks design with six repetitions. In the experiment 3 two forms of cultivation were tested: shading with *Cajanus* and hedgerows of *Gliricidia* (7 X 2 m) or cultivated in the full sun, in the parcels. In sub parcels used five levels of N (0, cut of hedgerows, 100, 400 e 800 kg ha⁻¹ de N). The delineation of experiment 3 was subdivided parcel, with five repetitions. In the experiment 1 the production of organic ginger in the full sun did not differ from the parcels of crop joined with leguminous and it was significantly superior to the productivity showed in the conventional system. The indices of diversity and equity of soil fauna did not show significant difference for any systems of experiment 1. In Experiment 2, the seven nitrogen levels did not result in corresponding increase of the rhizomes production. Exception for the higher level of N, where the use of the pie of castor beans contributed for the increment of soil fauna. In experiment 3 it could be verified that the evaluated levels of N did not cause significant differences in the nematode population, in contrast to the consortium with *Cajanus*, which increased significantly the ratio of fitonematode and bacterivore. The photosynthetically active radiation reached the point of saturation in 750 μmol of photons m⁻² s⁻¹ for ginger plants cultivated plants in the shade, and 1 000 μmol photons m⁻² s⁻¹ for plants cultivated in the sun, thus the point of saturation reached about 50% of the biggest attainable value. However, the low availability of radiation in Ubatuba region suggests a less intense shade condition. The areas with *Cajanus* presented greater soil resistance to penetration. The addition of the remaining portions *Cajanus* and *Gliricidia* pruning provided water accumulated infiltration values about two times higher. However, this difference was not statistically significant. For the studied conditions, alley cropping showed potential for, at a medium length of time, to increase soil organic matter levels without reducing ginger production. The risk of fitonematode increment in consortium has always to be considerate.

Key words: Agroecology. Agroforestry. Shade management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 Sustentabilidade e Sistemas de Produção.....	03
2.1.1 Desenvolvimento sustentável	03
2.1.2 O bioma Mata Atlântica	05
2.1.3 Dialética entre os sistemas de produção agrícola e leis ambientais	06
2.1.4 Sistemas de produção e a visão sistêmica.....	07
2.1.5 Sistemas de produção agrícola	09
2.1.6 O modelo predominante da “revolução verde”: a “agricultura convencional”.....	10
2.1.7 As bases do modelo de produção agroecológico	11
2.2 Sistemas de Produção Agrícola e o Manejo da Matéria Orgânica	12
2.2.1 Agricultura e florestas	12
2.2.2 Conversão de florestas em áreas de cultivo	14
2.2.3 Formas de cultivo e manejo matéria orgânica do solo	15
2.3 Sistemas de produção em monocultivo e em policultivos	17
2.3.1 Os processos de adoção de monocultivos	18
2.3.2 A viabilização dos policultivos	19
2.4. Sistemas Agroflorestais	21
2.4.1 Princípios agroflorestais	21
2.4.2 Biodiversidade e sistemas de produção agrícola	22
2.5 Indicadores	25
2.5.1 Indicadores e sustentabilidade	25
2.5.2 Utilização de indicadores	26
2.5.3 Indicadores e funções “pedotransfer”	27
2.6 Matéria Orgânica do Solo	27
2.6.1 Caracterização da matéria orgânica do solo	28
2.6.2 Complexidade da dinâmica da matéria orgânica e sistemas de manejo do solo.....	29
2.6.3 Matéria orgânica e outras propriedades do solo	30
2.7 A Biota do Solo como Indicador.....	30
2.7.1 Alguns componentes da biota do solo	32
2.7.2 Indicadores de biodiversidade	32
2.7.3 Macro e mesofauna do solo e manejo do solo	33
2.7.4 Grupos tróficos de nematóides e manejo do solo	33
2.8 Aproveitamento de Nutrientes e Sistemas de Produção Agrícola	34
2.8.1 Aproveitamento de nutrientes e manejo de sistemas de produção agrícola	34
2.8.2 Os sistemas de policultivos e o aproveitamento de nutrientes	35
2.8.3 Indicadores de aproveitamento de nutrientes e sistemas de produção	36
2.9 Dinâmica da Água e Sistemas de Produção Agrícola	37
2.9.1 Estrutura física do solo e manejo dos sistemas de produção agrícola.....	37
2.9.2 Indicadores para avaliação da dinâmica da água	38
2.10 Aproveitamento do Fluxo de Energia nos Sistemas de Produção Agrícola	38
2.10.1 Aproveitamento da radiação e manejo dos sistemas de produção	39
2.10.2 Indicadores do aproveitamento da radiação	40

2.11	O Cultivo do Gengibre (<i>Zingiber officinale</i> Roscoe - Zingiberaceae)	41
2.11.1	Origem, distribuição geográfica e importância	41
2.11.2	Classificação botânica, elementos morfológicos e fisiologia	42
2.12	Aspectos Agroecológicos do Cultivo de Gengibre	42
2.12.1	Biodiversidade e tratos culturais	42
2.12.2	Ciclagem de nutrientes e tratos culturais	46
2.12.3	Dinâmica de água e tratos culturais	46
2.12.4	Fluxo da radiação e tratos culturais	47
2.13	Biota do Solo e Sistemas de Produção de Gengibre	47
2.14	Aproveitamento de Nutrientes e Sistemas de Produção de Gengibre	49
2.15	Dinâmica da Água e Sistemas de Produção de Gengibre	49
2.16	Aproveitamento da Radiação e Sistemas de Produção de Gengibre	50
2.17	Sustentabilidade e Sistemas de Produção de Gengibre no Bioma Mata Atlântica	51
3.	MATERIAL E MÉTODOS	52
3.1	Caracterização do Clima da Região	52
3.2	Caracterização dos Locais Estudados	52
3.3.	Experimento 1 - Efeitos do Cultivo Consorciado com Leguminosas na Produtividade do Gengibre e na Macro e Mesofauna do Solo	55
3.3.1	Delineamento experimental e tratos culturais	55
3.3.2	Avaliações do Experimento 1	56
3.4.	Experimento.2 - Efeitos da Aplicação de Doses de Torta de Mamona na Produtividade do Gengibre Consorciado com Guandu e na Macro e Mesofauna do Solo	56
3.4.1	Delineamento experimental e tratos culturais.....	56
3.4.2	Avaliações do Experimento 2	57
3.5	Experimento 3 – Efeitos do Cultivo Consorciado com Leguminosas e da Adubação com Torta de Mamona na Produtividade do Gengibre, nos Grupos Tróficos de Nematóides e no Aproveitamento dos Recursos Físicos	57
3.5.1	Delineamento experimental e tratos culturais	57
3.5.2	Avaliações da produtividade.....	58
3.5.3	Avaliação de grupos tróficos de nematóides.....	58
3.5.4	Avaliação do aproveitamento dos recursos físicos	59
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1	Experimento 1 - Efeitos do Cultivo Consorciado com Leguminosas na Produtividade do Gengibre e na Macro e Mesofauna do Solo	60
4.1.1	Produtividade do gengibre	60
4.1.2	Macro e mesofauna do solo	61
4.2	Experimento 2 - Efeitos da Aplicação de Doses de Torta de Mamona na Produtividade do Gengibre Consorciado com Guandu e na Macro e Mesofauna do Solo	65
4.2.1	Produtividade gengibre consorciado com guandu	65
4.2.2	Macro e meso fauna do solo do gengibre consorciado com guandu	67
4.3	Experimento 3 – Efeitos do Cultivo Consorciado com Leguminosas e da Adubação com Torta de Mamona na Produtividade do Gengibre, nos Grupos Tróficos de Nematóides e no Aproveitamento dos Recursos Físicos	68
4.3.1	Produtividade do gengibre.....	68

4.3.2 Biodiversidade dos grupos tróficos de nematóides	71
4.3.3 Efeitos do cultivo consorciado com leguminosas e da adubação do gengibre com torta de mamona no aproveitamento dos recursos físicos	80
4.3.3.1 Aproveitamento dos nutrientes.....	81
4.3.3.2 Dinâmica da água	91
4.3.3.3 Aproveitamento da radiação.....	97
5 CONCLUSÕES.....	112
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

1 INTRODUÇÃO

Nas áreas de produção de gengibre em sistema de monocultivo a manutenção, ao longo do tempo, dos níveis favoráveis de produtividade e a conservação dos recursos naturais é profundamente dificultada. O cultivo intensivo do gengibre, visando à obtenção de rizomas de boa qualidade, com padrão de exportação, é feito por meio da utilização de doses elevadas de fertilizantes e da prática da amontoa. Este manejo acelera o processo de degradação da matéria orgânica do solo, reduz a produtividade, provoca o aumento da incidência de doenças, encarece os custos de produção e coloca os recursos hídricos sob risco de contaminação.

Os trabalhos de pesquisa já realizados com o gengibre demonstraram que a cultura, quando em condições ótimas de radiação fotossintética e umidade, respondeu a aplicações de nitrogênio da ordem de 800 kg de N ha⁻¹, resultando em uma produtividade superior a 90 Mg ha⁻¹ (LEE & ASHER, 1981). Entretanto, a produtividade nas áreas de cultivo comercial vem caindo, a despeito da utilização de doses elevadas de fertilizantes, oscilando entre 15 e 30 Mg ha⁻¹ de rizomas. O cultivo intensivo e o manejo não adequado da matéria orgânica do solo tem refletido na freqüente ocorrência de doenças que provocam perdas acima de 50% da produção esperada (DEVIDE et al., 2003; DUARTE, 1998; ISHIMURA et al., 1984; MAEDA, 1990; MENDES-FERRÃO, 1993; OKWUOWULU et al., 1990; SANTOS, 1992; SHARMA & BAJAJ, 1998; VALARINI et al., 2001).

A maior resposta observada quando os plantios são conduzidos em condições controladas aponta para a importância da matéria orgânica para a melhoria das condições físicas do solo. Por outro lado, o aumento da incidência de doenças nos rizomas decorrentes do cultivo intensivo faz atentar para a importância da matéria orgânica no equilíbrio da fauna do solo e conseqüente supressividade do solo (ABAWI e WIDMER, 2000; DUARTE 1998; KHANDKAR e NIGAM, 1996; MAEDA, 1990). Estes aspectos são relevantes para as condições edafoclimáticas do município de Ubatuba, litoral norte de São Paulo, onde a precipitação intensa e a temperatura elevada aceleram os processos biológicos e dificultam a manutenção de teores adequados de matéria orgânica de solos periodicamente submetidos ao cultivo. Em regiões de florestas tropicais úmidas uma boa parte do carbono disponível é armazenado na vegetação (FURCH & KLINGE, 1989; JUO & MANU, 1996).

O clima do litoral norte do Estado de São Paulo, caracterizado por elevada média pluviométrica anual, favorece o desenvolvimento do gengibre, mas o seu cultivo em áreas de baixada tem implicado na contumaz ocorrência de doenças nos rizomas. Em função da fisiologia da planta, que emite hastes para cima, faz-se necessária a prática da amontoa, o que implica em um cultivo intensivo, por duas a quatro vezes ao longo do ciclo. Sistemas de cultivo intensivo afetam a estrutura do solo, reduzindo a capacidade de deslocamento da água, aumentando o risco de encharcamento e potencializando condições propícias para a ocorrência de doenças de solo por desequilíbrios na fauna do solo.

No final do ciclo do gengibre a parte aérea seca e os nutrientes móveis migram para os rizomas (RODRÍGUEZ, 2005). Desta forma, além do cultivo intensivo característico do manejo desta cultura que favorece a redução dos teores de matéria orgânica do solo, o baixo volume de resíduos produzidos no final de ciclo não permite que haja um aporte de material orgânico para suprir o teor de carbono perdido e outros nutrientes que foram consumidos. Todavia, sendo uma planta originária do sub-bosque das florestas asiáticas, o gengibre é uma planta tolerante à sombra, o que torna a cultura passível de ser consorciada com outras

espécies visando um melhor aproveitamento da radiação solar disponível em condições tropicais e possibilitando o aporte de material orgânico ao sistema de produção.

O consórcio do gengibre pode constituir-se uma alternativa para minimizar a degradação dos solos cultivados, uma vez que em decorrência do longo ciclo da cultura (sete a dez meses), da especulação imobiliária, das severas restrições impostas pela legislação ambiental no bioma Mata Atlântica e da estrutura fundiária caracterizada pelo cultivo em pequenas áreas, o sistema de rotação de culturas torna-se limitado.

Desta forma, a hipótese de que o uso de leguminosas em consórcio com o gengibre possa beneficiar os sistemas de produção intensiva praticados no município, é ancorada no fato de que resultados positivos são alcançados por sistemas de produção conservativos da matéria orgânica do solo que utilizam plantas leguminosas (DIEKOW et al. 2005).

Pelo exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção de gengibre, em cultivo solteiro ou em consórcio com leguminosas, com diferentes doses de nitrogênio na forma de torta de mamona. Para examinar a sustentabilidade destes sistemas de produção, além da produtividade da cultura do gengibre, foram analisados outros atributos relacionados à sustentabilidade do sistema de produção, por meio da avaliação da biodiversidade da fauna do solo e do aproveitamento dos recursos físicos disponíveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sustentabilidade e Sistemas de Produção

2.1.1 Desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável como um conceito tornou-se popular pela comissão Brundtland, criada como consequência da 38ª sessão das Nações Unidas em 1983. Esta comissão definiu o termo “desenvolvimento sustentável” como aquele em que as necessidades do presente são satisfeitas sem comprometer as das gerações futuras (OKE, 1998).

Em outras palavras, desenvolvimento sustentável é uma melhoria qualitativa que não implica em um aumento quantitativo maior do que o aceitável pela capacidade de suporte, ou seja, a capacidade do ambiente de regenerar as entradas de matéria-prima e absorver as saídas residuais. Mas qual é grandeza do subsistema humano em relação ao ecossistema total? Provavelmente, tomado isoladamente, o melhor índice para explicitar o tamanho relativo desse subsistema é a porcentagem da produção primária líquida derivada da fotossíntese que é apropriada pelos seres humanos. Essa porcentagem é da ordem de 25% para o ecossistema global e de 40% para os ecossistemas terrestres. Esses números refletem tanto a apropriação direta, como no caso de alimentos, combustíveis, fibras e madeiras, quanto à indireta, que se dá pela redução da capacidade de um ecossistema de realizar fotossíntese, em função de intervenções humanas. Estes números são contrastantes com a visão proposta pelo relatório Brundtland, de acordo com o qual o desenvolvimento sustentável necessitaria do crescimento da economia mundial da ordem de cinco a dez vezes. Este contraste aponta que, diferentemente do que ocorreu no passado, os recursos naturais são o fator limitante para o desenvolvimento sustentável e não a produtividade do capital. Os recursos são aquilo que está sofrendo transformação (causa material) e o capital é o agente de transformação (causa eficiente): a pesca está limitada pelo tamanho das populações de peixes e não pela capacidade dos barcos pesqueiros (DALY, 1991).

As preocupações ambientais tiveram início com Tomas Robert Malthus (1766-1834), alertando para a escassez dos recursos naturais. Após os economistas clássicos, surge o filósofo John Stuart Mill (1806-1873), concordando que o crescimento da população e da riqueza não poderia continuar perpetuamente e que um estado de equilíbrio precisaria ser alcançado entre desenvolvimento econômico, aspectos sociais e saúde ambiental. Os economistas neoclássicos, seguidores de Alfred Marshall (1842-1924), preconizavam que o método mais eficiente de reduzir a poluição é negociar níveis aceitáveis e, por meio de modelos quantitativos, incluir os custos ambientais em planilhas econômicas (BARBER, 1971; STEIGUER, 1995). Estas teorias econômicas do passado deram origem ao conceito que se tem atualmente de desenvolvimento sustentável.

Segundo Veiga (2005) o uso inocente do adjetivo “sustentável” no debate científico internacional passou a ser pautado na panglossiana hipótese de que o crescimento econômico só causa prejuízos ambientais até um determinado patamar de riqueza, aferida pela renda per capita. A partir de certos limites (em torno de oito mil dólares de renda per capita), a tendência seria inversa, fazendo com que o crescimento passasse a melhorar a qualidade ambiental por meio de investimentos para a redução dos danos causados, formando uma curva em “U” invertido. Raciocínio idêntico àquela velha parábola sobre a necessidade de primeiro fazer o bolo crescer para depois distribuí-lo melhor, muito utilizada durante o período da ditadura militar no Brasil.

Para Veiga (2005), estatísticas sobre grande número de países revelam que nos últimos cinquenta anos as relações entre crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) e desigualdade foram das mais heterogêneas, só não ocorrendo o modelo do “U” invertido. Este autor acredita que com a construção de indicadores ecológicos confiáveis, constatar-se-á que são tão diversos os estilos de crescimento e as circunstâncias em que eles ocorrem que a idéia de uma relação linear entre qualidade ambiental e renda per capita deverá ser rejeitada.

Entre os problemas do modelo do “U” invertido tem-se: 1) aborda a emissão de poluentes, mas não o estoque de recursos; 2) é válido apenas para alguns poluentes; 3) não atribui responsabilidades – quem paga a conta dos custos ambientais das atividades econômicas? Além destes problemas, o modelo do “U” – invertido sugere que as atividades econômicas propiciem o acúmulo de capital, o que não é necessariamente verdadeiro para enfoques regionais. Neste contexto, Figueiredo (1994) aborda a migração das atividades econômicas de maior custo energético e ambiental dos países ricos para os países pobres.

O crescimento econômico deve considerar a capacidade de suporte do ambiente e também o poder de resiliência dos ecossistemas, ou seja, a magnitude de distúrbios que o sistema pode absorver e a sua habilidade em desenvolver estratégias eficientes de recuperação. Estes parâmetros mudam conforme a preferência tecnológica; estrutura de produção e consumo e, interações de fatores físicos e bióticos. A capacidade de suporte das atividades humanas é inerentemente imprevisível, dependendo da evolução biológica e das inovações humanas (ARROW et al, 1995; FUENTES-QUEZADA, 1996; HARTE, 1996; ORIAN, 1995).

Segundo Daly (1991), os benefícios do crescimento econômico são freqüentemente separados dos custos pela distância, pelo tempo, ou pela divisão de classes, de forma que aqueles que tomam as decisões freqüentemente não experimentam ou nem mesmo testemunham os custos ocasionados por suas decisões. Geralmente, os custos futuros são descontados e os distantes ocorrem em ecossistemas outros que não aqueles nos quais vivem os que tomam decisões. Estes podem, assim, ser facilmente ignorados. Os custos que atingem as classes baixas são sempre desconsiderados, encarados como parte inevitável da situação de pobreza.

Um dos principais retratos das formas atuais de produção e ocupação humana dos ecossistemas terrestres é o aumento da emissão de carbono e nitrogênio para a atmosfera nas últimas décadas, por meio da queima de combustíveis fósseis, queima da vegetação e uso de fertilizantes nitrogenados (SCHIMMEL, 1995).

No hemisfério sul a principal fonte de carbono para a atmosfera é a queima das florestas tropicais e no hemisfério norte a principal fonte é o consumo de combustíveis fósseis. As emissões de carbono provocada pelos combustíveis fósseis é cerca de 3,5 vezes maior que a da queima das florestas tropicais. Segundo Siegenthaler & Sarmiento (1993), o valor das emissões de combustíveis fósseis é da ordem de $5,5 \text{ Pg C ano}^{-1}$, enquanto que o valor das emissões da queima das florestas tropicais é da ordem de $1,6 \text{ Pg C ano}^{-1}$.

As florestas contêm 90% de todo o carbono na matéria orgânica viva do sistema terrestre, e as florestas tropicais têm a maior quantidade de carbono estocado na biomassa. Os principais estoques estão localizados nos seguintes países: Brasil (110 Pg C); Zaire (28 Pg C); Indonésia (23 Pg C); Peru (17 Pg C) e Colômbia (10 Pg C) (HOUGHTON, 1995).

Considerando que a redução do consumo de combustíveis fósseis não é desejada pelos países do hemisfério norte, notadamente pelos Estados Unidos da América, aumenta-se a pressão internacional para o controle e fiscalização das florestas tropicais.

2.1.2 O bioma Mata Atlântica

Para Dean (1996) a exploração predatória da Mata Atlântica Brasileira não se limitou ao pau-brasil, mas também dizimou outras madeiras de alto valor como sucupira, canela, canjarana, jacarandá, araribá, pequi, jenipaparana, peroba e urucurana. Em relatórios da época da virada do século XIX, em Iguape, cidade do litoral sul do estado de São Paulo, não havia mais destas árvores num raio de sessenta quilômetros de seu entorno. Este autor extrapola esta informação e sugere que o mesmo se repetiu em praticamente toda a faixa de florestas costeiras do Brasil.

Segundo Joly e Bicudo (1999), o Estado de São Paulo possuía cerca de 80% de seu território originalmente ocupado por formações florestais, estimando-se existirem atualmente cerca de 9.000 espécies de fanerógamas, 16% do total existente no País e cerca de 3,6 % do que se estima existir em todo o mundo.

O bioma Mata Atlântica, segundo Myers (2000), é uma das 25 áreas espalhadas pelo mundo (“hot spots”) que com apenas 1,4% da superfície da Terra concentram 44% de todas as espécies de plantas vasculares. Estas áreas são consideradas como prioritariamente estratégicas para a preservação da biodiversidade e prevenir o risco de extinção de espécies.

A conservação da biodiversidade não é somente uma premissa ética, mas uma necessidade econômica. Se até recentemente a conceituação científica da Mata Atlântica era exclusivamente um assunto de interesse acadêmico, a partir da promulgação da Constituição Federal de 1988, ela se tornou uma questão legal. Baseados em critérios botânicos e fitofisionômicos, cruzados com considerações de natureza geológica, geográfica e relativas às questões de conservação ambiental, chegou-se a uma definição ampla que englobava a floresta litorânea, as matas de araucária, as florestas decíduais e semidecíduais interioranas e ecossistemas associados como restingas, manguezais, florestas costeiras, campos de altitude e encaves de campos, brejos de altitude e cerrados. Esta definição foi posteriormente aprimorada e submetida ao Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama, que a aprovou em 1992, estabelecendo o conceito de Domínio da Mata Atlântica, com uma formação praticamente contínua nas regiões sul, sudeste e parcialmente nordeste e centro-oeste. Este conceito foi posteriormente incorporado à legislação ambiental brasileira com a edição do Decreto Federal nº. 750, de fevereiro de 1993, sugerindo uma área de Mata Atlântica equivalente a cerca de 15 % do território brasileiro (PINTO et al., 1996).

Para efeitos da legislação mais recente (BRASIL, 2006), consideram-se integrantes do bioma Mata Atlântica as seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste.

Branstomm (2000) critica o tratamento do tema “bioma Mata Atlântica” com tentativas incertas, visões superficiais e sem estabelecer delimitações mais claras nos diferentes tipos de vegetação nativa do sudeste brasileiro, como é o caso do livro do norte-americano Warren Dean: “A ferro e fogo: a história da devastação da Mata Atlântica Brasileira” (DEAN, 1996). Para Branstomm (2000), tratar de forma generalista um tema tão complexo como o bioma Mata Atlântica acaba por comover e induzir a opinião pública, consolidando visões errôneas como “senso comum”.

Cincotta et al. (2000) pondera que os 25 pontos eleitos por Myers (2000) como centros de biodiversidade são também áreas de tensão no que diz respeito ao crescimento da população humana, estimando que quase 20% de população mundial vivem nestas áreas. A taxa de crescimento de população nas áreas de tensão (1,8% ao ano) é substancialmente mais alta que a taxa de crescimento da população do mundo como um todo (1,3% ao ano). Segundo a avaliação destes autores, a densidade média de população nestas áreas era de

73 pessoas por km², em comparação com uma média mundial de 42 pessoas por km². Os resultados destas análises sugerem que, qualquer estratégia de conservação de espécies, deve levar a dinâmica da população humana em conta.

2.1.3 Dialética entre os sistemas de produção agrícola e leis ambientais

Os efeitos das alterações ambientais provocadas por atividades humanas no Brasil têm efeitos complexos, pois há um significado filosófico, espiritual, cultural, científico e econômico para o conceito de extinção e destruição da “Biodiversidade” (HOLLOWAY, 1993).

O Brasil pode ser considerado como o país da “megabiodiversidade” e o epicentro de esforços para diminuir o desflorestamento. Todavia, projetos no Brasil que generalizam os efeitos da população sobre os recursos naturais trazem em seu bojo metodologias controversas, pois o país é vasto e composto de uma diversidade de problemas econômicos, sociais e políticos. Esta complexidade impede uma abordagem uniforme para as questões de políticas públicas e para o uso dos recursos naturais. Assim sendo, é prudente que se avalie e busque soluções mais particularizadas, mais regionalizadas, enfim que estejam em sintonia com o ritmo e as particularidades de cada micro região e seu contingente populacional (HOLLOWAY, 1993).

Para harmonizar as situações de conflito é necessário que as expectativas sociais dos moradores sejam equilibradas com a importância da manutenção dos Recursos Naturais Regionais, buscando-se assim o comprometimento das comunidades com seu patrimônio Natural, na busca coletiva de melhores estratégias de conservação e estabilidade social. Para proteger a biodiversidade é preciso reconhecer a sua complexidade.

A nova legislação prevê que “artigo 7º. A proteção e a utilização do Bioma Mata Atlântica far-se-ão dentro de condições que assegurem... IV - o disciplinamento da ocupação rural e urbana, de forma a harmonizar o crescimento econômico com a manutenção do equilíbrio ecológico” (BRASIL, 2006).

A biodiversidade não é um conceito abstrato, nem puramente físico-biológico, mas sim, também humano, pois que tem uma localização geográfica e formas de apropriação com feições específicas, o que lhe confere uma dimensão material, concreta e, portanto, a insere necessariamente no contexto das relações sociais. Implica também em reconhecer que o ser humano não pode ser visto apenas como elemento de pressão antrópica, mas sim, também como elemento criativo, capaz de estabelecer novos modos de se relacionar entre si e com a natureza (BECKER, 2001).

A biodiversidade deve ser o foco da dimensão política do desenvolvimento sustentável, conceito normalmente utilizado de forma imprecisa, mas que já vem orientando a retomada em novas bases do planejamento, hoje fundamentado na valorização das diferenças visando à competitividade sistêmica. A biodiversidade e sua proteção exigem, portanto, o avanço do conhecimento científico sobre os processos biológicos, até hoje insuficiente para avaliá-la, bem como sobre os diferentes projetos para sua apropriação, uso e proteção, seus conflitos e sua compatibilização em termos das relações sociedade-natureza e sócio-políticas. Este conhecimento é que alimentará a definição de um novo padrão de desenvolvimento sustentável (BECKER, 2001). A pesquisa em biodiversidade apresenta finalidade social, independentemente das ferramentas disciplinares utilizadas (GARAY & DIAS, 2001).

Os modelos biológicos têm dificuldades em incluir o homem, assim como a teoria dos ecossistemas que, por exemplo, é incapaz de integrar o homem em suas pesquisas. Ela privilegia o estudo dos ecossistemas menos tocados pelo homem, ainda que sua quase totalidade já tenha sofrido a intervenção humana. Compreende-se assim que os ecólogos tenham preferido deixar o homem de fora dos ecossistemas, pois sua inclusão introduz variáveis sócio-culturais de análise complexa. Entende-se também que, tendo excluído o ser

humano de seu objeto de estudo, toda a transformação causada pelas suas atividades parece ação externa e com impacto sempre prejudicial à natureza. Como não leva em conta a ação humana na análise dos ecossistemas este tipo de concepção sistêmica contribuiu para dar ao discurso de alguns preservacionistas uma conotação antropofóbica, de aversão às sociedades humanas (DIEGUES, 2000).

Para alcançar sustentabilidade é preciso que haja otimização dos recursos, com o uso de soluções não genéricas onde há diversidades locais significativas. A preocupação com a biodiversidade no sentido restrito de plantas e animais não deve implicar no descaso para outras diversidades: o igual pode não ser justo; e o injusto não é sustentável (RESENDE, 1997).

A insuficiência de soluções técnicas não é de ordem puramente tecnológica. As dificuldades para solucionar os conflitos para o uso da terra no bioma Mata Atlântica relacionam-se com a complexidade dos processos, envolvendo as diferenças dos ritmos da natureza e dos processos sociais, dificultando a escolha da escala mais adequada para a decisão da ação e compatibilização entre as diferentes escalas (BECKER, 2001). É difícil lidar com a contradição de um mundo real, influenciado por uma forma global de pensar, que pressiona para que no contexto municipal as formas locais e diversificadas de agir e pensar sejam subordinadas a interesses externos.

Para superar a visão estática da natureza (o mito da "natureza intocada") embutida na legislação ambiental atual e promover o desenvolvimento local sustentável, a popularização de conceitos como elasticidade e capacidade de suporte entre os tomadores de decisão é fundamental.

O conceito de elasticidade (resiliência) implica na intensidade em que um determinado distúrbio pode ser absorvido, ou seja, a capacidade de um sistema em responder a choques externos, recompondo-se e reestruturando-se, questionando a interpretação estática da noção de sustentabilidade. Este conceito evoluiu para o uso de indicadores que permitam a percepção de ecossistemas com equilíbrios múltiplos e dinâmicos. A capacidade de suporte fundamenta-se na noção de elasticidade para introduzir as relações sociedade-natureza e pode ser definida como o tamanho máximo populacional de uma espécie que uma área pode suportar, sem reduzir a sua habilidade de sustentar a mesma espécie no futuro. A capacidade de suporte depende do arsenal técnico que uma determinada comunidade é capaz de implementar em função de suas representações sobre qualidade de vida. Restrições de uso que não levam em conta os interesses reais e a forma com que as comunidades locais se relacionam com a natureza se tornam inadequadas (ZANONI et al., 2000). O distanciamento da realidade por meio de uma legislação extremamente restritiva acaba induzindo a ocupação irregular do solo.

As características da Mata Atlântica podem variar em pequenas distâncias e suas especificidades, inclusive as topográficas, podem originar padrões intrincados de disponibilidade de recursos, como radiação solar direta, água e nutrientes, o que influencia a vegetação, a sustentabilidade agrícola e a biodiversidade. Em abordagens mais amplas freqüentemente, costuma-se perder o essencial na tentativa de síntese (RESENDE et al., 2002).

Em outras palavras, as áreas cultivadas do bioma Mata Atlântica podem ter diferentes capacidades de recuperação, com menor ou maior poder de resiliência. Aquelas que têm como substrato solos eutróficos são potencialmente mais resilientes e com maior potencial produtivo. Assim sendo, para aproveitar de forma ampla a potencialidade do Bioma Mata Atlântica é importante a utilização da visão sistêmica para os sistemas de produção.

2.1.4 Sistemas de produção e a visão sistêmica

O conceito de sistema já vem sendo empregado desde o século XIX. Como uma metáfora de máquina, o sistema havia se tornado objeto de investigação da Termodinâmica,

que é uma porção arbitrária de espaço, de limites demarcados e conteúdos definidos. Contudo, o reconhecimento da importância de sistemas abertos, tipicamente representados pelos sistemas biológicos, mantidos graças aos fluxos de energia e matéria por meio de suas superfícies limítrofes, iniciou-se nas décadas de 20 e 30 do século XX (SCHLINDWEIN & D'AGOSTINI, 1998).

Em algumas conceituações de Agroecossistema consideram-se que estes são demarcados a partir da sua definição como ecossistemas terrestres implantados pelo homem que, após diminuir deliberadamente a diversidade biótica, buscam alcançar um mínimo de estabilidade por meio do controle desses “ambientes artificiais”. Estes conceitos são herdados da tradição ecológica que, entre outras coisas, prima pelo estudo da dinâmica de populações, pela identificação de rotas energéticas e pelo estudo da dinâmica de nutrientes. Conforme discute Loucks (1977), esses enunciados não incorporam as relações de natureza sócio-econômica ou cultural determinantes, em grande parte das vezes, da destinação de uso dada ao meio rural. Schlindwein & D'Agostini (1998) consideram que na definição de agroecossistemas devem ser reconhecidas três dimensões: a primeira é representada pelo espaço físico e pelo conjunto de populações nele circunscritas (dimensão física, espacial ou estrutural). A segunda é a dimensão funcional, caracterizada pelas relações que se estabelecem entre a dimensão espacial e o meio circunvizinho, que o retroalimenta e demanda sua produção e a terceira é a dimensão conjuntural, que se revela por meio de circunstâncias não locais (não restritas ao meio circunvizinho), como o fluxo de informações, por exemplo.

O desenho de sistemas sustentáveis de produção agropecuária dentro do enfoque da agroecologia depende da assunção de definições básicas: sinergia, recursividade e hierarquia (VENEGAS & SIAU, 1994). A soma das partes é diferente do todo, tendo relações sinérgicas de complementaridade e competição, com todo o sistema sendo constituído de subsistemas menores (recursos naturais, humanos, recursos de capital e de produção).

A sensibilidade dos agroecossistemas às circunstâncias concretas de instabilidade pode adquirir significações múltiplas, desencadeando reações fortemente não-lineares, cujos resultados seriam de difícil previsão. Percebe-se que a incapacidade de prever não remete à nossa ignorância, mas sim às singularidades das possibilidades de um processo (SCHLINDWEIN & D'AGOSTINI, 1998). Oscilações de preços no mercado, por exemplo, invariavelmente provocam um processo de reorientação do sistema produtivo agrícola.

Segundo Hansen (1996) para que o conceito de sustentabilidade possa ser utilizado na agricultura ele deve atender os seguintes quesitos básicos: 1) ser um guia para a agricultura em resposta às mudanças; 2) prever eventuais impactos desta atividade econômica e 3) evitar lógicas circulares por meio da análise dos processos sem procedimentos prévios (de ocorrência usual em alguns seguimentos da agricultura orgânica). A sustentabilidade deve ser vista como uma fusão dos seguintes critérios: ideológicos; conjunto de ações; habilidade para alcançar objetivos e habilidade para perpetuar-se.

Para Rodrigues et al. (2002/2003), as relações técnicas que se estabelecem no processo de produção são condicionadas pelas relações sociais. O que explica a degradação ambiental não é a falta de conhecimento sobre o impacto de determinadas tecnologias, mas as relações sociais subjacentes, as pressões para competitividade econômica dentro do mercado, que obrigam ou condicionam a utilização de determinadas tecnologias.

A compreensão das potencialidades e das limitações dos ambientes naturais tem sido um calcanhar-de-aquiles na busca por entender o funcionamento dos agroecossistemas, no contexto e prever o seu comportamento. Isto ocorre porque a espécie humana e o ambiente interagem dinamicamente, gerando um quadro complexo que dificulta o processo analítico (PETERSEN, 1996).

Nas áreas de influência da língua francesa o enfoque sistêmico prevê a adoção de planos ou políticas de desenvolvimento regional, incluindo aspectos gerenciais Nas áreas de

influência da língua inglesa a abordagem é mais centrada nos aspectos biológicos da produção tais como interações entre diferentes explorações na propriedade, os consórcios de culturas, as rotações, etc. Visa gerar soluções que permitam ao agricultor sair-se melhor num contexto externo à propriedade (KHATOUNIAN, 2001).

O município de Ubatuba realizou em 2001 o Planejamento Estratégico para o Desenvolvimento Rural Sustentável. O presente trabalho está inserido no bojo desta proposta, visando o desenvolvimento de tecnologias apropriadas para utilização pela agricultura familiar em agroecossistemas do bioma Mata Atlântica.

Para Resende et al. (2002), nutrientes, radiação e água constituem o triângulo ambiental básico. É nele, de preferência, que se deve buscar a síntese de informação. Isso não invalida a importância de fatores como classes de solo, relevo, substrato geológico etc., mas no que se referem ao funcionamento dos ecossistemas esses elementos têm, necessariamente, que ser interpretados em termos dos recursos de nutrientes, água e radiação.

A análise de como o manejo da biodiversidade dos agroecossistemas permite o aproveitamento dos recursos disponíveis é essencial para o desenvolvimento de bases tecnológicas sustentáveis.

2.1.5 Sistemas de produção agrícola

As primeiras intervenções humanas para cultivo agrícola nas planícies inundáveis da China, Egito e Mesopotâmia aproveitavam os ciclos da natureza e desta forma conseguiram a manutenção da produtividade ao longo do tempo. O cultivo em outras áreas exigiu o aumento do conhecimento tradicional. O desenvolvimento de sistemas locais de conhecimento ecológico, por meio da interação de diferentes sociedades com seu ambiente, permitiram a evolução de formas de uso sustentável dos recursos naturais. O declínio do rendimento dos cultivos num determinado terreno ao longo dos anos era fato conhecido desde as origens remotas da agricultura até meados do século XIX. Para recuperar as terras “cansadas” eram conhecidos dois procedimentos: o pousio e a adubação orgânica. O pousio era a base tanto da relativa estabilidade da rotação trienal da Idade Média na Europa como nos roçados da América do Sul. O número de anos de cultivo e o tempo de descanso eram variáveis segundo a natureza do terreno, as técnicas de cultivo, as espécies cultivadas e o clima. Ao contrário do pousio, característico de uma agricultura mais extensiva, a adubação orgânica com excrementos animais e humanos era característica de sistemas agrícolas mais intensivos, com efetivos humanos mais numerosos em relação à área agrícola disponível. A limitação primordial da recuperação da fertilidade por meio da adubação orgânica era a quantidade de esterco disponível. Além disso, exigia muito trabalho para o transporte e distribuição do material. Na Europa, onde o esterco usado era principalmente de bovinos, a adubação orgânica impunha ainda a imobilização de grandes áreas para a criação dos animais (CONWAY, 1987; KHATOUNIAN, 2001; MINC & VANDERMEER, 1990).

A descoberta dos fertilizantes minerais por Springel e Liebig em meados do século XIX e sua viabilização industrial e comercial por meio do processo Harber-Boch no início do século XX foi uma grande revolução, cuja magnitude dificilmente pode ser imaginada na atualidade. Num terreno cansado, uns poucos quilos de adubos minerais podiam fazer aquilo que o pousio levaria anos para conseguir ou que exigiria toneladas de esterco e de esforço humano. Outros insumos importantes para superar as limitações de cultivo foram a mecanização agrícola e o uso de pesticidas, viabilizando o monocultivo em larga escala e com produtividade elevada. O cultivo mecânico da terra, associado à utilização massiva de insumos com matriz energética baseada no petróleo (fertilizantes sintéticos e pesticidas) propiciou em muitos casos a intensificação do cultivo e incrementos na produtividade (KHATOUNIAN, 2001; VAN DER PLOEG et al., 1999).

2.1.6 O modelo predominante da “revolução verde”: a “agricultura convencional”

Um fato significativo que se somou ao processo de modernização iniciado por Springel e Liebig foi o melhoramento de plantas desenvolvido pelo melhorista americano Norman Borlaug para aumentar a produtividade. Borlaug desenvolveu variedades de trigo semi-anãs, que, nas últimas décadas, permitiram que a produção dessa gramínea crescesse a taxas superiores à do crescimento populacional. A redução da altura das variedades lançadas por Borlaug resultou em altos índices de colheita e produtividade jamais alcançados em outros programas de melhoramento. Essas variedades foram responsáveis pelos primeiros passos da “Revolução Verde” nos anos 50. Duas razões são apontadas para as produtividades recordes das variedades semi-anãs de trigo: i) são mais eficientes fisiologicamente quando absorvem nitrogênio; e ii) não apresentam acamamento mesmo sob elevadas doses de nitrogênio (BORÉM, 2001).

Ao longo das décadas de 60 e 70 a agricultura brasileira passou por rápidas e profundas transformações tecnológicas, fundamentadas no paradigma de desenvolvimento da chamada “Revolução Verde”. Este processo foi baseado no aumento da produtividade das áreas já cultivadas e incorporação de novas áreas ao sistema produtivo. O crédito rural subsidiado, atrelado à compra de insumos (fertilizantes, agrotóxicos, máquinas e implementos agrícolas), no período de 1969 a 1979 cresceu numa taxa média de 18,8% ao ano (ALMEIDA, 2001).

Para consolidar o uso do modelo da “Revolução Verde” em larga escala, seus defensores comandaram uma drástica reestruturação dos setores industriais de produção de insumos e transformação de matérias primas e das instituições de pesquisa, ensino e extensão. Estas estratégias e os resultados alcançados permitiram a ampla aplicação do modelo preconizado pela “Revolução Verde” na agropecuária, daí decorrendo sua denominação como “agricultura convencional”.

O desenvolvimento do agronegócio no Brasil acompanhou o crescimento da produção de grãos, iniciado em larga escala a partir de meados da década de sessenta. Antes, a economia agrícola brasileira era caracterizada pelo predomínio do café e do açúcar. Pouca importância se dava ao projeto de se utilizar a imensa base territorial brasileira na produção de grãos. A produção de alimentos básicos, como milho, arroz, trigo e feijão era voltada para a subsistência, e os poucos excedentes dirigidos ao mercado eram insuficientes para formar uma forte cadeia do agronegócio dentro dos moldes atualmente conhecidos. O notável crescimento da produção de fibras e grãos (principalmente da soja) foi força motriz no processo de transformação do agronegócio brasileiro e seus efeitos dinâmicos foram logo sentidos em toda a economia. Inicialmente calcado na expansão da área plantada, principalmente nas regiões de fronteira agrícola, a partir da década de 90 o crescimento da produção, em bases competitivas, passou a depender cada vez mais da adoção de novas tecnologias no processo produtivo. A política agrícola a partir de 1995 foi a de combinar a utilização de instrumentos econômicos como o crédito rural e os programas de suporte à comercialização com instrumentos estruturais como a pesquisa agropecuária. Tal esforço foi decisivo para que o Brasil elevasse sua safra de grãos de 73,5 milhões de toneladas, em 1995, para 98,3 milhões de toneladas, em 2001. A produção brasileira de grãos aumentou 32%, no período, enquanto que o crescimento da área plantada foi de apenas 2,9% (BRASIL, 2008). A previsão para a safra 2007/2008 é da ordem de 143 milhões de toneladas (CONAB, 2008).

Dentre as práticas adotadas pela agricultura moderna pode-se destacar o uso de fertilizantes minerais, possibilitando aumentos de produtividade e incorporação de novas áreas. Em determinadas condições, os adubos minerais proporcionaram aumentos de produtividade de até quatro vezes, de forma que o potencial agrícola destas fontes para suprir áreas com deficiências em nutrientes deve ser considerado (VOISIN, 1976).

Entretanto, o uso não racional dos fertilizantes minerais pode provocar desequilíbrios nos sistemas de produção agrícola, com algumas conseqüências negativas, tais como: aumento dos custos de produção devido à baixa eficiência no aproveitamento dos fertilizantes, inibição de processos biológicos no solo; nutrição de plantas deficiente provocada por excesso ou falta de nutrientes; ocorrência de pragas e doenças potencializada pelo estresse nutricional das plantas; contaminação ambiental provocada por elementos que deixam o sistema de produção (VAN NOORDWIJK & CADISCH, 2002; CHABOUSSOU, 1986; MARSCHNER, 1995; MAFRA & MIKLÓS, 1998).

A despeito dos aumentos de produtividade para diversas culturas, as inovações técnicas e práticas políticas que permitiram aumentos na produtividade agropecuária por meio do modelo de exploração intensiva têm provocado degradação dos recursos dos quais a agricultura depende: o solo, a água e a diversidade genética natural (PETERSEN, 1996).

Além dos aspectos ambientais, com relação aos aspectos sócio-econômicos, o fenômeno de intensificação dos sistemas de produção agrícola no Brasil provocou a liberação de mão-de-obra do campo em conseqüência da tecnificação das atividades produtivas e o êxodo rural. A implantação dos monocultivos mecanizados promoveu também a concentração fundiária, considerada necessária para o desenvolvimento das grandes lavouras de grãos (RIBEIRO, 2002).

Segundo Döbereiner (1997), a fixação biológica de nitrogênio cumpriu importante papel de base tecnológica para tornar o país competitivo na exportação da cultura soja. Esta autora já visionava o potencial da fixação biológica de nitrogênio para aumentar a eficiência de outros sistemas de produção agrícola.

2.1.7 As bases do modelo de produção agroecológico

Antes da modernização e industrialização da agricultura, os sistemas de produção em monocultivo eram mais exceção do que regra. Os sistemas de cultivo em consórcio eram considerados mais produtivos e preventivos contra riscos de ocorrência de pragas. Além disto, os policultivos eram preferidos por aproveitarem melhor os recursos biofísicos, distribuírem a demanda de mão-de-obra e proporcionarem uma dieta balanceada (VANDERMEER, 1990).

Quando as condições ecológicas e econômicas são favoráveis, como situações de alta demanda do mercado, disponibilidade de insumos artificiais de baixo custo e disponibilidade de terras planas e férteis, os sistemas de produção agrícola normalmente preferem possuir menor biomassa perene (árvores, arbustos, capim, animais). Nestes casos, os sistemas de produção normalmente procuram uma menor diversidade funcional do que o sistema natural, na busca de maior produtividade de produtos específicos. Outros aspectos que podem contribuir para que os sistemas de produção sejam mais especializados e intensivos são o contexto sócio-econômico, a disponibilidade de mão-de-obra e a necessidade de uso eficiente dos insumos externos, especialmente do maquinário (REIJNTJES et al., 1999).

Entre as principais conseqüências do estreitamento genético e do cultivo intensivo em sistemas de produção agrícola tropicais é que há o maior risco de ocorrência de desequilíbrios populacionais e as dificuldades para manutenção de teores adequados de matéria orgânica no solo.

Na visão agroecológica os ecossistemas atualmente existentes são o resultado de um processo de coevolução ao longo do tempo de diversas espécies. Cada organismo exerce uma função no ecossistema. Esta função, juntamente com os recursos de que ele depende, irão determinar suas chances de sobrevivência e seus efeitos positivos, ou negativos, sobre outros componentes. Um nicho pode ser ocupado por mais de uma espécie e cada uma delas pode ajudar a criar as condições de sobrevivência para as outras. Os agroecossistemas que abrangem muitos nichos distintos, cada um deles ocupado por muitas espécies diferentes, provavelmente serão mais estáveis que aqueles compostos por poucas espécies. Em nichos

ocupados por poucas espécies há normalmente recursos locais subutilizados e existem oportunidades no sistema para o surgimento de novos componentes (ALTIERI, 1999; HACKER & GAINES, 1997; REIJNTJES et al., 1999). Há que se dar especial atenção para espécies chave, seja por efeitos positivos como relações de simbiose, mutualismo, supressão de organismos não desejáveis ou alterações favoráveis no ambiente, seja por efeitos negativos como, por exemplo, a utilização de plantas hospedeiras de pragas ou patógenos que afetem as culturas de maior interesse do sistema de produção.

O cultivo intensivo pode atingir negativamente organismos considerados engenheiros do ecossistema, que direta ou indiretamente controlam a disponibilidade de recursos para outros organismos por meio de mudanças físicas em componentes bióticos e abióticos (JONES et al., 1997). O papel da biota do solo é expresso diretamente pela escavação de túneis e produção de mucopolissacarídeos que ligam componentes, e indiretamente, pela produção da matéria orgânica estrutural. Para Groffman & Bohlen (1999), o carbono estrutural estável exerce um importante papel de moderação das condições físicas e químicas do ecossistema e segundo Schimel (1995), este compartimento representa o principal reservatório terrestre no balanço global de carbono.

A importância da matéria orgânica do solo para a sustentabilidade dos agroecossistemas das regiões tropicais e subtropicais já foi destacada por diversos autores, podendo ser considerada indicador chave da qualidade do solo (SANTOS & CAMARGO, 1999). Um solo rico em matéria orgânica permite o crescimento adequado das raízes das plantas, propicia um fornecimento de nutrientes de forma sincronizada com a demanda das plantas e apresenta um efeito supressivo ao aparecimento de patógenos por estimular o aumento da diversidade da fauna do solo (AKONDÉ et al., 1997; DRECHSEL et al., 1996; FOWNES & ANDERSON, 1991; LYNCH, 1986; ROWE et al., 2001; WOOMER & SWIFT, 1994).

2.2 Sistemas de Produção Agrícola e o Manejo da Matéria Orgânica

A disponibilidade de fertilizantes orgânicos varia de acordo com as características regionais porque, por conter baixos teores de nutrientes, estes fertilizantes só podem ser transportados com custos compatíveis a distâncias limitadas (MARCHIORI et al., 1998; MARCHIORI et al., 1999). No litoral norte de São Paulo a disponibilidade de resíduos orgânicos provenientes de criações de animais é baixa e a reciclagem de resíduos urbanos ainda é incipiente, restando como alternativa o aproveitamento da biomassa da vegetação.

Urquiaga et al. (2005) alertam para a importância da escolha adequada de espécies na seqüência da rotação de culturas para que o seqüestro de carbono no solo ocorra de forma eficiente. Fatores como quantidade de nutrientes exportada na colheita, quantidade e qualidade dos resíduos, textura e umidade do solo, temperatura atmosférica, afetam diretamente a dinâmica da ciclagem de nutrientes.

Os processos de armazenamento e mineralização da matéria orgânica do solo estão diretamente ligados com a quantidade e qualidade do aporte de resíduos, assim como com as formas de cultivo. A mineralização sincronizada com a demanda das plantas garante a sustentabilidade de curto prazo, evitando a contaminação no médio e longo prazo. O aumento do armazenamento de carbono orgânico no solo dependerá do tipo de manejo da matéria orgânica do sistema de produção adotado e estará diretamente ligado à conservação dos recursos naturais e a sustentabilidade em longo prazo da agricultura (YANG & WANDER, 1999).

2.2.1 Agricultura e florestas

Nos anos de 1800 e início de 1900 acreditava-se que a fertilidade dos solos dos trópicos úmidos era muito alta uma vez que dava suporte a exuberante vegetação da floresta

úmida (HILGARD, 1906). Porém, o que se observou posteriormente é que nos anos que se seguiam ao corte da mata, a fertilidade das terras era rapidamente perdida e as colheitas passavam ser desapontadoramente baixas (HARTEMINK, 2002).

Em climas tropicais e subtropicais, a etapa inicial de formação do solo conduz à intensa remoção de elementos minerais. O material restante consiste de silicatos de elevada resistência ao intemperismo e com teor variável de sílica e de sesquióxidos. A continuidade da pedogênese normalmente tem participação ativa e determinante da biota do solo (ANJOS et al., 1999).

A maioria dos solos dos trópicos úmidos e sub-úmidos é caracterizada por solos cuja fração mineral é composta por argilas 1:1 ou sesquióxidos, com capacidade relativamente baixa de reter nutrientes e água. Assim sendo, em solos sob florestas é normalmente a matéria orgânica que lhes proporciona boa fertilidade, a qual é continuamente repostada pela ciclagem da serapilheira e pela decomposição das raízes mortas (BODDEY et al., 1997). Este processo é complementado pela recuperação dos elementos lixiviados por meio das raízes mais profundas, o que normalmente não ocorre nos sistemas de cultivo anuais (HUXLEY, 1999).

As comparações entre solos tropicais e temperados em relação aos conteúdos de matéria orgânica, devem ser realizadas preferencialmente quando esses se apresentam sob vegetação natural. Nessa condição, os fatores de formação são determinantes dos conteúdos de matéria orgânica, devido ao seu efeito sobre as taxas de adição e perda. Entre os fatores de formação do solo, salientam-se em importância o clima (principalmente temperatura e precipitação pluviométrica), o material de origem e a vegetação (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

A temperatura é o parâmetro que apresenta a diferença mais consistente entre regiões tropicais e temperadas, sendo os trópicos em média 15 °C mais quentes, o que eleva as taxas dos processos fisiológicos químicos e bioquímicos, lembrando que segundo a lei de van Hoff, o aumento de 10 °C de temperatura duplica a velocidade das reações de natureza biológica. Porém, as taxas de decomposição mais elevadas nos trópicos do que nas condições de clima temperado são contrabalanceadas pelas maiores taxas de produção de resíduos vegetais que retornam ao solo, quando a precipitação pluviométrica não é limitante para o crescimento vegetal. Existe, entretanto, o consenso de que, em regiões tropicais, a dificuldade na manutenção de matéria orgânica em solos cultivados é bem superior. Nessas regiões, intensifica-se a importância da definição de sistemas de manejo adequados para a conservação do solo e a produtividade das culturas (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

Segundo Correia & Andrade (1999), as coberturas florestais proporcionam o aporte de estruturas vegetais que irão formar a serapilheira acumulada e dentre os fatores que afetam a quantidade de resíduos produzidos, os mais relevantes são: as variáveis climáticas (precipitação e temperatura); a disponibilidade de nutrientes no solo; a característica genética das plantas; a idade e a densidade de plantio. Regiões com alto índice pluviométrico, em geral, produzem maior quantidade de serapilheira em comparação com as regiões de baixo índice pluviométrico (GONZALEZ & GALLARDO, 1982).

Nos trópicos úmidos e sub-úmidos as florestas secundárias maduras (quinze anos ou mais) podem acumular de 300 a 450 Mg ha⁻¹ de biomassa acima do solo, o que equivale a cerca de 1 a 2 Mg ha⁻¹ de N 100 a 250 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P, 0,7 a 2,5 Mg ha⁻¹ de K, 2 a 3 Mg ha⁻¹ de Ca e 300 a 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mg (BARTHOLOMEW et al., 1953).

A quantidade de folhas que aportam a serapilheira anualmente pode ser bastante variável, de acordo com o ecossistema considerado. Furch & Klinge (1989) estudando áreas de várzea e igapó na região Amazônica, verificaram que a contribuição da serapilheira pode variar de 5 a 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto que o aporte de elementos nutrientes também pode variar bastante, de acordo com a fertilidade natural. Estes autores verificaram que o aporte de

nutrientes na serapilheira proveniente das folhas, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, variou de 80 a 155 para o N; de 1 a 10 de P e de 15 a 72 para o K.

Para Vagen & Salmata (2006), florestas tropicais úmidas normalmente crescem em solos pobres em nutrientes e que exibem um balanço de nutrientes estreito entre situações de deficiência e excesso. A conversão de florestas em áreas de cultivo pode levar a uma substancial perda de elementos, principalmente em sistemas envolvendo queima, onde as perdas de carbono, nitrogênio e enxofre da biomassa florestal podem ser muito elevadas.

Os sistemas de produção influenciam o estoque e a perda da matéria orgânica do solo de diferentes maneiras, alterando as entradas de matéria orgânica, a atividade biológica do solo, a biodisponibilidade dos substratos orgânicos e a erodibilidade do solo, ficando em geral difícil distinguir a contribuição de cada um destes fatores (FELLER & BEARE, 1997).

Para melhor discutir o manejo da matéria orgânica em sistemas de produção agrícola no bioma da Mata Atlântica, na busca de sua sustentabilidade, é importante avaliar o sistema de agricultura migratória, baseado no corte e queima da floresta, uma vez que este modelo manteve-se viável ao longo de várias gerações.

A noção de que produtores que utilizam a agricultura migratória são ignorantes e destruidores, desmatando para obter comida e madeira frequentemente resulta de uma representação muito simplificada de complexas relações ecológicas e questões socioeconômicas. Os argumentos usados para a proteção das matas tropicais úmidas são frequentemente cercados de mitos e concepções errôneas do papel destas florestas, devido à escassez de dados experimentais e um elevado grau de incerteza nos dados existentes (VAGEN & SALMATA, 2006).

2.2.2 Conversão de florestas em campos de cultivo

A eficiência do uso dos nutrientes pelas plantas é chave para a sustentabilidade dos sistemas de produção. A vegetação nativa de florestas clímax é caracterizada por uma pequena remoção de biomassa na forma de frutos e folhas pela fauna nativa. Estes ecossistemas, devido a um denso e usualmente perene tapete de raízes normalmente são eficientes na captura dos nutrientes solubilizados dos materiais orgânicos em decomposição. Esta característica faz com que nestes ecossistemas funcione uma ciclagem virtualmente fechada de nutrientes, o que difere amplamente do que normalmente ocorre nos agroecossistemas (BODDEY et al., 1997).

A conversão de ecossistemas naturais para agroecossistemas envolve uma gama de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo, com significativos reflexos nos atributos do solo (ZINN et al., 2005).

Em avaliação após a limpeza mecânica de áreas para cultivo na Amazônia Peruana, Alegre & Cassel (1996) observaram uma significativa redução das taxas de infiltração, de 420 mm h^{-1} para 35 mm h^{-1} . A densidade do solo aumentou de 1,14 para $1,29 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Os impactos da queima e outras formas de desmatamento nas propriedades do solo ainda são pouco conhecidos e dependem de inúmeros fatores, inclusive do tipo de solo, intensidade do fogo e condições climáticas. Vagen & Salmata (2006) observaram um rápido decréscimo no carbono orgânico do solo ($11,3 \text{ g kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) durante os três primeiros anos de cultivo após o desmatamento da vegetação nativa e uma recuperação relativamente rápida da área por meio do pousio durante 4 a 8 anos, com uma taxa de recuperação do carbono orgânico do solo de $6,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Entretanto, para estes autores os solos submetidos ao cultivo migratório podem estar sujeitos ao longo do tempo a grandes decréscimos nos teores de matéria orgânica, estabilizando em valores abaixo de 20 g kg^{-1} .

Segundo Hölscher (1995) apud Denich et al. (2005), quando ocorre a queima durante o preparo da terra, uma quantidade considerável dos nutrientes liberados pela vegetação cortada é perdida para a atmosfera: 96% do nitrogênio, 76% do enxofre, 47% do fósforo,

48% do potássio, 35% do cálcio e 40% do magnésio. Adicionalmente, perde-se também 98% do carbono da biomassa, o que equivale a emissão de aproximadamente 13 Mg ha⁻¹ de C liberado para a atmosfera como CO₂.

Porém, para outros autores a magnitude das perdas está diretamente associada à temperatura do processo. Para Fernandez et al. (1997), as camadas superficial e sub-superficial do solo perdem aproximadamente 50% do seu conteúdo de Carbono quando submetidas às queimadas que ocorrem naturalmente. Em solos aquecidos em condições de laboratório, estes autores observaram que as mudanças ocorridas em amostras aquecidas até 150 °C foram muito poucas enquanto que para temperaturas de 490 °C praticamente toda a matéria orgânica do solo desapareceu. As mudanças exibidas pelas amostras aquecidas até 210 °C foram as que mais se assemelharam com os parâmetros observados nos solos submetidos às queimadas que ocorrem naturalmente nas condições tropicais. Estes resultados sugerem que, quando a queimada da área de cultivo ocorre de forma controlada, em condições climáticas que não permitem a excessiva elevação da temperatura, os efeitos deletérios desta prática poderão ser sensivelmente minimizados.

Segundo Juo & Manu (1996), o modelo de produção da agricultura migratória, baseado na rotação de áreas com aproveitamento da vegetação nativa pode apresentar estabilidade no que diz respeito à dinâmica de nutrientes nas seguintes condições:

- (1) o tamanho da área cultivada é suficientemente pequeno e rodeado por áreas vastas de vegetação de floresta primária (que permitem uma efetiva regeneração natural);
- (2) o período de cultivo é inferior a dois anos;
- (3) o período de pousio é mantido por tempo suficientemente longo.

Contudo, uma significativa porção dos nutrientes liberados pela queima pode ser perdida por meio da erosão da camada superficial do solo ou pela lixiviação de nutrientes, que alcançam um pico de biodisponibilidade quando da queima da biomassa da floresta.

Além das práticas utilizadas para a conversão, a concentração e armazenamento de carbono orgânico no solo dependem da frequência e profundidade do cultivo, do tipo de solo, do relevo, do clima, do aporte de materiais orgânicos e outros fatores. A decomposição da matéria orgânica do solo é especialmente aumentada pela perturbação física do cultivo, que rompe os macroagregados e expõe a porção da matéria orgânica que se encontrava protegida dos processos microbianos. Nas regiões tropicais úmidas, a decomposição da matéria orgânica do solo pode ser intensa devido à temperatura elevada e a alta precipitação, especialmente para sistemas de produção que praticam o cultivo intensivo do solo (ZINN et al., 2005).

A matéria orgânica é facilmente perdida no cultivo por meio da aceleração da decomposição para CO₂, assim como pela erosão. O conteúdo de matéria orgânica do solo é influenciado por diferentes fatores ambientais e estratégias de manejo. Dentre eles, o clima e a topografia são dominantes numa escala maior e, em termos de manejo, o tempo de cultivo e de pousio e o tipo de rotação são os principais fatores que causam mudanças nos teores de matéria orgânica (WU et al., 2004).

2.2.3 Formas de cultivo e manejo da matéria orgânica do solo

As taxas de crescimento exponencial da população nas regiões das florestas tropicais úmidas acabam, geralmente, se associando com o desmatamento e a degradação ambiental. Nestas condições, o período de pousio é reduzido de acordo com o decréscimo do tamanho das propriedades rurais (VAGEN & SALMATA, 2006).

Chan et al. (2002) comparando o efeito da queima e do cultivo dos restos de cultura sobre os teores de matéria orgânica durante dezenove anos, verificaram que o efeito da queima de restos diminui o teor do carbono incorporado (menor que 53 µm), enquanto que o cultivo reduziu mais significativamente os teores de matéria orgânica da fração maior que 53 µm (80% do carbono orgânico particulado). Assim sendo, estes autores concluíram que o

cultivo acaba por reduzir o nitrogênio mineralizável, mais estreitamente relacionado com a matéria orgânica particulada de maior diâmetro.

O cultivo fortemente influencia a distribuição e armazenamento do carbono orgânico do solo, misturando a terra fisicamente e distribuindo os resíduos de colheita e intensificando seu processo de decomposição (YANG & WANDER, 1999). Segundo Feller e Beare (1997), o cultivo mínimo geralmente tem propiciado maiores teores de matéria orgânica e uma melhor agregação do solo, proporcionando mecanismos de proteção física para manutenção dos teores de matéria orgânica do solo.

Wu et al. (2004) verificaram perdas de carbono no solo provocada pelo cultivo que variaram de 1 a 2 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ na camada de solo de 0 a 20 cm, o que significou uma perda de quase 80% do carbono original no prazo de cinco anos. Segundo estes autores, a erosão provocada pela água e pelo cultivo associada ao aumento da taxa de decomposição funcionam como fatores preponderantes para a diminuição dos teores de carbono nos solos cultivados.

Entretanto, para algumas culturas como é o caso do gengibre, o revolvimento intercalar durante o ciclo da cultura é considerado essencial para uma boa produtividade em função da fisiologia da planta. No caso do cultivo do inhame (*Dioscorea rotundata*), Agbede et al. (2006) verificaram que o cultivo esteve diretamente relacionado com a produtividade e com o teor de nutrientes das folhas. Todavia, a densidade do solo aumentou significativamente nas áreas submetidas ao cultivo.

Embora o cultivo aumente inicialmente a porosidade do solo, esta solução de curto prazo traz conseqüências negativas na estabilidade estrutural da superfície do solo, na acumulação de resíduos na superfície e nos teores de carbono da superfície, que são características críticas para controlar a infiltração do solo e a transmissão e estoque de água no solo. Por meio de medidas semanais de infiltração, Franzluebbers (2002) verificou que não havia diferença significativa entre amostras intactas ou peneiradas para solos submetidos ao cultivo convencional (22 cm ha⁻¹ h⁻¹). Para as amostras submetidas à semeadura direta, a infiltração das amostras intactas era significativamente superior (72 cm h⁻¹) do que a infiltração das amostras que haviam sido peneiradas (28 cm h⁻¹). Estes dados indicam que o efeito do cultivo sobre as taxas de infiltração do solo pode ser muito significativo.

Pinheiro et al (2004) destacam que a exposição do solo ao cultivo e a ausência do aporte de resíduos causa o declínio da agregação e do carbono orgânico. O rompimento do solo pelo preparo mecânico e a ausência de práticas conservacionistas causam a redução dos teores de carbono orgânico. Estes autores verificaram que na profundidade de 0-5 cm da área cultivada com semeadura direta o teor de carbono no solo (19 g kg⁻¹) era significativamente maior do que no sistema de cultivo convencional (11 g kg⁻¹). Contudo, para profundidade de 5-10 cm a concentração de carbono observada nos dois sistemas não foi significativamente diferente (média de 13 g kg⁻¹).

Avaliando diferentes formas de cultivo e rotação após treze anos de implantação, Freixo et al. (2002) verificaram que para a camada de 0-30 cm não havia diferença entre a área sob cultivo convencional e área sob plantio direto. Quando comparadas com a camada 0-5 cm de uma área não cultivada utilizada como referência, a área sob cultivo convencional diminuiu os teores de C e N em 60% e a área sob plantio direto reduziu os teores de C e N em 43%. Yemefack et al. (2006) ponderam que embora o carbono orgânico possa ser considerado um parâmetro não muito sensível de avaliação sua acuidade pode ser melhorada se a profundidade de análise limitar-se a profundidade de 3 ou 5 centímetros.

Diversos autores afirmam que a conservação de resíduos orgânicos na superfície do solo ou sua incorporação é procedimento largamente recomendado para a manutenção da fertilidade do solo, entretanto os efeitos destes resíduos no crescimento e produtividade das culturas é frequentemente imprevisível. Reduções no crescimento das plantas podem ocorrer

devido à liberação de toxinas ou ainda redução na disponibilidade de nutrientes, especialmente o nitrogênio (URQUIAGA et al., 1998).

A capacidade de acúmulo de carbono no solo ao longo do tempo de um determinado sistema de produção agrícola, dependerá do balanço entre o aporte de resíduos orgânicos e a taxa de mineralização, conforme pode ser resumido por meio da fórmula abaixo, extraída de Bayer e Mielniczuk (1999): $dC/dt = -k_2 C + A k_1$, onde:

→ dC/dt - variação conteúdo de carbono orgânico no período de um ano ($Mg\ ha^{-1}$)

→ k_1 - fração do carbono adicionado (que permanece após o período de um ano);

→ k_2 - taxa de perda de carbono orgânico;

→ C - conteúdo inicial de carbono orgânico do solo ($Mg\ ha^{-1}$)

→ A - taxa de adição de carbono orgânico no ano ($Mg\ ha^{-1}$)

Diekow et al. (2005) avaliando quatro tipos de sistemas de rotação em plantio direto durante dezessete anos, com diferentes níveis de fertilização nitrogenada em um Argissolo (0 e $180\ kg\ ha^{-1}$), verificaram incremento nos estoques de carbono e nitrogênio apenas nos sistemas que incluíram leguminosas em consórcio com milho. Este desempenho foi atribuído a maior produção de resíduos por estes sistemas de produção. Estes autores destacaram o potencial das leguminosas como plantas de cobertura para incrementar os estoques de matéria orgânica do solo e melhorar a qualidade ambiental em regiões subtropicais úmidas.

Assim sendo, dependendo do tipo de sistema de produção agrícola adotado, o elevado potencial fotossintético dos trópicos úmidos pode vir a compensar a conversão de sistemas naturais para sistemas de produção no que diz respeito ao balanço de carbono (ZINN et al., 2005), ou até mesmo com relação à biodiversidade. Estudos recentes mostram que os mais altos níveis de diversidade biológica são encontrados em áreas com alguma intervenção humana, quando esta é feita de forma adequada (GUHA, 2000; OLIVEIRA, R., 1999).

Para efetivamente conseguir estratégias para o desenvolvimento de policultivos com bom desempenho é importante uma melhor compreensão dos motivos que levam à adoção de monocultivos.

2.3 Sistemas de Produção em Monocultivo e em Policultivos

A implantação de monocultivo como a cana, eucalipto ou mesmo de sistemas contínuos de sucessão, do tipo trigo-soja ou milho safrinha-soja, tendem a provocar a degradação física, química e biológica do solo, implicando ao longo do tempo na queda da produtividade das culturas (ASSIS JUNIOR et al., 2003; MAJER & RECHER, 1999; TRENTO et al., 2002).

Os policultivos, por outro lado, seja por meio de culturas solteiras em rotação ou em seqüência, formando um mosaico, seja por meio de consórcios em que as culturas são cultivadas simultaneamente, podem vir a proporcionar diversos benefícios para o sistema de produção. Entre os principais benefícios podemos destacar: aumento da produção de biomassa total, maior estabilidade das colheitas, redução na incidência de pragas, doenças e plantas invasoras, redução da erosão do solo, reciclagem dos nutrientes das camadas mais profundas e transferência do nitrogênio introduzido no sistema via fixação biológica (STOCKDALE et al., 2001). Estes autores destacam que a escolha de espécies e o desenho dos sistemas de produção no espaço e no tempo são críticos no desenvolvimento de policultivos eficientes. As espécies escolhidas devem propiciar uma elevada taxa de resíduos, com qualidade que permita o sincronismo entre a liberação de nutrientes com a demanda das culturas subseqüentes e o paulatino incremento dos estoques de carbono e nitrogênio, além de promover um balanço biológico adequado entre presas e predadores.

2.3.1 Os processos de adoção de monocultivos

Para desvendar as razões pelas quais acontecem as mudanças tecnológicas, Giampietro et al. (1999) avaliaram as características da agricultura de 60 países. Estes autores constataram que as principais forças que direcionam as mudanças tecnológicas são a pressão demográfica e a pressão socioeconômica para o aumento da renda e da produtividade, do trabalho e dos recursos ambientais. A necessidade de aumentar a quantidade de terras manejadas por hora de trabalho reflete em incrementos nas áreas de monocultura, que facilitam a mecanização de grandes áreas. Para que a agricultura seja uma atividade viável ela deve alcançar níveis de remuneração do trabalho compatíveis com outros setores da economia. Esta competição provoca alterações nos modelos originais de agricultura baseados em princípios biológicos, introduzindo mudanças estruturais, como por exemplo, o plantio de monoculturas e o uso de pesticidas. Outros aspectos relevantes são a elevação da densidade de energia e da circulação de matéria (cultivo intensivo, uso de irrigação e fertilizantes).

Na análise realizada por Giampietro & Pastore (1999), a quantidade de terra de lavoura que era reservada para o pousio por volta de 1940 era cerca de 30%. Com a intensificação do sistema produtivo, por volta de 1990, a fração de terra necessária para pagar o preço dos fertilizantes minerais utilizados era de cerca de 20% da área total, obviamente sendo este percentual variável em função da oscilação do custo no mercado dos fertilizantes.

Um fato a ser considerado sob a ótica da operacionalidade é que o uso de adubos minerais implica numa maior produtividade do trabalho do que a alternativa do uso de áreas para adubação verde.

As conseqüências da progressiva abertura do comércio internacional, para os países em desenvolvimento, pressionam para o abandono das técnicas tradicionalmente utilizadas em favor de técnicas de maior produtividade por hora e por hectare e, conseqüentemente, aumentando impactos ambientais, como erosão, poluição por fertilizantes e pesticidas, além de perda de biodiversidade (GIAMPIETRO et al., 1999). Assim, um significativo incremento no rendimento dos produtores rurais no curto prazo pode estar acoplado com sérios prejuízos aos sistemas ecológicos, com perda de biodiversidade ao longo do tempo e aumento dos processos erosivos.

Um exemplo recente de intensificação de sistemas de produção agrícola são as mudanças tecnológicas adotadas pela China. Os chineses passaram de sistemas baseados no aproveitamento dos recursos naturais para sistemas baseados no cultivo intensivo, com uso de fertilizantes minerais e irrigação. Os esforços para aumentar a produtividade neste país, segundo Zhen et al (2006), têm sido baseados no elevado uso de insumos externos, ignorando as particularidades e limitações da base natural de recursos. O uso excessivo de fertilizante leva ou a lixiviação e contaminação do lençol freático ou ao enriquecimento dos vegetais com nitrato. De vinte amostras extraídas do lençol freático daquele país, dezesseis mostraram níveis de nitrato superiores ao permitido para água potável e dezenove entre vinte amostras de cebolinha (*Allium pifulosum*) tiveram o teor de nitrato com mais do dobro do permissível. Estes autores ponderam que a China é hoje o maior consumidor de fertilizantes do mundo e que sem o uso destes insumos a agricultura chinesa não teria conseguido suprir a crescente demanda por alimentos. Entretanto, considerados os níveis de contaminação que vem sendo observados, o modelo atual de manejo de fertilidade na China não é sustentável, existindo desequilíbrios que apontam para o uso em excesso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados e um uso de fontes potássicas aquém das necessidades.

Para proteger seus recursos hídricos, alguns países europeus estabeleceram valores limites de aplicação de nitrogênio por hectare, por ano. Na Áustria, segundo Amlinger et al. (2003), de acordo com o tipo de solo e levando-se em consideração uma mineralização máxima dos resíduos orgânicos de 25% no primeiro ano, estes valores variam de 175 a 210 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Alguns sistemas de produção podem apresentar grandes perdas, principalmente para o nitrogênio, mesmo no caso de sistemas menos intensivos. Segundo Boddey et al. (2004), a quantidade de N depositado em pastagens na forma de urina pode variar de 50 a 90 kg ha⁻¹, com as perdas deste elemento variando de 35% a 80% e sendo maiores nas áreas de menor vegetação.

Para Hartemink (2001), os efeitos deletérios do uso de fertilizantes minerais são minimizados em estudos realizados em estações experimentais em função de um maior controle dos diversos fatores que afetam a produtividade dos sistemas de produção agrícola. No que diz respeito ao “risco ambiental aceitável” da intensificação dos sistemas de produção agrícola, para Paoletti et al. (1999), produtores desesperados financeiramente estarão pouco atentos para impactos de médio e longo prazo nos agroecossistemas.

Os campos de cultivo mobilizados por práticas de arações frequentes, que são características típicas dos sistemas de produção adotados nas regiões tropicais, acabam sofrendo a quebra da estrutura do solo e a oxidação da matéria orgânica com a conseqüente gradual perda da fertilidade do solo (BODDEY et al., 1997).

A adoção de práticas isoladas para solucionar os problemas de deterioração de atributos do solo provocados pelo uso intensivo, como a descompactação mecânica do solo, por exemplo, não tem se mostrado uma estratégia eficaz para reverter o processo de degradação (OLIVEIRA et al., 2004).

A investigação de alternativas para formas de manejo sustentáveis dos sistemas de produção agrícola deve buscar, além de sincronizar a mineralização das fontes orgânicas com as fases de maior demanda pelas culturas, também proporcionar o aumento de estoque de carbono e nitrogênio do solo.

Boddey et al. (1997) consideram que, no caso de cereais, existem poucas tecnologias aceitáveis pelos produtores capazes de produzirem elevada produção de grãos usando adubos verdes ou outras leguminosas em rotação ou em cultivo intercalar. Estes autores destacam que para conservar o nitrogênio e outros nutrientes ênfase deve ser dada no manejo dos resíduos, de forma que estes possam elevar ou pelo menos contribuir para repor a matéria orgânica do solo.

Fortuna et al. (2003) verificaram que após seis anos de aplicação de composto o estoque de Carbono mais resistente havia aumentado em 30%. Contudo, observaram também limitação no fornecimento de nitrogênio para o milho em todos os tratamentos em que foi utilizado composto (poda de carvalho vermelho e esterco compostados por um ano). Estes autores destacaram a importância da preocupação com o sincronismo entre a mineralização e a demanda das plantas, uma vez que a imobilização de nitrogênio pode estar associada com a qualidade dos resíduos orgânicos.

Urquiaga et al. (1998) avaliaram a imobilização do N mineral induzida pela decomposição das raízes de quatro plantas forrageiras tropicais (*Stylosanthes guianensis*, *Centrosema* sp., *Andropogon gayanus* e *Brachiaria decumbens*). Estes autores ponderaram que as características da matéria orgânica adicionada ao solo pelas raízes de gramíneas podem implicar na conservação ou acumulação de carbono ao solo e na imobilização do nitrogênio, causando o declínio deste sistema de produção. Este efeito pode ser minimizado por meio do consórcio com leguminosas, de decomposição inicial mais rápida devido à sua menor relação C:N e menor teor de lignina.

2.3.2 A viabilização dos policultivos

A introdução de árvores nos campos de cultivo de maneira integrada com plantas anuais e animais tem potencial para absorver grandes quantidades de carbono (ALBRECHT & KANDJI, 2003). Porém, ao comparar áreas em que a poda das árvores foi utilizada como cobertura morta ("mulch") e áreas em que houve corte e queima da biomassa, no primeiro ano

a área em que não houve queima da biomassa apresentou menor produtividade no cultivo de arroz, caupi e mandioca. No segundo ano o efeito foi inverso. Estes resultados foram atribuídos ao fato de que no segundo período a cobertura morta já estava parcialmente decomposta, disponibilizando os nutrientes às plantas. A ausência de cinzas para reduzir a acidez do solo na área com cobertura morta também contribuiu para reduzir a produtividade. Estes autores destacaram que a utilização da cobertura morta não só auxilia na redução da perda de nutrientes, mas também contribui para conservar significativa porção da matéria orgânica do solo, com reflexos positivos no médio prazo para as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. No entanto, no curto prazo verificou-se a necessidade de doses parcimoniosas de corretivos e fertilizantes para obter níveis de produtividade adequados em sistema de cultivo em que a mineralização da biomassa não é acelerada (pela queima ou pelo cultivo).

Alegre & Cassel (1996) destacam a importância do desenvolvimento de sistemas de produção em policultivos para a diminuição da deterioração da estrutura do solo, melhorando os atributos que conferem ao solo uma boa fertilidade, para a manutenção de uma boa produtividade ao longo do tempo. Para o cultivo de plantas anuais em terrenos inclinados, estes autores verificaram que a perda de solo estimada era de 53 Mg ha⁻¹, enquanto que para sistemas agroflorestais era de apenas 0,2 Mg ha⁻¹, indicando o grande potencial deste sistema de produção para manter a fertilidade do solo.

Buscando modificações apenas de práticas e componentes entendidas como prejudiciais à sustentabilidade dos sistemas tradicionais que aproveitam a biomassa vegetal para manejo da fertilidade, Denich et al. (2005) incluíram algumas práticas adicionais e testaram nas áreas dos produtores a utilização de cobertura morta ("mulch"), com a limpeza de áreas sem a utilização de fogo por meio de um trator equipado com triturador para transformar a vegetação arbustiva em cobertura morta. As áreas de pousio foram enriquecidas com *Acacia auriculiformis*, com potencial para acumular uma quantidade de biomassa duas vezes superior à biomassa acumulada pela vegetação nativa. Além do enriquecimento foram introduzidas novas variedades de culturas pouco dependentes do uso de insumos, como arroz e mandioca. A implementação destas inovações era flexível de acordo com as preferências de cada agricultor. Estes autores concluíram que o enriquecimento das áreas de pousio com leguminosas cumpre uma série de funções ecológicas consideradas vantajosas. No contexto de pequenos produtores rurais o enriquecimento melhora o manejo das paisagens agrícolas pelos seguintes motivos:

- 1) acumulam biomassa e nutrientes, na qual a produtividade deste sistema de produção é baseada;
- 2) suprimem plantas invasoras durante o período de cultivo;
- 3) bombeiam nutrientes das camadas mais profundas;
- 4) controlam a erosão;
- 5) mantém a produtividade dos agroecossistemas.

Considerando que nos sistemas de produção baseados no aproveitamento da biomassa da vegetação o equilíbrio entre período de cultivo e período de pousio é chave, o balanço de nutrientes do sistema pode ser sensivelmente melhorado pelo uso de práticas que não intensifiquem o processo de queima da biomassa. Além disso, o enriquecimento das áreas de pousio com espécies de rápido crescimento também é sugerido como prática adequada para aumentar a produtividade de sistemas de produção baseados no manejo da biomassa da vegetação (DENICH et al., 2005).

Stockdale et al. (2001) avaliando a rentabilidade de sistemas de produção orgânica ponderaram que os custos variáveis do plantio de grãos são de 50 a 60% menores que os do cultivo convencional e que o custo de produção da batata e de culturas hortícolas é de 10 a 20% menor. Estes autores atribuem o sucesso financeiro dos sistemas de produção orgânica à

redução dos custos variáveis por meio da paulatina melhoria da qualidade do solo, notadamente para parâmetros biológicos e físicos, com o incremento do número de nematóides não parasitas e melhorias na estrutura e estabilidade dos agregados.

Embora seja possível obter elevadas produtividades por meio de resíduos orgânicos, eles raramente estão disponíveis em qualidade e quantidade suficiente com custos compatíveis para aplicação em larga escala (BODDEY et al., 1997). No caso de regiões com maior pressão populacional e conseqüente menor disponibilidade de terras para rotação, o aproveitamento de resíduos orgânicos urbanos podem representar uma importante contribuição, conforme demonstrado por Marchiori et al. (1998), Marchiori et al. (1999) e Marchiori (2000), para a cultura da cana-de-açúcar em Piracicaba e para o cultivo de hortaliças na região metropolitana de São Paulo.

Considerada a importância da matéria orgânica para a fertilidade do solo sob o ponto de vista químico, físico e biológico e também a escassez de fertilizantes orgânicos para atender a demanda de algumas regiões em quantidade, qualidade e custos compatíveis, a utilização policultivos surge como alternativa para suprir as necessidades de matéria orgânica dos sistemas de produção agrícola com base ecológica.

2.4 Sistemas Agroflorestais

A hipótese central para a combinação de espécies vegetais herbáceas, arbustivas e arbóreas em sistemas agroflorestais é a expectativa de complementariedade das interações visando ao melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Além das interações relacionadas à fertilidade do solo, ocorrem interações relacionadas às alterações do microclima ou às alterações biológicas (BALASUBRAMANIAN & SEKAYANGE, 1991; CANNELL et al., 1996; RAO et al., 1998; SHARMA et al., 1998).

2.4.1 Princípios agroflorestais

Os policultivos compostos por espécies com sistemas radiculares espacialmente complementares podem explorar um maior volume de solo e ter mais acesso aos nutrientes pouco móveis, como o fósforo (WHITTINGTON & O'BRIEN, 1968), além de melhorar a ciclagem dos nutrientes móveis, conservando-os na biomassa (HUXLEY, 1999).

Os sistemas de cultivo devem ser idealizados para promover alta capacidade fotossintética durante a maior parte do ano. Nos cultivos consorciados, a altura das plantas, a forma e o ângulo das folhas, a velocidade de crescimento e o período de tempo necessário para alcançar a maturação são características importantes que determinam a eficiência fotossintética (LIEBMAN, 2002).

As condições climáticas e os processos de formação do solo influenciam a vegetação natural, os tipos de solo e a produtividade dos agroecossistemas no mundo. As diferenças inerentes de produtividade dos solos de regiões tropicais e dos solos de regiões temperadas sugerem a necessidade de soluções peculiares (BADEJO & TOGUN, 1998).

A maior cobertura proporcionada pelos policultivos pode diminuir a penetração da luz solar até a superfície do solo, de maneira que uma grande proporção da água disponível no solo é utilizada pelas culturas no processo de transpiração, em vez de perder-se pela evaporação do solo (REDDY & WILLEY, 1981).

Com base na radiação solar e na duração da época do crescimento vegetal, de Witt (1967) apud Sanchez (1976) estimou os rendimentos potenciais de cultivos alimentícios em várias faixas latitudinais, observando que as áreas tropicais têm aproximadamente o dobro de potencial de produção por hectare por ano do que as áreas temperadas, supondo que não haja outros fatores limitantes. Dentre estes fatores, no que diz respeito aos parâmetros climáticos, a precipitação pluvial é o mais importante para a agricultura tropical, tanto em termos de déficit

quanto de excesso, sendo a distribuição das chuvas mais influente que a quantidade total (SANCHEZ, 1976).

Rao et al. (1998) revendo os resultados de 29 experimentos com aléias conduzidos por quatro ou mais anos verificaram que a competição por água foi o principal fator que determinou o incremento ou o decréscimo da produtividade média das culturas intercalares. Para locais com precipitação média menor que 800 mm, Cannel et al. (1998) consideram que, as árvores de sistemas agroflorestais têm baixa produtividade, geralmente não compensando as perdas devido à competição por luz e água.

Os sinergismos ocorrem no momento em que as espécies cultivadas nos consórcios têm acesso a recursos não disponíveis quando em monocultura, ou quando aproveitam-se de melhorias do microambiente, o que resulta em maior eficiência na conversão de recursos. Uma maior eficiência no uso da água (aferida como ganho de CO₂ com a fotossíntese/H₂O perdida pela transpiração) foi observada em culturas sob a proteção de espécies mais altas, que funcionavam como quebra-vento (LIEBMAN, 2002).

A diversificação dos campos de cultivo de forma planejada pode ser considerada uma forma de superar fatores limitantes para o aproveitamento eficiente dos recursos disponíveis a custos compatíveis e com produtividade competitiva frente à concorrência do mercado.

Durante algum tempo a vantagem da realização de policultivos foi vinculada principalmente ao papel estabilizador da diversidade de espécies e menos associada ao melhor aproveitamento dos recursos (luz, água e nutrientes). Todavia, a influência da diversidade na estabilidade no sistema é mais qualitativa do que quantitativa. Os aumentos na diversidade não melhoram necessariamente, e por si mesmos, a sustentabilidade, e uma diversidade mal planejada pode ser, na realidade, desestabilizadora (DOVER & TALBOT, 1992).

Para avaliar quanto de biodiversidade no sistema é suficiente, é importante ter claros os objetivos a serem atingidos em cada circunstância em particular, quais as funções ecológicas mais carentes para o bom funcionamento do sistema (MAIN, 1999).

2.4.2 Biodiversidade e sistemas de produção agrícola

É importante saber diferenciar a diversidade natural e diversidade planejada. A diversidade em um agroecossistema não pode aumentar ao acaso. A engenharia do sistema deve escolher cuidadosamente quais são os elementos que devem contar com mecanismos de funcionamento alternativos, elegendo-se determinadas espécies, disposições no tempo e no espaço e táticas de manejo que respondam às diferentes necessidades incluindo-se, entre elas, a estabilidade (DOVER & TALBOT, 1992).

Uma das formas de aumentar a eficiência dos agroecossistemas é a analogia com os ecossistemas naturais, imitando sua estrutura e função, planejando a distribuição espacial e cronológica (EWEL, 1986). As pesquisas com sistemas agroflorestais nos trópicos iniciaram em 1970, procurando imitar a estrutura vertical das florestas e, normalmente, caracterizando-se por procurar manter a produtividade sem o auxílio de insumos externos (OELBERMANN et al., 2004). Durante os anos 80 acreditava-se ser possível a realização de plantios altamente adensados de árvores, com base em expectativas otimistas de uma “natural integração” de diferentes nichos ecológicos. Os experimentos desenvolvidos ao longo dos anos 90 deixaram clara a necessidade de estratégias para mitigar efeitos competitivos entre árvores, arbustos e plantas anuais, além da utilização de indicadores para o monitoramento da eficiência das práticas adotadas (GARCIA-BARRIOS & ONG, 2004).

Na natureza não existem espécies isoladas e sim complexas associações chamadas comunidades, que são o conjunto das populações de um determinado lugar. As interações entre seus membros definem os atributos da comunidade. Estes atributos incluem a composição específica e sua estrutura trófica. Em um processo chamado sucessão, muitas comunidades vão gradualmente mudando: algumas espécies vão sendo substituídas por outras

e novas espécies somam-se ao sistema. As comunidades têm relações muito estreitas com o seu ambiente: as condições edafoclimáticas afetam a comunidade e esta afeta o solo e o microclima do sistema, por meio de relações de transferência e circulação de energia e de matéria que constituem o ecossistema (DOVER & TALBOT, 1992).

Os componentes da biodiversidade (genética, espécies, ecossistemas e aspectos culturais) devem ser incrementados de forma direcionada para atender funções específicas, por exemplo, melhor aproveitamento dos recursos, controle de fitonematóides e maior rentabilidade (MAIN, 1999).

O aumento da biodiversidade nos campos de cultivo pode ocorrer de forma complementar. Em termos ecológicos, a complementariedade diminui a superposição de nichos entre as espécies associadas, minimizando assim a competição. A complementariedade pode ser temporal, espacial ou fisiológica, a partir da compreensão dos processos que ocorrem no ambiente natural (LEFROY et al., 1999; ALTIERI, 2002).

A compreensão da evolução das comunidades e dos ecossistemas é importante para a identificação das condições ecológicas que devem servir de base para uma agricultura sustentável, sendo o fluxo de energia especialmente significativo para o planejamento dos sistemas agrícolas. Existe relação entre a produtividade primária resultante da captura da energia solar pelas plantas e a quantidade de biomassa na comunidade. A razão produtividade/biomassa diminui à medida que o sistema amadurece, pois parte da energia é utilizada para agregar novos materiais e parte é utilizada para manter o sistema. A agricultura tem sido frequentemente descrita como a manutenção artificial de um sistema nos estados prematuros da sucessão (baixa maturidade) a fim de explorar a alta produtividade líquida deste estágio (DOVER & TALBOT, 1992).

Nas associações de plantas no espaço ou no tempo, aspectos como hábito de crescimento, tolerância à sombra e competitividade devem ser considerados, assim como os principais objetivos da associação. É assumido que o produtor dará prioridade para a cultura principal no momento de requerimentos conflitantes, embora efeitos de médio e longo prazo possam compensar dificuldades de curto prazo. Um exemplo é a tolerância às dificuldades para a colheita do milho na associação entre milho e mucuna, devido aos benefícios esperados para a fertilidade, controle de plantas invasoras e fitonematóides (ANDERSON et al., 2001).

Nos sistemas prematuros, as flutuações populacionais são mais pronunciadas e os mecanismos que controlam o tamanho das populações são mais físicos (clima, por exemplo) do que biológicos. Essas observações apontam para uma importante limitação da agricultura: a tentativa de se obter a máxima estabilidade de uma estrutura complexa de biomassa muitas vezes entra em conflito com os esforços para obterem-se maiores rendimentos (DOVER & TALBOT, 1992).

Em termos do processo de desenvolvimento da cobertura vegetal, a maioria das leguminosas fixadoras de N se desenvolve nas fases iniciais da sucessão, estando por isso no grupo das plantas pioneiras. Como evoluíram para ocupar terrenos pobres em nitrogênio, a maioria das leguminosas é pouco competitiva por luz, exigindo sol pleno para um bom desenvolvimento (KHATOUNIAN, 2001).

Em sistemas com aléias, os componentes mais altos são usualmente espécies C_3 e se um cereal C_4 estiver sendo cultivado entre as aléias o sombreamento irá inevitavelmente levar a uma redução na assimilação da radiação fotossinteticamente ativa pelo cereal, quando comparado a uma cultura solteira, a menos que a fotossíntese na cultura solteira seja limitada pelo fechamento dos estômatos (CORLETT et al., 1992_a).

Como a fotossíntese das plantas tropicais C_3 pode estar saturada por excesso de luz, o sombreamento pela presença de plantas mais altas pode proporcionar um melhor aproveitamento da radiação e uma maior produção de matéria seca pelo sistema de produção como um todo (CORLETT et al., 1992_a; FRIDAY & FOWNES, 2001). Assim sendo, o uso de

leguminosas em sistemas agroflorestais, além de melhorar a ciclagem de nutrientes (fixação biológica de nutrientes, captação de elementos nas camadas mais profundas, melhoria da estrutura física do solo), pode também proporcionar um melhor aproveitamento da radiação (GILLER, 2001). A melhoria das propriedades biológicas dependerá das espécies utilizadas (LYNCH, 1986; WOOMER & SWIFT, 1994).

Segundo Benjamin (2000), para os sistemas agroflorestais serem uma alternativa competitiva, o crescimento, qualidade e colheita dos produtos gerados devem ser similares aos produtos produzidos de maneira convencional. Todavia, Nair (2001) pondera que as metodologias utilizadas para culturas solteiras podem não ser eficientes para mensurar a ciclagem de nutrientes em sistemas multiespécies, ou ainda o desempenho dos produtos em mercados alternativos.

Lunz & Melo (1998), na análise do consórcio entre cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e pupunha (*Bactris gasipaes*) na região amazônica, verificaram a ocorrência de competição após os primeiros anos de cultivo entre estas duas espécies, o que foi atribuído ao fato dos produtores não realizarem nenhum tipo de adubação de manutenção e ainda ao vigoroso sistema radicular da pupunha. Na avaliação econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia, também com a participação destas espécies, Bentes-Gama et al. (2005) destacaram a importância do preço de venda dos produtos e o custo da mão-de-obra para o bom desempenho destes sistemas de produção.

Entre os aspectos a serem considerados para a escolha das espécies dos sistemas agroflorestais pode-se destacar: satisfação das necessidades do produtor, adaptação às condições ecológicas da região, ciclos de vida diferenciados, épocas diferenciadas de safra, ser de uso conhecido pelos agricultores, não serem muito exigentes em água e nutrientes, possuir mercado atual ou potencial e possuir condições de escoamento e perecibilidade compatíveis (LUNZ & FRANKE, 1998). Estes autores afirmam ainda que o desenho que proporciona a densidade ótima é aquele que permite a máxima produtividade e que a configuração dos sistemas agroflorestais depende de dois elementos fundamentais: a arquitetura da parte aérea e das raízes; a ecofisiologia das espécies (necessidades de água, luz, nutrientes, época de colheita). Não só a densidade é importante, mas a sua distribuição no tempo e espaço também.

Thangata & Alavalapati (2003) destacam a *Gliricidia sepium* como uma das espécies predominantemente utilizadas em sistemas agroflorestais. Para estes autores, a adoção destes sistemas tem como fatores principais a idade do produtor, a intensidade de contato com o serviço de extensão rural e a disponibilidade de mão de obra na propriedade rural. A gliricídia apresenta como características favoráveis peculiares uma estrutura vegetal compacta e baixa concorrência com os cultivos intercalares (BARRETO & FERNANDEZ, 2001).

Hartemink (2004) avaliou o desempenho da gliricídia em solos intensamente cultivados no trópico úmido e constatou a elevada capacidade de produção de biomassa desta leguminosa (aporte de $23,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria seca).

Outra espécie também bastante utilizada em sistemas de consórcio é o guandu. Sistemas de produção em consórcio (guandu/sorgo; guandu/amendoim; milho/sorgo; milho/amendoim) foram avaliados por Rao & Singh (1990) durante três anos em nove diferentes situações de solo e práticas culturais com o objetivo de analisar a produtividade e o risco associado a estes sistemas de produção. Os dois sistemas baseados no consórcio com guandu apresentaram maior produtividade e menor risco, o que foi atribuído a um maior intervalo de colheita entre as plantas consorciadas (3 meses).

Alves et al. (2004) também observaram efeitos positivos na utilização de faixas de guandu, com produção de 11 Mg ha^{-1} de matéria seca fazendo circular no sistema de produção de hortaliças em aléias, 283 kg ha^{-1} de N e 23 kg ha^{-1} de P, num período de cinco meses.

Este aporte permitiu uma elevada produtividade de hortaliças sob manejo orgânico, comparável à obtida sob sistema convencional de manejo.

Embora o guandu seja uma boa alternativa para produção de biomassa, observando-se os resultados obtidos por Andrade et al. (2002) ao testar diversas leguminosas em cultivo intercalar com o maracujá, deve-se atentar para o fato de que o guandu pode induzir um aumento na população de fitonematóides no solo.

Assim sendo, para a avaliação dos efeitos da escolha de espécies visando melhorar a eficiência do sistema de produção, é necessário recorrer a diversos indicadores biofísicos (DANIEL et al., 2001).

2.5 Indicadores

O termo “indicador” pode ser entendido como um instrumento que permite mensurar as modificações nas características de um sistema. O uso de indicadores para avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção agrícola deve levar em consideração a satisfação das necessidades do produtor (ao longo do tempo) e a conservação dos recursos naturais (DEPONTI et al., 2002).

A evolução dos sistemas de produção é fruto de reações a processos socioeconômicos e ecológicos. Os indicadores ecológicos precisam ser suficientemente sensíveis para a percepção de mudanças para capturar a complexidade dos sistemas de produção e ainda assim serem simples o suficiente para serem utilizados no monitoramento (VIRGINIA & SUZANNE, 2001).

Diversos aspectos podem ser considerados para a escolha de indicadores: objetividade e consistência; coerência e sensibilidade a mudanças no tempo e no sistema; facilidade de medição e custo; responder de maneira antecipada, permitindo a adoção de medidas preventivas; baixa variabilidade de resposta; permitir enfoque integrador, ou seja, fornecer informações condensadas sobre vários aspectos do sistema; permitir ampla participação dos atores envolvidos na sua definição; limite facilmente identificável entre condições sustentáveis e não sustentáveis; fácil de entender e que contribua para a participação da população local no processo de mensuração (DEPONTI et al., 2002; OELBERMANN et al. 2004; VIRGINIA & SUZANNE, 2001).

Consideradas as dificuldades para atender todas estas prerrogativas, indicadores escolhidos devem preferencialmente ser versáteis e relevantes para as condições ecológicas avaliadas, dirigidos aos principais processos degradativos (ou regenerativos), buscando prover uma medida de vários processos e atributos inter-relacionados, como por exemplo, o teor de matéria orgânica e taxa de infiltração (LAL, 1999).

Segundo Daniel et al. (2001), para análise do indicador devem ser considerados os seguintes aspectos: significado do indicador; o que, como, onde e quando medir; insumos necessários para a avaliação, limitações do indicador, valores limites do indicador, apresentação e interpretação dos resultados e procedimentos para o monitoramento.

Para que a escolha de indicadores seja coerente com os propósitos da avaliação, é necessário ter clareza sobre:

- Por que avaliar? O que avaliar? Como avaliar? Por quanto tempo avaliar?
- Que elementos constam na avaliação e como os resultados da avaliação poderão melhorar o perfil dos sistemas analisados? (DEPONTI et al., 2002)

2.5.1 Indicadores e sustentabilidade

Indicadores ecológicos podem ser usados para acessar condições ambientais, provendo um aviso prévio de mudanças ou diagnosticando causas dos problemas. O conjunto de indicadores deve representar informações fundamentais sobre estrutura, função e composição

do sistema ecológico (VIRGINIA & SUZANNE, 2001). Na escolha dos indicadores ecológicos duas preocupações principais devem estar presentes:

- (1) o monitoramento freqüentemente depende de um número pequeno de indicadores e não considera a complexidade completa do sistema ecológico;
- (2) a escolha de indicadores ecológicos corre o risco de estabelecer objetivos e metas de longo prazo vagas.

Algumas propriedades são mais sensíveis ao manejo do que outras, porém há que se considerar os custos para aquisição de dados. Os critérios a serem utilizados devem levar em conta os objetivos da pesquisa e considerar aspectos de curto e longo prazo (YEMEFACK et al., 2006).

O planejamento da propriedade rural deve buscar a eficiência na utilização dos recursos naturais disponíveis: fluxo de energia, disponibilidade de água e qualidade do solo.

O uso de indicadores de produtividade é um bom integrador de fatores como solo, água, elementos bióticos e climáticos, como por exemplo: produção de biomassa, rendimento agrônômico (expresso em unidade de área, unidade de tempo, ou ambos), rendimento econômico, produtividade potencial versus efetiva (LAL, 1999). Contudo, um sistema de produção não pode ser considerado sustentável se for excessivamente dependente do uso de fertilizantes ou outros agroquímicos (BODDEY et al., 1997).

O aproveitamento eficiente dos diversos componentes dos ecossistemas repercutirá na qualidade do solo dos sistemas de produção agrícola. Entre os fatores formadores da qualidade do solo têm-se os fatores físicos (estrutura do solo, textura, densidade, temperatura, erodibilidade, profundidade do solo); fatores químicos (pH do solo, macro e micronutrientes, substâncias húmicas) e fatores biológicos (macro e mesofauna e microbiota). Além destes, a qualidade do solo também é influenciada pelo balanço de água no solo: drenagem-lixiviação, retenção de água, nível do lençol (LAL, 1999 e ANDERSON et al., 2001)

Um solo de alta qualidade é aquele que: acomoda a entrada da água; retém e supre água para as plantas; resiste à degradação; dá suporte ao crescimento das plantas. A importância relativa de cada função dependerá de cada situação específica (BOUMA, 2002; DORAN & PARKIN, 1996).

2.5.2 Utilização de indicadores

Muitos resultados promissores de pesquisa medidos em estações experimentais não puderam posteriormente ser confirmados na prática nas condições das propriedades agrícolas. As propriedades agrícolas são caracterizadas por uma elevada diversidade de condições agrônômicas e socioeconômicas que diferem consideravelmente do ambiente de produção relativamente homogêneo das estações de pesquisa (DENICH et al., 2005).

A caracterização inicial das condições antecedentes é crucial para avaliar objetivamente as mudanças induzidas por manejo nos indicadores de solo. O plano de amostragem deve levar em conta a variabilidade, que pode ser natural ou induzida por manejo (CASSEL, 1983). Enquanto que propriedades como pH e densidade podem variar pouco dentro de unidades de mapeamento (em torno de 10%), o teor de matéria orgânica do solo pode apresentar coeficiente de variação de 70% (LAL, 1999).

Cichota et al. (2003) observaram que a taxa de infiltração de água no solo apresentou-se altamente variável, especialmente para os tempos iniciais. Verificou-se a existência de dependência espacial com alcance na ordem de 3,5 m.

A freqüência de monitoramento dos parâmetros dependerá de sua velocidade de alteração. A maioria dos indicadores físicos varia em tempo inferior a um mês. A retenção e transmissão de água e as reservas de nutrientes mudam no espaço de um mês a um ano; alguns indicadores físicos podem passar por mudanças diárias (ex. temperatura e umidade do solo), enquanto que para outros as mudanças demoram mais tempo (ex. densidade e

porosidade). Mudanças na estrutura do solo, por exemplo, são relativamente lentas, mensuráveis em um período de um a dois anos (LAL, 1999).

A avaliação da respiração microbiana logo após a adição de resíduos, o cultivo ou períodos de calor e umidade pode levar a medição de picos de atividade que não se manterão ao longo do tempo (SARRANTONIO et al., 1996). A atividade biológica do solo é afetada diretamente pelo ambiente e indiretamente pelas plantas, que causam flutuações sazonais de água, nutrientes, entrada de carbono e outros fatores na rizosfera ou no volume total do solo, fazendo com que qualquer parâmetro relacionado às atividades biológicas seja provavelmente muito variável. Para reduzir o número de amostras necessárias é recomendável que a avaliação ocorra quando o clima está mais estável, ou quando não ocorreram distúrbios recentes no solo, como por exemplo, no fim da estação de crescimento (DICK et al., 1996).

2.5.3 Indicadores e funções “pedotransfer”

Muitas propriedades básicas dos sistemas de produção agrícola são úteis para estimar outras propriedades ou atributos de determinação mais trabalhosa ou de custo elevado (DORAN & PARKIN, 1996).

Para melhor esclarecer a significância dos teores totais de matéria orgânica para a fertilidade do solo, Swift & Woomeer (1993) sugerem a utilização de multi-atributos que se relacionam com estes teores (biota do solo, quantidade e qualidade das diversas entradas de material orgânico no sistema, estrutura física do solo e dinâmica da água, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca catiônica).

A interpretação das diferentes formas de matéria orgânica pode ser incrementada por meio da utilização de funções “pedotransfer”, ou seja, propriedades do solo relativamente fáceis de determinar e que possam ser correlacionadas com as funções das diferentes frações da matéria orgânica, repercutindo na produtividade do sistema de produção agrícola e na conservação dos recursos dos ecossistemas (DUDAL & DECKERS, 1993).

Para estimar a ordem de grandeza de teores matéria orgânica dos solos que podem ser considerados ótimos para um determinado grupo de solos, Sikora & Stott (1996) sugerem a avaliação dos teores de solos considerados mais produtivos ou de áreas conservadas que possam ser usadas como referência.

É essencial conhecer os componentes da matéria orgânica do solo e sua dinâmica, esmiuçando sua complexidade, uma vez que estes aspectos têm poder determinante na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, com efeitos na produtividade e estabilidade dos agroecossistemas.

2.6 Matéria Orgânica do Solo

Solos com argila de baixa atividade são comuns nas zonas intertropicais, com dominância de quartzo, caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração mineral, de forma que as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos dependem largamente de seu conteúdo em matéria orgânica (FELLER, 1993).

Embora o carbono orgânico não seja um nutriente da planta, baixos teores no solo (0,5% a 1%) podem afetar a produtividade em razão de seu efeito na estrutura e na disponibilidade de água para as plantas e por atuar como fonte ou dreno de nutrientes, além do tamponamento que oferece contra repentinas flutuações nas características do solo (BAUER & BLACK, 1992; LAL, 1999).

A dinâmica da matéria orgânica do solo é influenciada pelas condições climáticas, tipo de solo e formas de manejo adotadas. Estes fatores interagem para determinar um controle químico, físico e biológico da matéria orgânica do solo, juntos regulando a quantidade e a qualidade do material orgânico que entra no sistema, a composição e atividade de

comunidades de decompositores e as taxas de perdas via mineralização, lixiviação e processos erosivos (FELLER & BEARE, 1997).

Entre as práticas de manejo, uma das que mais influencia os teores de matéria orgânica do solo é a quantidade de biomassa produzida acima e abaixo do solo. No entanto, mesmo dentre práticas de manejo bastante distintas as diferenças nos teores totais da matéria orgânica do solo medidos pelos métodos convencionais analíticos (por exemplo, oxidação com dicromato) só serão detectados após 3 a 5 anos (SIKORA & STOTT, 1996). Isto porque a maior parte do carbono da matéria orgânica do solo é constituída de matéria não viva, relativamente estável e resistente a mudanças (RICE et al., 1996).

2.6.1 Caracterização da matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo é composta por uma mistura heterogênea de materiais, variando quanto ao tamanho físico, composição química, grau de associação com os minerais do solo e estágio de decomposição. Como resultado, seus diferentes componentes vão ser perdidos ou acumulados em diferentes taxas, de acordo com a quantidade ponderada de cada componente (BALDOCK & SKJEMSTAD, 1999).

A matéria orgânica do solo pode ser dividida em fração viva e fração não viva. Na fração viva temos a fitomassa, a biomassa microbiana e a fauna do solo. Na fração não viva tem-se a matéria orgânica dissolvida (<0,45 mm), a matéria orgânica particulada (fragmentos com as estruturas celulares reconhecíveis), o húmus (matéria orgânica amorfa) e a matéria orgânica inerte (material orgânico altamente carbonizado, incluindo carvão). Cada compartimento contribui de forma diferenciada para as diversas funções da matéria orgânica no solo (BALDOCK & SKJEMSTAD, 1999; BALDOCK & SKJEMSTAD, 2000).

As relações entre a matéria orgânica do solo e os constituintes físicos do solo podem ocorrer em dois níveis de organização: 1) a natureza com que a matéria orgânica se associa com as partículas minerais (areia, silte e argila); 2) a natureza com que a matéria orgânica do solo se associa com os macro e microagregados estáveis, fazendo com que as propriedades estruturais possam influenciar o tamanho, a qualidade e a distribuição dos compartimentos de matéria orgânica do solo. A distribuição relativa de C e N dos solos agrícolas nas diferentes classes de tamanho depende principalmente da textura do solo e também do histórico do cultivo (FELLER & BEARE, 1997).

Outros fatores que afetam as características e os teores de matéria orgânica do solo são o clima, a biota (vegetação e organismos associados), topografia e frequência de eventos naturais ou induzidos pelo homem (por exemplo, fogo, inundação e erosão) (BALDOCK & SKJEMSTAD, 1999).

Por mais de um século a matéria orgânica do solo tem sido caracterizada pelo fracionamento químico, dando como resultado frações com pouca correlação com os principais processos do solo, como agregação e mineralização. Isto provavelmente resulta do fato que as extrações ácidas/alcalinas da matéria orgânica são altamente seletivas e ligadas à solubilidade dos compostos orgânicos, resultando na extração de compostos similares quimicamente, mas pertencentes a compartimentos da matéria orgânica do solo muito distintos. A associação da matéria orgânica com alguns constituintes da fração mineral do solo pode ser importante para regular a mineralização e o estoque de material orgânico no solo. A dinâmica da matéria orgânica no solo é correlacionada e presumidamente dependente da textura e da estrutura do solo, sendo estas as propriedades que podem fortemente influenciar o processo de decomposição da matéria orgânica do solo. Este fato tem levado ao uso de técnicas de fracionamento físico da matéria orgânica do solo (FELLER & BEARE, 1997).

Segundo Zhang et al (2007), no fracionamento físico a fração leve é constituída pelos resíduos orgânicos livres, não ligados à fração mineral, em variados graus de decomposição,

ricos em C e N quando comparado ao solo (inteiro). A fração pesada é associada à fração mineral, tem maior densidade, é mais estável e com menor concentração de C. A fração leve é mais sensível às alterações induzidas pelas práticas de manejo. Para Zhang et al (2007), a taxa de declínio da fração leve livre da matéria orgânica do solo é maior do que a da fração leve dos intra-agregados e da fração humificada (estável, pesada) durante os cinco primeiros anos de cultivo. O cultivo leva ao acúmulo de carbono na fração pesada comparativamente com outras frações. Entretanto, cabe destacar que a dinâmica do carbono do solo no curto prazo (menos que cinco anos) é controlada pelo comportamento da fração leve, enquanto que a dinâmica do carbono no longo prazo (maior que cinco anos), é controlada pelo comportamento da fração mais estável.

2.6.2 Complexidade da dinâmica da matéria orgânica e sistemas de manejo do solo

Segundo Zinn et al. (2005), mudanças nos teores de carbono em função do sistema de cultivo ocorrem de forma diferenciada, de acordo com o tipo de solo, especialmente com relação ao conteúdo de argila. Perdas significativas do teor absoluto e relativo de carbono ocorrem em solos de textura mais grosseira, sugerindo extrema fragilidade de manejo para estes solos. As taxas de redução de carbono do solo observadas por estes autores foram inferiores às observadas em condições de clima temperado, sendo da ordem de 10% de $6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a camada de 0-20 cm em sistemas de cultivo intensivo. Estes resultados foram atribuídos a uma menor concentração de carbono nos solos dos sistemas de produção agrícola tropicais do que nos agroecossistemas de clima temperado e a grande associação do carbono orgânico do solo com sesquióxidos, que constituem agregados de elevada estabilidade. Estes autores ponderam que a interação de compostos orgânicos com a fração argila de solos oxidicos altamente intemperizados pode parcialmente prevenir as perdas de carbono orgânico do solo. No entanto, o cultivo intensivo pode romper a estabilidade dos agregados.

Tan et al. (2006) verificaram que após a conversão de floresta para campo agrícola ocorrem reduções tanto na concentração de carbono da fração leve quanto da fração humificada. Em contraste, os ganhos de carbono orgânico do solo quando da conversão de cultivo tradicional em semeadura direta é atribuído a um acréscimo de carbono na fração leve, ou seja, a fração lábil é a mais sensível à intensificação do cultivo, estando desta forma mais correlacionada às taxas de mineralização. Estes autores destacam também que a fração leve tem grande importância na formação e estabilidade da estrutura do solo.

A fração particulada da matéria orgânica (por exemplo, restos de cultura) exerce importante papel em todos os solos com argila de baixa atividade, mas especialmente nos solos arenosos, sendo necessária a sua restituição periódica por meio de fertilizações orgânicas ou de plantas cultivadas para este fim (FELLER, 1993).

A suscetibilidade de solos de textura mais arenosa também foi observada por Silva et al. (1994), que atribuíram a intensa redução do carbono orgânico destes solos ao fácil rompimento de agregados e exposição do material particulado para ação dos microorganismos.

Todavia, os solos de textura mais arenosa são considerados os mais apropriados para o cultivo do gengibre (SANTOS, 1992). Assim sendo, o inexorável declínio da qualidade destas terras resultante do cultivo intensivo normalmente utilizado, sugere que um manejo do solo mais sustentável para esta cultura deve estudar a viabilização da redução das práticas de revolvimento do solo e propor a introdução de práticas que proporcionem um bom aporte e acúmulo de matéria orgânica.

2.6.3 Matéria orgânica e outras propriedades do solo

O nível com que algumas funções da matéria orgânica são expressas depende grandemente de interações entre as frações orgânica e não orgânica do solo. Quantidades diferentes de matéria orgânica podem ser requeridas para exercer diferentes funções em solos diversos. A quantidade de matéria orgânica necessária para uma mineralização adequada de N disponível para as plantas pode ser muito diferente da quantidade requerida para a manutenção da estabilidade estrutural do solo (BALDOCK & SKJEMSTAD, 1999).

Para conhecer a capacidade de supressão a doenças da matéria orgânica do solo é preciso conhecer sua qualidade e estágio de decomposição e não apenas seus teores. Para discriminar esta habilidade, van Bruggen & Grünwald (1996) consideram necessária a caracterização da composição da matéria orgânica em conjunto com a microflora associada.

Enquanto que algumas propriedades do solo são dependentes fração húmica, fração mais estável da matéria orgânica do solo, como por exemplo a capacidade de troca catiônica, muitas outras propriedades desejáveis do solo estão associadas à atividade biológica. Propriedades como estabilidade dos agregados e disponibilidade de nitrogênio são frequentemente muito relacionados com indicadores biológicos, como biomassa microbiana, e fracamente relacionados com teores totais de C e N orgânicos (KAY, 1990).

O carbono da biomassa é o mais sensível a alterações no manejo do solo ou eventos climáticos e, segundo Lal (1999), pode chegar a 20% do teor de carbono orgânico total. Esta sensibilidade acaba realçando a importância da padronização dos métodos, pois vários fatores podem afetar os resultados. Entre estes fatores temos: procedimento de amostragem, secagem do solo, peneiramento, período e temperatura de estocagem, além da ocorrência de práticas que estimulam a atividade microbiana (cultivo, adição de resíduos, irrigação) (DRINKWATER et al., 1996). A ocorrência de taxas de respiração do solo mais elevadas podem ser desinteressantes ecologicamente pelo potencial de diminuir o carbono orgânico do solo (DORAN & PARKIN, 1996). Adicionalmente, taxas elevadas de mineralização durante período de baixa demanda das plantas ou de elevada precipitação, podem provocar perdas elevadas de N (DRINKWATER et al., 1996). Estes aspectos dificultam a interpretação destes indicadores para medir o grau de sustentabilidade dos agroecossistemas.

A escolha de indicadores de sustentabilidade complementares para compreender as implicações da dinâmica da matéria orgânica nos sistemas de produção agrícola pode contribuir para melhorar a eficiência destes ecossistemas.

2.7 A Biota do Solo como Indicador

O incremento da diversidade vegetal invariavelmente repercutirá na diversidade da biota do solo. Todavia, as alterações nas comunidades do solo promovidas pela adoção de policultivos podem ter conseqüências positivas ou negativas (SCHROTH et al. 2000).

A estrutura das plantas acima e abaixo do solo cria microclimas e habitats específicos, proporcionando o aporte de biomassa que pode variar quantitativa e qualitativamente (DICK et al., 1996; KOEHLER, 1998).

A fauna do solo é importante em processos chave para a eficiência dos sistemas de produção agrícola como a decomposição de materiais orgânicos, a mineralização de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio e a manutenção da estabilidade das diferentes populações da comunidade biótica (ABAWI & WIDMER, 2000).

O clima, em particular o regime pluviométrico, influencia diretamente quais os grupos de organismos dos solos das regiões tropicais serão mais ativos. Minhocas, por exemplo, são mais ativas em trópicos úmidos e subúmidos enquanto que formigas e cupins são mais ativos em regiões áridas e semi-áridas (LAL, 1988).

A degradação da qualidade do solo dos trópicos é diretamente relacionada com a drástica redução da atividade e biodiversidade da biota do solo. Entre as práticas adotadas nos

sistemas de produção agrícola que reduzem a qualidade do solo há a monocultura, o cultivo intensivo inadequado e o uso indiscriminado de agroquímicos. Entre as práticas que geralmente favorecem a biota do solo há o aporte de materiais orgânicos, o cultivo mínimo, o uso de cobertura morta e os policultivos no espaço e no tempo (consórcio e rotação de culturas) (LAL, 1988).

Um dos aspectos considerados críticos na degradação do solo é o desequilíbrio da sua biota e a conseqüente proliferação de espécies que parasitam e causam injúrias às plantas (ABAWI & WIDMER, 2000; COOK, 1994). O uso de pesticidas para controlar parasitas de plantas causa sérios problemas de saúde pública e ameaça a qualidade ambiental, sendo altamente recomendável o desenvolvimento de práticas agrícolas que priorizem o manejo integrado, estimulando processos naturais de equilíbrio do solo (PARK & COUSINS, 1998; LAVELLE, 2000). A utilização de controle biológico por meio da introdução de microrganismos no solo é limitada pelo fato de que uma dada população ou comunidade de antagonistas raramente controla mais do que um patógeno, ou ainda pelo fato destes antagonistas serem eficientes apenas sob condições ambientais específicas (COOK, 1994).

Além de sua atuação indireta nos processos edáficos mediando as oscilações da comunidade microbiana, a biota do solo atua diretamente na modificação física da serapilheira e do ambiente edáfico, exercendo papel de destaque na formação, estabilização e destruição da estrutura do solo (GONZÁLEZ et al., 2001; OADES, 1993). Estes atributos são de suma importância para o grau de susceptibilidade dos sistemas de produção agrícola à ocorrência de determinados patógenos de solo dependentes do teor de umidade predominante (FERRAZ, 1995; MATTOS, 1995). Assim sendo, a avaliação de doenças de solo em experimentos de campo terá grande dependência das oscilações climáticas.

As formas de determinação da comunidade do solo são muito diversas, sendo difícil analisar a comunidade na íntegra. A avaliação da composição de organismos em nível de grandes grupos taxonômicos procura objetivar a determinação da fauna do solo e funções semelhantes exercidas nos ecossistemas (CORREIA et al., 1997; CORREIA, 2003).

Os sistemas de produção agrícola afetam o ambiente químico e físico do solo e, por conseguinte, os organismos que nele vivem. Práticas de cultivo podem misturar os restos de cultura com a matriz do solo ou deixá-la concentrada na superfície, alterar o conteúdo de umidade, a temperatura e aeração. As mudanças físicas do ambiente e o suprimento de alimento afetam os diferentes grupos de organismos do solo de diferentes maneiras. Os organismos maiores, em geral, parecem ser mais sensíveis às operações de revolvimento do solo do que os organismos menores, devido à ocorrência de rupturas físicas e mudanças nos teores de umidade e temperatura causadas pelo enterrio dos resíduos (KLADIVKO, 2001).

O uso da avaliação da macro e mesofauna como indicadores dos efeitos das práticas agrícolas adotadas no sistema de produção tem o mérito de proporcionar uma maior participação dos produtores na avaliação das práticas, conforme recomendação de Deponti et al. (2002) para escolha de indicadores.

Com relação à microfauna do solo, embora com outras determinações como biomassa microbiana e taxa de mineralização de N pode-se conseguir uma boa correlação com aspectos relacionados à produtividade do sistema, pelo menos em curto prazo, diversos autores preferem optar pela avaliação de nematóides devido à capacidade deste indicador em responder rapidamente e de forma preditiva a distúrbios nos ecossistemas (BONGERS, 1990; FERRIS et al., 1990; ETTEMA & BONGERS, 1993; YATES & BIRD 1994).

Os nematóides são os invertebrados mais abundantes nos solos e possuem uma ampla estratégia de alimentação (bactéria, fungos, outros nematóides, raízes de plantas) (FRECKMAN & BALDWIN, 1990 apud BLAIR et al., 1996).

Entre os motivos que qualificam os nematóides como bons indicadores da qualidade do solo dos sistemas de produção agrícola estão: a diversidade abundante dos nematóides de solo e sua participação em muitas funções no ecossistema em diferentes níveis da cadeia alimentar; a rápida resposta dos nematóides às mudanças na base de seus recursos alimentares em função de seu pequeno tamanho e curto período entre gerações; a relativa estabilidade das populações de nematóides, de maneira que mudanças no tamanho das populações ou na estrutura da comunidade de nematóides pode ser usada para inferir distúrbios no solo; a habilidade que a maioria dos nematóides tem de sobreviver a condições extremas (frio, seca); o hábito aquático dos nematóides (vivendo em filmes de água) os leva a responder a mudanças na quantidade e qualidade da água em pequena escala; sua movimentação limitada permite relacionar os distúrbios com um ponto de origem em particular (BONGERS & FERRIS, 1999).

2.7.1 Alguns componentes da biota do solo

A macrofauna inclui os insetos maiores e outros artrópodes, assim como as minhocas. Por meio de sua movimentação e alimentação estes organismos podem afetar a estrutura do solo e interagindo com os microrganismos alterar a taxa e o padrão da ciclagem de nutrientes (BLAIR et al., 1996).

Os organismos da macrofauna geralmente ingerem uma mistura de materiais orgânicos e minerais. Os ácidos orgânicos produzidos pela digestão e subsequente incubação da matéria orgânica nos cropólitos são normalmente floculados na presença de argila e elevada atividade microbiana (LAVELLE, 1997). Estes floculados podem fazer parte da estrutura dos macroagregados e participar da formação de estruturas estáveis regulando a porosidade, densidade, infiltração e outras propriedades do solo (BAL, 1982, apud CORREIA, 2002).

A mesofauna, representada principalmente pelos microartropodes, não tem sua mobilidade limitada pela água, influenciando diretamente a formação de microagregados e a fragmentação física da matéria orgânica (BLAIR et al., 1996).

A microfauna inclui protozoários, fungos, bactérias, rotíferos e nematóides, que ficam restritos aos filmes de água que recobrem as partículas de solo ou aos poros preenchidos com água. O movimento destes organismos no solo depende da textura, da disponibilidade de poros e da distribuição da água, pouco afetando a estrutura do solo (FRECKMAN & BALDWIN, 1990 apud BLAIR et al., 1996), no entanto podem implicar em impacto considerável na liberação de nutrientes imobilizados na biomassa microbiana e na dinâmica populacional de microrganismos, sendo este processo especialmente importante na rizosfera (LAVELLE, 1997).

2.7.2 Indicadores de biodiversidade

Um dos indicadores mais utilizados para estimar a biodiversidade das comunidades surgiu a partir da teoria da informação de SHANNON & WEAVER (1949). Nesta teoria, a informação seria uma função do número de escolhas possíveis entre estados igualmente prováveis de um nível de organização, necessário para entendê-lo completamente: quanto maior o número de escolhas necessárias para entender a organização num certo nível, maior o conteúdo de informação. O índice de Shannon-Weaver (H') depende não só do número total de indivíduos e do número total de espécies mas também da proporção do número de indivíduos em cada espécie considerada. Se todas as espécies forem igualmente abundantes (máxima equitabilidade) a informação seria máxima; se os indivíduos estiverem distribuídos de modo independente e aleatório a informação ainda seria grande, mas menor que no caso anterior; mas, se os indivíduos se concentrarem em uma ou poucas espécies (baixa equitabilidade) a informação (diversidade) será muito pequena (MARTINS & SANTOS, 2003).

Ekschmitta & Griffiths (1998) ponderam sobre as dificuldades para aquilatar adequadamente a diversidade da biota do solo, atribuindo esta característica à grande amplitude de mecanismos compensatórios, que implicam em redundância funcional. Estes autores destacam também o fato de que os efeitos da riqueza de espécies serem mais probabilísticos do que de natureza determinista. Martins & Santos (2003) ressaltam ainda as dificuldades para se fazerem comparações entre trabalhos conduzidos sob diferentes condicionantes ecológicas, e que os índices de diversidade são parâmetros extremamente reducionistas, que objetivam expressar toda a complexidade estrutural, a riqueza específica e as interações bióticas e abióticas de uma comunidade ecológica por meio de um único número.

2.7.3 Macro e mesofauna do solo e manejo do solo

Além da quantidade, a composição dos resíduos orgânicos afeta a biota do solo, particularmente os teores de N, compostos fenólicos e lignina, que exercem um papel crítico na abundância e diversidade dos organismos do solo, pela palatabilidade e pela taxa de decomposição. O efeito no microclima gerado pela estrutura da vegetação ou pela cobertura do solo com restos orgânicos também pode influir no arranjo da biota do solo. Cupins e formigas, por exemplo, são eficientes na digestão de materiais celulósicos, que se decompõem lentamente e proporcionam efeitos significativos no microclima (TIAN et al., 1993).

Ao comparar áreas de plantio com mandioca (monocultivo), área de plantio de banana entremeada à floresta (sistema agroflorestal) e área com mata nativa na microbacia do Ubatumirim em Ubatuba, Silva (2005) verificou que a macrofauna do solo mostrou maior alteração no monocultivo. A área de plantio de mandioca apresentou um menor número de indivíduos m^{-2} e menor riqueza de grupos taxonômicos.

Neave & Fox (1998) observaram que organismos da macro e mesofauna responderam relativamente rápido a implantação de práticas de cultivo mínimo do solo. Um dos grupos que guarda correlação mais estreita com os teores de matéria orgânica são os colêmbolas, organismos considerados tipicamente epiedáficos devido a usual maior disponibilidade de matéria orgânica na superfície do solo (MUSSURY et al., 2002).

Para Sileshi & Mafongoya (2006), o uso de leguminosas que produzem material orgânico sem presença de compostos recalcitrantes, como a glirícidia e a leucena (*Leucaena collinsi*) pode proporcionar significativo incremento na população dos grupos de organismos responsáveis pela transformação da serapilheira.

A rotação de culturas é recomendada por Cook (1994) para o controle de doenças das raízes. Esta prática estimula os organismos antagonistas residentes e reduz o potencial de inóculo de patógenos causadores de doenças de solo.

2.7.4 Grupos tróficos de nematóides e manejo do solo

Espécies de nematóides oportunistas aumentam em número mais rapidamente do que espécies persistentes em resposta ao incremento da atividade microbiana. Depois de quatro dias após a aplicação de esterco, por exemplo, as espécies oportunistas permanecem dominantes por duas ou três semanas, momentaneamente em detrimento de espécies de predadores e onívoros. Cabe destacar que os nematóides predadores e onívoros exercem um importante papel de controle da cadeia alimentar, tamponando a ocorrência de doenças de solo (BONGERS & FERRIS, 1999).

Schroth et al. (2000) chamam a atenção para o fato de que diversas espécies de árvores e arbustos usualmente utilizados em policultivos são hospedeiros de fitonematóides, entre elas *Cajanus cajan*, *Leucaena leucocephala*, *Sesbania grandiflora*, *Tephrosia vogelii* e *Acacia* sp.

A presença de guandu (cultivar ICP 9145) em contato com o gênero *Meloidogyne* induziu a susceptibilidade a *Fusarium udum*, o que foi atribuído ao efeito sistêmico do

nematóide no caule da leguminosa, modificando a resposta infecciosa ao fungo. Esta susceptibilidade, entretanto, não foi observada para outro cultivar de guandu (ICP 8863) (MARLEY e HILLOCKS, 1996). Assim sendo, a escolha de espécies e variedades para cada situação em particular é crítica (SCHROTH et al., 2000).

Akhtar & Mahmood (1996) observaram que a utilização de torta de mamona (*Ricinus communis*), neem (*Azadirachta indica*) ou composto orgânico reduziram a incidência de fitonematóides no guandu, enquanto que grupos de nematóides de vida livre e predadores aumentaram.

2.8 Aproveitamento de Nutrientes e Sistemas de Produção Agrícola

Uma das principais tendências das práticas de manejo de solo é a ativação dos processos biológicos de forma a promover o sincronismo entre as demandas das culturas e a capacidade do solo de fornecer nutrientes. Uma das principais formas de possibilitar essa ativação é favorecer o incremento dos teores de matéria orgânica do solo. Dentro desta abordagem, o manejo adequado da matéria orgânica, além de proporcionar uma boa estrutura física, que permite o crescimento adequado das raízes das plantas, pode propiciar um fornecimento de nutrientes de forma sincronizada, inibir o aparecimento de patógenos e melhorar as propriedades físico-químicas do solo (WOOMER & SWIFT, 1994).

Para van Noordwijk & Cadisch (2002), situações de deficiência ou excesso são comuns nos trópicos e o principal desafio é ampliar a distância entre situações de fronteira para carência e exagero de nutrientes, preferivelmente do que definir um “ponto ótimo econômico”.

2.8.1 Aproveitamento de nutrientes e manejo de sistemas de produção agrícola

Com relação aos efeitos de formas de manejo da biomassa em parâmetros físico-químicos do solo, Pavan et al. (1995b), avaliando sistemas de produção de café verificaram após dez anos da implantação, que a roçada de plantas invasoras foi o tratamento mais eficiente para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), quando comparada ao tratamento com adubação verde de verão (*Stizolobium*) ou com o tratamento em que houve a utilização de herbicidas. Os autores atribuíram o melhor desempenho das plantas espontâneas e/ou invasoras a sua menor velocidade de decomposição da biomassa, implicando na diminuição das perdas por erosão e lixiviação. De fato a matéria orgânica exerce papel determinante na capacidade de troca catiônica dos solos com carga variável presentes nas regiões tropicais. Verdade (1956) e Raj et al. (1969), estudando os solos do Estado de São Paulo, verificaram uma contribuição do teor de matéria orgânica para a capacidade de troca catiônica que variou de 30% a 60% e 6% a 91% respectivamente. Estudando os solos do Estado do Paraná, Santos Filho et al. (1985) e Prata et al. (1996), encontraram valores que variaram de 14% a 70% e 29,6% a 76,1%, respectivamente. Estes autores observaram que as maiores contribuições da matéria orgânica para a CTC dos solos ocorriam em solos arenosos.

Uma das principais formas de interação entre aspectos biológicos e químicos é a fixação biológica de nitrogênio. Grandes quantidades de N podem ser fixadas por espécies de rápido crescimento usadas em aléias, especialmente *Leucaena leucocephala* e *Gliricidia sepium*. Sanginga et al. (1995) observaram valores de N de 100 a 300 kg e algumas vezes superior a 500 kg N ha⁻¹ ano⁻¹.

Entretanto, quando são realizados policultivos é difícil avaliar quanto do N fixado fica disponível para a cultura durante a estação corrente, ou quanto é transferido para as culturas subseqüentes, ou ainda qual o efeito de práticas culturais como a poda e a adubação e de situações de estresse como o déficit hídrico (SANGINGA et al., 1996; NAIR et al., 1999). No caso da *Erythrina poeppigian*, Nair et al. (1999) destacam que os nódulos desapareceram completamente após 20 semanas da poda ou durante a estação seca.

A adubação com nitrogênio, seja na forma mineral ou na forma orgânica, pode ter efeito negativo na fixação de N₂ (AKONDÉ et al., 1997). Na presença de quantidades apreciáveis de N no solo, alguns genótipos diminuem mais sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio do que outros, aumentando a quantidade absorvida do solo (DANSO et al., 1992). Desta forma, estratégias eficientes de aplicação de fertilizantes e a escolha adequada de espécies e variedades para a sua utilização em aléias são essenciais para alcançar produtividades elevadas da cultura e maximizar a fixação biológica de nitrogênio (COCHRAN et al., 1995; DANSO et al., 1992; GRAY & GARRETT, 1999).

2.8.2 Os sistemas de policultivos e o aproveitamento de nutrientes

Em cultivos consorciados as plantas fixadoras de nitrogênio presentes no sistema devem ser eficientes quanto à quantidade fixada e também no que diz respeito à quantidade efetivamente aproveitada pela planta não fixadora, a qual incrementando a competição pelo N do solo pode forçar a planta fixadora a ser mais dependente do N atmosférico (COCHRAN et al., 1995).

A velocidade de liberação dos nutrientes dependerá de fatores como relação C/N, energia disponível para os organismos decompositores (proporção entre os teores de C solúvel, celulose, hemicelulose e lignina), teores de lignina e polifenóis (NAIR et al., 1999). Tem sido sugerido que acima de teores de lignina de 15 % a decomposição é bastante prejudicada (MAFONGOYA et al., 1996c).

Quanto aos polifenóis, estes normalmente ocorrem nos resíduos em pequenos teores (menos que 5%), mas exercem grande influência sobre a taxa de decomposição. Materiais com conteúdo de N maiores do que 20 mg g⁻¹ são considerados de elevada qualidade, no entanto, podem ter sua taxa de decomposição prejudicada pelos seus teores de lignina e polifenóis (MAFONGOYA et al., 1996 a, b). Espécies com alto conteúdo de N e polifenóis terão sua taxa de decomposição rápida, quando os polifenóis tiverem baixa capacidade de associação com proteínas (ex. *Leucaena leucocephala*), ou lenta, quando a capacidade de associação com proteínas for alta (ex. *Calliandra calothyrsus*).

Espécies com relação C/N estreita e baixos teores de lignina e polifenóis podem decompor lentamente se o N estiver ligado a taninos condensados como ocorre em *Senna siamea* (NAIR et al., 1999).

Uma série de operações de manejo pode alterar a qualidade da biomassa e o seu tempo de decomposição: a duração e a temperatura de secagem do material antes da aplicação ao solo; o tamanho das partículas; a mistura de materiais de diferentes composições; o método de aplicação (incorporado ou em superfície) (Mafongoya et al., 1996 b,c). De qualquer forma, a taxa de recuperação de nutrientes é muito variável, normalmente de 10% a 40% e raras vezes atingindo 60% (NAIR et al., 1999).

É importante que as plantas utilizadas em consórcio exerçam pouca competição com a cultura (AGUS et al., 1999). Assumindo uma fertilidade moderada, para climas úmidos o excesso de sombreamento seria a única interação negativa esperada. Este aspecto pode ser superado por meio da poda periódica das aléias, o que irá contribuir para um incremento na dinâmica da matéria orgânica do solo e para a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. A magnitude das mudanças depende da quantidade e qualidade do material vegetal podado, do tipo de solo, sistema de manejo, clima e duração do sistema. As dificuldades operacionais do manejo da biomassa também devem ser ponderados (BÖHRINGER et al., 1994; GACHENGO et al., 1998; RAO et al., 1998).

A velocidade de decomposição da cobertura morta proveniente das podas pode ser determinante no sincronismo entre a demanda da cultura e a oferta do solo (AKONDÉ et al., 1996; AKONDÉ et al., 1997; DRECHSEL et al., 1996; FOWNES & ANDERSON, 1991; ROWE et al., 2001). Quantidades elevadas de biomassa na serapilheira e diversidade na sua

composição contribuem para uma maior eficiência na ciclagem de nutrientes (GAJASENI & GAJASENI, 1999).

A captação de nutrientes das camadas mais profundas é grande quando as espécies têm um sistema radicular profundo e uma grande demanda por nutrientes ou, quando estas crescem em locais em que existe algum estresse de água e/ou nutrientes na superfície do solo, mas consideráveis reservas de água e/ou nutrientes disponíveis ou minerais intemperizáveis no subsolo. Mekonnen et al. (1997) observaram que em uma área com 15 meses de pousio e enriquecida com *Sesbania sesban* os teores de nitrato a 4 metros de profundidade eram de apenas 51 kg N ha⁻¹, enquanto que uma área de milho sob fertilização tinha 199 kg N ha⁻¹. As raízes do milho alcançavam no máximo 1,2 m de profundidade enquanto que as raízes de *S. sesban* ocorriam abaixo de 4 m.

Resultados semelhantes foram encontrados por Jama et al. (1997), com uma acumulação 336 e 312 kg N ha⁻¹ na superfície para *S. sesban* e *Calliandra calothyrsus*, respectivamente, enquanto que, sob as mesmas condições, *Grevillea robusta* acumulou apenas 107 kg N ha⁻¹. Entretanto, Rowe et al. (2001) avaliando aléias de *Gliricidia sepium* e *Peltophorum dasyrrachis* intercaladas com milho ponderam que, embora árvores tenham um importante papel em prevenir a lixiviação de N para o subsolo, notadamente durante a fase inicial de estabelecimento da cultura intercalar, elas próprias também apresentam um retardo inicial na absorção logo após a poda.

A quantidade de nutrientes disponibilizada pela serapilheira normalmente é insuficiente para satisfazer as quantidades requeridas pelas culturas, principalmente no que diz respeito ao fósforo e ao potássio. A captação de fósforo das camadas mais profundas normalmente é baixa, em função da baixa mobilidade deste nutriente e das camadas de subsolo normalmente serem pobres neste elemento (NAIR et al., 1999). Porém, o aumento da densidade de raízes proporcionado pelos policultivos pode melhorar a eficiência do sistema de produção no aproveitamento dos nutrientes poucos móveis (HUXLEY, 1999).

Nair et al (1999) consideram que o enriquecimento de áreas de pousio com algumas espécies como *Sesbania sesban*, *Leucena leucocephala* e *Cajanus cajan* tem potencial para aliviar deficiências de K, mas não eliminam a necessidade de aporte de P. Jama et al. (1997) concluíram que pode ser bastante atraente integrar a utilização de fontes inorgânicas de P com as fontes orgânicas, para solos pobres neste elemento.

2.8.3 Indicadores de aproveitamento de nutrientes e sistemas de produção

A capacidade de produção de biomassa normalmente é avaliada pela parte aérea. No entanto, para algumas plantas, o sistema radicular pode ter uma contribuição bastante significativa. No caso dos policultivos em que se utilizam árvores e arbustos, Huxley (1999) considera que na maior parte dos casos a biomassa concentra-se principalmente no solo e não na parte aérea. Este aspecto aponta uma importante limitação no uso da avaliação da biomassa como indicador para avaliar o aproveitamento de nutrientes.

Van Noordwijk & Cadisch (2002) alertam para o fato de que em condições de campo os resultados favoráveis do estímulo ao crescimento das plantas normalmente são baseados em procedimentos de exploração empírica dos recursos, alertando para a necessidade de uma maior compreensão das relações solo-planta-ambiente para evitar situações de desequilíbrio. Nas principais culturas, o equilíbrio entre os nutrientes tem sido avaliado por meio de sistemas integrados de diagnose e recomendação (DRIS). Porém, tal procedimento exige uma extensa base de dados como referência (MOURÃO FILHO et al., 2002; REIS JUNIOR & MONNERAT, 2003; SILVA et al., 2003). Como alternativa, pode-se, além da utilização dos dados de análise de terra para fins de fertilidade (RAIJ et al., 1996), procurar complementar a compreensão do sistema de produção pela análise das relações de nutrientes que possam estar em desequilíbrio (COCHRANE, 1989; FAGERIA & STONE, 2004; MELLO et al., 1983).

2.9 Dinâmica da Água e Sistemas de Produção Agrícola

O fator água é um dos mais importantes para o vegetal, sendo seu principal constituinte (50% nas plantas lenhosas e 80 a 95% nas herbáceas): atua no transporte deslocando solutos e gases, como reagente no metabolismo básico (fotossíntese, hidrólise de carboidratos), na turgescência celular, responsável pela forma e estrutura dos órgãos (folhas, flores e frutos), no mecanismo estomático (abertura e fechamento), na penetração do sistema radicular no solo, e é essencial para o crescimento, por meio da expansão celular (LUCCHESI, 1987).

2.9.1 Estrutura física do solo e manejo dos sistemas de produção agrícola

A estrutura do solo é definida como um arranjo de partículas e poros associados que variam de tamanho de nanômetros a centímetros. A formação da estrutura do solo envolve forças físicas de encolhimento e expansão provocadas por mudanças no teor de água, na temperatura do solo, cultivo ou movimentação da microbiota no solo (bioporos criados por minhocas e raízes de plantas). As propriedades expansivas dos solos são controladas pelo teor de argila, de forma que organizações estruturais são mínimas em solos arenosos e máximas em solos argilosos (OADES, 1993).

Os solos de coloração cinzenta ou esbranquiçada, (típicos de áreas de várzeas) têm baixo teor de micronutrientes, tais como ferro, cobalto, cobre, zinco e manganês. Não ser que sejam ricos em gibsita tendem a ser muito duros quando secos, tendo uma permeabilidade reduzida e sendo muito plásticos e pegajosos, mesmo com manipulação ligeira. Estas características dificultam o manejo destes solos visando proporcionar uma boa estrutura física (RESENDE, 1997).

Espécies de cobertura, aliadas às práticas de manejo e conservação, podem ser utilizadas para manter ou recuperar as características físicas dos solos cultivados. Existe uma ação direta das plantas na formação e estabilização dos agregados. As seqüências de culturas influem diferenciadamente na agregação do solo, dependendo da época do ano e tempo de estabelecimento dos sistemas de culturas. As seqüências de culturas com sucessão de gramíneas com leguminosas são as proporcionam uma melhor agregação do solo (WOHLENBERG et al., 2004).

No caso da presença de árvores ou arbustos nos sistemas de produção, para mensurar a interferência no balanço hídrico do sistema é de grande importância avaliar a capacidade genotípica das espécies (profundidade das raízes, capacidade de romper camadas compactadas e suportar impedimentos químicos, taxa de evapotranspiração), além da profundidade em que se encontra o lençol freático sazonalmente. O incremento da produção de serapilheira e a conseqüente melhoria das condições físicas do solo contribuem para diminuir o processo erosivo, melhorando a taxa de infiltração e o aproveitamento da água (HUXLEY, 1999).

Barreto & Fernandes (2001) verificaram o efeito positivo do cultivo de *Gliricidia sepium* em alamedas reduzindo a densidade e a macroporosidade do solo, notadamente nas camadas superiores do solo. Em revisão recente, Six et al. (2004) destacaram o papel crucial no longo prazo dos microagregados na proteção da matéria orgânica e o papel dos macroagregados para a estabilização da matéria orgânica do solo e para a ciclagem da água e nutrientes nos sistemas de produção agrícola.

Silva (2005) avaliou as variações nas propriedades edáficas em função de cobertura vegetal e manejo de áreas de plantio de mandioca em monocultivo e áreas de cultivo de banana em sistema agroflorestal, na microbacia do Ubatumirim em Ubatuba. Verificou que o monocultivo da mandioca promoveu a redução da matéria orgânica, o aumento da densidade do solo e a diminuição do volume total de poros.

2.9.2 Indicadores para avaliação da dinâmica da água

A água disponível reflete apenas o potencial matricial como fator físico do solo limitante para o desenvolvimento das plantas. A aeração do solo pode ser limitante para as plantas com o teor de água na capacidade máxima de retenção de umidade, e o secamento do solo é necessário para se obter aeração do solo adequada. Por outro lado, valores de resistência do solo limitantes para o crescimento radicular podem ocorrer com teores de água maiores que o correspondente ao ponto de murcha permanente (SILVA et al., 1997).

A utilização do “intervalo hídrico ótimo” propõe-se a descrever em um único indicador a amplitude de água no solo que incorpora as limitações de água no desenvolvimento de plantas relacionadas à aeração do solo, resistência do solo à penetração e potencial matricial (SILVA et al., 1997). Porém, sua determinação pode ser considerada relativamente trabalhosa e dependente de uma boa estrutura laboratorial.

Santana et al. (2006) observaram que a resistência do solo à penetração foi o atributo que melhor identificou a presença de horizonte coeso, devendo ser avaliada em umidade abaixo daquela considerada crítica para expressar a coesão. A condutividade hidráulica saturada também se revelou adequada para identificar horizonte coeso, podendo ser substituída pela macroporosidade, atributo igualmente importante para tal finalidade e com menor variabilidade do que a infiltração. A densidade do solo pode ser considerada um atributo para indicar a presença de horizontes coesos, tendo como principal limitação a interferência da granulometria na manifestação dos seus valores. Os indicadores recomendados permitem detectar a presença de horizontes coesos, orientando intervenções de manejo para superar os problemas de aprofundamento do sistema radicular que tais solos apresentam.

Em um ambiente tropical úmido, de terras baixas, por exemplo, onde os solos têm drenagem pobre e a precipitação é elevada, uma leve variação topográfica pode fazer uma grande diferença na umidade do solo e na drenagem. Devido a grande variabilidade espacial das taxas de infiltração, é difícil utilizar este parâmetro para comparar solos com formas de manejo similares (SARRANTONIO et al., 1996). Em solos de várzeas, esta variabilidade está associada à diversidade de deposição dos sedimentos fluviais e a processos pedogenéticos específicos para os locais onde os sedimentos se depositaram (VAN DEN BERG et al., 1987).

Para avaliação de sustentabilidade, Alegre & Cassel (1996) destacam a importância da avaliação de características físicas como densidade, taxa de infiltração, estabilidade dos agregados e resistência à penetração com penetrômetro de cone, levando em consideração que as depleções de nutrientes que eventualmente possam ocorrer podem ser sanadas por meio do aporte de fertilizantes minerais.

2.10 Aproveitamento do Fluxo de Energia nos Sistemas de Produção Agrícola

O primeiro fator a ser citado como limitante da produtividade é a fotossíntese, cuja eficiência é extremamente baixa, não atingindo 1% para a maioria das espécies. Em condições ótimas registram-se eficiências de 3-4 % para plantas do tipo C₃ e de 5-6 % para plantas do tipo C₄, estimando-se que a eficiência fotossintética potencial possa atingir 12%. A relação entre fotossíntese e produtividade é muito complexa. A produção vegetal depende da taxa de assimilação líquida, que por sua vez não é determinada somente pela taxa fotossintética, mas também pela dimensão da área foliar, duração do período vegetativo, arquitetura da copa, respiração, translocação e partição de assimilados (BERNARDES, 1987).

A fotossíntese é um processo, no qual importa a quantidade de fótons absorvidos com comprimento de onda entre 400 e 700 nm, correspondente à Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA ou PAR). Vários autores preferem expressar a disponibilidade de radiação por meio da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), em número de moles de fótons por unidade de área e de tempo.

Se um fóton médio (E_{555})¹ – tem energia igual a $3,581 \cdot 10^{-19}$ J, então um mol de $6,02 \cdot 10^{23}$ fótons tem energia equivalente a $21,56 \cdot 10^4$ J. Para se converter a energia da irradiância global avaliada por meio do piranômetro medida em $W \cdot m^{-2}$, acoplado com filtro de radiação, para DFFFA em $mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ basta multiplicar pelo inverso da energia de um mol, isto é: $DFFFA = 4,638 \cdot 10^{-6} \cdot X [mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$ ou $4,638 \cdot X [\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$. No caso de não haver medida de RFA (piranômetro sem filtro acoplado) pode-se utilizar o valor da radiação solar global (Qg) corrigido por um fator $p = 0,5$, isto é, $RFA = 0,5 \cdot Qg$ (ALMEIDA, 1999; ASSIS & MENDES, 1989; PEREIRA et al., 1982; PEREIRA et al., 2002). Utilizando-se o raciocínio inverso, a variação de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de $750 \mu mol$ de fótons $m^{-2} \cdot s^{-1}$ a $1\ 000 \mu mol$ de fótons $m^{-2} \cdot s^{-1}$ (plantas cultivadas no sol) corresponde a uma variação de $320 W \cdot m^{-2}$ até cerca de $430 W \cdot m^{-2}$ em termos de ponto de saturação avaliado pela radiação global.

O excesso de luz pode prejudicar o aparelho fotossintético. A intensidade luminosa na qual isto acontece depende da espécie da planta e do fato de se tratar de uma folha de sol ou de sombra. Em intensidade de luz muito alta ocorre foto-oxidação, com consumo de O_2 e liberação de CO_2 , oxidando inclusive moléculas de clorofila (WHATLEY & WHATLEY, 1982). Antes que ocorra a foto-oxidação, porém, já são detectados níveis de foto-inibição da fotossíntese sem destruição dos pigmentos. A redução na atividade fotossintética por grande intensidade luminosa pode ser intensificada por outros fatores de estresse, mas está intimamente ligada a susceptibilidade da própria planta e à condição de formação da folha, se a plena luz ou à sombra (POWLES, 1984).

Na intensidade mais baixa de luz, a taxa real de fotossíntese torna-se menor que a taxa de respiração, e a taxa líquida da fotossíntese torna-se negativa. A intensidade na qual os dois processos se equilibram é chamada de ponto de compensação da luz, e também é característica para cada espécie. As plantas adaptadas às condições de sombra apresentam pontos de compensação mais baixos (HALL & RAO, 1980).

2.10.1 Aproveitamento da radiação e manejo dos sistemas de produção

Em algumas situações, mesmo em condições naturais, as plantas recebem luz com menor intensidade nas faixas de maior eficiência fotossintética. Este é o caso das plantas que vivem em sub-bosque. As plantas mais altas absorvem preferencialmente luz vermelha e azul, transmitindo mais a luz verde. Apesar da distribuição espectral da luz ser desfavorável para a fotossíntese, ocorre uma adaptação das plantas sombreadas, no que toca à proporção entre os pigmentos presentes, dando condições para absorção e utilização de luz de baixa qualidade espectral (HALL & RAO, 1980; WHATLEY & WHATLEY, 1982).

A interferência da fotossíntese do dossel na produtividade pode ser manejada por meio de fatores como densidade populacional, disposição de plantio (face de exposição, forma e direção das linhas de plantio) e o manejo da copa (BERNARDES, 1987; LAWSON & KANG, 1990).

As interações atmosféricas que ocorrem acima do solo em sistemas agroflorestais como sombreamento, temperatura, umidade e velocidade do vento somente irão promover efeitos benéficos entre o crescimento de culturas em conjunto com árvores ou arbustos quando estas puderem adquirir recursos como água, luz e nutrientes que as culturas não poderiam adquirir, partilhando estes recursos no espaço ou no tempo (ONG et al., 1991; CANNELL et al., 1996; RAO et al., 1998).

A melhor oportunidade para complementaridade ocorre quando a deficiência ou excesso de um determinado fator está limitando o crescimento das plantas (ex. luz), mas

¹ E555: $\lambda = 555$ nm, valor de comprimento de onda médio, representativo da faixa de comprimento de onda da radiação fotossinteticamente ativa, λ de 400 a 700 nm.

outros recursos estão disponíveis e sendo sub-utilizados (ex. água e nutrientes) (ONG et al., 1991).

2.10.2 Indicadores do aproveitamento da radiação

Na avaliação do aproveitamento da radiação em sistemas de produção agrícola, primeiramente é preciso distinguir se a competição por recursos físicos ocorre acima do solo (luz) ou abaixo do solo (água e nutrientes). Uma forma de diferenciar estes dois processos é disponibilizar os recursos abaixo do solo de forma a atender a demanda das plantas de forma sincronizada (água e nutrientes), de maneira que a ocorrência de competição ou cooperação possa ser atribuída a fatores atmosféricos. Como forma complementar pode-se recorrer à utilização de trincheiras ou de barreiras de polietileno, para limitar o crescimento das raízes (CORLETT et al., 1992_b; GILLESPIE et al., 2000; ONG et al., 1991; SINGH et al., 1989).

Um indicador para o aproveitamento da energia das regiões tropicais é o percentual do ano que o solo tem cobertura vegetal ou a produção total de biomassa ao longo do ano. Segundo Smil (1999), os restos de cultura representam mais da metade da fitomassa produzida pela agricultura mundial, cumprindo serviços ambientais importantes e do seu bom aproveitamento depende a perpetuação de agroecossistemas produtivos.

No caso da indisponibilidade de radiômetros que façam a leitura integralizada das oscilações de radiação, uma alternativa é a realização de diversas leituras nos períodos de maior radiação incidente, o que normalmente ocorre entre 11:00 e 14:00 horas. Porém, o deslocamento do sol, a presença de nuvens e a variabilidade induzida pela copa das plantas dificultam sobremaneira a avaliação da radiação (BELLOW & NAIR, 2003).

Em condições de nebulosidade, quando predomina a radiação difusa, o efeito relativo das árvores no sombreamento dos cultivos intercalares é menor (NYGREN, 1993; TORQUEBIAU, 1988; WILLIAMS & GORDON, 1995). Porém, sob condições de vento moderado (o suficiente para mover os ramos), a variabilidade da medição da transmissividade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos é maior (NYGREN et al., 1993).

Para caracterizar adequadamente a complexidade da disponibilidade de radiação, que varia vertical, horizontal e temporalmente são necessários um grande número de sensores, a custos acessíveis e dispostos adequadamente no campo de cultivo (FRIDAY & FOWNES, 2001; NEWMAN, 1985; SALMINEN, 1983; SINCLAIR & LEMON; SCHIEDECK et al., 1999; SINCLAIR et al., 1974; SMITH et al., 1989).

Para Friday & Fownes (2002), as medidas de interceptação de luz em cultivos multiespécies com dosséis heterogêneos são difíceis e a maioria dos estudos de transmissividade tem sido realizada por meio da mensuração com radiômetros em curtos períodos supostamente considerados representativos.

Diversos trabalhos científicos fazem alusão ao percentual de sombreamento em sistemas de produção em policultivos, não fazendo referência à disponibilidade total de radiação fotossintética ativa no período do estudo (RAVISANKAR & MUTHUSWAMY, 1987; JASWAL et al., 1993; DUARTE, 1998).

Segundo Lal (1999), em regiões onde a ocorrência de espessa cobertura de nuvens é freqüente, como é o caso do bioma Mata Atlântica no litoral de São Paulo, a competição pelo aproveitamento da radiação torna-se um importante fator limitante da eficiência dos sistemas de produção agrícola.

Como alternativa à avaliação direta da radiação em sistemas agroflorestais, Gajaseni & Gajaseni (1999) utilizaram parâmetros microclimáticos como a temperatura atmosférica, a temperatura do solo e a umidade relativa do ar, observando resultados favoráveis para todos estes parâmetros. Barradas & Fanjul (1986) também conseguiram diferenciar aspectos microclimáticos de policultivos por meio de medidas da amplitude térmica.

Coombs et al. (1988) abordam diversas técnicas de avaliação da fotossíntese e da produção de biomassa. Para superar a questão da grande variabilidade das condições climáticas de algumas regiões tropicais, pode-se utilizar a mesma lógica das “funções pedotransfer”, propostas para superar as dificuldades de avaliação das diferentes formas de matéria orgânica e seus efeitos (DUDAL & DECKERS, 1993; DORAN & PARKIN, 1996).

A determinação da curva de eficiência do funcionamento fisiológico da fotossíntese da cultura principal em função da variação da radiação fotossinteticamente ativa pode ser determinada por meio da medição da assimilação de CO₂ pela planta por meio da análise de gases com infravermelho (IRGA) (LONG & HALLGREN, 1988). A variação da disponibilidade de radiação pode ser avaliada pela utilização de estações meteorológicas automáticas localizadas próximas a área de condução do experimento.

2.11 O Cultivo do Gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe - Zingiberaceae)

2.11.1 Origem, distribuição geográfica e importância

O gengibre é uma erva rizomatosa originária da Ásia Tropical onde a sua cultura tem grande importância, não somente para o consumo local da população, como também para a exportação. Com relação a sua distribuição geográfica, o gengibre foi cultivado na Ásia tropical desde tempos antigos. Conhecido no Oriente em várias regiões da Índia e Malásia há mais de 2000 anos é largamente utilizada pelos árabes como espectorante e afrodisíaco. Não foram achadas formas selvagens de gengibre e sua origem é incerta. O gengibre foi trazido para a Europa e Leste da África por comerciantes árabes da Índia. Junto com pimenta, o gengibre era um dos temperos mais comercializados durante os séculos XII, XIII e XIV. No século XVI, os portugueses e espanhóis trouxeram o gengibre para a região tropical úmida das Américas. No Brasil, muito provavelmente teria sido introduzido durante a invasão holandesa e atualmente é encontrado desde o Amazonas até o Paraná, nas regiões quentes e úmidas. O gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe - Zingiberaceae) é uma planta herbácea perene, cujo rizoma é amplamente comercializado em função de seu emprego alimentar e industrial, especialmente como matéria-prima para fabricação de bebidas, perfumes e produtos de confeitaria como pães, bolos, biscoitos e geléias, e propriedades medicinais (excitante, estomacal e carminativo). Várias propriedades do gengibre foram comprovadas em experimentos científicos, citando-se as atividades antiinflamatória, antiemética e antináusea, antimutagênica, antiúlcera, hipoglicêmica, antibacteriana entre outras (ELPO & NEGRELLE, 2004; EMATER, 1991; GINGER, 2004; QUEENSLAND GOVERNMENT, 2005).

O gengibre brasileiro é geralmente comercializado no estado *in natura* e se destina essencialmente à exportação (70% a 80%), principalmente para Estados Unidos, Reino Unido, Holanda e Canadá, sendo um dos raros casos de produção da agricultura familiar para o mercado internacional. Porém, normalmente não há garantia de preço, nem existência de um contrato estabelecido entre o agricultor e o comprador, determinando em muitos casos atraso ou mesmo a falta de pagamento pelo produto. Esta situação passa a configurar-se em desestímulo a continuidade do plantio desta cultura, reforçada pelo alto custo de produção (em média R\$ 18.000,00/ha – Negrelle et al., 2005). No Estado do Paraná o valor bruto da produção no período de 1997 a 2006 sofreu uma queda de 77%, passando de R\$ 14.161.242 para 3.231.807 (ANDRETTA, 2008).

Fatores como elevado custo de produção (a cultura é exigente em nutrientes), dificuldades de crédito, submissão dos produtores aos exportadores, baixa produtividade e, principalmente, dependência de condições climáticas adequadas (a cultura é exigente em calor e umidade) fazem com que o cultivo do gengibre fique restrito à determinadas regiões, tornando-se uma importante oportunidade de negócio para estas (ACLAN & QUISUMBING, 1976; NEGRELLE et al. 2005; SACRAMENTO, 2000).

Afora os aspectos climáticos, entre os principais fatores que afetam a produtividade de rizomas de gengibre tem-se a qualidade da muda, o plantio na época adequada, a fertilidade do solo e aspectos fitossanitários (BISHT et al., 2000; CEREZINE et al., 1995; DUARTE, 1998; MAEDA, 1990; OKWUOWULU, et al., 1990; SANEWSKI et al., 1996; SHARMA & BAJAJ, 1998).

Nogueira & Mello (2001) avaliaram as iniciativas da CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral) e da Prefeitura Municipal em Tapiraí (SP), no sentido de suplantarem entraves sócio-econômicos e ambientais para o cultivo do gengibre como um caso de sucesso no contexto do agronegócio da agricultura familiar. A Prefeitura de Tapiraí e a CATI - em ação conjunta - vêm há alguns anos produzindo e fornecendo aos agricultores um composto orgânico a preço de custo para incorporação ao solo no cultivo de gengibre. Esta ação atende não só aspectos ambientais, como também o aumento da produtividade da cultura, apoiando os produtores familiares para os impactos da competição em mercados dinâmicos como é o caso do gengibre para exportação. Na prática, isso fez com que o custo da tonelada de composto caísse acentuadamente, de R\$120,00 para R\$30,00. Além de elevar a produtividade em relação à média nacional, o incremento da matéria orgânica do solo proporcionou um melhor manejo fitossanitário da cultura.

2.11.2 Classificação botânica, elementos morfológicos e fisiologia

Zingiber officinale foi primeiramente descrito, em 1807, pelo botânico inglês William Roscoe (1753-1813). Está inserido na família Zingiberaceae, grupo tropical especialmente abundante na região Indo-Malásia que engloba mais de 1200 espécies de plantas incluídas em 53 gêneros. O gênero *Zingiber* inclui aproximadamente 85 espécies. O nome deste gênero, *Zingiber*, deriva de uma palavra em sânscrito que significa em forma de “chifre” em referência às protuberâncias na superfície do rizoma (FOSTER, 2002).

O gengibre é planta herbácea de rizoma perene e parte aérea anual, que cresce lançando horizontalmente rizomas carnudos subterrâneos, os quais emitem um ou mais talos copados aéreos de até 1,25 m de altura. As folhas são laminares e lanceoladas, medindo até 30 cm x 2 cm de largura, sendo acuminadas no ápice (EMATER PR, 1991; GINGER, 2004).

O rizoma do gengibre apresenta corpo alongado, um pouco achatado, com ramos fragmentados irregularmente, de 3 a 16 cm de comprimento, 3 a 4 cm de largura e 2 cm de espessura. Os rizomas são formados por ramificações horizontais, palmadas carnosas e pouco fibrosas, durando o ciclo da cultura de 7 a 10 meses. Externamente, sua coloração vai do amarelo couro à marrom brilhante, estriado na longitudinal, algumas vezes fibroso, com terminações conhecidas como “dedos” que surgem obliquamente dos rizomas; achatadas, obovadas, curtas, de 1 a 3 cm de comprimento. O amido é o principal constituinte do córtex e cilindro central. Internamente, de cor marrom amarelado, apresentando uma endoderme amarela, que separa o córtex estreito do estelo largo, com numerosos feixes fibrovasculares e abundantes células óleo-resinosas com conteúdos amarelos e numerosos pontos acinzentados, feixes vasculares espalhados sobre toda a superfície. O gengibre é composto por diversos fenóis (gingerol e derivados), que lhe proporcionam o sabor pungente característico. A germinação do gengibre se inicia de dez a quinze dias após o plantio, com os rizomas e brotos novos aparecendo continuamente até aproximadamente quatro semanas depois do plantio. Cada broto tem aproximadamente de 8 a 12 folhas (EMATER PR, 1991; ELPO & NEGRELLE, 2004; GINGER, 2004).

2.12 Aspectos Agroecológicos do Cultivo de Gengibre

2.12.1 Biodiversidade e tratamentos culturais

Por todo o mundo são encontradas diversas variedades de gengibre, que recebem nomes regionais. Dentre essas variedades são observadas variações quanto ao aspecto,

conteúdo de fibras e de óleo, aroma e rendimento. No Brasil, a variedade mais cultivada é o gigante, sendo o material que apresenta melhor padrão comercial. São cultivados, também, os clones regionais, que, geralmente, têm reduzido tamanho de rizomas e pouca aceitação comercial. Embora sua introdução inicial no Brasil seja atribuída aos holandeses, o gengibre tornou-se comercialmente importante quando foi introduzido o cultivo de variedades gigantes por agricultores japoneses (SOUZA & REZENDE, 2003).

O gengibre é propagado vegetativamente por meio de pedaços de rizoma, em pedaços de 30 a 100 g, com pelo menos um ponto crescente ou broto. O uso de rizomas semente pré-germinados pode possibilitar estandes mais uniformes. A pré-germinação pode ser promovida colocando os rizomas cobertos com composto ou serragem e mantê-los úmidos por três a cinco semanas (GINGER, 2004). Normalmente, não há produção específica de rizomas sementes. Estes são selecionados entre rizomas obtidos na colheita anual. O tamanho dos rizomas semente utilizado no plantio influi diretamente na produção. Desta forma, quanto maior o gomo, maior será a produção, com a ressalva de que neste caso há um gasto maior de rizomas sementes para o plantio (ELPO et al., 2008).

Nos diferentes sistemas de produção de gengibre no mundo ocorre uma grande variabilidade na quantidade utilizada de rizomas semente no plantio. Na Austrália, a necessidade para o plantio de 1 ha é de 8 a 10 toneladas, enquanto que, na Índia e Sri Lanka são necessários de 1,5 a 4 toneladas por ha (GINGER, 2004). No Brasil, normalmente são utilizados pedaços de rizomas com 5 a 10 cm de comprimento, com gomos pesando de 50 a 100 g, que apresentem diversas gemas e com no mínimo 3 cm de diâmetro. São gastos, em média, de 3 a 4 toneladas de rizomas para o plantio de 1 ha. São usados como sementes, os rizomas colhidos no mesmo ano. Para acelerar a emergência das plantas no campo, recomenda-se induzir a brotação dos rizomas-sementes, antes do plantio. Este procedimento pode ser feito amontoando os rizomas no campo, em camadas de 15 a 20 cm de altura, cobrindo com palhada (arroz, capim sem sementes) e irrigando sobre a palha, diariamente, para manter os rizomas úmidos. Quando as brotações estiverem aparecendo, as mudas estão no ponto ideal para o plantio (SOUZA & REZENDE, 2003).

Um dos grandes problemas associados a cultura do gengibre relaciona-se à produção de mudas com qualidade genética e fitossanitária. Avaliando os sistemas produção de gengibre do Paraná ELPO et al. (2008) verificaram que via de regra os rizomas sementes eram lavados antes do cultivo, embora a EPAGRI (1998) desaconselhe esta prática. Cinco produtores declararam tratar os rizomas sementes com fungicidas (benomyl, dithane, tebuconazole, mancozeb, procymidone, clorotalonil) para evitar bolores causadores de podridão.

O sucesso da colheita depende de seleção cuidadosa do material de plantio. O material deve estar livre organismos patogênicos como nematóides e fusarium. Os rizomas semente devem ser limpos com material cortante higienizado periodicamente, armazenados em local ventilado e plantados o mais cedo possível depois de cortar. Para tratamento térmico de rizomas semente pode-se mergulhar os rizomas mãe em água quente (45 °C durante 20 minutos). Todavia, o tratamento com água quente pode reduzir rendimento por até 20%, de forma que sua utilização é recomendada apenas para a produção de rizomas semente (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2005).

Na Austrália, muitos produtores têm encontrado dificuldades em conseguir boas colheitas. Os rizomas sementes apodrecem ou despedaçam em algumas semanas após o plantio e as plantas jovens que sobrevivem crescem mal. Pesquisas naquele país apontaram que os rizomas encontravam-se invariavelmente infetados por *Fusarium oxysporum* zingiberi (Foz). No caso de áreas de cultivo mais úmidas este patógeno ocorria em associação com *Erwinia chrysanthemi*, bactéria causadora da podridão mole (STIRLING, 2002).

Em Ubatuba (SP), embora o clima seja bastante propício para o cultivo do gengibre, a ocorrência de doenças de solo têm causado sérias perdas aos cultivos, em alguns casos acima de 90%. Em levantamento exploratório realizado em 2003 pela Secretaria de Agricultura, Pesca e Abastecimento de Ubatuba, com o apoio da PESAGRO de Itaguaí (RJ), verificou-se a baixa qualidade sanitária dos rizomas utilizados para a propagação vegetativa da cultura do gengibre.

Debiasi et al. (2004) indicam a utilização de métodos biotecnológicos de micropropagação vegetal para o estabelecimento de protocolo de produção massal de mudas de modo proporcionar parâmetros de qualidade genética e fitossanitária. Porém, há que se estar atento para o manejo de solo, pois o plantio de mudas sadias deve ocorrer em solos não contaminados.

O plantio deverá ser feito de agosto a dezembro, para uma colheita após sete a dez meses após o plantio. O período de cultivo dependerá da variedade e da época de plantio. Os espaçamentos recomendados são de 1,20m a 1,40m entre linhas e de 20 cm entre plantas. Os rizomas devem ser distribuídos ao longo dos sulcos posicionados transversalmente, para que as novas brotações cresçam perpendicularmente ao sulco, evitando que os rizomas de uma planta entrelacem com os da planta vizinha e se partam na hora da colheita. Os sulcos devem ter de 10 a 15 cm de profundidade e após o plantio devem receber cobertura de 5 a 10 cm de terra. Entretanto, o procedimento mais adequado é o plantio dos rizomas sementes inicialmente em canteiros de 9 a 10 cm de altura, para serem transplantados dentro de 15 a 30 dias, com cerca de 3 cm de diâmetro (SOUZA & REZENDE, 2003; QUEENSLAND GOVERNMENT, 2005; ELPO et al., 2008)

A amontoa tem a função de recobrir os rizomas que começam a aparecer na superfície. Essa operação deve ser feita de três a quatro vezes durante o ciclo do gengibre. Recomenda-se iniciar as amontoas quando as plantas estiverem com cerca de 30 cm de altura. Normalmente, as amontoas são realizadas aos 90, 120, 150 e 180 dias após o plantio (SOUZA & REZENDE, 2003).

Nos sistemas de produção de gengibre do Paraná avaliados por Elpo et al. (2008), os produtores relataram que após a adubação de cobertura realizam, no mínimo, três amontoas, visando uma melhor proteção do rizoma contra ação do sol. Três dos produtores entrevistados informaram utilizar restos vegetais, como cobertura morta. Esta cobertura, além de proteger os rizomas do sol, mantém a temperatura do solo mais equilibrada, reduz a erosão e a ocorrência de plantas invasoras, aumentando também a atividade biológica do solo.

Com relação à ocorrência de pragas e doenças e quanto ao uso de agrotóxicos e formas alternativas de controle na cultura, nos sistemas de produção do Paraná a principal praga relacionada ao início do ciclo da cultura de gengibre é a lagarta rosca (*Agrotis* sp.). Além do controle manual, esta lagarta pode ser controlada com aplicação de extrato de Nim (*Azadirachta indica*) e de Dipel® (*Bacillus thuringiensis*), ou ainda por meio da rotação de culturas. Outro problema frequentemente relatado para a cultura do gengibre é ocorrência de nematóides-das-galhas - *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*, ambos de grande poder destrutivo. A disseminação de nematóides normalmente ocorre por meio de rizomas sementes contaminados, de modo que é recomendado o controle preventivo a partir do uso de rizomas sementes comprovadamente sadios (FERRAZ, 1995). Dentre alternativas de controle, cita-se a imersão dos rizomas sementes em água quente (5 a 10 min em 45 a 55 °C, ou 40 °C por 20') e a rotação de culturas com plantas não-hospedeiras como *Tagetes* sp (cravo-de-defunto), *Crotalaria spectabilis* (crotalária) ou *Stizolobium aterrimum* (mucuna preta) e certos cultivares de milho. Nas operações de cultivo deve-se evitar o transporte de inóculos e a ocorrência de injúrias nas raízes das plantas. Outras pragas importantes na produção do gengibre são: a lagarta elasmó (*Elasmopalpus lignosellus* - Lepidoptera: Pyralidae), que ataca

preferencialmente plantas jovens; a vaquinha (*Diabrotica speciosa* - Coleoptera: Chrysomelidae), pequenos besouros cujas larvas são de hábito subterrâneo e se alimentam de raízes e tubérculos e o curuquerê (*Mocis latipes* - Lepidoptera: Noctuidae), inseto polígrafo, que se alimenta de plantas cultivadas e silvestres, destruindo o limbo foliar e deixando apenas as nervuras centrais das mesmas (FERRAZ, 1995; MATTOS, 1995; SOUZA & REIS, 1995; ELPO et al., 2008).

Dentre as doenças, que afetam a parte aérea do gengibre (mancha foliar), destaca-se o amarelão, caracterizado pela presença de pequenas manchas foliares ovais alongadas, que evoluem para manchas necróticas, de coloração branca, com aspecto de papel no centro – decorrente da infestação pelo fungo *Phyllosticta* sp. Devido à alta suscetibilidade das variedades plantadas e à freqüente ocorrência de condições climáticas predisponentes à doença, as principais medidas de controle devem interferir sobre a capacidade de sobrevivência e disseminação do patógeno, buscando minimizar ou impedir a ocorrência de epidemias. Assim, preconiza-se a utilização de rizomas sementes sadios provenientes de áreas indenadas. Outra medida refere-se à eliminação de restos de culturas e soqueiras remanescentes de cultivos anteriores que possibilitem a sobrevivência do patógeno. O controle com agroquímicos é feito usando fungicidas de largo espectro (benomyl, mancozeb, dithianon, iprodione, folpet e tiofanato metílico) ou aplicação de calda bordaleza a 0,1%. Este controle deve ser realizado especialmente nos meses de novembro a março (aplicação em intervalos de 7 a 10 dias), durante os quais as condições climáticas poderão favorecer a ocorrência de epidemias de mancha foliar. Ressalta-se, no entanto, que os fungicidas cúpricos são fitotóxicos, podendo causar necrose na bainha foliar (ELPO et al., 2008). Outras agentes de manchas foliares são *Colletotrichum*, *Helminthosporium*, *Cercospora* e *Septoria* (GINGER, 2004).

Entre as podridões dos rizomas destacam-se a *Rhizoctonia solani* e *Fusarium oxysporum*. Dentre os agentes mais importantes que atacam o rizoma causando apodrecimento temos também *Pythium* e *Rosellinia*. O sintoma principal é degeneração de rizomas em manchas escuras que vão se putrefazendo, as folhas que vão ficando amarelas até a sua dessecação e morte. Outra doença difundida e séria é a murcha bacteriana causada por *Ralstonia*. Os sintomas incluem, desde amarelamento progressivo e murcha das folhas mais baixas, até a murcha da planta inteira. Os talos e os rizomas afetados exsudam quando cortados substância láctea (GINGER, 2004).

Nos sistemas de cultivo convencional de gengibre do Paraná avaliados por Elpo et al. (2008), evidenciou-se o emprego contumaz de agrotóxicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas), com a aplicação de produtos de classificação toxicológica I (altamente tóxicos) e II (medianamente tóxicos), sem qualquer tipo de proteção. Adicionalmente, observou-se o desrespeito quanto ao período de carência (intervalo de tempo entre a aplicação do produto e a colheita). Para controle de plantas invasoras, os produtores das sete propriedades de cultivos convencionais de gengibre avaliadas revelaram usar herbicidas (glifosate, paraquat). A aplicação destes produtos, associada às chuvas, resulta no contínuo transporte de resíduos tóxicos para os canais de drenagem, que deságuam nos rios da região e que, freqüentemente, são utilizados como fonte de abastecimento de água. Estes autores destacam que a presença de agrotóxicos no gengibre “in natura” limita a sua comercialização para mercados mais exigentes.

Como medidas alternativas ao uso de agrotóxicos para o controle das doenças que afetam o gengibre, recomendam-se proporcionar uma drenagem do solo eficiente, eliminar os restos de cultura e fazer rotação com gramíneas como milho, centeio, aveia ou sorgo (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2005; ELPO et al., 2008). Entretanto, esta prática tem eficiência limitada para o controle de *Fusarium*, uma vez que este patógeno é disseminado por

meio de rizomas infectados. Depois que este fungo é introduzido em uma área sua erradicação é muito difícil (Ghini et al., 2006).

Dentre todas as doenças que afetam o gengibre, a Murcha de *Fusarium* ou Amarelo, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *zingiberi* se destaca, tendo sido observada em diversas áreas produtoras. Os sintomas se caracterizam por um amarelecimento nas folhas inferiores e murcha da planta. Os rizomas apresentam escurecimento do sistema vascular e podridão cortical que progride e forma depressões no rizoma (TRUJILLO, 1963).

Uma das alternativas para o manejo de patógenos veiculados pelo solo é o uso de fontes de matéria orgânica. A matéria orgânica contribui para controle de patógenos devido ao aumento da atividade microbiana e à melhoria das características físicas e químicas do solo. Ghini et al. (2006) avaliaram a eficácia da incorporação de casca de camarão ao solo na indução de supressividade a *Fusarium oxysporum* f. sp. *zingiberi*. O teste foi conduzido em vasos, com solo infestado com o patógeno. As cascas de camarão secas (55°C, por 96 horas), moídas, foram incorporadas ao solo nas concentrações de 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15 e 20% (v/v), em 10 repetições. Nesse teste, pode-se observar que houve uma diminuição da incidência de *Fusarium* nos segmentos da parte aérea, raiz e rizoma de plantas de gengibre cultivadas em solo tratado com casca de camarão. A indução de supressividade após incorporação do resíduo deve estar relacionada ao aumento dos actinomicetos estimulados pela quitina da casca de camarão, uma vez que estes são agentes de biocontrole. Para a dosagem de 20% de casca de camarão houve uma redução de desenvolvimento das plantas em relação à de 15%, possivelmente devido à fitotoxicidade de uma fonte orgânica rica em nitrogênio.

2.12.2 Ciclagem de nutrientes e tratos culturais

Com relação a calagem e adubação, Duarte et al. (1998) recomendam corrigir a acidez elevando o índice de saturação até 50%, enquanto que na Austrália o pH recomendado é entre 5,0 e 6,0 (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2005). Duarte et al., (1998) recomendam utilizar como adubação de plantio 20 kg ha⁻¹ de N e, de acordo com a análise de solo, de 60 a 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 40 a 120 kg ha⁻¹ de K₂O. Como adubação em cobertura, recomendam utilizar em cada uma das três amontoas, aos 90, 120 e 150 dias após o plantio: 30 kg ha⁻¹ de N e 70 kg ha⁻¹ de K₂O.

Em sistemas de cultivo convencional de gengibre do Paraná avaliados por Elpo et al. (2008), em todas as propriedades a adubação era praticada sem análise de solo. A adubação utilizada é bastante superior à recomendada pela pesquisa. Nos sete cultivos convencionais verificou-se adubação de plantio com N-P₂O₅-K₂O 4-14-8 (1,5 Mg ha⁻¹), termofosfato (0,5 Mg ha⁻¹), calcário (3 a 5 Mg ha⁻¹) e cama de frango (55 m³ ha⁻¹) e, em cobertura com N-P₂O₅-K₂O 12-5-12 (2 000 Mg ha⁻¹) divididos em três aplicações; a primeira, entre 60 e 90 dias após o plantio; e as demais em intervalos de 45 dias. A adubação inclui ainda cloreto de potássio (0,5 Mg ha⁻¹) dividido em duas aplicações, que coincidem com a segunda e a terceira aplicações de N-P₂O₅-K₂O. As duas propriedades com cultivos orgânicos avaliadas por estes autores utilizavam composto (12 a 15 Mg ha⁻¹), termofosfato (0,5 Mg ha⁻¹) e adubação foliar com biofertilizantes.

Estima-se que a colheita de 50 toneladas de rizomas frescos remove do solo aproximadamente 247 kg de N, 71 kg de P₂O₅ e 100 kg de K₂O por ha (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2005).

2.12.3 Dinâmica de água e tratos culturais

Na seleção de áreas para o cultivo do gengibre deve-se procurar áreas bem drenadas, com declividade menor que 10%. O gengibre é muito sensível à inundação e seu cultivo exige solos bem drenados, arenosos, férteis e ricos em matéria orgânica. As maiores produtividades obtidas nas regiões produtoras dos Estados de São Paulo e Paraná foram

constatadas em solos areno-argilosos, friáveis e bem drenados. Deve-se evitar o cultivo em solos argilosos e compactados, pois estes poderão dificultar o desenvolvimento dos rizomas (ELPO et al., 2008). Adicionalmente, é recomendável a sub-solagem em áreas onde é preciso melhorar a drenagem e a rotação por um período de dois anos para proporcionar o controle de nematóides (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2005).

O cultivo do gengibre exige clima tipicamente tropical, quente e úmido, com períodos bem definidos de calor e umidade para um rápido e adequado desenvolvimento dos rizomas. Nos Estados de São Paulo e Paraná as peculiaridades climáticas das regiões de cultivo de gengibre normalmente não exigem irrigações nos períodos críticos de crescimento da cultura (DUARTE, 1998; EPAGRI, 1998; NOGUEIRA e MELLO, 2001; ELPO et al., 2008). A necessidade de precipitação pluviométrica para o cultivo do gengibre é elevada, da ordem de 2500 a 3000 mm, e deve ser bem distribuída ao longo do ano. Abaixo de 2000 mm, irrigação adicional é necessária. Porém, o gengibre raramente tem sucesso com cultivo irrigado em áreas secas porque a umidade relativa do ar exigida não pode ser mantida de forma eficiente (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2005). Embora o gengibre necessite de fornecimento regular de água durante todo o seu ciclo, a planta não tolera solo encharcado, o que pode causar o apodrecimento dos rizomas (SOUZA & REZENDE, 2003).

Estudos realizados em Morretes-PR evidenciaram que tanto a água utilizada para irrigação quanto a água utilizada para lavagem dos rizomas em alguns casos continha microrganismos patogênicos, o que pode comprometer a qualidade microbiológica do produto a ser comercializado (ELPO et al, 2004).

2.12.4 Fluxo da radiação e tratos culturais

Espécies como a batata-doce e plantas da família Zingiberaceae (gengibre, açafraão, cardamo) são beneficiadas pelo sombreamento (NEWMAN et al., 1997), enquanto que outras, como a mandioca, são muito sensíveis ao sombreamento. Segundo Fukai et al. (1984), na sua fase de maturação a mandioca não suporta mais que 22% de sombreamento.

A família Zingiberaceae abrange 52 gêneros e 1500 espécies, sendo típica de sub-bosque das florestas tropicais úmidas do sudeste da Ásia (WU, 1985). Na cultura do gengibre, a radiação solar intensa e direta pode causar injúrias irreversíveis, matando a brotação e folhas durante a expansão da lâmina, induzindo um novo processo de emissão de brotos a partir de gemas do rizoma, atrasando o ciclo e prejudicando a produção e a qualidade. O excesso de radiação também favorece a maior ocorrência do fungo *Phyllosticta zingiberi* (amarelão ou mancha da folha), podendo comprometer toda a produção se a infecção ocorrer no início do ciclo da cultura (NAZARENO, 1995; DUARTE, 1998).

O cultivo do gengibre pode se beneficiar de sombra parcial durante os períodos mais quentes do dia. Quando as plantas são jovens o sombreamento é considerado desnecessário (GINGER, 2004; GIRARDI et al., 2007).

Avaliando o desenvolvimento de três espécies de Zingiberales ornamentais, com quatro condições de sombreamento: zero, 36, 56 e 82%, Meleiro (2003) considerou o sombreamento de 20-30% como o mais recomendado. O cultivo de gengibre a pleno sol, nos meses mais quentes, resultou em folhas amareladas e com queima nos seus bordos.

2.13 Biota do Solo e Sistemas de Produção de Gengibre

As doenças de solo que afetam os rizomas são um aspecto crítico para os sistemas de produção de gengibre. Entre as principais doenças causadas por bactérias que podem afetar os cultivos há a murcha bacteriana causada por *Pseudomonas solanacearum* e a podridão mole e necrose vascular causada por *Erwinia carotovora*. A *Pseudomonas* é uma bactéria tipicamente habitante do solo e poderá sobreviver por um longo período na rizosfera de plantas cultivadas ou selvagens, bem como em restos de cultura, como hastes e rizomas

infectados, quando nativa ou introduzida em uma área. As principais formas de disseminação da *Pseudomonas* ocorrem por meio de material de propagação infectado (“rizoma mãe”), água de irrigação e solo transportado em utensílios agrícolas. Já a *Erwinia* é nativa em quase todos os solos do Brasil, podendo sobreviver como saprófitas nos restos de cultura, como epífitas na filosfera de plantas hospedeiras ou selvagens, ou em patogênese em várias plantas invasoras. A *Erwinia* penetra, normalmente, por meio de ferimentos, sendo que a incidência aumenta severamente quando as plantas hospedeiras são injurizadas por práticas culturais, eventos climáticos ou organismos do solo (MATTOS, 1995; SOUZA & REIS, 1995).

Entre as doenças fúngicas que podem atacar os rizomas de gengibre, Mattos (1995) destaca o gênero *Fusarium* comprometendo o sistema radicular da cultura notadamente para cultivos em áreas de baixada, sujeitos a encharcamento.

Segundo Ferraz (1995), associações de fitonematóides de vários gêneros com o gengibre já foram relatadas, entre eles o *Pratylenchus*, o *Radopholus* e o *Meloidogyne*. Santos & Lozano (1993) destacaram a presença do gênero *Meloidogyne* em rizomas de gengibre coletados nos estados de Goiás e litoral do Paraná (*Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* e *M. javanica*).

Villiers (1976) considera os fitonematóides como a principal problema que ameaça o cultivo do gengibre, podendo o sintoma de sua infestação ser reconhecido por meio de uma rugosidade amarronzada visível no anel das brotações.

Várias práticas culturais como, rotação de cultura, consorciação de plantas, uso de compostos orgânicos e sistemas de cultivo conservadores da matéria orgânica podem ser utilizadas para aumentar a fertilidade do solo e reduzir, direta ou indiretamente, a população de patógenos e a severidade da ocorrência de doenças na parte subterrânea das plantas, contribuindo de forma significativa para melhorar a produtividade das culturas (ABAWI & WIDMER, 2000).

No sistema de produção do gengibre, entre as práticas recomendadas para o controle integrado de pragas e doenças, há a utilização de rizomas sadios, a drenagem adequada das áreas de cultivo e a realização do plantio nos meses de temperaturas amenas. O plantio tardio pode vir a expor plantas jovens, mais susceptíveis, a condições climáticas predisponentes a ocorrência de doenças (temperatura de 28 °C a 33 °C e alta umidade do solo sobre o tecido injuriado) (FERRAZ, 1995; MATTOS, 1995; SOUZA & REIS, 1995).

A redução no potencial de inóculo de áreas infectadas pelo cultivo contínuo de gengibre pode ocorrer pela rotação de culturas com plantas não hospedeiras, como Crotalária, Mucuna e Tagetes, rotação com gramíneas seguida de incorporação dos restos de cultura. Outras práticas consideradas benéficas são a adubação orgânica com esterco bovino curtido (25 a 30 Mg ha⁻¹) e a cobertura do solo com palhada (10 a 12 Mg ha⁻¹), tomando-se os devidos cuidados para não exceder a utilização de adubação nitrogenada (FERRAZ, 1995; SOUZA & REIS, 1995; SCHROTH et al, 2000).

O estado nutricional das plantas também pode interferir no estabelecimento dos patógenos. Segundo Marschner (1995), a quantidade necessária de potássio para incrementar a resistência das plantas a fungos e bactérias patogênicas é superior à quantidade requerida para a produtividade ótima.

Para Schroth et al (2000), a estratégia utilizada na rotação de culturas de plantas de cultivo anual, quando são intercaladas no tempo plantas hospedeiras com plantas não hospedeiras para determinados patógenos alvo, pode também ser aplicada na construção de sistemas de produção em policultivos nos trópicos úmidos. Estes autores citam, por exemplo, as propriedades fungistáticas proporcionadas pela cobertura do solo com a biomassa da poda de *Gliricidia sepium*. Contudo, alertam para a falta de informações confiáveis para a efetiva aplicação de táticas agroecológicas de manejo integrado em policultivos em contrapartida com a eficiência dos mecanismos de dispersão e persistência de alguns patógenos,

notadamente em sistemas de produção com outros problemas que não os biológicos relacionados à sua eficiência (aspectos físicos ou químicos).

2.14 Aproveitamento de Nutrientes e Sistemas de Produção de Gengibre

Dentre os aspectos relacionados à fertilidade do solo, a manutenção dos teores de matéria orgânica elevados e o fornecimento adequado de N são considerados os principais aspectos do cultivo em consórcio com potencial para reduzir custos e incrementar a produtividade do gengibre (BALASUBRAMANIAN & SEKAYANGE, 1991; DUARTE, 1998; KHANDKAR & NIGAM, 1996; LEE & ASHER, 1981; LEE et al., 1981; MAEDA, 1990). Há que se considerar que os aportes de P e K proporcionados pelas podas das aléias, normalmente, são insuficientes para atender as exigências das culturas (JAMA et al., 1997; NAIR et al., 1999).

Na Tabela 1 são apresentadas as recomendações de adubação com NPK para o gengibre em diversas localidades (DUARTE, 1998; LEE & ASHER, 1981; LEE et al., 1981; MAEDA, 1990). Em Ubatuba, algumas propriedades chegam a utilizar quantidades de fertilizante nitrogenado superiores a 1 000 kg ha⁻¹, ou seja, quantidades superiores às utilizadas no Havaí.

Tabela 1 Recomendações de adubação para o gengibre com NPK em diversas localidades segundo vários autores (Duarte, 1998; Lee e Asher, 1981; Lee et al., 1981; Maeda, 1990).

localidade	Nutriente (kg ha ⁻¹)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Índia	100	50 — 100	50 — 200
África	35 — 80	30 — 35	50 — 80
Austrália	250	200 — 270	100 — 180
E.U.A. (Hawai)	500 — 800	1400	500 — 800
Paraná	100 — 180	75 — 415	180
São Paulo	110	60 — 240	110 — 190

A torta de mamona, co-produto do processo de extração do óleo das sementes de mamona, possui elevados teores de nutrientes tem sido usada como adubo orgânico, pois usos mais nobres, como para a alimentação animal, ainda dependem de tecnologia industrial não disponível no momento. Severino et al (2004) avaliando a decomposição deste material, observaram taxas de respiração de 35 mg de CO₂ kg⁻¹, enquanto que no esterco o valor foi de 5 mg e no bagaço de cana apenas 2,4 mg. Estes resultados apontam para o potencial de uso da torta de mamona para cultura com alta de demanda de nutrientes como é o caso do gengibre, pela sua capacidade de rapidamente mineralizar os nutrientes e deixa-los disponíveis para as plantas.

2.15 Dinâmica da Água e Sistemas de Produção de Gengibre

Para que os sistemas de produção de gengibre tenham um bom desenvolvimento eles dependem de uma boa distribuição de chuvas e altas temperaturas durante o período de formação dos rizomas, não tolerando secas. O padrão de precipitação encontrado nas regiões produtoras do gengibre está em torno de 2000 mm anuais, sendo que em algumas regiões da Índia a precipitação fica em torno de 3 000 mm (EMATER PR, 1991).

Segundo Panigrahi & Patro (1985), a disponibilidade de água é essencial para as seguintes fases críticas do ciclo da planta: na germinação do rizoma-semente, na formação do

novo rizoma aos 90 dias de plantio, ou ainda na fase posterior de desenvolvimento aos 135 dias de plantio.

A ocorrência de um microclima na cultura do gengibre com altas temperaturas associadas à baixa umidade ambiental provoca evaporação excessiva, fazendo com que a absorção de água pelas plantas seja mais lenta do que a perda, o que pode provocar estresse hídrico na planta ainda que haja disponibilidade de água no solo (ANDERSON, 1990).

Por outro lado, cultivos em áreas de baixada sujeitos a encharcamento predispõem os rizomas de gengibre à ocorrência de doenças (FERRAZ, 1995; MATTOS, 1995; SOUZA & REIS, 1995). Assim sendo, a avaliação da eficiência da drenagem dos sistemas de produção de gengibre adquire grande importância.

2.16 Aproveitamento da Radiação e Sistemas de Produção de Gengibre

Para atenuação da luz, o sombreamento do gengibre pode ser produzido por meio da construção de estruturas para o cultivo protegido (ripados de madeira, telados) ou por meio de cultivos associados.

Em cultivo protegido, Aclan & Quisumbing (1976) testaram 0, 25, 50 e 75% de sombreamento, concluindo que a atenuação de luz não deveria ser maior que 50%. Estes autores foram corroborados por Jayachandran et al. (1991) que considerando as mesmas taxas de sombreamento, avaliaram que a colheita mais elevada foi observada no tratamento que recebeu 25% de sombra e a mais baixa no de 75% de sombra. Duarte (1998) testando 0, 30 e 50% de sombreamento para duas variedades, observou produções maiores nas parcelas sombreadas (para a variedade brasileira com 30% de sombreamento e para a variedade havaiana com 50%). Itong & Villamayor (1991) avaliaram 0, 20, 40 e 65% e chegaram a resultados próximos, determinando a faixa de 40 a 65% de sombreamento como a mais adequada para alcançar maior produção de massa de rizomas. Outros autores (WILSON & OVID, 1989 e WILSON & OVID, 1993) encontraram produções mais significativas no tratamento com 66% de sombreamento, chegando a ser 100 % maior do que o cultivo a pleno sol. O cultivo com 33% de sombra produziu apenas 18% mais do que o controle.

Além do aumento na produção de rizomas, Duarte (1998) observou efeitos altamente significativos para variáveis agrônomicas como altura das plantas, números de hastes, rendimento em óleo essencial e número de lesões foliares devido ao fungo *Phyllosticta zingiberi*.

Em países como a Índia e a Jamaica, diversas plantas vêm sendo utilizadas no cultivo consorciado com o gengibre visando o seu sombreamento, principalmente no início da germinação, entre elas: leguminosas, tomate, milho, tabaco, amarantus, pimenta, mamona, inhame, feijão, girassol, milho + ervilha e quiabo (CHOWDHURY, 1988; KUMAR & JOSHI, 1984; PURSEGLOVE, 1981; SIROHI, 1982; WILSON & OVID, 1993).

Singh et al. (1992) verificaram a influência do sombreamento produzido por faixas de bambus sobre o gengibre em comparação com uma área aberta a pleno sol, na qual registraram a amplitude de variação da intensidade da luz num dia claro típico. Observaram que, em relação a esta área, a intercepção percentual de luz na área situada entre 1 e 7 m de distância da faixa de bambus foi de 93-95% e entre 7-11m foi de 84-91%; acima de 13 m a intercepção foi menor que 1,5 %. A pleno sol o gengibre produziu apenas 47% da produção alcançada na área mais sombreada, havendo um gradiente decrescente da produção na medida em que se cultivava em áreas mais iluminadas.

Ravisankar & Muthuswamy (1987) testaram o gengibre sob condições abertas (em cultivo individual) e sob dois níveis de atenuação de luz obtidos com o cultivo intercalar perene de palmeira asiática “areca”. Os melhores resultados foram observados no cultivo intercalar de 2 anos (77% de sombra), seguido do cultivo de 6 anos (85% de sombra). Quando o gengibre foi cultivado associado à cultura do alamo (47, 52 e 62% de sombra), a produção

de rizomas foi máxima no tratamento com 47% de sombreamento (JASWAL et al., 1993). Todavia, estes autores não isolaram as interações atmosféricas (luz, temperatura) das interações edáficas (nutrientes e água).

2.17 Sustentabilidade e Sistemas de Produção de Gengibre no Bioma Mata Atlântica

Existe uma demanda nos sistemas de produção de gengibre em monocultivo por aumentar a biodiversidade de espécies. Além dos aspectos relacionados ao papel estabilizador da biodiversidade de espécies, deve-se ter em mente também o papel de melhor aproveitamento dos recursos (nutrientes, água e luz). A diversificação deve ser planejada, considerando-se que a influência da diversidade na estabilidade no sistema é mais qualitativa do que quantitativa. O aumento da biodiversidade deve ser direcionado para as funções ecológicas mais carentes para o bom funcionamento do sistema, visando sua estabilidade e o aproveitamento eficiente dos recursos disponíveis. As estratégias devem buscar uma produtividade competitiva frente à concorrência do mercado, com custos compatíveis (DOVER & TALBOT, 1992; MAIN, 1999).

A escolha de plantas para uso em consórcio com o gengibre deve procurar a melhoria da ciclagem de nutrientes e o aumento nos teores de matéria orgânica, visando reduzir os custos de produção e proporcionar uma melhor estabilidade na biota do solo (LEE & ASHER, 1981; LEE et al., 1981; LYNCH, 1986; MAEDA, 1990; WOOMER & SWIFT, 1994).

A diversificação dos sistemas de produção de gengibre deve também promover uma melhor estruturação do solo visando a manutenção de umidade adequada e uma boa drenagem (ANDERSON, 1990). Os policultivos diminuem a proporção de energia solar que chega até a superfície do solo, possibilitando que o excedente hídrico disponível seja aproveitado no processo de transpiração, em vez de perder-se pela evaporação do solo (REDDY & WILLEY, 1981). Além disso, os sistemas de policultivo de gengibre caso proporcionem um sombreamento adequado, podem resultar em melhorias do microambiente e melhorar o desenvolvimento da planta (DUARTE, 1998; LIEBMAN, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Clima da Região

O trabalho foi desenvolvido no município de Ubatuba, localizado no litoral norte do Estado de São Paulo, latitude 23 ° 27` S, longitude 45 ° 04` W e altitude igual a 5 metros. O clima é do tipo Cfa, pela classificação de Köppen, tropical úmido, com influência marítima marcante. A precipitação média anual é de 2 624 mm, sendo junho o mês mais seco (88 mm) e dezembro, janeiro, fevereiro e março os meses mais chuvosos (média de 332 mm). A temperatura média mínima do ar anual é de 17 °C, oscilando de 12,6 °C em julho a 20,6 °C em fevereiro. A temperatura média máxima do ar anual é de 26,8 °C, oscilando entre 24,2 °C em julho a 30,4 °C em fevereiro (Tabela 2). Na figura 1 pode-se observar a média e o desvio padrão da precipitação mensal de 1935 a 2000.

3.2 Caracterização dos Locais Estudados

A pesquisa foi composta por três experimentos, todos instalados no campo, na propriedade de agricultores produtores de gengibre em Ubatuba.

Os experimentos 1 e 2 foram instalados em outubro de 2001, em um Gleissolo Háplico de uma propriedade rural localizada no bairro do Araribá. O experimento 3 foi iniciado em novembro de 2002 e reinstalado em outubro de 2003, em um Cambissolo Háplico de propriedade rural do bairro do Rio Escuro.

As análises para fins de fertilidade do solo antes do plantio foram realizadas segundo Embrapa (1997) e constam da Tabela 3. A propriedade do Araribá, onde foram instalados os experimentos 1 e 2 é caracterizada pelo elevado uso de insumos externos à propriedade, o que se reflete nos valores observados na análise de terra do Gleissolo Háplico (Tabela 3).

A propriedade do Rio Escuro onde foi instalado o experimento 3 encontra-se em processo de conversão da agricultura convencional para a agricultura orgânica, sendo significativamente menor a quantidade de insumos utilizados, o que também pode ser confirmado pela análise da Tabela 3. Nesta propriedade foram coletadas no momento do plantio do gengibre em 2002 três amostras de referência de áreas de cultivo próximas, sendo a “Camb. ref. 1” a mais próxima e a “Camb. ref. 3” a mais distante da mata nativa ciliar dentre as três áreas de referência (Tabela 3).

Tabela 2 Normais climatológicas de 1961 a 2003 da Estação Climatológica de Ubatuba (latitude: 23° 27' S; longitude: 45° 04' W; altitude: 008 m).

período	parâmetro climático					umidade relativa média (%)	insolação média diária horas
	temperatura do ar (° C)		precipitação pluviométrica		queda máxima diária (mm)		
	média mínima	média máxima	total (mm)	número de dias no mês			
janeiro	20,3	29,7	376,0	313,7	19,2	86,7	138,3
feveveiro	20,6	30,4	302,3	260,0	15,6	87,2	144,1
março	20,0	29,4	300,2	249,0	17,3	88,1	148,9
abril	17,9	27,4	241,2	280,4	16,0	88,4	137,1
maio	15,1	25,9	124,8	106,0	11,9	87,7	151,5
junho	13,4	24,8	87,9	154,4	10,6	86,7	142,6
julho	12,6	24,2	111,9	162,8	9,7	85,9	149,2
agosto	13,7	24,6	93,0	103,0	10,7	86,2	138,4
setembro	15,3	24,4	166,7	139,4	14,3	88,1	107,0
outubro	17,1	25,2	215,1	186,0	17,0	88,5	91,4
novembro	18,3	26,9	256,4	380,0	17,6	87,4	113,3
dezembro	19,5	28,3	348,4	256,2	19,9	86,8	115,9
ano	17,0	26,8	2624,0	380,0	179,8	87,3	131,5

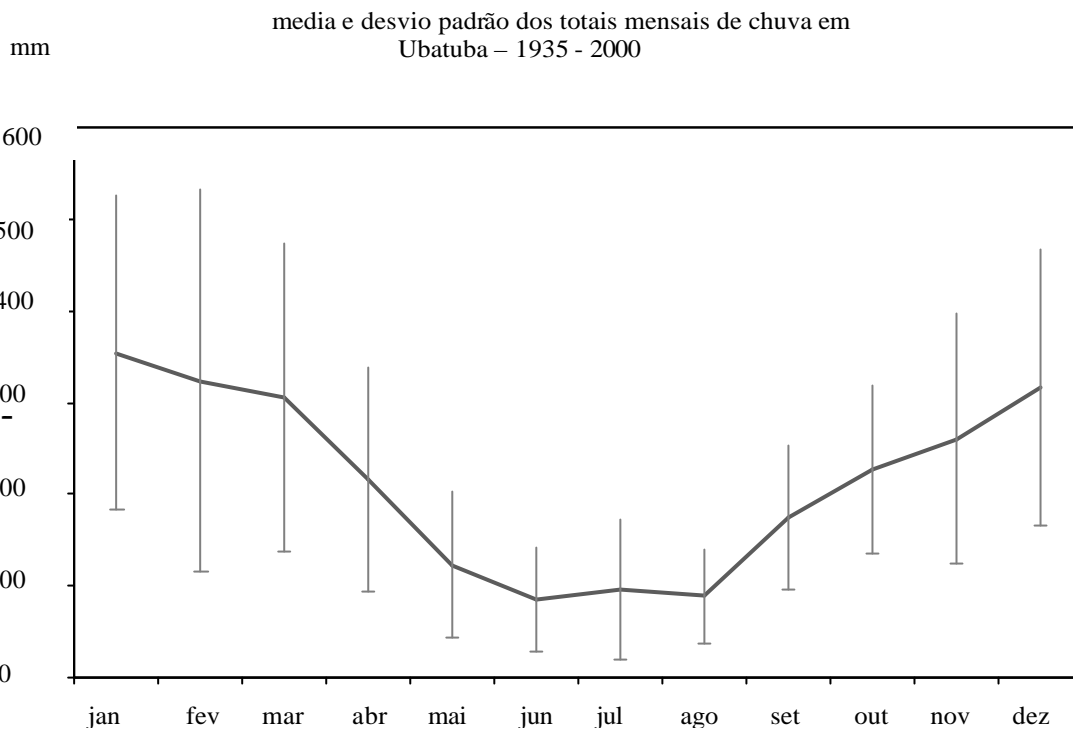


Figura 1 Precipitação mensal de 1935 a 2000 - média e desvio padrão.

Tabela 3 Análises de fertilidade das áreas de estudo

experi- mento	amostra solo	prof. cm	pH em água	Al	Ca	Mg	P	K	C	N
				cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		g kg ⁻¹	
1 e 2	Gleiss.	0 - 20	7,1	0,0	8,0	1,9	1107	228	14,1	1,574
1 e 2	Gleiss.	20 - 40	6,9	0,0	5,8	1,7	750	144	7,8	1,004
3	Camb.	0 - 20	6,5	0,0	4,7	1,4	140	81	11,7	1,066
3	Camb. ref.1	0 - 20	6,1	0,0	4,5	1,4	66	99	21,3	1,563
3	Camb. ref. 2	0 - 20	6,0	0,0	4,1	1,3	94	93	11,4	1,259
3	Camb. ref. 3	0 - 20	6,5	0,0	4,8	1,5	154	115	11,1	1,022

3.3 Experimento 1 – Efeitos do Cultivo Consorciado com Leguminosas na Produtividade do Gengibre e na Macro e Mesofauna do Solo

O objetivo foi avaliar as implicações do sombreamento parcial, por meio do uso de leguminosas em consórcio, na produtividade do gengibre e na biodiversidade da fauna do solo.

3.3.1 Delineamento experimental e tratos culturais

O plantio deste experimento foi realizado em 23/10/2001, com seis tratamentos:

- 1) “guandu”: cultivo de gengibre associado com *Cajanus cajan*;
- 2) “crotalária”: gengibre associado com *Crotalária juncea*;
- 3) “guandu + crotalária”: gengibre associado com guandu e crotalária;
- 4) “mix”: gengibre com guandu, crotalária e napier (*Pennisetum purpureum*)
- 5) “orgânico”: monocultivo, a pleno sol;
- 6) “convencional”: monocultivo, utilizando a adubação usual do produtor.

O espaçamento do gengibre utilizado em todos os experimentos foi de 0,2 x 1,4 m, variedade gigante, utilizando pedaços de rizoma pesando em média 80 g.

Com exceção do tratamento “convencional”, todos os demais receberam aplicação em cobertura de 600 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de torta de mamona (4,2% de N), iniciada trinta dias após o plantio e parcelada em cinco vezes, a cada 30 dias.

O plantio do tratamento com gengibre em monocultivo, a pleno sol, com a “adubação convencional”, recebeu a aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais variados. A primeira aplicação foi feita aos 30 dias após o plantio, com uma mistura de N-P-K (04:14:8) termofosfato magnésiano e turfa, na base de 3 Mg ha⁻¹. Em seguida, foram feitas aplicações de fontes minerais solúveis (nitrocálcio, 12:0:12), espaçadas de cerca de 15 dias e totalizando cerca de 1 000 kg ha⁻¹, o que significa um patamar de adubação nitrogenada próximo a duas vezes a adubação de N para o gengibre feita no Hawaii, quatro vezes a que é normalmente utilizada na Austrália e de cinco a dez vezes maior do que a que é preconizada para a adubação do gengibre no Paraná e no Estado de São Paulo (Tabela 1).

O delineamento experimental do experimento 1 foi em blocos ao acaso, com parcelas de 7 x 7m e seis repetições. As linhas de cultivo tinham orientação Norte-Sul, em função das valas de drenagem. Os blocos foram dispostos em dois grupos de três, em duas glebas do terreno espaçadas de dez metros, de forma a prevenir o sombreamento lateral entre os grupos (“efeito de borda”). O plantio do gengibre e das espécies consorciadas foi realizado no dia 23/10/2001. As espécies associadas foram semeadas a 20 cm a oeste da linha de plantio do gengibre (N - S), uma vez que não podiam ser semeadas entre as linhas, devido à prática cultural da amontoa, realizada três vezes ao longo do ciclo. O emprego das adubações com torta de mamona foi realizado em sulco, a 20 cm a leste da linha de plantio do gengibre (N - S), sendo coberta com terra após a aplicação.

A primeira poda das aléias (a 1,20 m do nível do solo) foi realizada cerca de 60 dias após o plantio, sendo repetida por mais quatro vezes a cada 30 dias, para procurar evitar o sombreamento excessivo.

3.3.2 Avaliações do Experimento 1

A colheita foi realizada em 29/08/2002, ou seja, cerca de dez meses após o plantio. Para avaliar a produtividade, foram colhidos os rizomas de um metro no centro de cada uma das parcelas.

Para a avaliação da macro e mesofauna do solo, dez dias antes da colheita dos rizomas, foram realizadas coletas com uma sonda quadrada metálica de 25 cm de lado, utilizando-se o método do TSBF (“Tropical Soil Biology and Fertility”) descrito por Anderson & Ingram (1993). A identificação dos organismos foi realizada seguindo as recomendações de Aquino (2001). As amostras foram sub-divididas em três profundidades (0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm) e os números de organismos da macro e mesofauna observados foram convertidos em densidade média (indivíduos m⁻²). Para reduzir a heterogeneidade de variâncias, os dados foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$, submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan 5%.

Com base nos dados de números de organismos da macro e mesofauna observados no experimento, foram calculados os índices de diversidade Shannon-Weaver (H') e de equidade de Pielou (J') (MARTINS & SANTOS, 1999) para os diferentes sistemas de cultivo.

$$H' = - \sum p_i \log p_i \quad \text{e} \quad J' = H'/H'_{max}$$

Onde: H' = Índice de Shannon-Weaver J' = Índice de equidade de Pielou

p_i – número de indivíduos do grupo taxonômico

$$H'_{max} = \log S$$

S - número total de indivíduos na comunidade amostrada

3.4 Experimento 2 - Efeitos da Aplicação de Doses de Torta de Mamona na Produtividade do Gengibre Consorciado com Guandu e na Macro e Mesofauna do Solo.

O objetivo do experimento foi avaliar as implicações do emprego diferentes doses de nitrogênio em cobertura, fornecidas na forma de torta de mamona, na produtividade do gengibre e na biodiversidade da fauna do solo.

3.4.1 Delineamento experimental e tratamentos culturais

O plantio deste experimento foi realizado em 23/10/2001 no Gleissolo Háplico e em todas as parcelas o gengibre foi cultivado associado com o plantio de guandu e com sete tipos de tratamentos:

- 1) “0” – sem adubação com torta de mamona;
- 2) 100 kg ha⁻¹ de N;
- 3) 200 kg ha⁻¹ de N;
- 4) 400 kg ha⁻¹ de N;
- 5) 800 kg ha⁻¹ de N;
- 6) 1600 kg ha⁻¹ de N;
- 7) 2400 kg ha⁻¹ de N;

O delineamento foi de blocos ao acaso usando parcelas de 4,2 x 7m e seis repetições.

Assim como no experimento 1, as espécies associadas foram semeadas a 20 cm a oeste da linha de plantio do gengibre (N - S), uma vez que não podiam ser semeadas entre as linhas devido à prática cultural da amontoa, realizada três vezes ao longo do ciclo. Todas as parcelas receberam o aporte periódico da biomassa das podas do guandu. O emprego das adubações com torta de mamona foi realizado em sulco, a 20 cm a leste da linha de plantio do gengibre (N - S), sendo coberta com terra após a aplicação.

A primeira poda das aléias de guandu foi realizada a 1,20 m do nível do solo, cerca de 60 dias após a semeadura, sendo repetida por mais quatro vezes a cada 30 dias para procurar evitar o sombreamento excessivo.

As doses de adubação de cobertura visaram a prevenir a competição por N entre as aléias de guandu e o gengibre, sendo baseadas nas doses utilizadas em outras localidades (Tabela 1) e também baseadas nas doses utilizadas em Ubatuba, que chegam a 1 000 kg de N por hectare. Para a escolha das doses elevadas utilizadas levou-se também em consideração que a disponibilização do N contido na torta de mamona (4,2%), dependerá de sua efetiva mineralização, disponibilizando apenas parcialmente o total aplicado.

A taxa de mineralização pode ser muito variável, dependendo de condições de solo como textura e umidade, doses e qualidade do material orgânico utilizado e práticas de manejo, como, por exemplo, o revolvimento do solo (PARKER & SOMMERS 1983; NICOLARDOT et al., 1994; WEN et al., 1995; BERNAL et al., 1998; SEVERINO et al., 2004).

A utilização da dose de 2400 kg ha⁻¹ de nitrogênio levou em consideração o procedimento preconizado por Voisin (1976), de incluir em ensaios de adubação uma dose para a qual se espera a ocorrência de efeitos depressivos, para além do patamar de produtividade esperado para as doses mais elevadas. Considerando que o ensaio foi conduzido em condições de campo de cultivo comercial, sem a utilização de irrigação, estimou-se uma mineralização da ordem de 50% do teor total contido na torta de mamona. Assim sendo, a maior dose de fertilizante orgânico forneceria cerca de 1 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio, quantidade próxima a aplicação utilizada para o cultivo do gengibre na propriedade rural onde se realizou os experimentos 1 e 2 (1 000 kg ha⁻¹ de nitrogênio na forma de fertilizantes orgânicos e minerais).

Os tratos culturais do experimento 2 foram similares aos realizados no experimento 1, com as diferentes doses de torta de mamona também sendo parceladas em cinco aplicações.

3.4.2 Avaliações do Experimento 2

A colheita do experimento 2 foi realizada em 29/08/2002, ou seja, cerca de dez meses após o plantio. Para avaliar a produtividade foram colhidos os rizomas de um metro no centro de cada uma das parcelas.

Para a avaliação da macro e mesofauna do solo do experimento 2 os procedimentos foram idênticos aos adotados para a avaliação da fauna do solo do experimento 1.

Os experimentos 1 e 2 foram reinstalados em outubro de 2002, porém houve uma grande incidência de doenças nos rizomas, inviabilizando uma nova colheita nesta área.

3.5 Experimento 3 - Efeitos do Cultivo Consorciado com Leguminosas e da Adubação com Torta de Mamona na Produtividade do Gengibre, nos Grupos Tróficos de Nematóides e no Aproveitamento dos Recursos Físicos.

O objetivo foi avaliar os efeitos do consórcio com leguminosas e da adubação com torta de mamona na produtividade de rizomas de gengibre, nas mudanças das populações dos grupos tróficos de nematóides e no aproveitamento dos recursos físicos disponíveis: nutriente, radiação e água.

3.5.1 Delineamento experimental e tratos culturais

O experimento 3 foi implantado em um Cambissolo no bairro do Rio Escuro em novembro de 2002 e reinstalado em outubro de 2003.

Foram testadas nas parcelas duas formas de cultivo de gengibre:

- A) gengibre sombreado pelo cultivo consorciado com guandu e gliricídia;
- B) gengibre em monocultivo, a pleno sol.

Dentro das parcelas foram implantadas sub-parcelas, com cinco níveis de adubação nitrogenada. As doses de torta de mamona utilizadas no experimento 2 foram consideradas

excessivas, por isso, na fertilização do experimento 3, com torta de mamona, as quantidades de N (kg ha^{-1}) foram reduzidas para as seguintes doses:

- 1) “0” – “zero absoluto” ;
- 2) poda das aléias de guandu (M.S. = $9,3 \text{ Mg ha}^{-1}$)
- 3) 100 kg ha^{-1} de N;
- 4) 400 kg ha^{-1} de N;
- 5) 800 kg ha^{-1} de N.

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, usando parcelas de $4,2 \text{ m} \times 7 \text{ m}$ (três linhas de cultivo de gengibre), com cinco repetições.

Nas parcelas a serem submetidas ao sombreamento, foi distribuído 12-15 sementes de guandu por metro, ao lado das três linhas de plantio do gengibre (20 cm).

O plantio do gengibre e das espécies consorciadas foi realizado em 12/11/2002. As espécies associadas foram semeadas a 20 cm a oeste da linha de plantio do gengibre (N - S), uma vez que não podia ser semeada entre as linhas, devido à prática cultural da amontoa (três vezes ao longo do ciclo).

As mudas de *Gliricidia sepium* foram inoculadas com fungos micorrízicos e plantadas em um espaçamento de $7 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. Assim, como nos experimentos 1 e 2, as linhas de cultivo tinham orientação Norte-Sul, em função das valas de drenagem. Entre o bloco das parcelas cultivadas com aléias e o bloco das parcelas em que o gengibre foi cultivado a pleno sol, foram cultivadas três linhas de gengibre a pleno sol, constituindo bordaduras de $4,2 \text{ m}$ entre as parcelas subdivididas.

A primeira poda das aléias foi realizada 50 dias após o plantio, sendo repetida por mais três vezes a cada 30 dias para evitar o sombreamento excessivo. Diferentemente do que ocorreu nos experimentos 1 e 2 quando a poda do guandu foi feita a $1,20 \text{ m}$ do nível do solo, no experimento 3 a poda foi feita raleando-se toda a copa, procurando-se evitar o sombreamento excessivo.

3.5.2 Avaliações da produtividade

Não foi possível avaliar a produtividade do no primeiro ano de cultivo em função da grande incidência de doenças nos rizomas (*Erwinia* sp)

No segundo ano de cultivo, em função da ocorrência de doenças de solo e conseqüente redução no estande do gengibre, para avaliar a produtividade, antes de quantificar a produtividade total de cada uma das parcelas, foram colhidos os rizomas de um metro que apresentasse um bom estande na parte aérea. Desta forma, foi possível estimar a quebra de produção devido a ocorrência de doenças.

Na área de referência “Camb. ref. 1” a produtividade de rizomas de gengibre foi avaliada por meio de dez amostras colhidas ao acaso, caminhando-se em zig-zague ao longo da quadra de cerca de $3\,000 \text{ m}^2$.

3.5.3 Avaliação de grupos tróficos de nematóides

Em abril de 2003, foram tomadas as primeiras amostras de solo divididas em três profundidades (0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm) para avaliação da distribuição de grupos tróficos de nematóides, segundo classificação apresentada por Yeates et al. (1993).

Os nematóides foram divididos em cinco grupos alimentares: fitoparasitas, bacteriofágos, micófagos, predadores e onívoros. Os números de organismos observados foram convertidos em densidade média (indivíduos m^{-2}). Em março de 2004, foram tomadas novas amostras de solo para avaliação da distribuição de grupos tróficos de nematóides. Os dados foram submetidos às mesmas análises estatísticas utilizadas na avaliação da fauna do solo dos experimentos 1 e 2.

3.5.4 Avaliação do aproveitamento dos recursos físicos

Para avaliar os efeitos dos tratamentos na fertilidade do solo, juntamente com as medições do penetrógrafo e do infiltrômetro foram coletadas amostras para realização de análises para fins de fertilidade do solo, conforme Embrapa (1997), após um ano de pousio.

As medições dos parâmetros climáticos foram feitas por meio de Estação Meteorológica Automática, modelo Campbell Scientific, e os sensores utilizados foram:

- a) temperatura do ar/umidade relativa do ar – modelo HMP45C;
- b) anemômetro - Met-One, modelo 014A;
- c) radiação solar – radiômetro – Kipp e Zonen - modelo SP Lite.

A estação meteorológica automática possuía um sistema de coleta e armazenamento dos registros dos sinais dos sensores (Campbell Scientific, modelo CR 10X).

Para avaliação da resposta do gengibre a intensidades de radiação luminosa, em janeiro de 2004, aos 90 dias após o plantio do experimento, foram coletadas duas amostras de plantas em parcelas com a mesma dose de N – uma cultivada sob o sombreamento das aléias de gliricídia e guandu e outra cultivada solteira, a pleno sol. Estas amostras foram colocadas em vasos de 20 litros e encaminhadas para o Laboratório de Fisiologia Vegetal do Instituto Agronômico de Campinas. As amostras foram mantidas em estufa, uma a pleno sol e a outra com sombrite de 50% cerca de quinze dias, e após este período foram submetidas a diferentes níveis de fluxo de fótons, por meio do analisador de gás infravermelho (IRGA) da LICOR, modelo LI 6200.

Para avaliar a resistência à penetração do solo, após um ano de pousio do experimento, foram realizadas avaliações da resistência do solo à penetração (R em kgf cm^{-2}) por meio de um penetrômetro de cone manual com traçador gráfico, o penetrógrafo da Soil Control modelo SC-60, tomando-se o cuidado de procurar realizar as leituras com uma velocidade constante de penetração.

Foram efetuadas leituras na região central das 50 parcelas e determinada a resistência média de cada um dos tratamentos para 10, 20, 30 e 40 cm de profundidade.

Para avaliar o efeito dos tratamentos na capacidade de infiltração de água no solo acumulada em 30', também após um ano de pousio, na região central das 50 parcelas, foi determinada a infiltração de água acumulada durante trinta minutos para cada um dos tratamentos. O infiltrômetro era constituído de anéis concêntricos, com o diâmetro externo medindo 50 cm e o interno 25 cm, ambos com 35 cm de altura. Os anéis foram enterrados no solo cerca de 20 cm.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1 - Efeitos do Cultivo Consorciado com Leguminosas na Produtividade do Gengibre e na Macro e Mesofauna do Solo

4.1.1 Produtividade do gengibre

A produção de rizomas de gengibre para os diversos sistemas de cultivo é apresentada na Figura 2. A produção das parcelas em que o cultivo do gengibre foi realizado com adubação orgânica a pleno sol não diferiu das parcelas em que o gengibre foi cultivado consorciado com leguminosas (guandu, crotalária e guandu mais crotalária), e foi superior ao tratamento convencional a pleno sol.

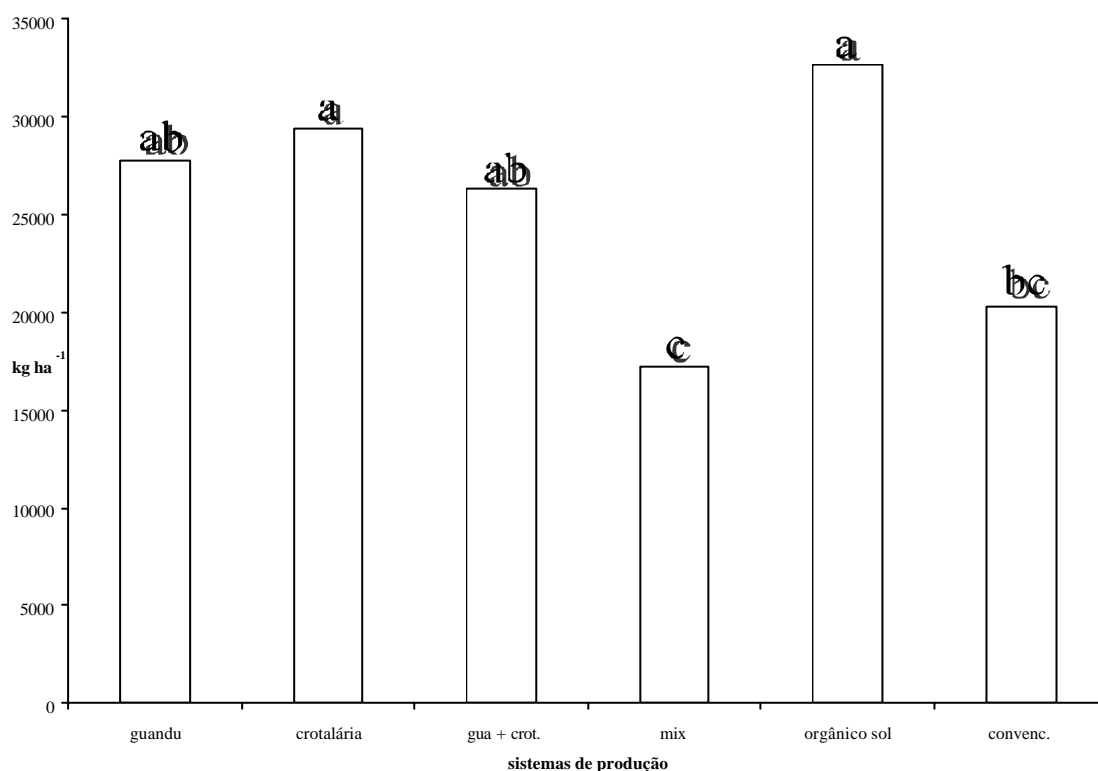


Figura 2 Produtividade média de rizomas de gengibre em diferentes sistemas de cultivo, no bairro do Araribá em Ubatuba-SP.

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

A produtividade do tratamento “orgânico” foi 60% superior à produtividade do tratamento “convencional” sugerindo a ocorrência de efeitos deletérios provocados pelo uso de doses elevadas de fertilizantes minerais prontamente solúveis. A adubação, com fontes minerais e orgânicas, normalmente usada pelo agricultor contém quantidades de nitrogênio acima de 1000 kg ha⁻¹, enquanto que a dose de nitrogênio do tratamento “orgânico” foi de 600 kg de nitrogênio na forma de torta de mamona. Em coletânea bibliográfica, Mafra & Miklós (1998) documentaram as inconveniências ambientais do uso de fertilizantes minerais solúveis quanto a seus efeitos em atributos do solo e nos recursos hídricos, efeitos

atmosféricos, efeitos na fisiologia vegetal e efeitos sobre a ocorrência de pragas e doenças. Neste contexto, Marchiori (2000) comparou a aplicação de fertilizantes orgânicos, na forma de composto de resíduos sólidos urbanos, com áreas cultivadas adjacentes que nunca aplicaram o composto (CRSU), somente outras fontes orgânicas. Verificou que na área em que as doses de fertilizantes minerais prontamente solúveis eram superiores, a condutividade elétrica era, em média, mais do que o dobro da área que utilizou o composto (1,34 e 0,60 mmhos cm⁻¹, respectivamente).

No tratamento “mix” houve redução significativa da produtividade em relação às parcelas do gengibre em monocultivo, a pleno sol, e também em relação às parcelas cultivadas em consórcio com leguminosas. Isso pode ser decorrente do fato do capim napier (*Pennisetum purpureum*) no tratamento mix ter dominado as outras espécies utilizadas neste consórcio (guandu, crotalária, mucuna cinza e mamona) proporcionando níveis de sombreamento que prejudicaram a produtividade do gengibre consorciado. As leguminosas podem ser afetadas negativamente pelo sombreamento, em maior ou menor extensão, dependendo da espécie, fato observado por Espíndola (2001) quando da utilização de consórcio de leguminosas herbáceas (cudzu tropical, siratro e amendoim forrageiro) com bananeiras.

Huxley (1999) pondera que “plantas capitalistas”, que exercem dominância excessiva sobre outras de ocorrência associada, podem ser utilizadas apenas por meio da rotação de culturas.

É importante destacar que o fato da produtividade dos rizomas dos tratamentos em que o gengibre foi consorciado com leguminosas não diferir significativamente das áreas do gengibre em monocultivo representa um melhor aproveitamento dos recursos (água, luz e nutrientes). O consórcio proporcionou a produção da biomassa do guandu no mesmo espaço e período sem prejuízo da produção da cultura principal. Este aporte suplementar de material orgânico poderá beneficiar atributos químicos, físicos e biológicos do solo ao longo do tempo.

4.1.2 Macro e mesofauna do solo

Os efeitos dos diferentes sistemas de cultivo nas densidades médias para os diferentes grupos taxonômicos coletados são apresentados na Tabela 4, 5, 6, 7. Verifica-se que, na camada de 0-10cm, houve efeito do sistema de cultivo para as densidades de Gastropoda e Diplopoda (tabela 4). A densidade do grupo Gastropoda nos tratamentos guandu, “mix” e “orgânico” foi estatisticamente superior ao tratamento com cultivo do gengibre em que se utilizaram fertilizantes de fontes minerais solúveis e também da área subjacente com cobertura de digitaria, tomada como referência. Merlim et al (2005), também verificaram a maior densidade de Gastropodas nas parcelas em que o siratro era utilizado como planta de cobertura nas entrelinhas da cultura do figo. O aumento da densidade de gastrópodos associada a plantas leguminosas pode ser atribuído aos maiores teores de cálcio fornecidas pela decomposição desta cobertura vegetal e da dependência dos gastrópodos da existência de teores adequados de cálcio para formar a carapaça que protege o seu corpo (Burch & Pearce, 1990). Para Diplopoda a densidade não variou entre os sistemas usados, mas, foi estatisticamente superior à cobertura de digitaria.

À semelhança do presente trabalho, Merlim et al. (2005) avaliando a densidade da macroe mesofauna em diferentes coberturas de solo também verificaram que a menor densidade de Diplopoda ocorreu na cobertura com gramínea. Segundo Vohlland & Schroth (1999), as leguminosas produzem serapilheira de melhor qualidade para a fauna do solo do que as gramíneas espontâneas.

Tabela 4 Densidade média de indivíduos da macro e mesofauna, na camada de 0-10cm (indivíduos m⁻²), em sistemas de produção de gengibre e em área com predominância de digitaria tomada como referência.

grupos taxonômicos	sistemas de produção					Teste F Níveis
	guandu	mix	orgânico sol	convenc.	digitaria (referência)	
-----indivíduos m ⁻² -----						
Araneae	12,7	11,4	11,4	11,4	12,7	0,75ns
Chilopoda	11,4	14,1	11,4	12,7	14,5	1,40ns
Coleoptera	21,1	15,1	14,2	17,8	17,4	1,99ns
Diplopoda	26,7a	26,1a	30,7a	31,6a	13,68 b	3,18**
Formicidae	36,2	48,4	88,8	83,7	33,6	1,19ns
Gastropoda	33,9a	27,1a	27,9a	12,7b	12,7b	4,00**
Isopoda	12,7	12,7	11,4	16,5	12,7	0,95ns
Larvas	12,7	16,3	15,8	14,1	14,5	0,21ns
Oligochaeta	14,1	23,7	19,2	19,47	18,9	0,87ns

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%,
 ** significativo 1%; * significativo 5%; ns - não significativo.

Tabela 5 Densidade média de indivíduos da macro e mesofauna, na camada de 10-20 cm (indivíduos m⁻²), em sistemas de produção de gengibre e em área com predominância de digitaria tomada como referência.

grupos taxonômicos	sistemas de produção					Teste F Níveis
	guandu	mix	orgânico sol	convenc.	digitaria (referência)	
-----indivíduos m ⁻² -----						
Araneae	17,4	12,7	20,6	16,5	11,4	2,10ns
Chilopoda	20,9	1,6	19,5	17,1	14,1	0,32ns
Coleoptera	15,5	13,7	14,1	23,5	14,4	1,52ns
Diplopoda	46,2a	34,1ab	51,4a	37,3ab	17,9b	3,06**
Formicidae	41,8	52,7	58,4	75,9	30,6	0,90ns
Gastropoda	33,0	28,4	36,1	38,7	15,1	2,15ns
Isopoda	41,7ab	25,2bc	46,8a	23,4bc	13,7c	4,26**
Oligochaeta	30,1	27,4	29,3	20,5	25,8	0,29ns

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%,
 ** significativo 1%; * significativo 5%; ns - não significativo.

Tabela 6 Densidade média de indivíduos da macro e mesofauna, na camada de 20-30 cm (indivíduos m⁻²), em sistemas de produção de gengibre e em área com predominância de digitaria tomada como referência.

grupos taxonômicos	sistemas de produção					Teste F Níveis
	guandu	mix	orgânico sol	convenc.	digitaria (referência)	
-----indivíduos m ⁻² -----						
Araneae	12,7	14,1	14,1	11,4	11,4	1,48ns
Chilopoda	12,7	17,2	12,7	11,4	11,4	2,23ns
Coleoptera	12,7	12,7	14,1	15,8	12,7	0,51ns
Diplopoda	12,7	14,7	20,7	20,41	11,4	2,56ns
Formicidae	24,3	17,9	31,0	39,8	16,4	1,39ns
Gastropoda	15,2	16,4	13,7	12,7	11,4	0,88ns
Isopoda	17,6	14,5	23,8	12,1	11,4	2,40ns
Oligochaeta	17,8	16,4	20,9	19,8	18,8	0,65ns

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%
 ** significativo 1%; * significativo 5%; ns - não significativo.

Tabela 7 Densidade média de indivíduos da macro e mesofauna, nas diferentes camadas de solo, (indivíduos m⁻²), em sistemas de produção de gengibre e em área com predominância de digitaria tomada como referência.

profundidade (cm)	sistemas de produção					Teste F Níveis
	guandu	mix	orgânico sol	convenc.	digitaria (referência)	
-----indivíduos m ⁻² -----						
0-10	61,6b	70,6b	110,6ab	128,5a	48,5b	2,77*
10-20	96,7	94,1	106,0	84,9	51,4	1,26ns
20-30	42,9	43,5	54,9	58,3	24,2	1,97ns

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%
 ** significativo 1%; * significativo 5%; ns - não significativo

Na camada de 10-20 cm houve efeito do sistema de cultivo para as densidades de Diplopoda e Isopoda (tabela 5). Para Diplopoda, assim como na camada 0-10 cm, a densidade não variou entre os sistemas usados e foi estatisticamente superior à cobertura de Digitaria. Este resultado pode ser decorrente da maior umidade do solo, visto que se o solo estiver seco este grupo estará mais sujeito do que outros a perda de água do corpo por capilaridade (ARAÚJO, 1994). Adensidade de Isopoda nos tratamentos sombreados com guandu e no cultivo orgânico na camada 10-20 cm foi superior ao tratamento em que se utilizaram fertilizantes de fontes minerais solúveis e também a densidade da área subjacente com cobertura de digitaria.

Na camada de 20-30 cm não houve efeito de tratamento para a densidade de nenhum dos grupos de artrópodes, mesmo quando comparados à área com cobertura de Digitaria, tomada como referência (Tabela 6). Com relação à densidade total média nas diferentes camadas de solo foi observada diferença significativa apenas em relação à camada de 0-10 cm (Tabela 7).

O tratamento com gengibre “convencional” apresentou densidade significativamente superior em relação às formas de cultivo consorciado com aléias e também em relação à área com cobertura de digitaria, tomada como referência. A área de cultivo “orgânico” não diferiu estatisticamente das áreas em que o cultivo do gengibre foi realizado com sombreamento, mas apresentou densidade total média de artrópodes de 60 a 80% superior.

Os resultados do presente trabalho estão de acordo com Baretta et al (2004), que avaliando diferentes sistemas de cultivo constataram diferença significativa na densidade da fauna apenas na camada de 0-10 cm. Este fato pode ser atribuído a uma maior concentração de matéria orgânica nas camadas mais superficiais.

De maneira geral, enquanto a densidade de Gastropoda e Isopoda foi desfavorecida pelo sistema convencional, o grupo Formicidae foi favorecido, apresentando densidades mais elevadas nos tratamentos em que o gengibre foi cultivado a pleno sol. Segundo Warburg et al. (1984) e Warburg (1987) os isópodos tem sua mortalidade causada principalmente por fatores climáticos e não por predação.

A maior densidade do grupo Formicidae no sistema convencional pode ser decorrente da qualidade do alimento produzido pela vegetação espontânea, que não favoreceu a abundância de outros grupos e também ao grande número de espécies de formigas que proporcionam a este grupo taxonômico elevada capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais (FOWLER, 1998). Merlim et al. (2005) verificaram que formigas representaram mais de 80% do macro e mesofauna na área com cobertura de bahiagrass (*Paspalum notatum*), 58% na área com cobertura de siratro (*Macropitulum artropurpureum*) e 8% na área com cobertura morta (mulch). Para Granha (1999), a predominância do grupo Formicidae está associada a áreas com maior insolação. Os tratamentos onde o gengibre foi cultivado a pleno sol apresentaram densidade de indivíduos deste grupo quase duas vezes maior que a densidade das áreas sombreadas.

Além das condições microclimáticas, a disponibilidade de recursos, a fertilidade e a estrutura do solo afetam decisivamente a composição e a distribuição da biota do solo (BEARE et al., 1995; CORREIA, 2002). No tratamento mais sombreado (“mix”), o grupo Formicidae também foi o mais dominante, o que neste caso pode ser atribuído à qualidade da biomassa do capim napier (*Pennisetum*). É importante lembrar que estes dois tratamentos receberam a mesma quantidade de torta de mamona (600 kg ha⁻¹ de N em cinco aplicações).

Em cultivos agroflorestais na Amazônia, Martius et al. (2004) verificaram uma maior correlação do microclima com a composição da macro e mesofauna do solo do que com a qualidade e quantidade de serapilheira produzida. Porém, no estudo conduzido por estes autores não havia uma diferença de composição tão significativa como a que ocorre entre o capim napier e as leguminosas utilizadas neste estudo.

Os índices de diversidade e equidade para os vários sistemas de produção de gengibre do experimento 1 e a composição relativa da fauna do solo podem ser observados na Tabela 8.

Os índices de diversidade e equidade não foram significativamente diferentes para os vários sistemas de cultivo do experimento 1. Porém, a composição relativa da fauna do solo indica que o consórcio do gengibre com o guandu foi o que proporcionou maior diversidade dos grupos da fauna observados, com maior índice de Shannon-Weaver ($H' = 0,804 \pm 0,069$).

O maior estímulo à biodiversidade proporcionado pelo guandu em comparação aos demais sistemas de produção de gengibre avaliados pode ser justificado por uma maior disponibilidade dos constituintes orgânicos (C) nas parcelas em consórcio com o guandu, fornecendo energia de forma mais prontamente disponível para os organismos decompositores.

Tabela 8 Índice de diversidade de Shannon-Weaver e Índice de equitabilidade de Pielou da macrofauna do solo cultivado com gengibre submetido a diferentes sistemas de cultivo.

índices	sistemas de produção				
	guandu	mix	orgânico	convenc.	digitária
Shannon-Weaver	0,80	0,67	0,67	0,57	0,53
Pielou	0,85	0,69	0,68	0,59	0,70

Segundo Nair et al. (1999), a velocidade de decomposição da biomassa produzida em sistemas agroflorestais e seu aproveitamento pela fauna do solo dependem da qualidade da serapilheira, seu conteúdo em nutrientes e constituintes orgânicos (C solúvel, celulose e hemicelulose, lignina e polifenóis). Mafongoya et al. (1996_a) consideram que materiais com conteúdo de N maior do que 20 mg g⁻¹ podem ser considerados de “boa qualidade”, com taxa de decomposição relativamente mais rápida. Alertam ainda que pequenos teores de lignina e polifenóis podem alterar a velocidade de decomposição dos materiais orgânicos. Em Tabela que compilou os resultados de diversos trabalhos, estes autores classificam guandu como espécie de taxa de decomposição moderada, com relação C/N variando de 10 a 15 e teores moderados de lignina e polifenóis enquanto que *Crotalaria anagyroides* é classificada como de decomposição relativa rápida, relação C/N igual a 12 e baixos teores de lignina.

Agus et al. (1999) avaliando o uso do capim napier (*Penisetum purpureum*) em sistemas de aléias consideraram que esta espécie tem grande capacidade de absorção de nutrientes e rapidamente esgota o solo sendo seu manejo insustentável se não houver fertilizações periódicas. Nos experimentos 1 e 2 a quantidade estimada de produção de biomassa verde do guandu foi de 34,3 Mg ha⁻¹ e do capim napier foi de 51,2 Mg ha⁻¹.

A poda do feijão guandu exige menos mão-de-obra do que o capim napier, que é de difícil manipulação e ainda pode vir a dificultar o manejo posterior da área. Segundo Michael et al. (1999), o critério de facilidade de manejo é essencial para a decisão do agricultor de adoção ou não de modelos de sistemas agroflorestais.

Embora o guandu tenha uma velocidade de decomposição mais rápida que o capim napier e conseqüentemente com menos reflexos diretos na melhoria das propriedades físicas do solo, os efeitos indiretos nestas propriedades promovido pela biomassa das aléias e os diferentes grupos ecológicos da biota do solo devem ser investigados. A produção desta biomassa associada poderá ser importante para a sustentabilidade do cultivo do gengibre ao longo do tempo.

4.2 Experimento 2 - Efeitos da Aplicação de Doses de Torta de Mamona na Produtividade do Gengibre Consorciado com Guandu e na Macro e Mesofauna do solo

4.2.1 Produtividade do gengibre consorciado com guandu

A produção de rizomas de gengibre para diferentes quantidades de N são apresentados na Figura 3. A ausência de efeito das quantidades de N utilizadas no presente trabalho pode ser decorrente da instalação do experimento em solo com teores elevados de nutrientes ou ainda devido a limitação causada por deficiências de outros fatores.

Lee et al. (1981) em Queensland, Austrália (26 ° 51`S), observaram grandes diferenças entre a produtividade de gengibre em condições de cultivo comercial e a produtividade em condições de cultivo experimental irrigado. A produtividade em condições de cultivo comercial, variou de 26 a 37 Mg ha⁻¹, para doses de N de 340 a 830 kg ha⁻¹ de N. Em condições de cultivo experimental irrigado os efeitos de doses de N na produção de rizomas variaram de 52 Mg ha⁻¹ para a dose de 52 kg ha⁻¹ de N, na forma de nitrato de amônio, a até 97 Mg ha⁻¹ para a dose de 896 kg ha⁻¹ de N.

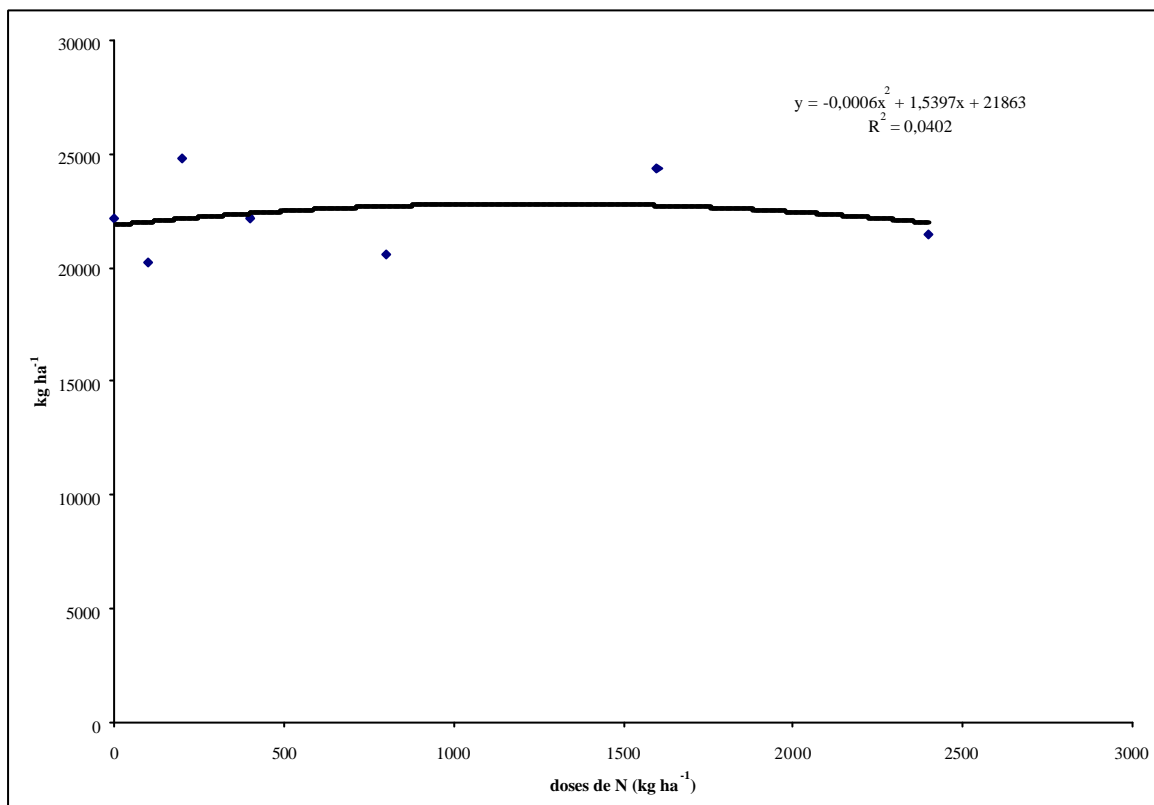


Figura 3 Produtividade média de rizomas em diferentes doses de nitrogênio usando como fonte a torta de mamona em sistemas de produção de gengibre consorciado com guandu.

Em condições de cultivo comercial de Piracaia, região de Atibaia (SP), Maeda (1990) avaliou os efeitos da adubação orgânica (0 e 10 Mg ha⁻¹ de esterco de galinha), da adubação mineral (0, 1000, 2000 e 3000 kg ha⁻¹ da fórmula N-P-K 4:16:8), com presença ou ausência de cobertura morta (3 cm de bagacilho de cana). Verificou que a dose de adubação orgânica utilizada teve efeito depressivo sobre a produção de rizomas e que o tratamento que proporcionou a maior produtividade, cerca de 42 Mg ha⁻¹, foi a dose de fertilizante mineral de 2 000 kg de 4:16:8 combinada com o uso de cobertura morta. Em experimento no ano seguinte, o mesmo autor verificou que utilizando como fontes de N e P a uréia e o superfosfato simples, os melhores resultados foram obtidos com o uso de 100 kg ha⁻¹ de N; 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 300 kg ha⁻¹ de K₂O. Estes resultados confirmam a grande exigência da cultura em potássio e a importância da umidade adequada do solo para a produção de rizomas.

Em cultivo experimental irrigado na região de Atibaia, Duarte (1998) observou uma produtividade média de 46 t.ha⁻¹ para níveis de adubação entre 250 e 350 kg ha⁻¹ de N, 100 a 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 140 a 210 kg ha⁻¹ de K₂O. Este autor verificou que doses crescentes de adubação associadas com cultivos em níveis crescentes de sombra tendem a estabilizar ou afetar negativamente a produção de rizomas.

Os resultados de produtividade média de rizomas de gengibre em resposta ao fornecimento de 7 níveis de nitrogênio na forma de torta de mamona observados no experimento 2 sugerem a ocorrência de outras limitações para o aumento da produção.

As diferenças entre as produtividades dos estudos com gengibre em condições experimentais irrigadas sugerem que os aspectos físicos têm papel determinante na produtividade dos rizomas.

Santos (1992) utilizando dois Argissolos, um com textura franco-argilo-arenosa (25% de argila) e outro com textura argilosa (50% de argila), e cultivando em caixas de madeira de 0,03 m³, em condições de casa de vegetação, observou efeito linear no aumento da produtividade em resposta a adição de nitrogênio nos dois tipos de solos (a maior dose resultou em peso dos rizomas 120% superior à média do tratamento sem adição de nitrogênio), com o efeito sendo mais pronunciado no solo de textura franco-argilo-arenosa. O solo com textura franco-argilo-arenosa apresentou uma produtividade média cerca de 10 % superior ao solo de textura argilosa. Segundo Santos (1992), os atributos físicos do solo podem ser considerados como determinantes para a escolha de áreas adequadas para o cultivo do gengibre.

Além dos aspectos químicos e físicos, fatores biológicos do solo, dentre outros, também podem afetar drasticamente a produtividade das culturas, introduzindo ainda mais variabilidade nos resultados observados, especialmente para o caso de cultivo de raízes e tubérculos em solos aluviais e em regiões de precipitação elevada (Tabela 2).

O cultivo do gengibre consorciado com guandu e adubado com sete níveis de nitrogênio, fornecidos na forma de torta de mamona, não resultou aumento na produção de rizomas. O coeficiente de variação encontrado foi alto (21,5%), segundo classificação proposta por Gomes (1985): baixo, se inferior a 10%; médio, quando de 10 a 20%; alto quando de 20 a 30% e muito alto, se superiores a 30%. Segundo Gliessman (2000), a ocorrência de coeficientes de variação altos ou muito altos não significam, necessariamente, a ocorrência de erros na metodologia de pesquisa, mas é um indicativo de que a área experimento era extremamente variável. Isto se aplica a solos com grande variabilidade, como é o caso do Gleissolo Háplico dos experimentos 1 e 2 e do Cambissolo Háplico do experimento 3, solos formados por sedimentos aluviais,.

A variabilidade espacial dos solos aluviais está associada à diversidade de deposição dos sedimentos fluviais e a processos pedogenéticos específicos para os locais onde os sedimentos se depositaram. Estas áreas apresentam geralmente textura errática ao longo do perfil, oferecendo limitações quanto ao risco de inundações (VAN DEN BERG et al., 1987; OLIVEIRA, J., 1999). Em regiões de precipitação elevada como é o caso de Ubatuba, nas áreas de baixada onde os solos tenham drenagem deficiente, uma leve variação topográfica pode fazer uma grande diferença na umidade do solo e na drenagem, implicando em grande variabilidade espacial.

Os resultados de produtividade de rizomas em cultivo consorciado com guandu para diferentes níveis de nitrogênio observados no experimento 2 são similares aos de cultivos comerciais de outras regiões e foram superiores à produtividade média de sistemas de cultivo convencional (gengibre em monocultivo, a pleno sol) no litoral norte de São Paulo nos anos de 2001 e 2002 (DEVIDE et al., 2003).

Considerando que a produtividade média do gengibre consorciado com guandu foi similar à produtividade do gengibre em monocultivo no experimento 1 (Figura 2) é importante avaliar o efeito das doses de nitrogênio fornecidas, por meio da torta em outros atributos do solo, uma vez que fatores físicos ou biológicos podem estar limitando a resposta da produção de rizomas ao aporte do fertilizante orgânico.

4.2.2 Macro e mesofauna do solo do gengibre consorciado com guandu

Os efeitos da adição de diferentes doses de nitrogênio usando como fonte a torta de mamona sobre a macro e mesofauna do solo, no sistema de cultivo de gengibre consorciado com aléias de guandu do experimento 2 podem ser observados na figura 4.

O incremento da fauna do solo proporcionado pela adição de torta de mamona observado na Figura 4 indica o potencial da fertilização orgânica do cultivo do gengibre consorciado com aléias de leguminosas em contribuir para melhorar o manejo do solo.

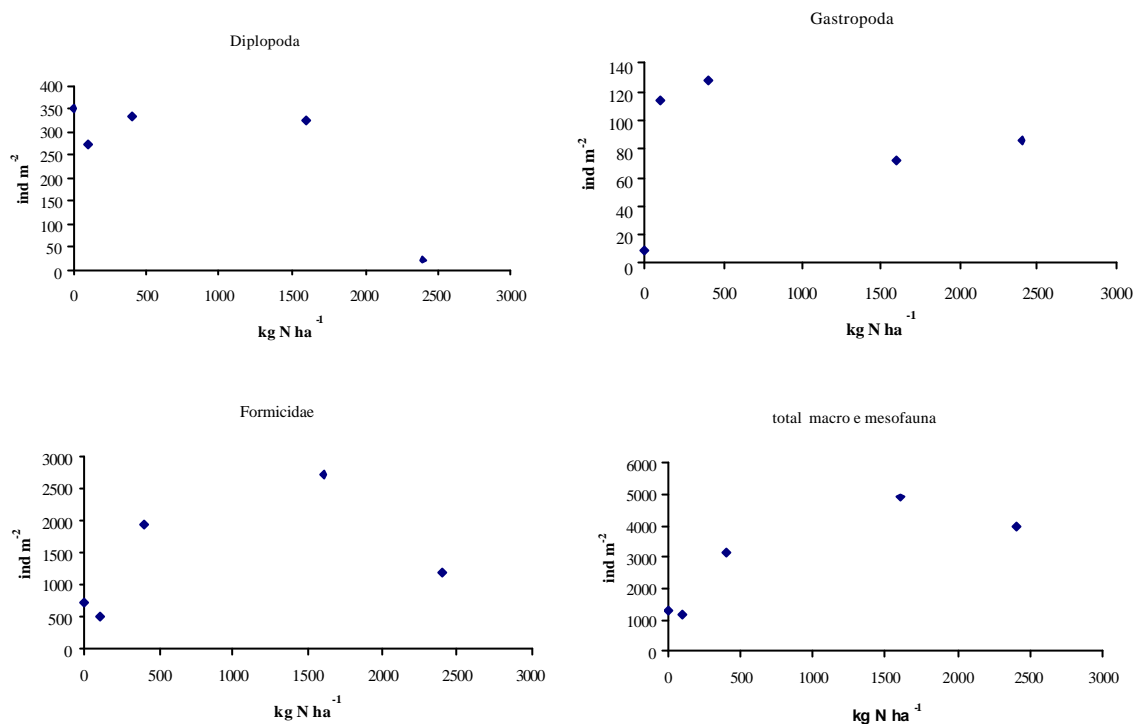


Figura 4 Efeitos de diferentes doses de nitrogênio usando como fonte a torta de mamona sobre a macro e mesofauna do solo, em sistemas de cultivo de gengibre consorciado com aléias de guandu.

Segundo Aquino (2005), indicadores biológicos por serem mais dinâmicos do que outros parâmetros podem sinalizar, antecipadamente, a degradação ou a reabilitação do solo. A macro e a mesofauna não têm sua mobilidade limitada pela água, influenciando diretamente a formação de microagregados e a fragmentação física da matéria orgânica. Por meio de sua movimentação e alimentação estes organismos podem afetar a estrutura do solo e interagindo com os microrganismos alterar a taxa e o padrão da ciclagem de nutrientes e fluxo da água (BLAIR et al., 1996). No caso do presente estudo, o efeito esperado é a melhoria da dinâmica da água, uma vez que em função do elevado índice pluviométrico da região tem sido comum a ocorrência de condições de encharcamento e a ocorrência de doenças de solo.

4.3 Experimento 3 – Efeitos do cultivo consorciado com leguminosas e da adubação com torta de mamona na produtividade do gengibre, nos grupos tróficos de nematóides e no aproveitamento dos recursos físicos

4.3.1 Produtividade do gengibre

No ano agrícola 2003-2004 a produtividade das parcelas do experimento 3 foi avaliada em 1 m da parcela que apresentava bom estande e também por meio da pesagem dos rizomas colhidos em toda a parcela, para estimar a ocorrência de podridões nos rizomas. O resultado destas avaliações pode ser observado na Figura 5.

As diferenças entre a produtividade avaliada por meio da colheita de 1 m da parcela que apresentava bom estande e a produtividade total da parcela apontam para uma quebra de produção da ordem de 70 a 80%.

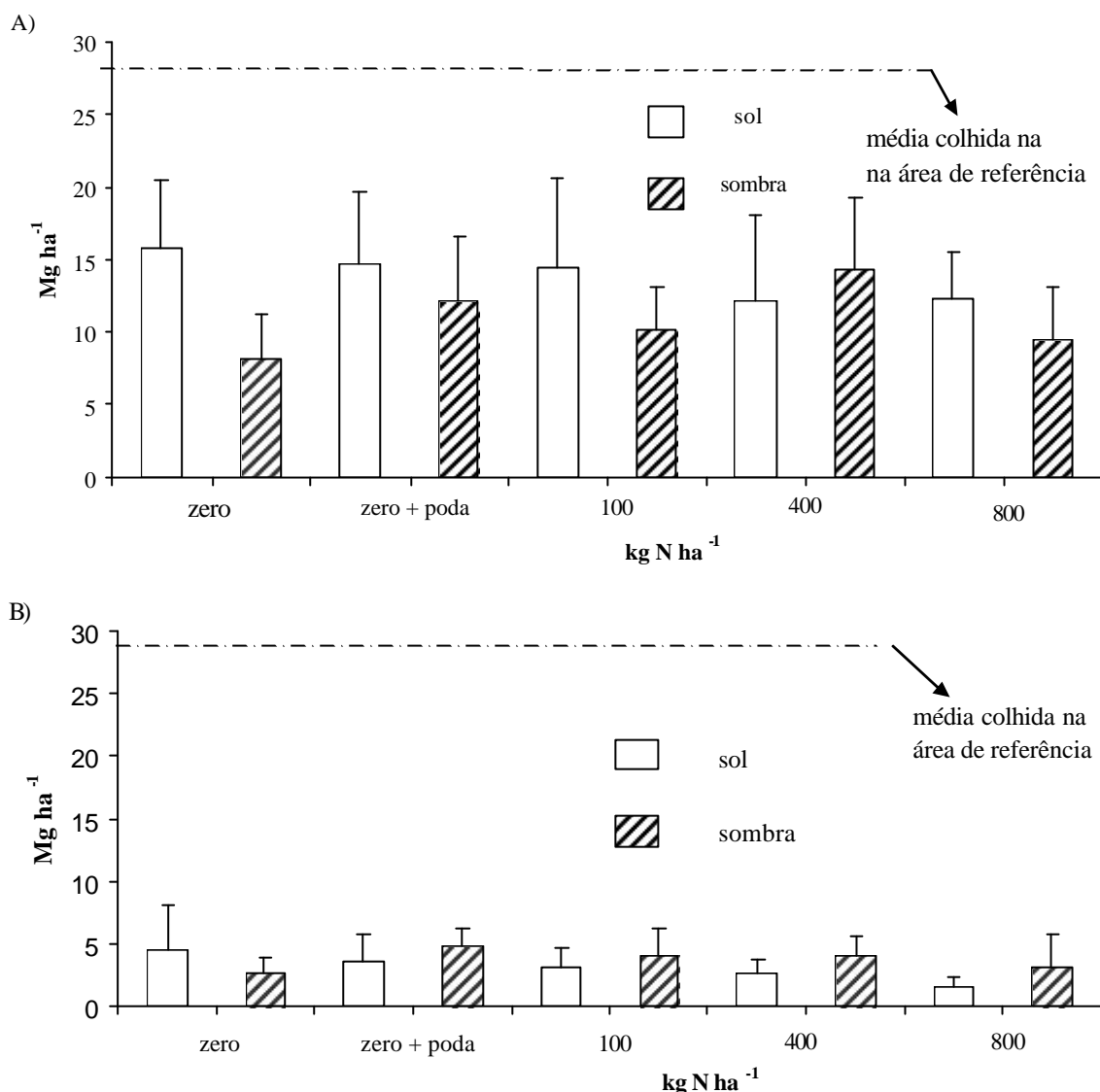


Figura 5 Produtividade de rizomas de gengibre sob diferentes níveis de luz e nitrogênio (fornecido na forma de torta de mamona) em sistemas de produção de gengibre consorciado guandu e gliricídia e gengibre em monocultivo a pleno sol: A) avaliação de rizomas em 1 m de bom estande; B) avaliação de rizomas na parcela toda.

Não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos, ou seja, para o gengibre em monocultivo ou em consórcio e para as diferentes doses de torta de mamona. No entanto, pode-se observar que a produtividade de rizomas em 1 m de bom estande foi 50% da produtividade observada na área tomada como referência, em área de cultivo adjacente ao experimento.

Em condições de cultivo comercial na Índia, Sharma & Bajaj (1998) verificaram, que o efeito de nematóides fitoparasitos (*Pratylenchus* e *Meloidogyne*) provocaram a queda de 50% da produção de rizomas. Na Nigéria, Okowuowulu et al (1990) observaram o efeito da época de plantio e de colheita fazendo com que a produtividade variasse de 17 Mg ha⁻¹ a 44 Mg ha⁻¹.

Em condições de cultivo comercial no Brasil, Ishimura et al. (1984) estimaram a produtividade média do cultivo do gengibre no Vale do Ribeira e no litoral sul de São Paulo 24 Mg ha⁻¹. Para a região de Tapiraí (SP) Mendes-Ferrão, (1993) estimou de 20 a 40 Mg ha⁻¹ e Valarini et al. (2001) estimou como sendo de 20 Mg ha⁻¹. Nas condições do litoral norte Devide et al. (2003) estimaram uma produtividade comercial média de 17,5 Mg ha⁻¹ em 2001 e 14,4 Mg ha⁻¹ em 2002.

Como na área do experimento 3 instalado em novembro de 2002 haviam sido plantadas aléias de uma espécie perene (gliricídia a cada três linhas de cultivo de gengibre) e também havia sido implantado o cultivo associado com guandu (espaçado de 20 cm das linhas de cultivo de gengibre), optou-se pela reinstalação do experimento 3 na mesma área. Para aproveitar as aléias já plantadas na área e em função do longo ciclo da cultura do gengibre teve-se que abrir mão da rotação de culturas, sabidamente uma das práticas mais recomendadas para o controle de doenças de solo (COOK, 1994; HOFFMANN et al., 2004).

Quando a avaliação dos rizomas de gengibre foi feita em 1 m de bom estande, com exceção do tratamento em que se aplicou 400 kg ha⁻¹ de N, para todas as demais doses de N a produtividade no monocultivo foi maior do que a produtividade observada no cultivo consorciado.

Os resultados obtidos na avaliação de rizomas em 1 metro de bom estande dão indícios de que possa ter havido competição por luz. Na avaliação de rizomas na parcela toda, com exceção das parcelas em que não houve aporte de material orgânico (poda ou torta de mamona), em todos os demais tratamentos a produtividade dos rizomas foi superior nas parcelas em que o gengibre foi cultivado consorciado, o que indica uma menor ocorrência de doenças no sistema de produção de gengibre consorciado.

A idade das plantas e as condições sob as quais elas crescem afetam sua suscetibilidade ao ataque de patógenos, criando-se um nível interno de suscetibilidade. Para o gênero *Erwinia*, alta umidade relativa, temperatura alta ou baixa do solo, baixos níveis de disponibilidade de potássio ou altos níveis de nitrogênio podem levar plantas resistentes a apresentarem reação suscetível. As plantas podem variar a compatibilidade a diferentes patógenos na medida em se sucedem os diferentes estádios de desenvolvimento, apresentando para *Erwinia* suscetibilidade juvenil e na maturidade (ASSIS, 1997; BALARDIN, 2005).

Em análise fitopatológica realizada no Laboratório de Fitopatologia da PESAGRO RIO em trinta unidades propagativas de gengibre-semente da safra 2003-2004 e trinta unidades do descarte da colheita da safra 2002-2003, com peso médio das amostras em torno de 150 g, verificou-se a presença de *Erwinia*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Cladosporium* e *Trichoderma*. As amostras foram coletadas pela Secretaria de Agricultura, Pesca e Abastecimento de Ubatuba em cinco propriedades rurais e a incidência de *Fusarium* (podridão seca) no gengibre semente em duas propriedades chegou a atingir 60 e 80% das amostras. A média do ataque de *Fusarium* no descarte foi de 40 % (\pm 12%), ou seja, no material proveniente da safra em que ocorreu a epidemia generalizada de ataque de *Fusarium* nas áreas de cultivo de gengibre do litoral norte de São Paulo (safra 2002-2003).

Buscou-se prevenir a ocorrência de doenças nos rizomas sementes, que foram submetidos à cuidadosa seleção, com o acompanhamento do agricultor experimentador Luciano Seiti Niyama, proprietário da área. Nas análises dos rizomas-semente da safra 2003-2004 realizadas pela PESAGRO-RIO, as amostras do Sítio Niyama foram as únicas em que não foi detectada a presença de doenças, embora tenha sido detectada a presença de nematóides fitoparasitas em 10% das amostras. Nos rizomas avaliados como material de descarte do Sítio Niyama foi detectado um percentual de contaminação de *Fusarium* sp de 47% e nematóides fitoparasitas em 23 % das amostras.

Com relação ao histórico da incidência de doenças nos rizomas de gengibre em Ubatuba, em amostras coletadas pela Casa da Agricultura de Ubatuba (CATI) em 1994 e

analisadas no Laboratório do Instituto Biológico/SAA-SP, observou-se grande incidência de *Erwinia* sp. Em amostras coletadas em 1999, identificou-se a presença de *Fusarium solani* em rizomas de gengibre associado à presença do nematóide *Rotylenchulus reniformis* no solo (3 168 indivíduos em amostra de 250 cm³ de solo pelo método de JENKINS, 1964). Também foi identificada a presença de *Criconemella* sp. (176 ind.) e *Helicotylenchus dihystera* (44 ind.), além de nematóides não parasitos de plantas (2 728 ind.).

Conforme destacam Souza & Reis (1995), *Erwinia* spp são nativas em quase todos os solos do Brasil, podendo sobreviver como saprófitas nos restos de cultura, como epífitas na filosfera de plantas hospedeiras ou selvagens, ou causando patogênese em várias plantas invasoras. A bactéria penetra, normalmente, por ferimentos, sendo que a incidência da doença aumenta severamente quando as plantas são injuriadas por práticas culturais e pragas. Segundo estes autores as condições ótimas para o desenvolvimento da doença são temperatura por volta de 28 °C, alta umidade do solo e água sobre o tecido injuriado.

Considerando-se as características climáticas do município de Ubatuba (Tabela 2) pode-se afirmar que o plantio tardio da cultura do gengibre (a partir de outubro) expõe tecidos jovens a condições predisponentes de infecção. As condições climáticas do ano agrícola foram extremamente favoráveis à ocorrência de doenças, sendo a quantidade de chuva entre outubro 2002 e março 2003 superior a 1 800 mm.

Doenças de solo podem ser mais danosas quando o solo tem baixos de teores de matéria orgânica, pouca disponibilidade de nutrientes, drenagem não eficiente devido a problemas de sua estrutura ou camadas compactadas, prejudicando a biodiversidade (ABAWI & WIDMER, 2000). Segundo Broadley (2005), a *Erwinia* está presente na maioria dos solos, mas infecções de campo só acontecem em áreas com deficiência de drenagem.

As condições climáticas de Ubatuba dificultam que o preparo do solo seja feito em condições adequadas de umidade e o revolvimento intesivo do solo, característico do sistema de produção do gengibre, pode estar implicando em condições desfavoráveis para a manutenção de solos bem estruturados.

4.3.2 Biodiversidade dos grupos tróficos de nematóides

Os resultados da primeira avaliação da comunidade de nematóides na coleta de amostras realizada em abril de 2003 são apresentados na Figura 8. Pode-se observar que a fertilização com torta de mamona (0, 100 e 400 kg ha⁻¹) não promoveu diferenças expressivas nos grupos ecológicos da comunidade de nematóides.

A resposta de grupos de nematóides à utilização de fertilizantes pode ser variável conforme a fonte utilizada. Bongers & Ferris (1999) verificaram o efeito estimulante da aplicação de esterco sobre espécies oportunistas de nematóides, em detrimento de espécies predadoras e onívoras, enquanto que Sarathchandraa et al. (2001), utilizando doses de até 400 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e de até 100 kg ha⁻¹ de P na forma de superfosfato também não verificaram efeito da aplicação destes fertilizantes nas comunidades de nematóides e de microrganismos.

Avaliando a influência de fertilizantes e corretivos nas comunidades de nematóides durante dois anos e meio, Corrêa (2002) verificou que a aplicação de 4 000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico baixou a abundância de fitoparasitas e aumentou a população de bacteriófagos. A aplicação de nitrogênio na forma de sulfato de amônio e fósforo na forma de superfosfato simples (ambos na dose de 100 kg ha⁻¹) apresentaram efeito contrário, reduzindo os bacteriófagos e aumentando os fitoparasitas.

No presente trabalho, a população de bacteriófagos embora não tenha mostrado diferença significativa para os três níveis de dose de torta de mamona, apresentou correlação linear positiva com as aplicações do fertilizante orgânico o mesmo não ocorrendo com a população de fitoparasitas (Figura 6).

Bulluck III et al. (2002) verificaram ao longo de dois anos de cultivo de tomate em áreas onde foram aplicados adubos orgânicos que a estrutura da comunidade de nematóides tinha significativamente mais bacteriófagos e fungívoros em comparação a áreas onde houve aplicação de fertilizantes sintéticos.

Ferris e Matute (2003) observaram o rápido aumento de nematóides bacteriófagos em resposta a aplicação de resíduos vegetais de baixa relação C/N (<20) e o aumento gradual de nematóides fungívoros para áreas tratadas com materiais vegetais de maior relação C/N (>40). Yates et al. (1999) verificaram o aumento da população de nematóides predadores após sete anos da aplicação de resíduos vegetais com alta relação C/N.

A interação entre fitoparasitas-bacteriófagos foi observada por Neves e Huang (2005), em estudos com cultivares de soja resistentes aos nematóides *Heterodera* e *Helicotylenchus*, os nematóides bacteriófagos funcionaram como um fator compensativo aos fitoparasitas na função ecológica.

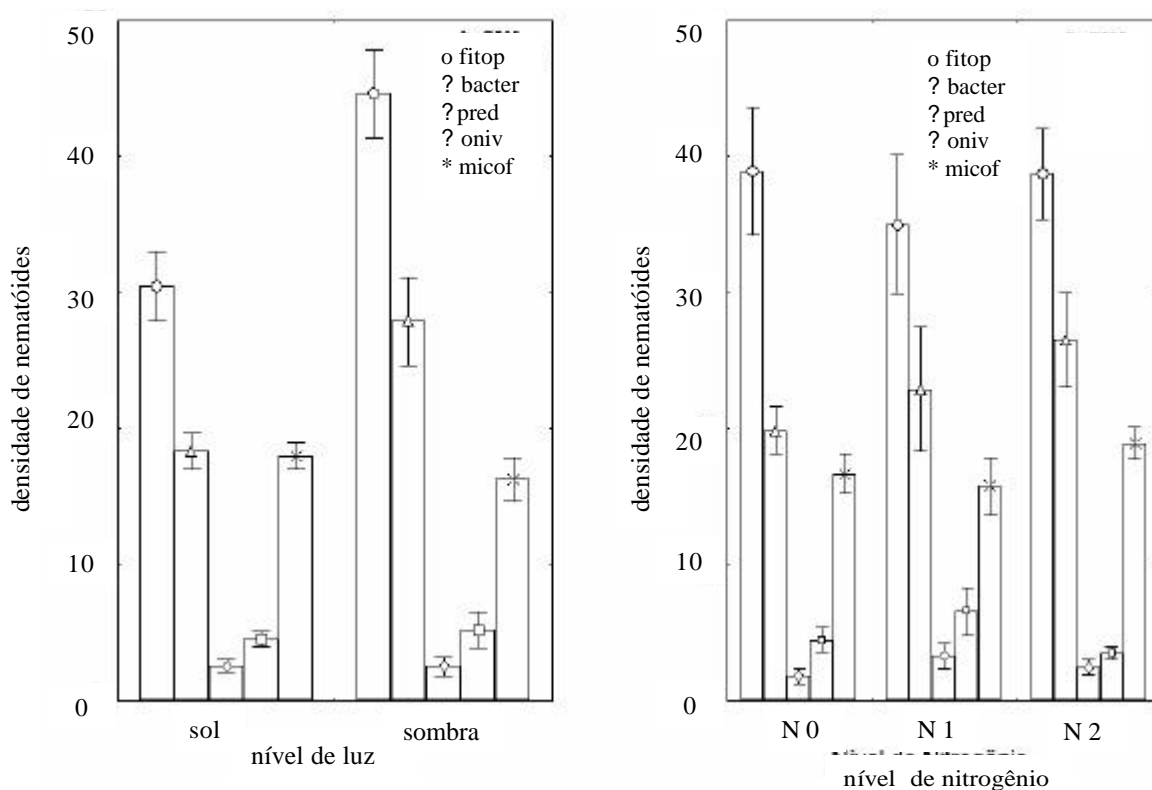


Figura 6 Densidade de grupos ecológicos da comunidade nematóides (indiv m⁻²) em diferentes níveis de luz e nitrogênio em sistemas de produção de gengibre consorciado com guandu e gliricídia e gengibre em monocultivo a pleno sol, primeira coleta de nematóides.

Alguns autores já relataram que a adição de doses elevadas de torta de mamona a solos altamente infestados pode reduzir a população de nematóides fitoparasitas (LEAR, 1959; MORAES & LORDELLO, 1977, JAEHN & LAMBERT, 1984). Lordelo (1986) destaca a necessidade de aguardar de 30 a 60 dias para que não ocorram efeitos fitotóxicos e que devido às elevadas doses necessárias (1,5 a 3% do substrato) a utilização desta prática é viável apenas para a produção de mudas.

Na comparação entre os dois sistemas de cultivo do experimento 3 (gengibre consorciado e gengibre em monocultivo), nas parcelas de gengibre sombreado por guandu, as densidades de nematóides fitoparasitas e nematóides bacteriófagos foram significativamente

superiores às densidades destes grupos observadas nas sub-parcelas do gengibre em monocultivo.

Sullivan (2004) considera que os efeitos dos exsudatos radiculares na biota são fortemente recíprocos e dinâmicos e D'Hondt-Defrancq (1993) alerta que a permanência de árvores ou arbustos em sistemas agroflorestais pode promover um ambiente favorável à presença de fitoparasitas, fazendo alusão ao guandu como bom hospedeiro de nematóides causadores de galhas.

Segundo Sharma et. al. (1982), o pré-cultivo de guanduem solo infestado por *Pratylenchus brachyurus* causou significativa queda de produção na cultura da soja. Além do guandu, uma série de espécies arbóreas comumente utilizadas em sistemas agroflorestais são consideradas boas hospedeiras de fitoparasitas: *Erythrina*, *Leucaena leucocephala*, *Sesbania sesban*, *Sesbania grandiflora*, *Tephrosia vogelii* e *Acacia* sp. (RAO et al., 2000; SCHROTH et al., 2000).

A determinação de grupos tróficos nematóides permite quantificar a importância de determinados grupos, como predadores e onívoros, para o tamponamento da ocorrência de determinadas doenças de solo em relação à ocorrência de fitonematóides (BONGERS & FERRIS, 1999). No caso do sistema de produção de gengibre estudado pode-se observar que o guandu aumentou significativamente a presença de nematóides fitoparasitas e bacteriófagos em um tempo relativamente curto (seis meses).

O índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e o índice de equitabilidade de Pielou (J'), calculados a partir da densidade dos diferentes grupos ecológicos de nematóides da primeira coleta feita em abril de 2003 são apresentados na Figura 7.

Os valores observados no experimento 3 são inferiores aos mesmos índices determinados por Figueira (2002) para grupos de famílias de nematóides. Esta pesquisadora, ao comparar quatro áreas distintas (pastagem, capoeira, pomar de figo e horta) localizadas na "Fazendinha", unidade de produção agroecológica da Embrapa Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia, conseguiu observar diferença significativa entre os índices de diversidade e equitabilidade entre as diversas áreas.

Gomes et al. (2003), por meio de avaliações mensais durante um ano da comunidade de nematóides associada ao cultivo da soja, no Distrito Federal, verificaram também uma predominância de fitoparasitas (53%) e bacteriófagos (35%), com cerca de 12% de micófitos, predadores e onívoros. Os micófitos se mantiveram em baixa população durante todo o ano, mas elevaram-se em junho e julho, período de pós-colheita, em que raízes se encontravam em decomposição por fungos do solo. Os bacteriófagos tiveram suas populações ligeiramente reduzidas durante a seca e a fase inicial das chuvas, mas elevaram-se no meio da estação com o aumento do teor de umidade no solo. Estes autores não verificaram ao longo das avaliações mensais ao longo do ano diferenças no índice de diversidade de Shannon-Weaver (H'), porém houve diferença quanto ao índice de equitabilidade de Pielou (J').

Observando-se a Figura 7, pode-se verificar que não houve diferença significativa entre os índices de diversidade e equitabilidade dos vários tratamentos, embora possa ser ponderado que nas sub-parcelas onde o gengibre foi cultivado em consórcio com o guandu, os índices de diversidade e equitabilidade foram em média 50% menores.

A não diferenciação dos índices de diversidade e equitabilidade entre os diferentes tratamentos e os níveis populacionais elevados de fitoparasitas e bacteriófagos refletiu-se em perda total do experimento 3 no ano agrícola 2002-2003, tanto das parcelas do gengibre em monocultivo quanto nas parcelas em que o gengibre foi cultivado consorciado.

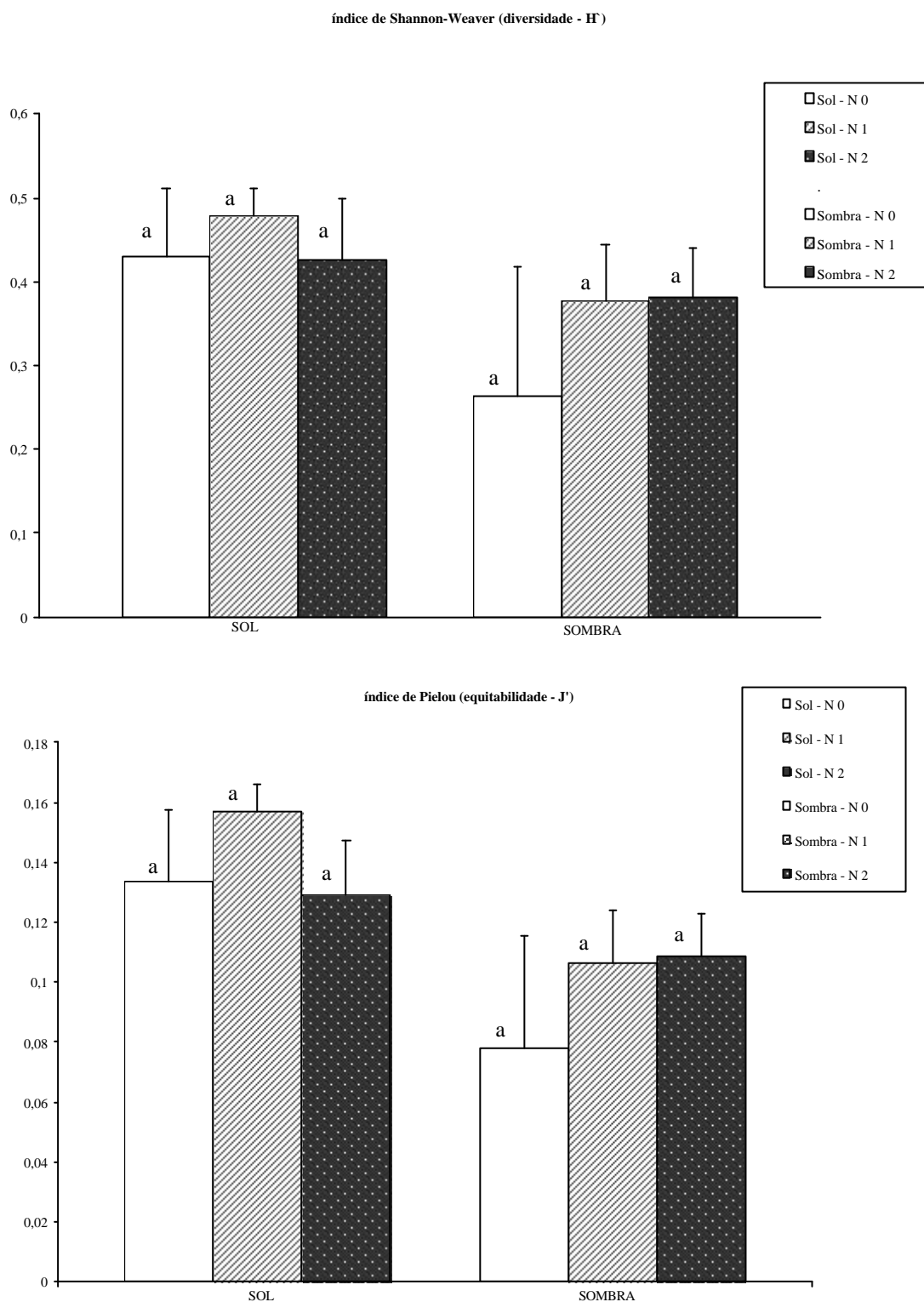


Figura 7 Índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e índice de equitabilidade de Pielou (J') dos grupos ecológicos da comunidade nematóides em diferentes níveis de luz e nitrogênio em sistemas de cultivo de gengibre consorciado com aléias de feijão Guandu e Gliricídia e gengibre em monocultivo a pleno sol, no bairro do Rio Escuro em Ubatuba (SP). Experimento 3 – primeira coleta de nematóides. Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

Assim sendo, a avaliação destes índices via população de grupos ecológicos de nematóides diferiu da avaliação do experimento 1 via grupos de macro e mesofauna. Naquele experimento a maior diversidade de fauna foi observada no tratamento onde o gengibre foi cultivado consorciado com guandu.

Para Main (1999) os componentes da biodiversidade (genética, espécies, ecossistemas e aspectos culturais) devem ser incrementados de forma direcionada para atender funções específicas (por exemplo, melhor aproveitamento dos recursos, controle de nematóides, maior utilidade e rentabilidade). No caso do cultivo do gengibre, uma das questões chaves para sua sustentabilidade, sua viabilidade ao longo dos anos de cultivo, é a diminuição dos teores de matéria orgânica do solo promovido pela cultura, com implicações na dinâmica da água e na estabilidade das comunidades bióticas do solo.

Segundo Ferraz (1995) as perdas provocadas por nematóides em gengibre podem variar bastante de um local para outro tendo sido estimadas, na Austrália, superiores a 80%. Na Índia, uma infestação inicial de 10.000 juvenis de *M. incógnita*, em vasos, provocou redução de 74% no peso da colheita feita aos seis meses após o plantio, afirmando os autores do estudo que danos significativos podem ser esperados em áreas com nível populacional de 1 juvenil/30 g de solo (Sukuraman & Sundararaju, 1986).

Além dos danos diretos que os fitonematóides causaram no gengibre, sua presença pode aumentar severamente a ocorrência de doenças de solo. Os nematóides de vida livre podem difundir bactérias patogênicas e não patogênicas aos vegetais. As bactérias são transportadas aderidas externamente ao corpo ou podem ser ingeridas e depois liberadas juntamente com as fezes (Lordello, 1986).

Em ensaio realizado em Ubatuba no ano agrícola de 2000-2001 com aléias de *Cajanus* e *Crotalária* consorciadas com gengibre pode-se observar a presença de galhas de nematóides na porção das raízes abaixo de 20 cm do nível do solo. Nos experimentos 1, 2, e 3 não foram observadas nas raízes do guandu a presença de nematóides formadores de galhas, durante os ciclos de cultivo de 2001/2002, 2002/2003 e 2003/2004. Porém pode-se observar nas avaliações dos experimentos 3 a dominância de fitoparasitas.

Os resultados da segunda avaliação da comunidade de nematóides, feita no experimento 3, por meio da coleta de amostras realizada em março de 2004, é apresentada nas Figuras 8 a 11.

As densidades de nematóides fitoparasitas, predadores, onívoros e micófagos observadas nas diferentes áreas não diferiram estatisticamente (figuras 8 e 9). Contudo, a densidade do grupo de nematóides bacteriófagos foi significativamente superior nas áreas em que o gengibre foi cultivado consorciado com o guandu (Figura 10).

Wang et al. (2001) consideram que a densidade de nematóides bacteriófagos é uma forma indireta de medição da atividade microbiana. Estes autores verificaram que a população de nematóides bacteriófagos era sempre elevada nas parcelas onde ocorrera adubação orgânica.

Enquanto que na primeira coleta, feita na mesma época no ano anterior, o número de fitoparasitas e bacteriófagos das áreas com aléias de guandu foram significativamente superiores (figura 6), na segunda coleta apenas os bacteriófagos apresentaram diferença significativa (figura 10).

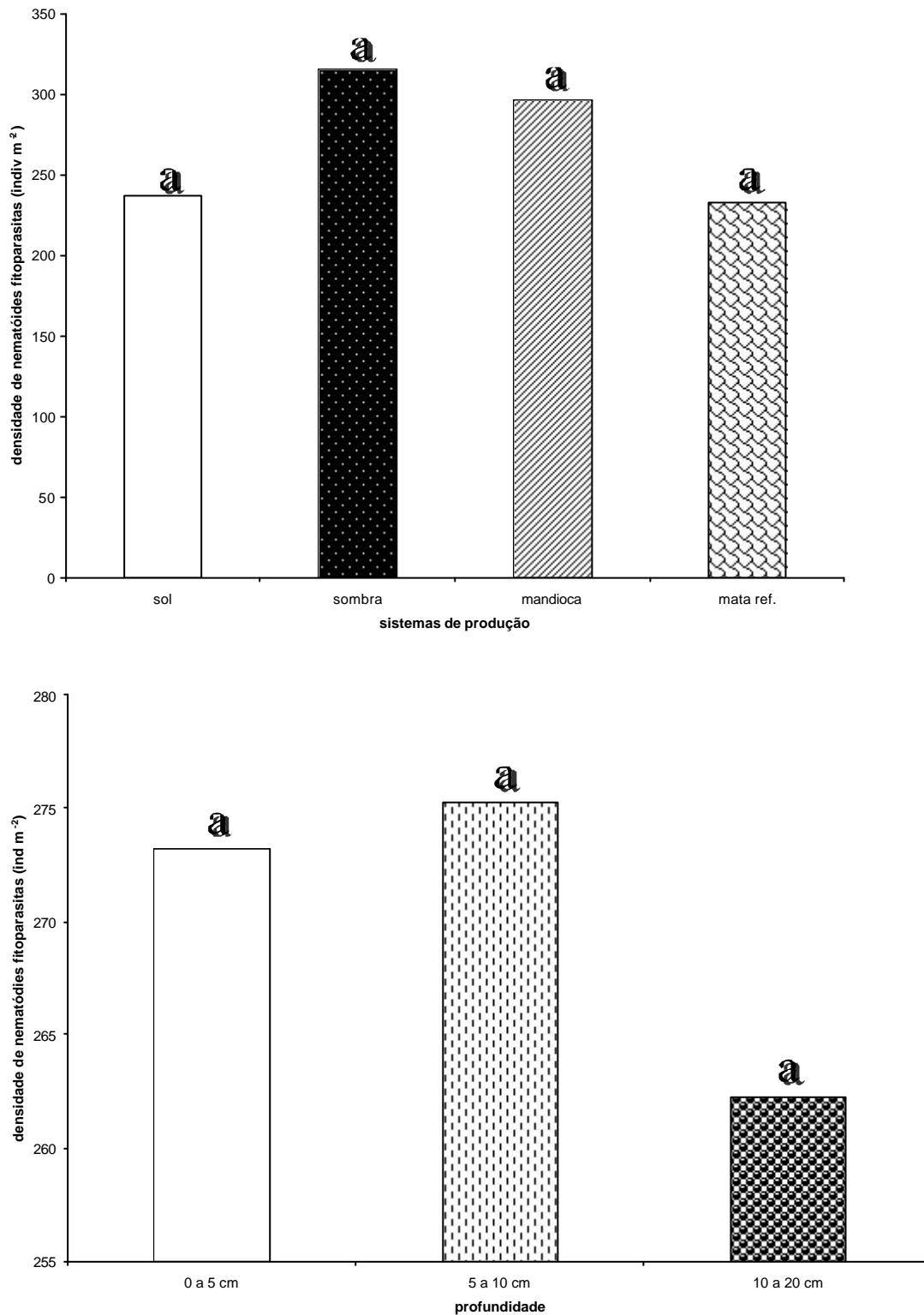


Figura 8 Densidade de nematóides fitoparasitas (indiv m⁻²) em dois sistemas de cultivo de gengibre consorciado com aléias de feijão Guandu e Gliricídia e em monocultivo a pleno sol e em duas áreas tomadas como referência, uma com cultivo de mandioca, uma área de mata e para diferentes profundidades. Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

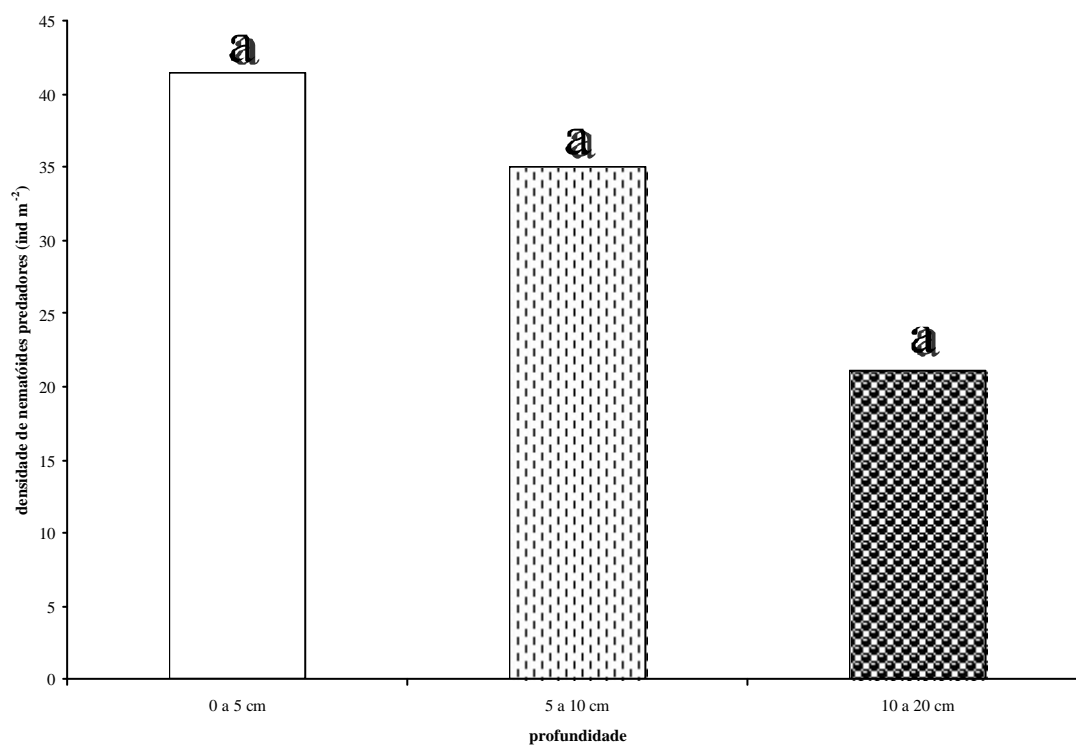
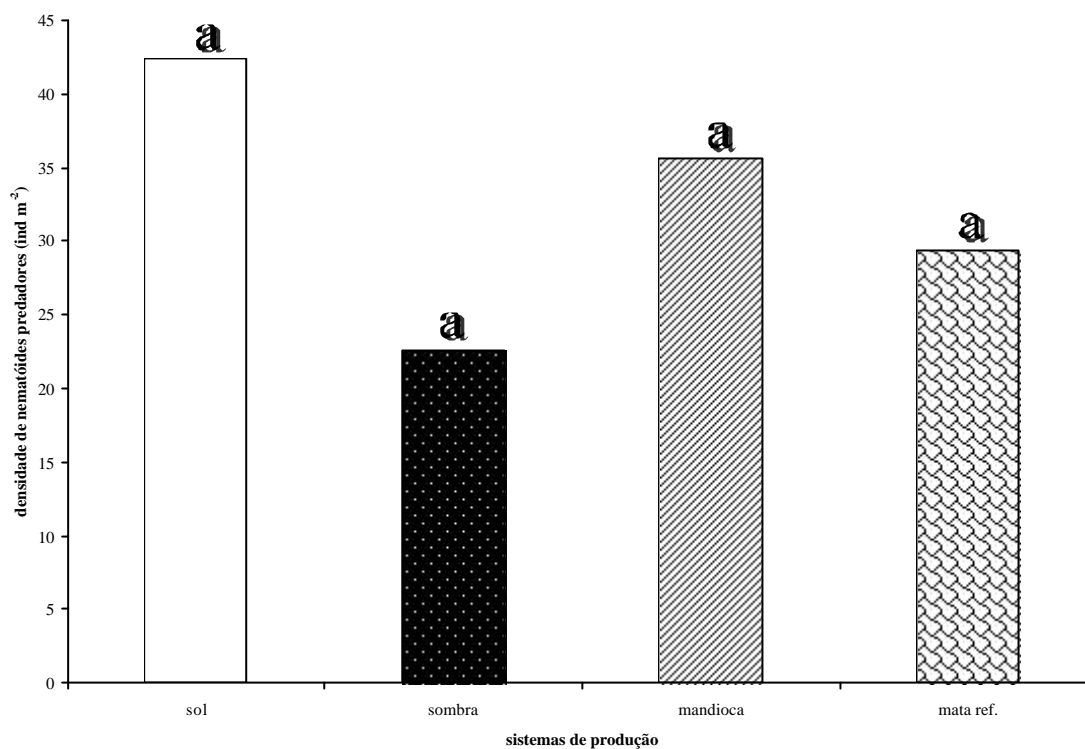


Figura 9 Densidade de nematóides predadores (indiv m⁻²) em dois sistemas de cultivo de gengibre consorciado com aléias de feijão Guandu e Gliricídia e em monocultivo a pleno sol e duas áreas tomadas como referência, uma com cultivo de mandioca, uma área de mata e para diferentes profundidades.

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

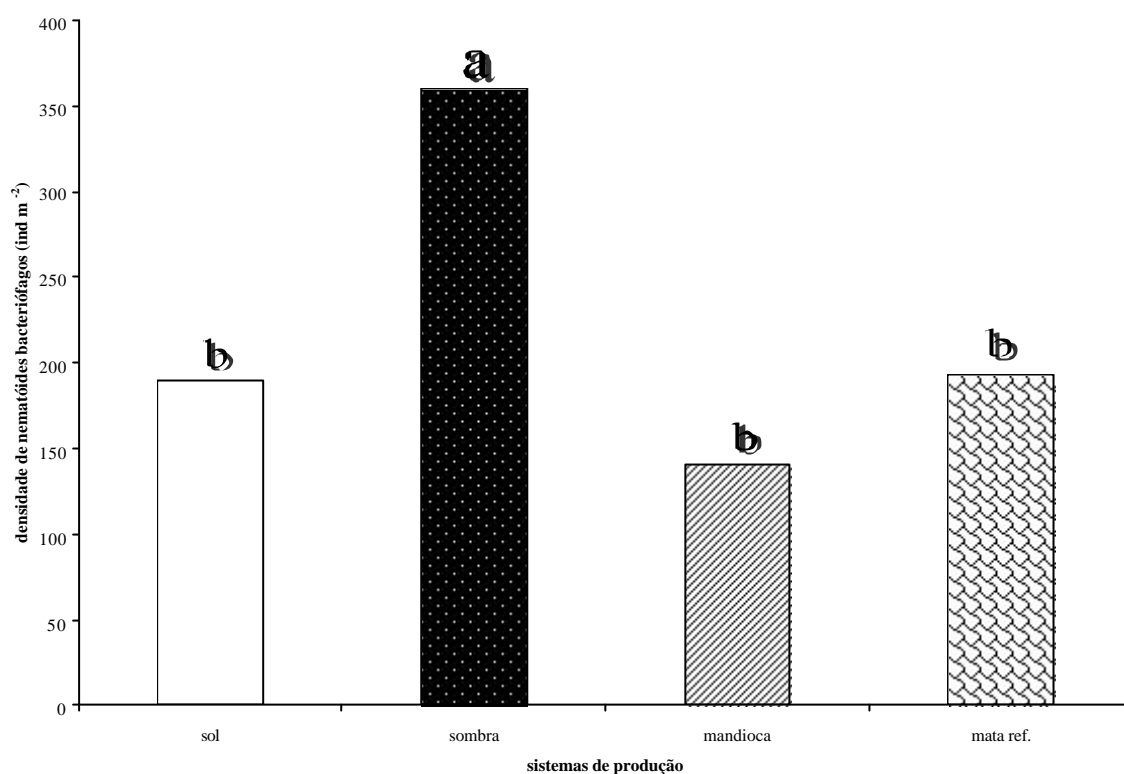


Figura 10 Densidade de nematóides bacteriófagos (indiv m⁻²) em dois sistemas de cultivo de gengibre consorciado com aléias de feijão gandu e giricídia e em monocultivo a pleno sol e duas áreas tomadas como referência, uma com cultivo de mandioca, uma área de mata.

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

A densidade de nematóides nas parcelas de cultivo de gengibre coletadas em março de 2004 apresentaram uma redução de 70% em relação às amostras coletadas em abril de 2003, o que pode ter sido provocado pela ocorrência de um período de cultivo menos chuvoso.

Alpey et al. (1988) demonstraram *in vitro* que a bactéria *Erwinia carotovora* produzia no tecido da batata (*Solanum tuberosum*) a fitoalexina risitina, com propriedades nematicidas e repelentes destes organismos. A epidemia de *Erwinia* no cultivo de 2002/2003 pode ter tido efeito depressivo sobre a densidade dos nematóides.

Em extensa revisão, Monteiro (1993) cita o guandu como resistente à *Meloidogyne javanica* e o cultivar I265 como mau hospedeiro de *M. incógnita*, contudo também cita trabalhos em que o guandu foi registrado como hospedeiro de *M. javanica*, de outras espécies do gênero *Meloidogyne* e dos gêneros *Xiphinema*, *Pratylenchus*, *Paratrichodorus*, *Criconebella*, *Heterodera*, *Radopholus* e *Rotylenchulus*.

Com relação as diferentes profundidades, os grupos de nematóides fitoparasitas, bacteriófagos, e predadores apresentaram densidades superiores nas camadas superiores, porém não houve diferença estatística. A densidade de nematóides onívoros e micófagos foi significativamente superior na camada superior (Figura 11).

A incorporação de compostos orgânicos no solo é reportada como forma de incrementar os organismos antagonistas de fitonematóides (LINFORD, 1937; LINFORD et al., 1938). A maior densidade de nematóides onívoros e micófagos, observada na primeira camada do solo, sugere uma maior dependência destes grupos tróficos dos resíduos orgânicos depositados em superfície.

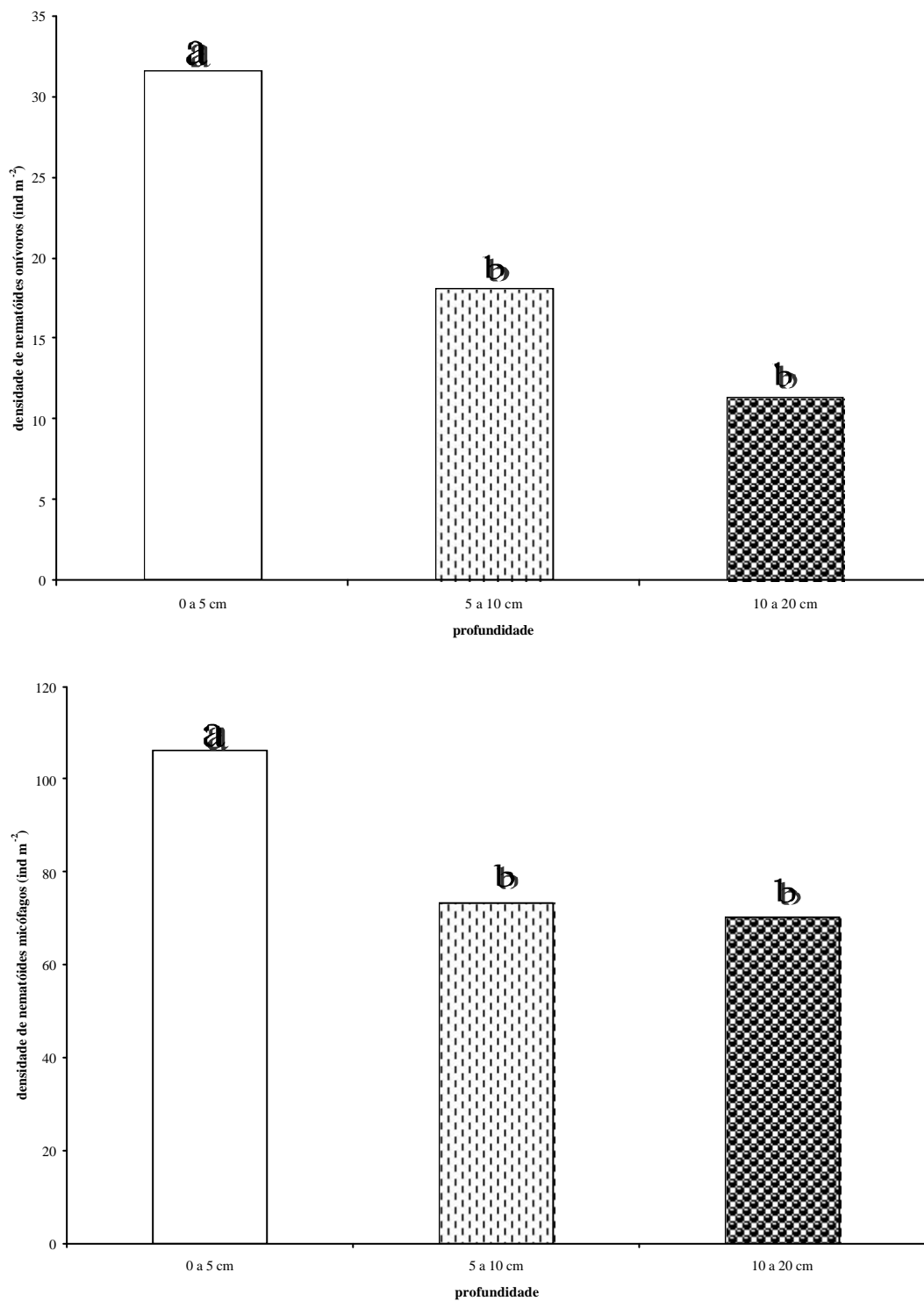


Figura 11 Densidade de nematóides onívoros e micófagos (indiv m⁻²) para diferentes profundidades em dois sistemas de cultivo de gengibre consorciado com aléias de feijão gandu e giricídia e em monocultivo a pleno sol e duas áreas tomadas como referência, uma com cultivo de mandioca, uma área de mata. Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

Segundo Wutke (1993), o gandu pode ser considerado uma das espécies de leguminosas mais rústicas, com sistema radicular vigoroso, chegando até a 3,0 m de profundidade e fixando de 41 a 280 kg N ha⁻¹ ano⁻¹. Porém, esta leguminosa é considerada susceptível às doenças causadas por *Fusarium* spp., *Sclerotium* spp. e *Cercospora* spp. e,

também a nematóides dos gêneros *Xiphinema* e *Meloidogyne*. Para Schroth et al. (2000), a ocorrência de pragas e doenças é mais grave quando as plantas hospedeiras não apresentam sintomas claros ou quando o período de latência é extenso. No caso dos fitonematóides, a susceptibilidade varia muito dentre as diferentes espécies vegetais ou ainda entre as variedades de uma espécie.

Para Rao et al. (2000), o uso das leguminosas em consórcios nos últimos vinte ou trinta anos tem sido avaliados principalmente com relação a aspectos relacionados à melhoria da ciclagem de nutrientes. Aspectos relacionados aos efeitos na biodiversidade e ao manejo de pragas e doenças ainda são pouco abordados.

Considerada a importância das doenças de solo para uma boa produtividade dos rizomas de gengibre e a interação destas doenças com a ocorrência de fitonematóides, os resultados observados no presente trabalho sugerem que o consórcio com o guandu seja ponderado com estratégias para o manejo dos grupos tróficos de nematóides.

4.3.3 Efeitos do cultivo consorciado com leguminosas e da adubação do gengibre com torta de mamona no aproveitamento dos recursos físicos

4.3.3.1 Aproveitamento dos nutrientes

O resumo da análise de variância para valores de pH e teores médios de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e as relações Ca/K e Mg/K é apresentado nas Tabelas 8, 9 e 10.

Verifica-se que houve efeito do consórcio (sombreamento) para os teores de matéria orgânica observados na camada de 0-20 cm e interação entre consórcio e doses de nitrogênio na forma de torta de mamona na camada de 20-40 cm (Tabela 9). Os teores de potássio e cálcio na camada de 20-40 cm foram influenciados pelas doses de torta de mamona usadas (Tabela 10). Para as relações Ca/K houve efeito das doses de torta de mamona na camada 20-40 cm (Tabela 11).

Tabela 9 Resumo da análise de variância para valores de pH, teores de matéria orgânica do solo (M.O.S.) e fósforo (P) em sistemas de produção de gengibre

Causas de Variação	GL	pH CaCl ₂		Quadrado Médio M.O.S.		P	
		0-20	20-40	0-20 g dm ⁻³	20-40	0-20 mg dm ⁻³	20-40
Bloco	4	0,05ns	0,038ns	16,17**	15,77ns	18951,17ns	9705,13ns
sombreamento	1	0,08ns	0,08ns	27,38**	0,02ns	173,36ns	13,54ns
Res a	3	0,08ns	0,06	1,51	11,29	5463,71	2739,6
Parcela	9	-	-	-	-	-	-
nitrogênio	4	2,57ns	0,0018ns	2,57ns	1,27ns	1083,28ns	1424,13ns
N x S	4	9,73ns	0,008ns	9,73*	3,27*	116,09ns	296,12ns
Res b	32	3,84	0,028	3,80	1,15	2352,36	1529,30ns
Subparcela	49	-	-	-	-	-	-

Tabela 10 Resumo da análise de variância para teores de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em sistemas de produção de gengibre

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio					
		K		Ca		Mg	
		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
	 mmol _c dm ⁻³					
Bloco	4	0,22ns	0,07ns	438,42ns	79,77	39,5ns	12,32ns
Sombreamento	1	0,003	0,12ns	40,52ns	89,78ns	44,18ns	46,08ns
Res a	3	0,76	0,15	405,32ns	59,98	39,71	8,5
Parcela	9	-	-	-	-	-	-
nitrogênio	4	0,15ns	0,18**	46,97ns	127,07*	21,85ns	3,67ns
N x S	4	0,21ns	0,06	32,2ns	32,3ns	6,03ns	0,77ns
Res b	32	0,16	0,0031	90,94	35,08	14,12	3,21
Subparcela	49	-	-	-	-	-	-

Tabela 11 Resumo da análise de variância para teores de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em sistemas de produção de gengibre

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Ca/K		Mg/K	
		0-20	20-40	0-20	20-40
	 mmol _c dm ⁻³			
bloco	4	220,78ns	194,31ns	26,38ns	18,7ns
Sombream	1	2,25ns	68,39ns	17,21ns	2,78ns
Res a	3	583,55	207,06	23,28	29,61
Parcela	9	-	-	-	-
nitrogênio	4	46,88	575,33**	1,31ns	11,18ns
N x S	4	139,36	228,87ns	17,17ns	0,70ns
Res b	32	96,83	144,31	15,54	5,99ns
Subparcela	49	-	-	-	-

pH

Independente dos tratamentos utilizados, os valores médios de pH variaram de 5,9 a 6,2 nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, valores considerados como baixa acidez (RAIJ et al., 1996), e dentro do intervalo no qual ocorre uma boa disponibilidade de macro e micronutrientes para as plantas (LOPES, 1998).

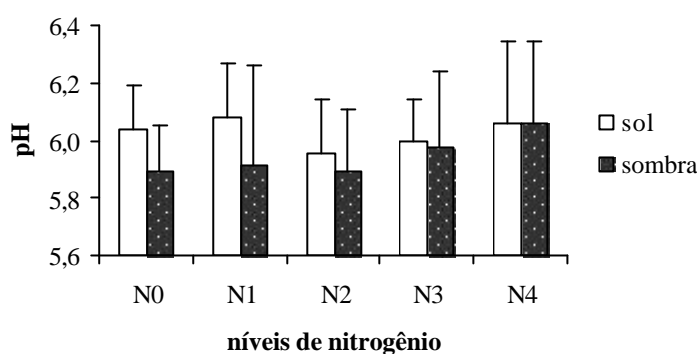


Figura 12 Valores de pH, na camada de 0-20, do solo cultivado com gengibre consorciado com guandu e em aléias de gliricidia, com diferentes doses de nitrogênio (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

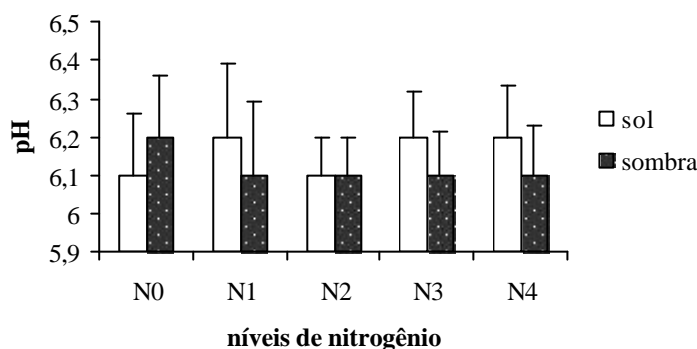


Figura 13 Valores de pH, na camada de 20-40, do solo cultivado com gengibre consorciado com guandu e em aléias de gliricidia, com diferentes doses de nitrogênio (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

Matéria orgânica do solo

Na camada de 0-20 cm, o teor de matéria orgânica do solo foi superior para a adição de material de poda de gliricidia e guandu (N1) e para a dose de 800 kg ha⁻¹ N (N4) na forma de torta de mamona nas parcelas sombreadas pelo consórcio com guandu e gliricidia (Tabela 12).

Na camada de 20-40 cm os teores observados foram menores do que os da camada de 0-20. Nesta camada, para o tratamento com 100 kg/ha N de torta de mamona (N2), as parcelas em que o gengibre foi cultivado solteiro apresentaram teor médio de matéria orgânica significativamente superior ao teor das parcelas em que o gengibre foi cultivado em consórcio.

O acúmulo de matéria orgânica depende do aporte, da qualidade do material adicionado e dos processos de mineralização. Oliveira et al. (2004), verificou menores teores de carbono na camada de 0-10 cm, decorrentes do estímulo ao processo de mineralização da matéria orgânica pelo revolvimento do solo no ato da capina e amontoa. Estas práticas normalmente são utilizadas na cultura do gengibre de forma intensa, o que expõe as frações orgânicas aos microrganismos de decompositores, em decorrência da quebra dos macroagregados.

Tabela 12 Teores médios de matéria orgânica nas camadas de 0-20 e 20-40 cm do solo cultivado com gengibre (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

Tipo de cultivo	Doses de Nitrogênio				
	N0	N1	N2	N3	N4
	0-20cm (g kg⁻¹)				
Consórcio	22,6	24,4a	21,6	24,0	25,0a
Monocultivo	21,8	21,4b	23,0	22,6	21,4b
	20-40 cm (g.kg⁻¹)				
Consórcio	18,2	16,8	18,4 b	18,4	18,2
Monocultivo	19,0	15,8	20 a	17,4	18,0

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

Na ausência de deficiência hídrica, o sombreamento proporcionado pelas aléias pode contribuir para uma menor mineralização da matéria orgânica, em decorrência da atenuação da temperatura, visto que, temperaturas elevadas aumentam a cinética das conversões enzimáticas microbianas (GAUR & MUKHERJEE, 1980) favorecendo a mineralização. Normalmente, a cobertura morta é uma das alternativas usadas com esse fim. Na cultura do gengibre, a necessidade da amontoa para a formação dos rizomas dificulta a adoção desta prática. O uso de consórcios e de adubação orgânica como alternativa eficiente para a manutenção dos teores de matéria orgânica do solo dependerá da qualidade e quantidade dos materiais orgânicos adicionados e dos processos de mineralização.

Considerando que as podas de gliricídia foram distribuídas por todas as subparcelas dos tratamentos do cultivo consorciado, o fator diferenciador passou a ser a adição de torta de mamona, que sendo fonte orgânica de rápida decomposição favorece a ação dos organismos que promovem a mineralização do carbono original do solo (CALDEIRA, 1997).

Severino et al (2004) detectaram uma grande atividade microbiana no solo em que se adicionou torta de mamona, um indicativo de que a decomposição desse material é muito rápida. Entretanto, doses elevadas causam efeito deletérios na mesofauna em função de substâncias tóxicas, como amônia anidra por exemplo, e elevação do potencial osmótico decorrente da acumulação de sais (NEHER, 1999). Este efeito pode ter ocorrido para a maior dose utilizada no presente trabalho (N 4). No tratamento com material resultante da poda de gliricídia e guandu (N 1), os maiores teores de matéria orgânica na camada superficial se devem à adição de material mais lignificado, principalmente oriundo dos galhos da gliricídia, de decomposição mais lenta do que a torta de mamona.

Para manter o teor de matéria orgânica dos solos das regiões tropicais, Tian & Brussaard (1997) ressaltam a importância do uso de resíduos com altos teores de lignina, polifenóis e sílica. Mendonça & Stott (2003) ponderam que para a ocorrência de benefícios mais duradouros e gradual elevação nos teores de matéria orgânica do solo, a mistura de materiais de rápida mineralização com outros de decomposição mais lenta deve ser preconizada.

Os estoques de matéria orgânica nos solos representam o balanço entre a adição de resíduos vegetais nas áreas de cultivo e as práticas de manejo que promovem uma decomposição mais ou menos acelerada da matéria orgânica (CHRISTENSEN, 1996). A velocidade com que os resíduos são consumidos pelos microrganismos do solo depende da sua composição química e das condições ambientais, que podem ser alteradas pelas práticas de manejo dos sistemas de produção agrícola.

Na camada de 20-40 cm a diferença nos teores de matéria orgânica foi observada para o tratamento com 100 kg N ha⁻¹ nas parcelas cultivadas a pleno sol. A possível explicação é que a menor quantidade de torta de mamona estimulou a decomposição na camada de

0-20 cm pela adição de material rico em proteína, sem os efeitos tóxicos da amônia anidra e da salinização comentados para a dose de 400 e 800 kg ha⁻¹ de N na forma de torta.

Geiger et al. (1992) verificaram que a adição de restos de milho promoveu aumento de 5% no teor de carbono na camada de 10-20 e de 11,8% na camada de 20-30 cm, em relação às parcelas testemunhas. A adição conjunta dos restos de cultura com fertilizantes minerais prontamente solúveis reduziu os teores de carbono nas camadas de 0-10 e de 10-20 cm em aproximadamente 9,5%, e na camada de 20-30 cm promoveu um aumento de 17,6%. Em função da rápida mineralização da torta de mamona (MARTENS, 2000; SEVERINO et al., 2004) pode-se ponderar que ela possa causar efeitos de redução nos teores de matéria orgânica do solo semelhantes aos observados por Geiger et al. (1992) para o uso de fertilizantes minerais prontamente solúveis.

Segundo Arshad & Martin (2002), alterações da ordem de 15% nos teores de matéria orgânica podem ser consideradas capazes de produzir efeitos significativos nos atributos dos solos. Os resultados observados nos teores de matéria orgânica do experimento 3 indicam que o cultivo do gengibre consorciado com leguminosas tem potencial para promover a preservação e até mesmo o incremento da matéria orgânica do solo.

Para Schroth et al. (2001), a escolha de uma espécie para sistemas agroflorestais deve considerar não somente seu potencial de fixação biológica de nitrogênio, mas também a facilidade de poda, capacidade regenerativa e quantidade de biomassa produzida que terá importância na busca pelos teores adequados de matéria orgânica no solo.

Fósforo disponível

Os teores de fósforo disponível, no solo, não foram alterados pelos tratamentos aplicados e se mantiveram em níveis altos (RAIJ et al., 1996). Isto demonstra que o solo possui uma quantidade de fósforo, na forma lábil, capaz de ser liberado à solução do solo, mantendo um tamponamento no nível disponível na solução e o risco de antagonismo na absorção de Cu e Zn (MARSCHNER, 1995).

Analisando a Figura 14, nota-se que os teores de fósforo, na camada de 0-20 cm, tenderam a ser ainda maiores nos tratamentos com as maiores doses de torta de mamona, o que se deve à presença do nutriente no material orgânico utilizado. O efeito dos restos vegetais sobre a dinâmica do P extraível do solo depende do tipo de resíduo e da quantidade adicionada ao solo. Neste contexto, Berton & Pratt, (1997), adicionando diversos tipos de restos vegetais, lodo de esgoto, e esterco de curral ao solo, nas doses de 4, 8, 12 e 16 g kg⁻¹ de solo, verificaram uma redução na capacidade de sorção de fósforo no solo, com exceção da palha de cevada nas doses de 4 e 8 g kg⁻¹.

Por outro lado, a matéria orgânica é capaz de adsorver íons fosfato, conforme constatações feitas por Stevenson (1986) e Novais & Smyth (1999). Estes autores relatam que o fósforo aplicado na forma inorgânica (Pi) pode ser adsorvido a compostos orgânicos, por meio de troca de ligantes, dando origem ao fósforo orgânico. O fósforo adsorvido a estes compostos tende a ser novamente convertido a formas disponíveis para as plantas em decorrência à contínua mineralização dos compostos orgânicos.

A deficiência de fósforo nos solos brasileiros pode ser o maior fator limitante ao crescimento das plantas (MARSCHNER, 1995). Diante disso, os sistemas de produção agrícola intensiva normalmente utilizam doses elevadas de fósforo. Esta prática pode vir a causar desequilíbrios nutricionais, principalmente em relação ao Cu e ao Zn (OLSEN, 1972). O risco de ocorrência destas interações devido aos altos teores de fósforo encontrados inicialmente na área de estudo podem ter sido agravados pela adição da torta de mamona que contém 3% de fósforo na sua composição, segundo Costa et al., (2004).

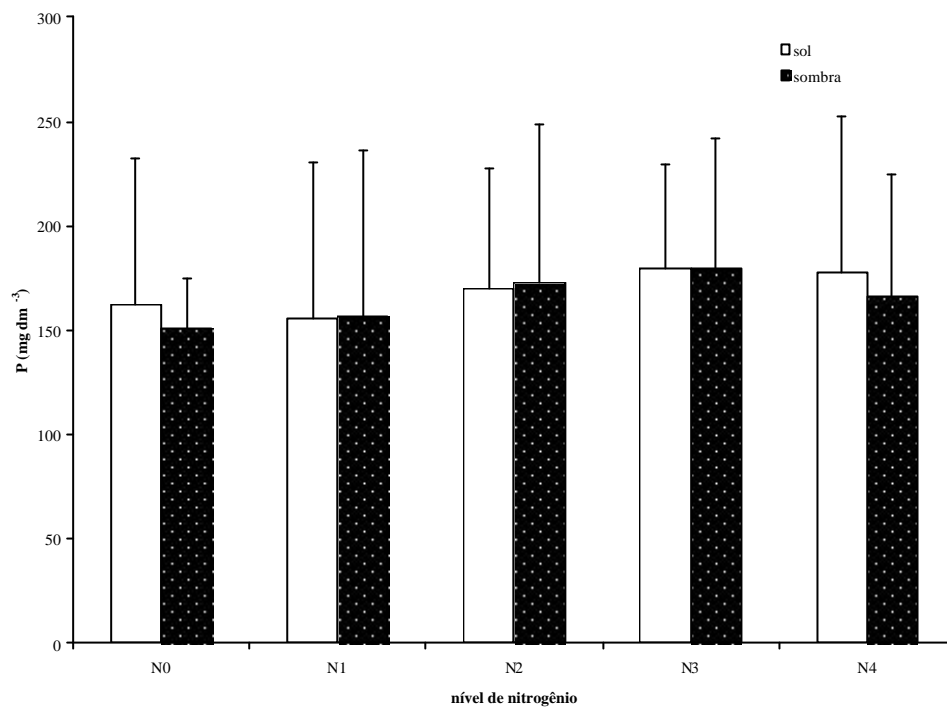


Figura 14 Teores de P, na camada de 0-20 cm, do solo cultivado com gengibre consorciado com guandu e em aléias de gliricídia, com diferentes doses de nitrogênio (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

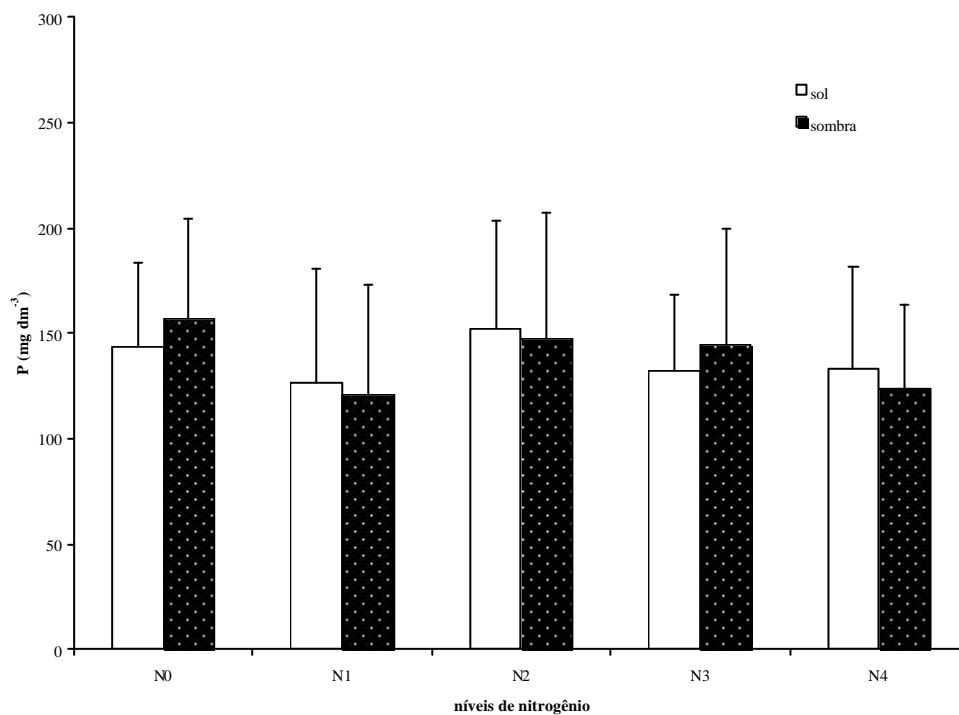


Figura 15 Teores de P, na camada de 20-40 cm, do solo cultivado com gengibre consorciado com guandu e em aléias de gliricídia, com diferentes doses de nitrogênio (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

A interação do fósforo com o zinco pode afetar a absorção, translocação e concentração desses nutrientes nos tecidos vegetais, provocando relações inadequadas entre os mesmos. Desse modo, o desequilíbrio nutricional pode reduzir o desenvolvimento da cultura de deixá-la mais susceptível ao ataque de pragas e doenças.

Quanto ao efeito da interação do fósforo com o zinco, Loneragan et al. (1979) sugerem que a solubilidade do zinco é diminuída em função de uma maior adsorção com óxidos e hidróxidos. Estes autores afirmam que quando não há redução no teor de zinco nos tecidos vegetais, devido à adição de fósforo, o aparecimento de sintomas que revelam um crescimento anormal das plantas poderia estar relacionado à toxidez de fósforo e não à deficiência de zinco. Já Olsen (1972) propõe que o desequilíbrio entre o P e o Zn, em função de concentrações excessivas, interfere na função metabólica do zinco em certos sítios celulares. Esta interação pode causar: uma diminuição da taxa de translocação de Zn ou P da raiz para a parte aérea; uma diluição da concentração de Zn ou de P na parte aérea da planta em resposta ao P ou Zn, ou ainda uma desordem metabólica no interior das células da planta (MARQUES, 1990; BARBOSA, 1994). Em mudas de cupuaçu, Fernandes et al. (2003) verificaram que a interação do fósforo com o zinco até a combinação de 300 mg dm⁻³ de P e 5 mg dm⁻³ Zn no solo (relação P/Zn = 60) promoveu o bom desenvolvimento das mudas. O uso doses maiores de P promoveu redução no crescimento das mudas. No presente trabalho, a relação P/Zn (dados não apresentados) variou de 48 a 65, visto que os teores de Zn encontrados também são considerados altos (RAIJ et al., 1996). Ainda assim, o efeito da interação dos altos teores de P encontrados com a disponibilidade de microelementos para as plantas carece de maiores estudos.

Potássio

Os teores de potássio observados são considerados baixos, segundo classificação proposta por RAIJ et al. (1996). Estes resultados estão de acordo com Munro et al. (2002), que analisando 29 propriedades de manejo convencional e orgânico verificaram que naquelas em que era adotado o manejo orgânico os teores de potássio eram significativamente menores. No presente trabalho verificou-se que a adição do material orgânico utilizado nos diferentes tratamentos não alterou os teores de K na camada 0-20 cm mas, contribuiu para a elevação dos teores de K na camada de 20 a 40 cm (figura 16). Nesta camada os teores de K em todos os tratamentos utilizados foram significativamente superiores à testemunha.

O tratamento com biomassa de guandu e gliricídia resultou em teores de potássio de 1,3 mmolc dm⁻³, o equivalente ao tratamento com 400 kg ha⁻¹ de N fornecidos pela torta de mamona. A dose N4 de torta de mamona, correspondente a 800 kg ha⁻¹ de N, proporcionou um teor médio de K no solo de 1,5 mmolc dm⁻³. Segundo Costa et al., 2004 a torta de mamona contém, em média, 0,96% de K em sua composição. O teor estimado de K na biomassa do guandu é de 0,75% e na biomassa da gliricídia varia de 1% (folhas) a 1,6% (ramos) (ALCANTARA et al., 2000; HARTEMINK, 2004).

Hartermink (2004) verificou que o consórcio com a gliricídia tem potencial para fornecer elevadas quantidades de potássio (248 kg ha⁻¹). Porém, 2/3 deste elemento está contido nos ramos, material de decomposição mais lenta.

Schroth (1998) alerta para o aumento da demanda por P e K em sistemas agrofloretais em função da atividade de plantas associadas e Munro et al. (2002) enfatizam a menor disponibilidade de potássio em solos sob cultivo orgânico quando comparados a solos submetidos a práticas de fertilização com fontes minerais solúveis.

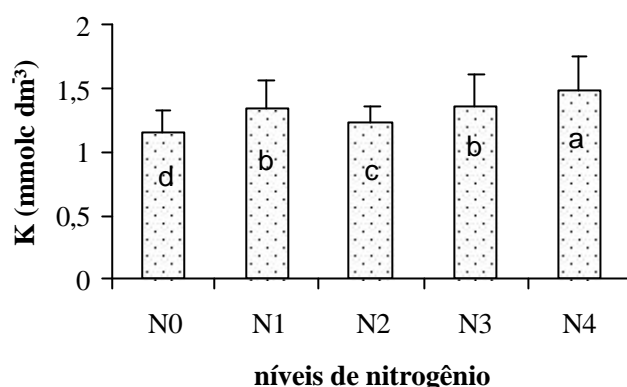


Figura 16 Teores médios de potássio, na camada de 20-40cm, do solo cultivado com gengibre, consorciado com guandu e em aléias de Gliricidia, com diferentes doses de torta de mamona (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)
Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

A quantidade de nutrientes presentes nas podas dos sistemas agroflorestais é suficiente para suprir as necessidades de N, K, Ca e Mg da grande maioria das culturas (PALM, 1995). No caso do milho, Schroth et al. (1995) verificaram que o aporte dos restos de poda de aléias de gliricídia promoveu o incremento dos teores de N e K, além de também contribuir para o aumento dos teores de Cu e Zn.

Utilizando como fontes de N e P a uréia e o superfosfato simples no cultivo de gengibre em Atibaia, Maeda (1990) observou que os melhores resultados de colheita de rizomas de gengibre foram obtidos com o uso de 100 kg ha⁻¹ de N; 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 300 kg ha⁻¹ de K₂O. Estes resultados confirmam a grande exigência da cultura em potássio.

É importante considerar que a relação N:K de diversas plantas utilizadas em aléias varia entre 2:1 e 3:1 (PALM, 1995; AGUS et al., 1999; BORKERT et al., 2003; HARTERMINK, 2004). A relação N:K da torta de mamona é estimada como sendo 5:1 (SEVERINO et al., 2004). Desta forma, a relação N:K destas fontes orgânicas pode ser considerada como não adequada para a nutrição do gengibre.

Cálcio, Magnésio e Potássio

Os teores de cálcio e magnésio e as suas relações com os teores de potássio podem ser observados nas Figuras 17 a 22. Os teores de cálcio observados na camada 0-20 cm não apresentaram diferença significativa. Os teores na camada de 20-40 cm são considerados altos (RAIJ et al., 1996) e variaram com as doses de torta de mamona. Os teores de magnésio observados variaram de 12 a 20 mmolc dm⁻³ e também podem ser considerados altos (RAIJ et al., 1996).

Entre os diversos cátions que podem afetar a fixação ou liberação do potássio, o cálcio merece atenção especial devido ao seu emprego generalizado e necessário nos solos brasileiros. Segundo Mello et al. (1983), o excesso de cálcio e, em menor escala, o excesso do magnésio determina uma menor absorção do potássio. Desta forma, as relações Ca/K e Mg/K são importantes para garantir o suprimento adequado destes nutrientes para as plantas.

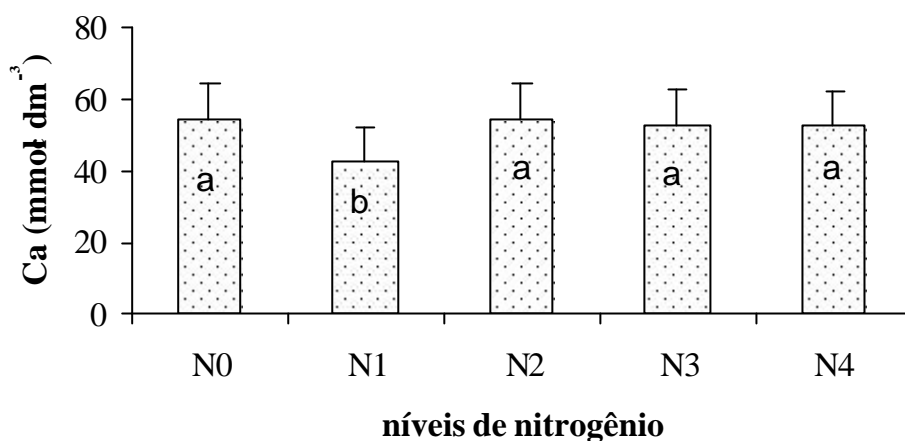


Figura 17 Teores médios cálcio, na camada de 20-40 cm, do solo cultivado com gengibre, consorciado com guandu e em aléias de gliricída, com diferentes doses de torta de mamona (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)
Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%

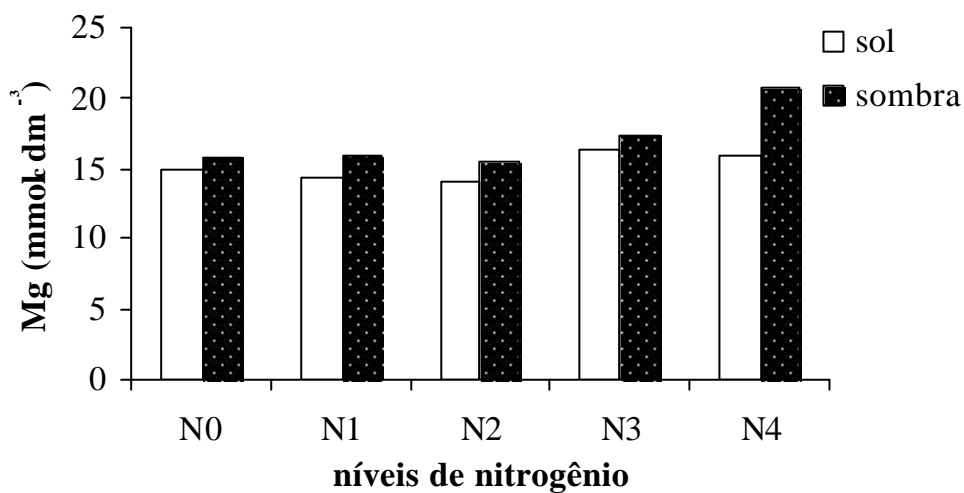


Figura 18 Teores de Magnésio, na camada de 0-20 cm, nas diferentes doses de nitrogênio aplicados em solo cultivado com gengibre (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

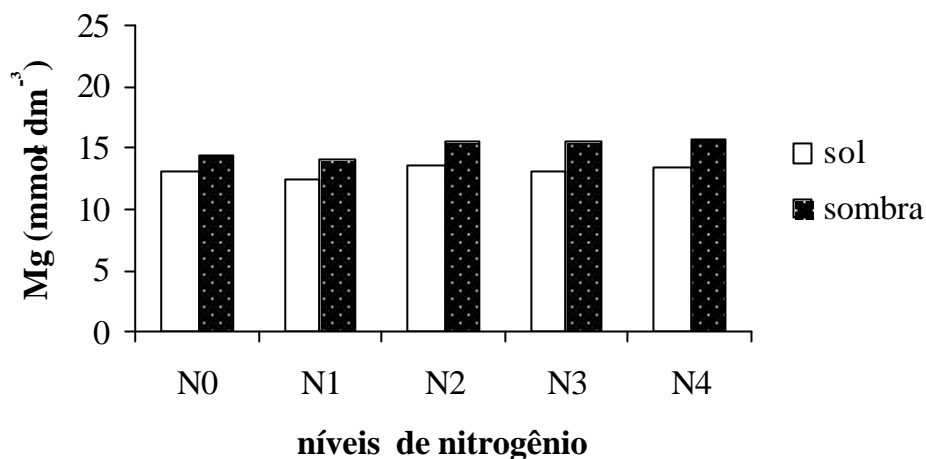


Figura 19 Teores de Magnésio, na camada de 20-40 cm, nas diferentes doses de nitrogênio aplicados em solo cultivado com gengibre (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

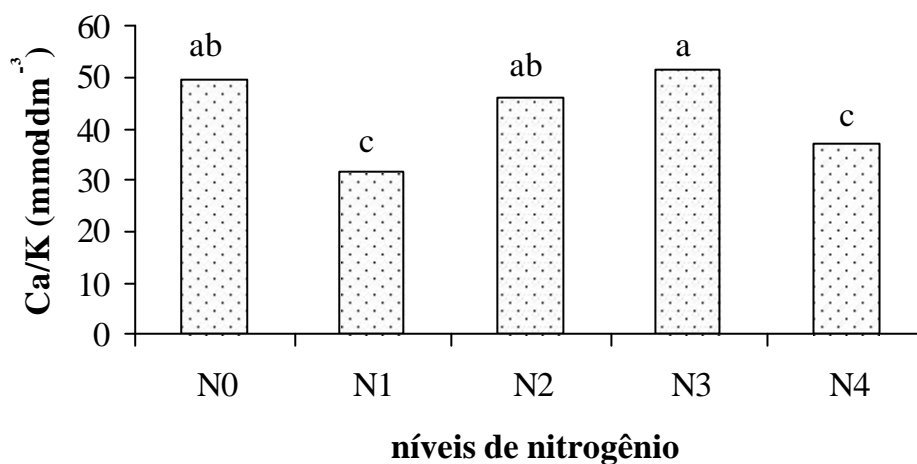


Figura 20 Relação Ca/K, na camada de 20-40 cm, do solo cultivado com gengibre consorciado com guandu e em aléias de gliricída, com diferentes doses de torta de mamona (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%.

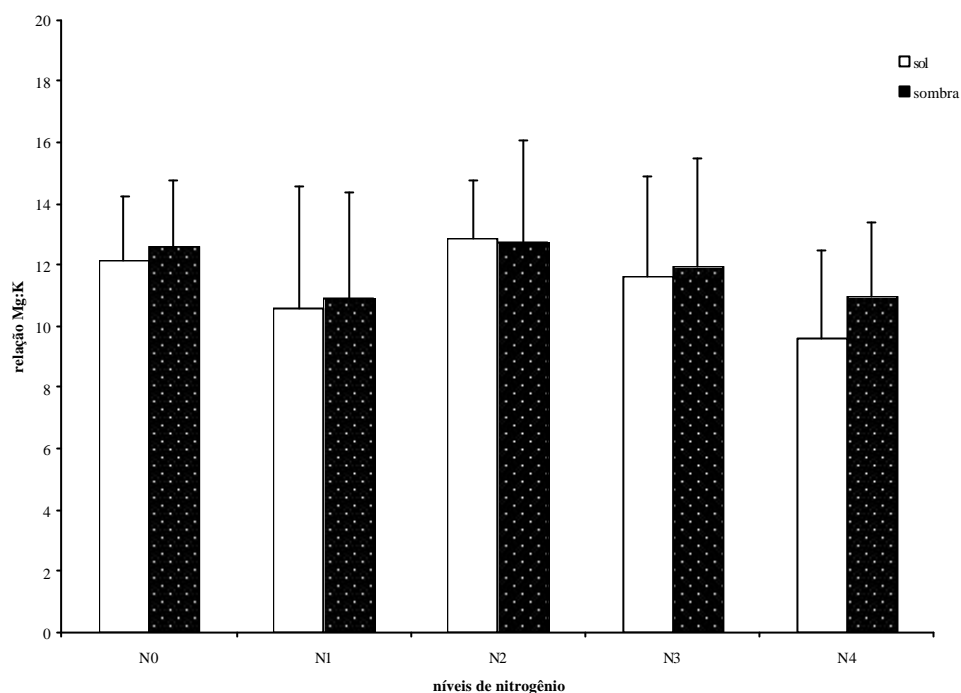


Figura 21 Relação Mg/K, na camada de 0-20 cm, do solo cultivado com gengibre solteiro ou consorciado com guandu e em aléias de gliricída, com diferentes doses de torta de mamona (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

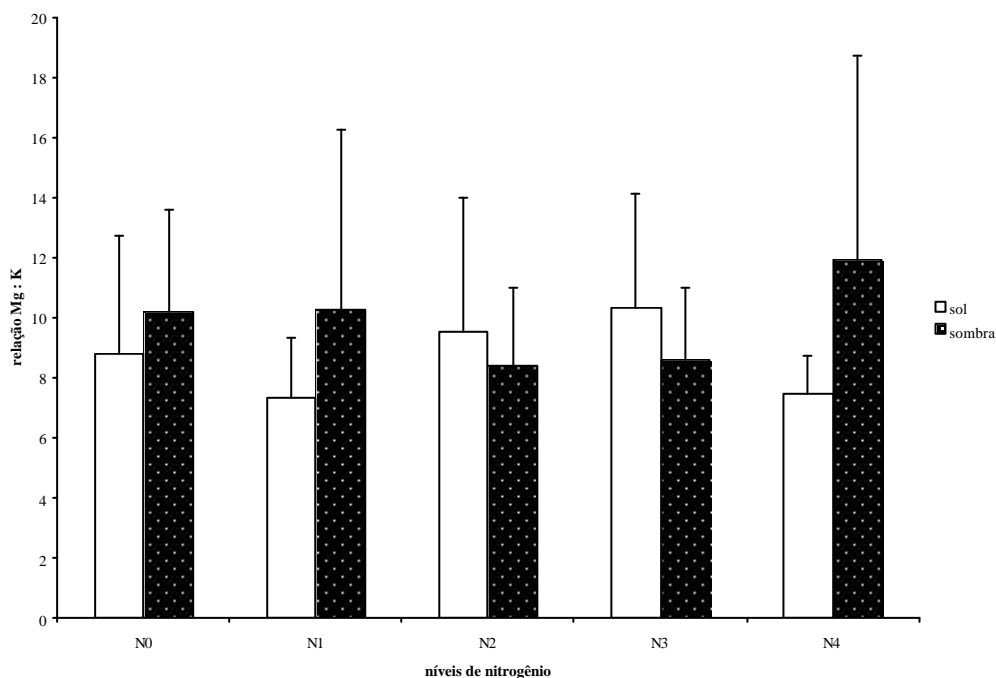


Figura 22 Relação Mg/K, na camada de 20-40cm, do solo cultivado com gengibre solteiro ou consorciado com guandu e em aléias de gliricída, com diferentes doses de torta de mamona (N0=sem nitrogênio; N1=adubo verde; N2=100, N3=400, N4=800 kg N ha⁻¹)

Na camada de 20-40 cm o tratamento com 400 kg ha⁻¹ de N proporcionou a maior relação Ca/K, porém sem diferir estatisticamente do tratamento com 100 kg ha⁻¹ de N ou da testemunha sem a aplicação de torta de mamona ou da biomassa da poda das leguminosas. A adição de biomassa de guandu e gliricídia e o uso de 800 kg ha⁻¹ de N na forma de torta de mamona reduziu esta relação. No caso da adição dos restos vegetais este fato pode ser atribuído à adição de potássio presente nos restos de poda. No guandu a relação Ca/K é igual a 0,71 (ALCÂNTARA et al, 2000) e na gliricídia 3,1 (SCHROTH et al., 1995) enquanto que na torta de mamona a relação Ca/K é de 5:1 (SEVERINO et al., 2004). No caso da dose mais elevada de torta a menor relação Ca/K na camada de 20-40 cm pode ser atribuída a um incremento na lixiviação do K.

Os resultados obtidos no presente trabalho, para as relações Ca/K e Mg/K, foram superiores aos obtidos por Fageria & Stone (2004) em cultivo de feijoeiro. Estes autores consideram como valores adequados da Ca/K e Mg/K 19,1 e 6,7, respectivamente (média das duas profundidades). Cochrane (1989) observou valores de 0,9 para Ca/Mg, de 1,9 para Ca/K e de 2,3 Mg/K, valores considerados como muito baixos para se obter produção ótima para as culturas anuais.

Para as relações Ca/K e Mg/K os valores observados no presente estudo podem ser considerados altos quando comparados com outros trabalhos (COCHRANE, 1989; FAGERIA & STONE, 2004). Considerando que os teores de Ca e Mg observados são elevados e que os de teores de K são considerados baixos é recomendável melhor investigar os efeitos dos sistemas de manejo nas Ca/K e Mg/K. A demanda elevada do gengibre por potássio (MAEDA, 1990) sugere uma maior atenção quanto ao suprimento deste elemento.

4.3.3.2 Dinâmica da água

O resultado da análise de variância para teor médio de umidade quando da avaliação da resistência do solo são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 Teores médios de umidade (%) do solo cultivado com gengibre no experimento 3 (Sombra – gengibre consorciado com guandu e gliricídia; Sol – gengibre em monocultivo)

Profundidade cm	Sombreamento		Teste F	Níveis de Nitrogênio (kg N/ha)					Teste F
	Sombra	Sol		0	poda	100	400	800	
0-20	21,4	21,9	1,33	20,5	21,6	22,6	20,8	21,6	0,11ns
20-40	20,8	22,0	3,75	22,3ab	19,5b	21,0ab	24a	21,4ab	27,70**

Médias seguidas pela mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de Duncan 5%;
Ns = não significativo; ** altamente significativo.

Os teores de umidade da camada 0-20 cm não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, seja para o efeito do sombreamento ou dos diferentes níveis de nitrogênio. Todavia, verifica-se que houve efeito de doses de N na camada de 20-40 cm, evidenciando uma diferença entre o tratamento que recebeu biomassa de guandu e gliricídia do tratamento com 400 kg ha⁻¹ na forma de torta de mamona. O menor teor de umidade no tratamento com biomassa pode ser decorrente do menor teor de matéria orgânica observada, 16,8 e 15,8 g dm⁻³ na sombra e no sol, respectivamente, contra 18,4 e 17,4 g dm⁻³ no tratamento com 400 kg ha⁻¹.

Apesar de a gliricídia ser considerada uma planta pouco competitiva e recomendada para uso em aléias, sob condições de deficiência hídrica, pode provocar redução na produtividade da cultura intercalar de até 50% (ODHIAMBO et al., 2001).

Embora no presente trabalho não tenha sido possível detectar diferenças significativas entre os tratamentos para as profundidades avaliadas, uma avaliação mais acurada poderia considerar os teores de umidade da camada mais superficial (0-5 cm) nos meses mais secos do ano e desta forma conseguir detectar eventuais efeitos do manejo.

A distribuição da precipitação, em mm h^{-1} , ao longo dos meses de novembro, dezembro de 2003 e janeiro de 2004 podem ser observados na Figura 23.

Observando-se a Figura 23, pode-se verificar a variabilidade da ocorrência de precipitações durante a realização do presente trabalho, o que pode ter provocado situações de falta ou excesso de umidade no solo.

A tolerância ao estresse hídrico varia com a espécie vegetal, por exemplo, algumas espécies de hortaliças podem apresentar estresse hídrico com o solo na capacidade de campo e, por outro lado, a disponibilidade de oxigênio é fundamental para o desenvolvimento radicular das culturas, sendo comprovado experimentalmente que, quando a porosidade de aeração é menor que 10%, ocorrem prejuízos significativos no crescimento radicular. O intervalo entre estes dois extremos, específico para diferentes interações solo planta, é conhecido como intervalo hídrico ótimo (SILVA et al., 2002).

Na Figura 24 são apresentados os resultados da avaliação da resistência do solo a penetração. Pode-se verificar que tanto nas parcelas onde ocorreu o cultivo consorciado de gengibre com o guandu e a gliricídia, quanto nas parcelas em que o gengibre foi cultivado solteiro, a existência de uma camada de adensamento entre 20 e 30 cm de profundidade.

As áreas consorciadas com guandu e gliricídia apresentaram uma resistência do solo à penetração significativamente superior às parcelas do gengibre em monocultivo.

A compactação observada na camada de 20 a 30 cm provavelmente foi provocada pelas práticas de mecanização do solo realizadas com o solo excessivamente úmido, visto que o regime de precipitação elevado (2800 mm anuais, em média) dificulta a realização das operações de preparo do solo com um teor de umidade adequado.

Souza & Alves (2003), avaliando sistemas de plantio direto, seringueira e plantio convencional com o penetrômetro de impacto, verificaram que em todos os sistemas de manejo do solo houve tendência de formação de camada compactada, em diferentes profundidades.

Assim como no presente trabalho, a maior resistência à penetração verificada nas parcelas com guandu em relação às parcelas em que não havia a presença desta planta também foi relatada por Genro Junior et al. (2004). Estes autores observaram resultados semelhantes aos do presente estudo, com aumento da resistência à penetração na avaliação feita dezoito meses após o cultivo do guandu. O aumento da resistência à penetração promovida pelo guandu, foi atribuída ao fato de que a planta tem sistema radicular abundante, de grande densidade e comprimento, preenchendo grande proporção do sistema poroso do solo, especialmente os macroporos.

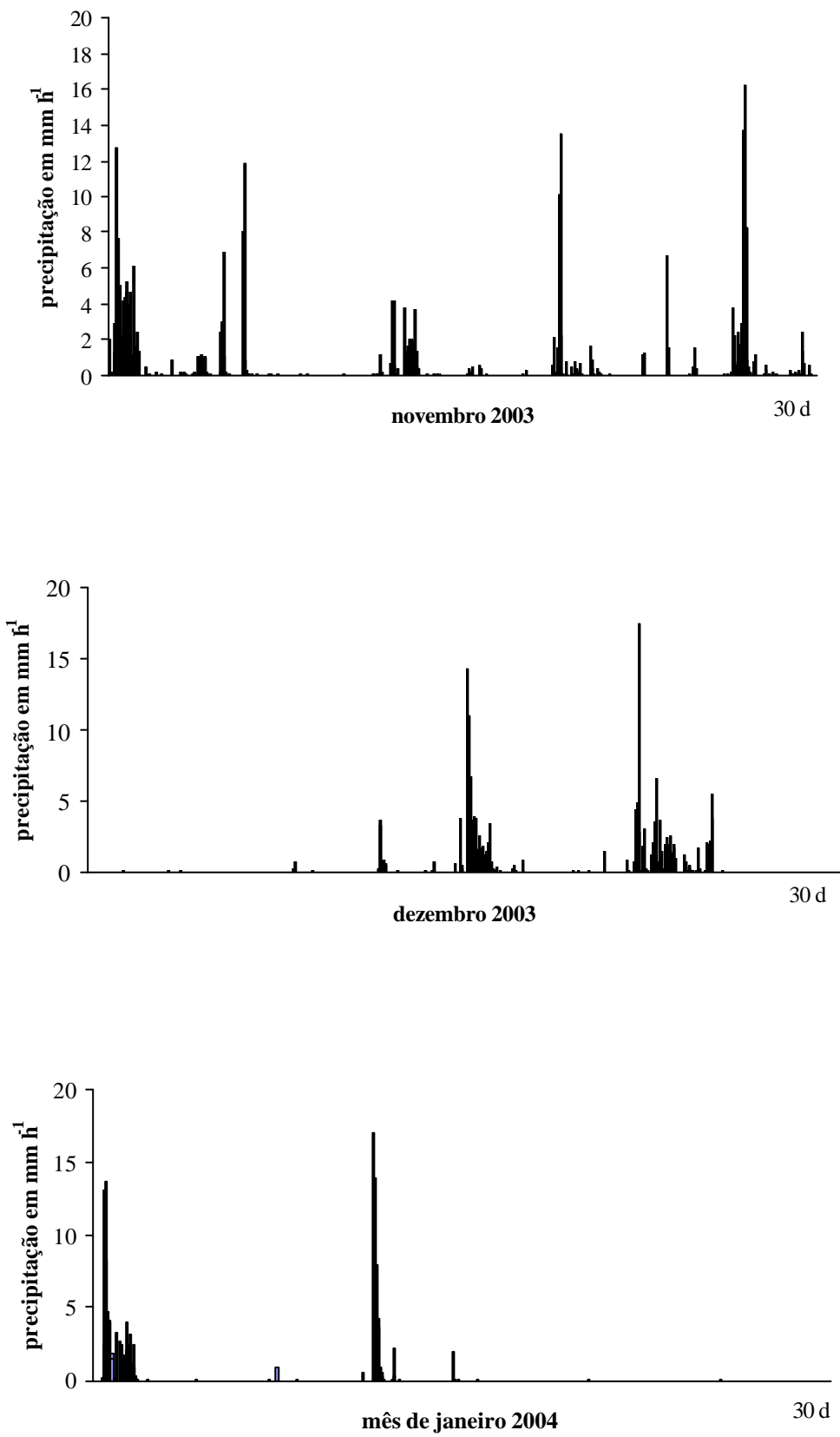


Figura 23 Precipitação em mm.h^{-1} nos meses de novembro e dezembro de 2003 e janeiro de 2004.

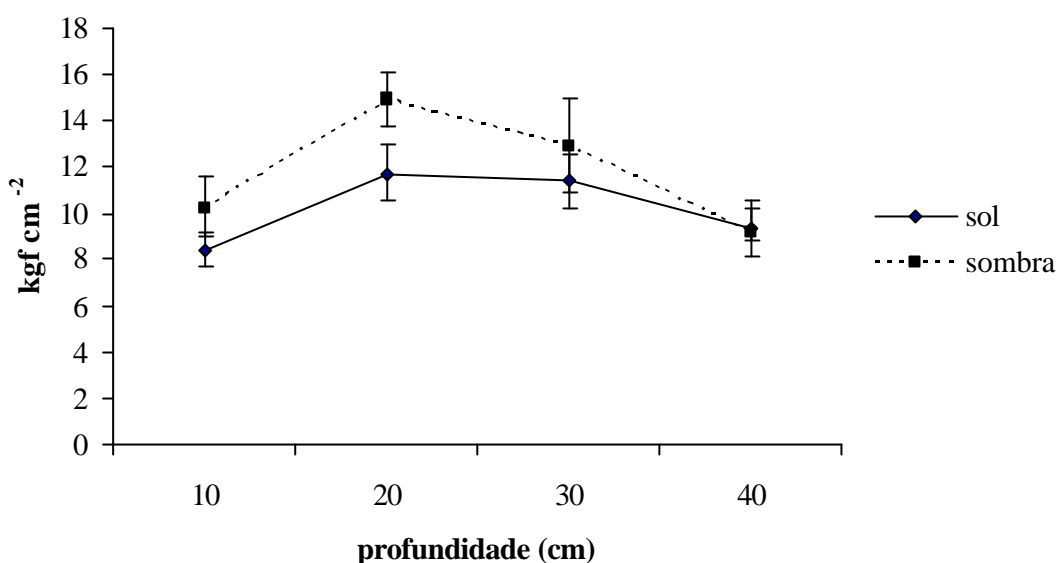


Figura 24 Resistência do solo a penetração avaliada por meio do penetrógrafo SC-60 (sol - gengibre em monocultivo; sombra - cultivo consorciado)

Por outro lado, Chirwa et al. (2004) relatam que o efeito do guandu na resistência do solo a 40 cm de profundidade, quando utilizado como pré-cultivo do milho por dois anos, mostrou-se significativo quando medido com penetrógrafo quatro semanas após o plantio. Embora os valores médios observados quatro semanas depois tenham se mantido quando da realização de nova leitura vinte semanas após a primeira, estes valores não apresentaram diferença estatística, provavelmente devido a elevada variabilidade dos dados.

Para Utset & Cid (2001), a variabilidade dos valores de resistência à penetração medidos com penetrômetro são fortemente dependentes do conteúdo de água no solo. Camargo (1983) lista alguns itens de alerta a serem ponderados, entre eles a umidade do solo que pode mascarar diferenças de densidade e a textura que pode influenciar a resistência ao penetrômetro. A utilidade do penetrômetro é limitada a medidas feitas para o mesmo solo e com mesma umidade. É importante considerar ainda que a maioria dos penetrômetros têm diâmetro maior do que as porções das raízes que estão se alongando, e também que a ponta das raízes têm normalmente camadas de mucilagem para reduzir o coeficiente de fricção na superfície de contato com o solo. Além de levar em conta todos estes fatores, é importante que haja constância na velocidade de inserção do equipamento, o que é dificultado em condições de baixa umidade no solo (MANOR et al., 1991; MOTAVALLI et al., 2003). Para as condições da região estudada, caracterizada por precipitações elevadas, a determinação de camadas compactadas tem grande importância, uma vez que o fluxo da água é limitado pela camada menos permeável, independente de sua posição no perfil do solo (REICHARDT & TIMM, 2004).

O guandu é usualmente utilizado visando o rompimento de camadas adensadas, porém a avaliação dos efeitos desta prática deve levar em consideração os limites metodológicos do indicador utilizado.

Para superar as dificuldades nas mensurações de resistência do solo à penetração, é interessante considerar o trabalho de Imhoff et al. (2000), onde é abordada a importância da determinação da curva de resistência do solo como um parâmetro útil para a determinação de

sua qualidade física, permitindo identificar áreas com resistência mecânica potencialmente limitante ao crescimento das raízes, e estabelecer a umidade e densidade do solo críticas para o desenvolvimento das plantas.

O penetrógrafo é mais comumente utilizado para estudos de formação de camada compactada, devido às operações de preparo do solo para plantio (STONE & SILVEIRA, 1999; TAVARES Filho et al., 2001) e no presente estudo, o equipamento, aparentemente, mostrou-se eficiente para este fim.

O uso do penetrógrafo não é apropriado para estudos mais detalhados das propriedades físicas do solo, porém, pode ser considerada uma forma simples e barata de detectar a distribuição horizontal e vertical de diferenças físicas espaciais no solo (HARTGE, 1985; PERFECT et al, 1990). No caso da avaliação das qualidades físicas do solo de sistemas agroflorestais é mister que o uso deste parâmetro como indicador seja associado à avaliação de outros atributos do solo.

No presente estudo optou-se pela avaliação da infiltração da água, que assim como o penetrômetro, é um método secundário de avaliação da existência de camadas compactadas, integrando a qualidade física das diversas camadas do solo. As medidas de infiltração, realizadas à mesma época que as leituras do penetrógrafo, podem ser observadas na Tabela 14 e Figura 25.

Tabela 14 Infiltração acumulada em mm, medida por meio de anéis concêntricos durante 30 minutos nas parcelas do Experimento 3

Tipo de cultivo		F	0	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)				F	Blocos					F
consorc.	monocult.			poda	100	400	800		I	II	III	IV	V	
<u>mm</u>		<u>mm</u>												
173	80	4,62 ns	91	101	138	141	162	1,77ns	79	158	114	84	198	0,42 ns

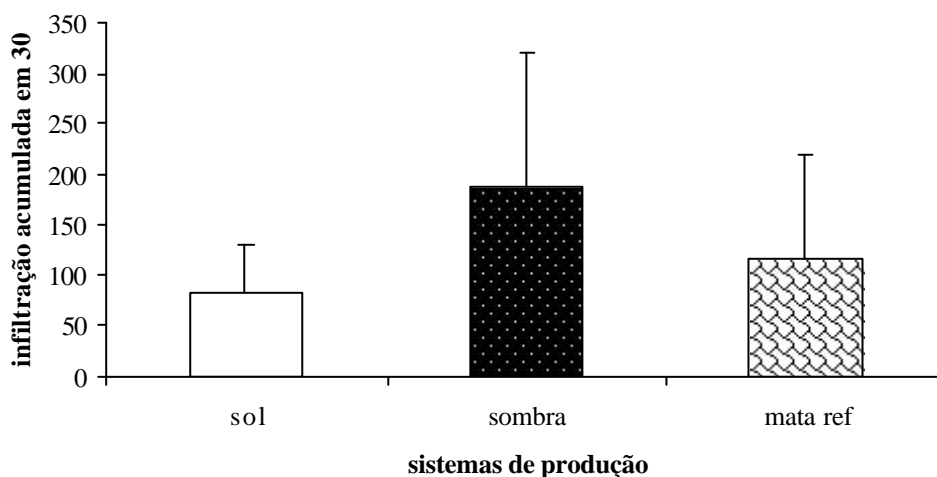


Figura 25 Infiltração acumulada em mm, medida por meio de anéis concêntricos durante 30 minutos, nas áreas do experimento 3 e em mata próxima tomada como referência (sol – gengibre em monocultivo; sombra – gengibre em consórcio com guandu e gliricídia; mata ref. – mata próxima tomada como referência)

Observando a Figura 25, pode-se verificar que a adição dos restos de poda do guandu e da gliricidia proporcionaram uma infiltração acumulada durante 30 minutos cerca de duas vezes maior do que a área que não recebeu o aporte destes materiais orgânicos. Esta diferença, porém, não foi significativa em função da grande variabilidade das medições realizadas, mesmo após três anos do início do sistema agroflorestal (Tabela 14 e Figura 25).

Segundo Epstein (1975), o aumento da estabilidade de agregados do solo afeta a infiltração de água. Assim, a matéria orgânica e os cátions presentes no solo em altos teores, Ca^{2+} e Mg^{2+} , pode influenciar a agregação de partículas do solo e determinarem o aumento do seu volume de poros (MELO & MARQUES, 2000). A constatação de que a infiltração é maior na mata nativa que em solos cultivados, foi observada nos trabalhos de Cavenage et al. (1999) e Centurion et al. (2001), fato que não ocorreu no presente trabalho. Embora o coeficiente de variação alto não tenha permitido a diferenciação entre a infiltração na mata e no tratamento com aporte de guandu e gliricidia, os valores superiores da área cultivada poderiam estar associados a uma maior presença de Ca e Mg, hipótese que necessitaria uma melhor investigação.

A infiltração de água indica diferenças no comportamento hidrodinâmico do solo em função da alteração de sua estrutura. Considerando-se que a infiltração de água reflete as condições físicas do solo, como estrutura, porosidade e ausência de camadas compactadas, deduz-se que nos solos estudados elas sofreram modificações em função do manejo.

Solos de várzea são ecossistemas complexos e caracterizados por uma grande variabilidade dos atributos edáficos, em função de diversos fatores que atuam na sua morfogênese. Entre estes fatores podemos citar, o material de origem, a dinâmica hidrológica, os processos erosivos e de deposição (STOLT et al., 2001). Além da área cultivada, esta variabilidade também foi observada nas medições realizadas no interior da mata próxima (Figura 25).

Cichota et al. (2003), determinando a taxa de infiltração pelo método dos anéis concêntricos, por meio de observações numa transeção de 40 pontos equidistantes de 1 m, observaram resultados altamente variáveis, especialmente para os tempos iniciais. Estes autores verificaram a existência de dependência espacial com alcance na ordem de 3,5 m, com coeficientes de variação de 60 % a 90 %, ou seja, semelhantes aos encontrados no presente trabalho. Haws et al. (2004) também observaram grande variabilidade nas taxas de infiltração em solos cultivados.

Argenton et al. (2005), avaliando o efeito do plantio consorciado de guandu ou mucuna cinza com milho, verificaram que, após cinco anos de cultivo, o efeito da mucuna cinza foi superior em relação ao guandu. Apesar de também observarem uma grande variabilidade entre diversos campos experimentais e dentro de cada um dos campos, após 15 anos Buckles & Triomphe (1999) também verificaram o efeito positivo da adoção da mucuna por fazendeiros de Honduras, na América Central, nas taxas de infiltração dos solos. Estes autores também salientam que a condutividade hidráulica é uma propriedade que apresenta coeficiente de variação alto, dificultando, dessa forma, a comparação entre tratamentos.

Avaliando sistemas agroflorestais de *Bactris gasipae* e *Centrosema macrocarpum* na Amazônia peruana, Arevalo et al. (1998) puderam observar que as propriedades físicas como infiltração e resistência mecânica do solo à penetração, mudam lentamente e apresentam alto coeficiente de variação, enquanto que Barzegar et al. (2002) demonstraram a importância do tipo e da quantidade de material orgânico adicionado ao solo para proporcionar efeito na infiltração e na porosidade, encontrando resultados mais positivos para taxas de 15 Mg ha⁻¹ de bagaço de cana compostado.

No presente trabalho, as diferentes doses de torta de mamona (0, 100, 400 e 800 kg ha⁻¹ de N) não tiveram efeito significativo no aumento da taxa de infiltração, o que

sugere inferir que o uso de materiais orgânicos de rápida mineralização tiveram pouco efeito sobre a melhoria das taxas de infiltração no solo.

A infiltração está fortemente relacionada com as propriedades estruturais do solo e pode ser um bom indicador para propriedades físicas e biológicas. Os macroporos podem incrementar significativamente a infiltração e são criados principalmente pela fauna do solo e por canais provenientes da decomposição de raízes velhas. O efeito de raízes vivas nos macroporos não é claro. Ao que parece, a velocidade de infiltração pode ser diminuída quando ocorre uma grande densidade de raízes vivas, fato observado por Bharati et al. (2002) em seis anos de avaliação de áreas de matas ciliares.

Diferentemente do que ocorreu no caso das medições de resistência do solo à penetração com o penetrógrafo, no caso da infiltração as raízes parecem ter tido um efeito positivo. Diferenciando os efeitos da gliricídia e do guandu após quatro anos do cultivo de aléias, Mapa & Gunasena (1995) verificaram que as parcelas com gliricídia apresentavam maiores teores de carbono orgânico, maior estabilidade dos agregados e menor densidade do solo. Estes resultados foram atribuídos a uma maior produção de biomassa da gliricídia (2,65 Mg ha⁻¹ de m.s.) em relação ao guandu (2,12 Mg ha⁻¹ de m.s.). Todavia, Chirwa et al (2003) avaliaram o efeito de sistemas agroflorestais em aléias na recuperação de solos degradados e observaram um efeito mais significativo da mistura de *Gliricidia sepium* e *Sesbania sesban* na capacidade infiltração do solo, ainda que as parcelas apenas com gliricídia tenham produzido a maior quantidade de matéria seca (22,1 Mg ha⁻¹), proporcionando uma adição de 27 kg ha⁻¹ a mais de N do que as parcelas da mistura de *Gliricídia* e *Sesbania*.

Lal (1989_b) observou que o aporte da poda das aléias de gliricídia e leucena aumentou significativamente a taxa de infiltração do solo em relação a uma área não cultivada após cinco anos. A infiltração acumulada em duas horas foi de 59 mm para o aporte de gliricídia, 70 mm para a área com leucena, e 24 mm para a área não cultivada. Este autor destaca o fato de que o cultivo provoca a rápida deterioração das propriedades físicas do solo, provocando a formação de camadas que dificultam a infiltração da água.

Considerando as condições climáticas do município de Ubatuba, na escolha de espécies para utilização em consórcios, além do uso de espécies com boa capacidade de fixação biológica de nitrogênio deve-se também procurar utilizar espécies com boa capacidade de produção de biomassa e com velocidade de decomposição mais lenta. Esta composição tem maior potencial para proporcionar o aumento dos teores de matéria orgânica do solo, visando à melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

No caso das propriedades físicas, a redução na macroporosidade (compactação do solo), além de provocar sensível redução do sistema radicular, pode prejudicar a dinâmica da água, implicando direta ou indiretamente na redução da absorção de nutrientes pelas plantas, mesmo com sua presença no solo (MAZZA et al., 1994).

Os resultados de infiltração observados no presente estudo sugerem que o aporte das podas das aléias de leguminosas pode, em médio prazo, promover a recuperação física do solo estudado.

4.3.3.3 Aproveitamento da radiação

A incidência de radiação solar nos meses de novembro, dezembro e janeiro e a variação da fotossíntese no gengibre em função da radiação (densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos em $\mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) são apresentadas a seguir (Figuras 26 a 31).

Quanto à disponibilidade de radiação pode-se notar que ainda que a curva da média dos valores observados ao longo do dia tenha o formato de uma curva de distribuição normal, a radiação incidente apresenta grande variabilidade de um dia para o outro ou ainda ao longo dos meses avaliados.

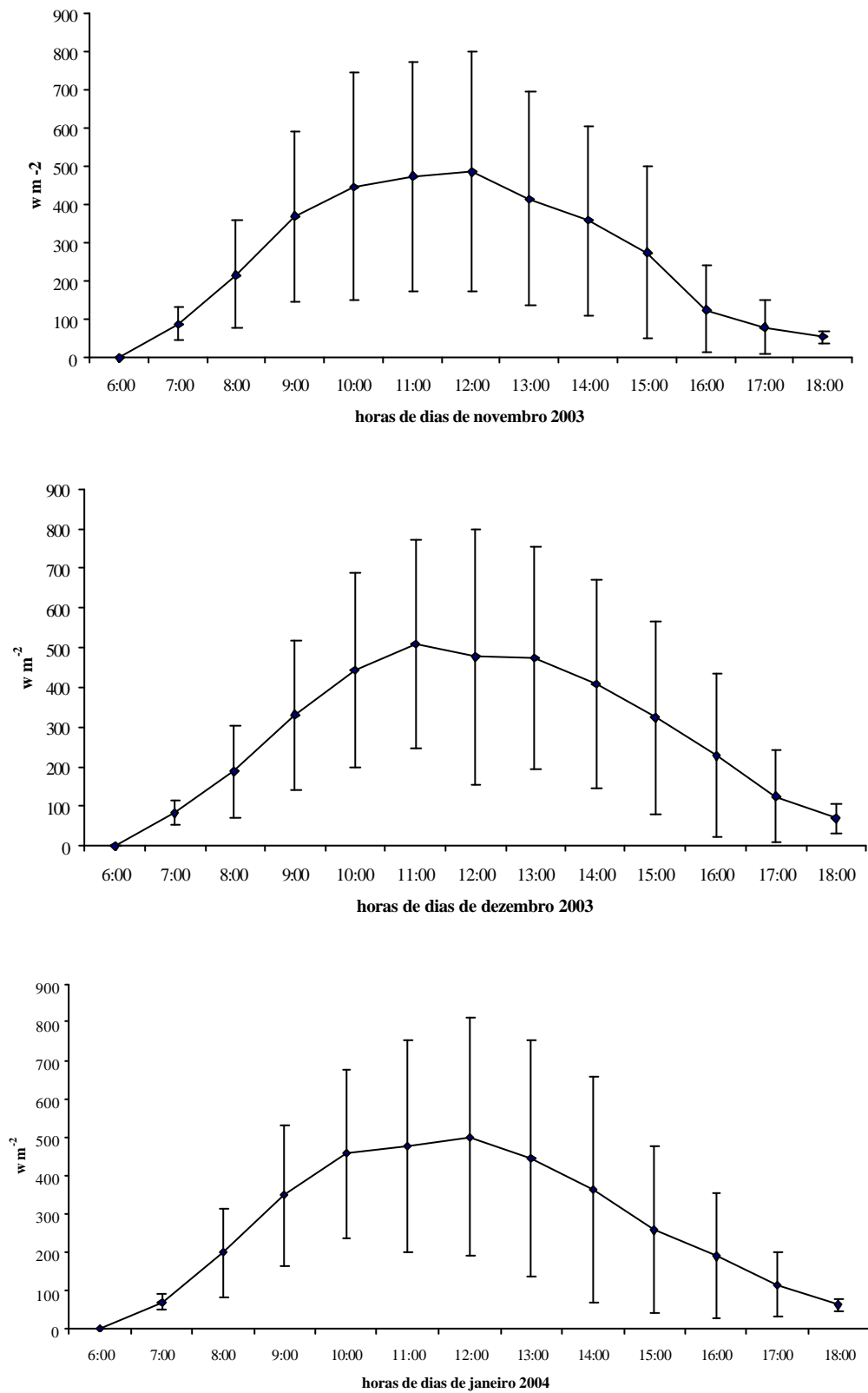


Figura 26 Disponibilidade de irradiância solar global (Q_g) ao longo do dia, expressa em energia por área e por tempo ($J m^{-2} s^{-2} = W m^{-2}$), durante os meses de novembro e dezembro de 2003 e no mês de janeiro de 2004

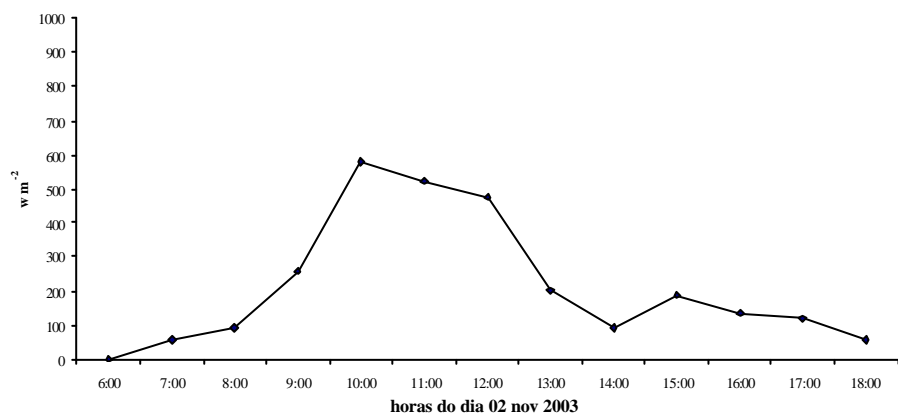
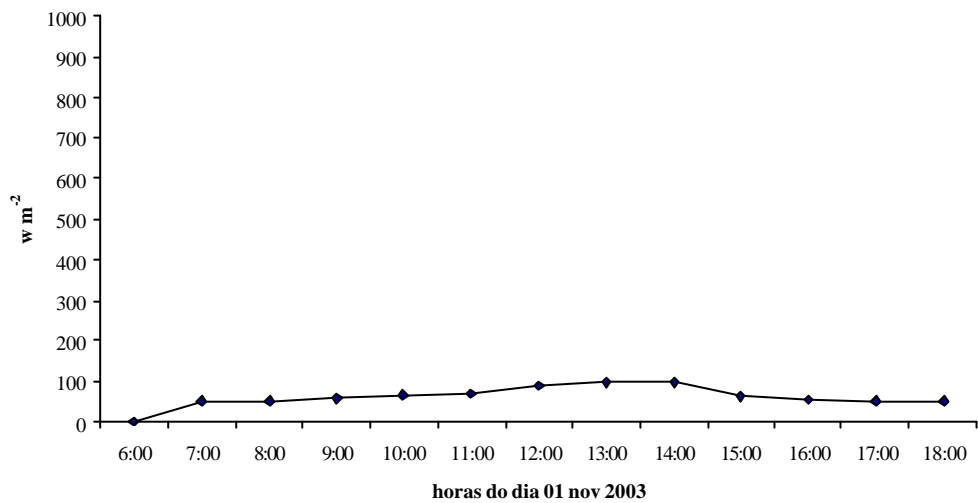
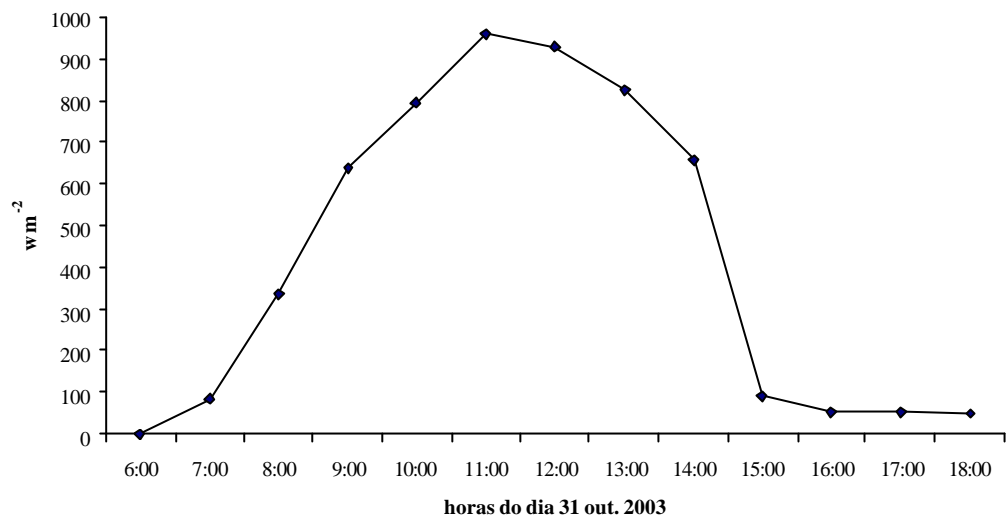


Figura 27 Variabilidade da disponibilidade de irradiância solar global (Q_g) ao longo do dia, expressa em energia por área e por tempo ($J m^{-2} s^{-2} = W m^{-2}$), aos trinta dias após o plantio do gengibre

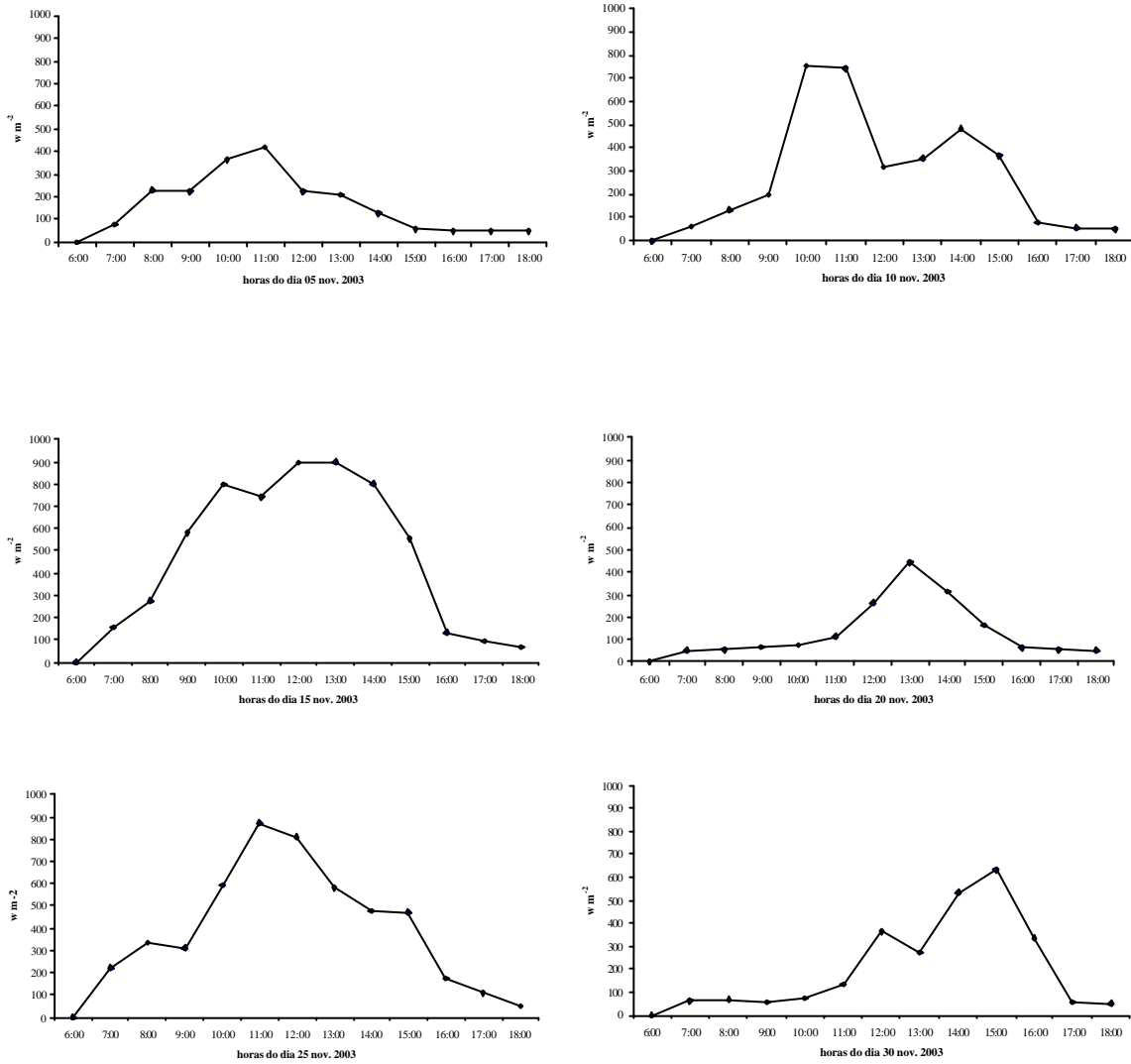


Figura 28 Variabilidade da disponibilidade de irradiância solar global (Q_g) ao longo do dia, expressa em energia por área e por tempo ($J m^{-2} s^{-2} = W m^{-2}$), durante o mês de novembro (de trinta a sessenta dias após o plantio do gengibre)

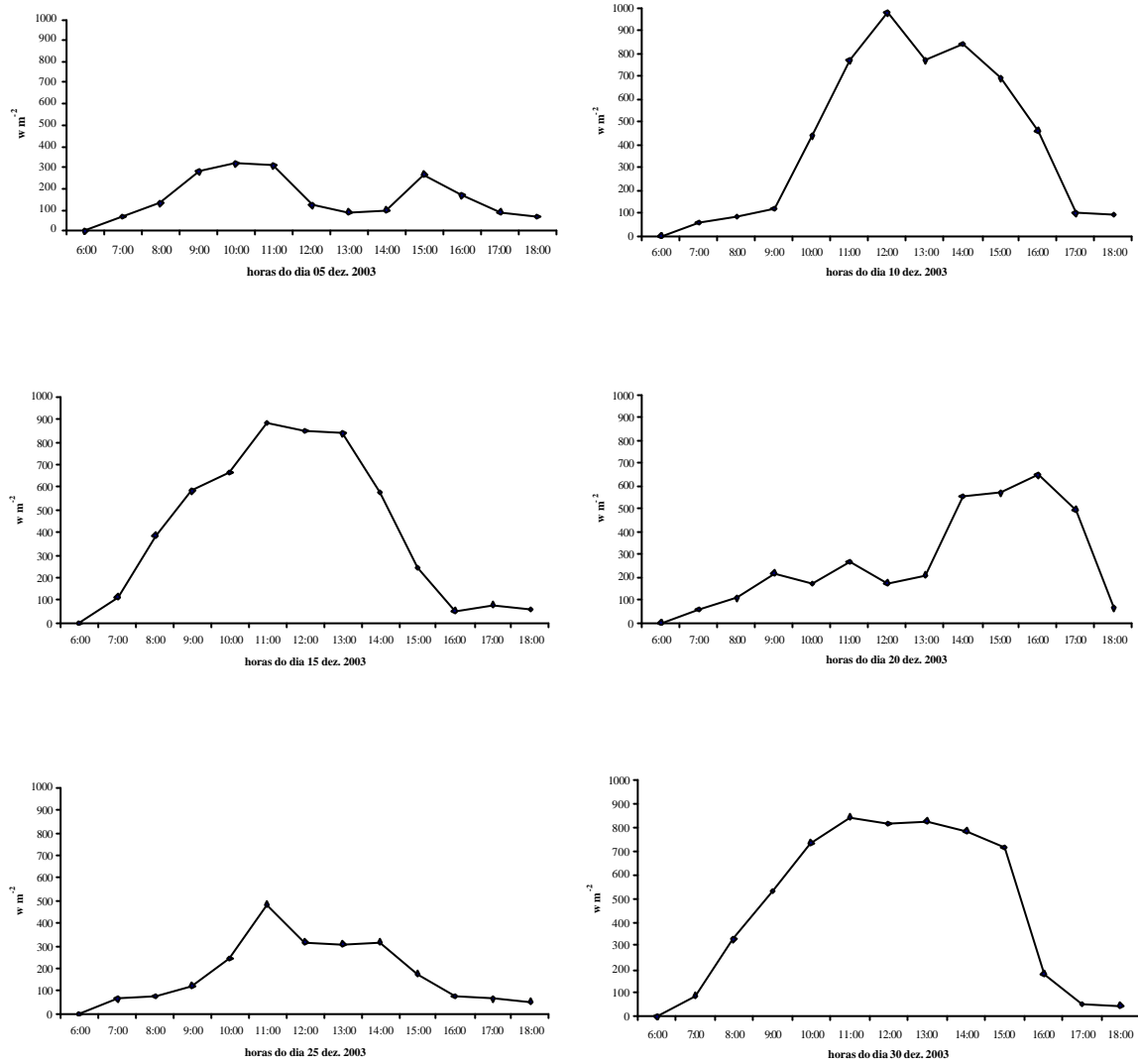


Figura 29 Variabilidade da disponibilidade de irradiância solar global (Q_g) ao longo do dia, expressa em energia por área e por tempo ($J\ m^{-2}\ s^{-2} = W\ m^{-2}$), durante o mês de dezembro (de sessenta a noventa dias após o plantio do gengibre)

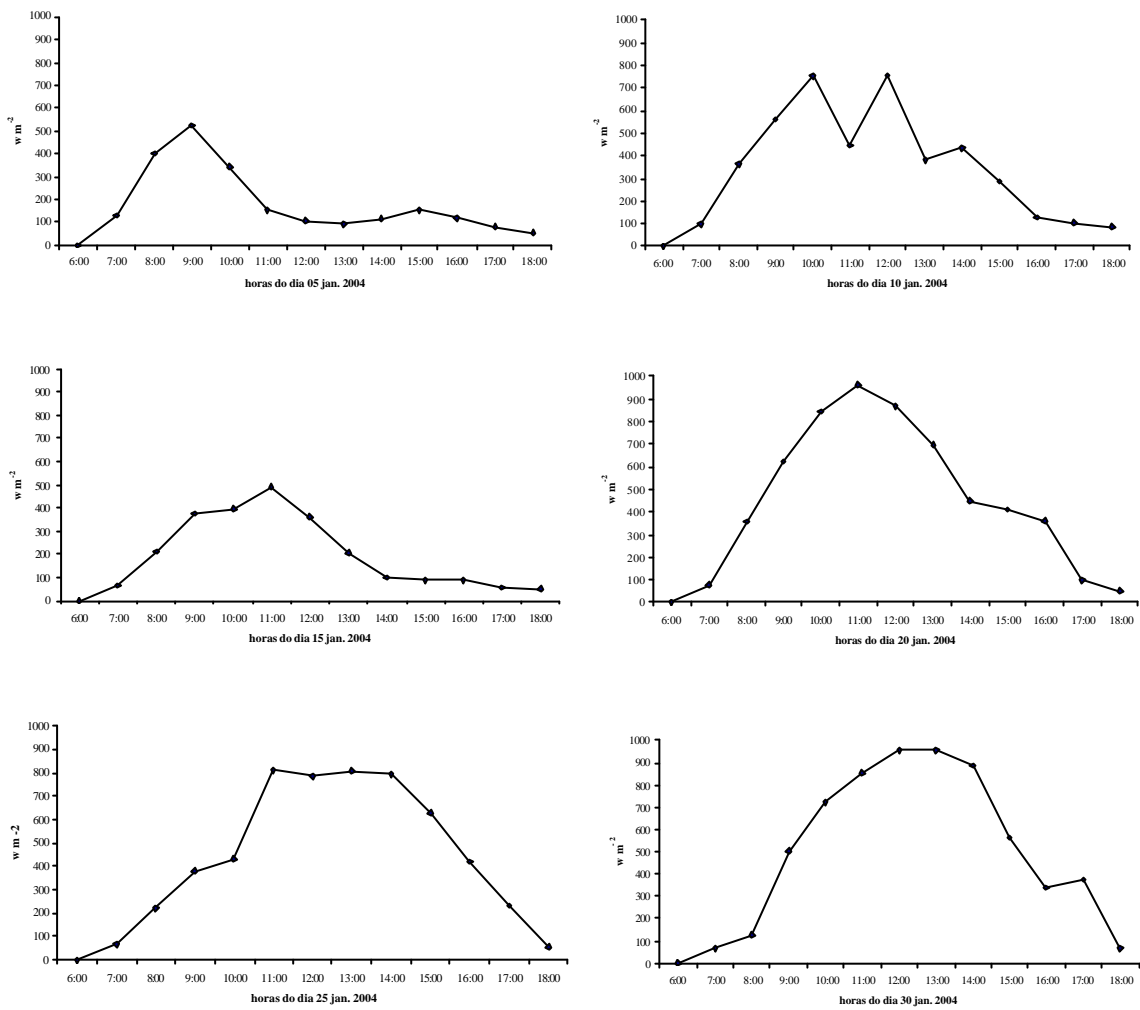


Figura 30 Variabilidade da disponibilidade de irradiância solar global (Q_g) ao longo do dia, expressa em energia por área e por tempo ($J m^{-2} s^{-2} = W m^{-2}$), durante o mês de janeiro (de noventa a cento e vinte dias após o plantio do gengibre)

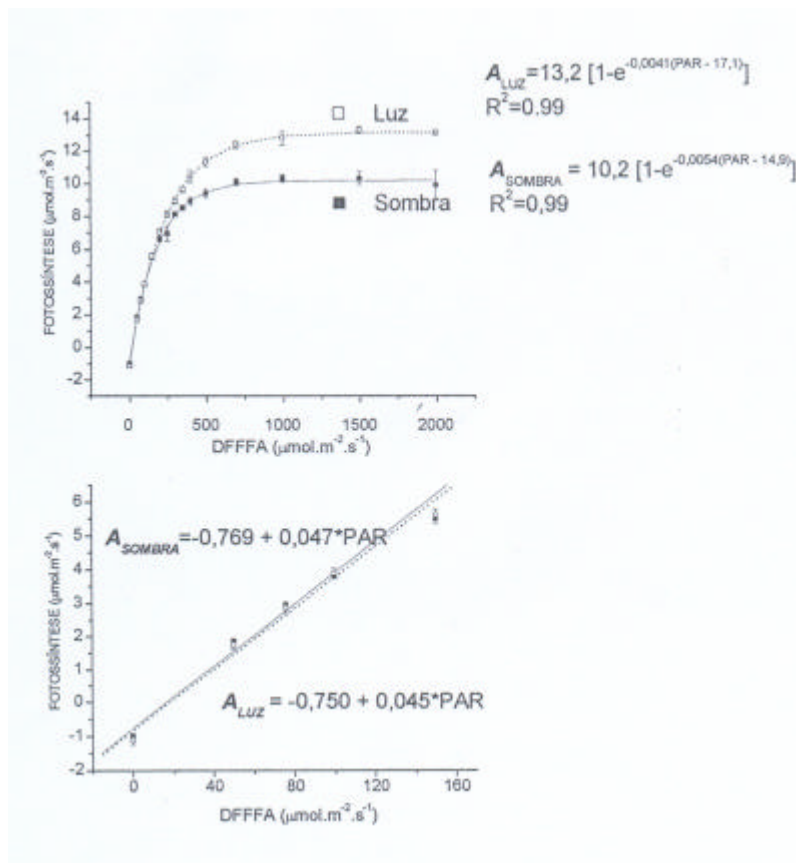


Figura 31 Variação da fotossíntese de plantas de gengibre em $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, cultivadas a pleno sol (LUZ) e cultivadas parcialmente sombreadas (SOMBRA) em função da variação radiação fotossinteticamente ativa (DFFFA – densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos em $\mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

Observando-se os resultados obtidos por meio do IRGA (Infra Red Gas Analisator) verifica-se que a radiação fotossinteticamente ativa alcança o ponto de saturação com cerca de $750 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para plantas de gengibre cultivadas na sombra e com cerca de $1.000 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para plantas de gengibre cultivadas no sol. O ponto de compensação lumínica foi de $15 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as plantas de gengibre cultivadas na sombra e de $17 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as plantas de gengibre cultivadas no sol (Figura 31).

Como respostas às diferentes intensidades de radiação as plantas podem ter adaptações modulativas, modificadas ou evolutivas. Um exemplo de reação modulativa é o deslocamento dos cloroplastos, com os plastídios se posicionando de perfil ou perpendicularmente a luz incidente. As plantas se adaptam de formas modificadas de acordo com as condições médias de radiação preponderante durante a morfogênese. A diferenciação fenotípica de órgãos e tecidos geralmente não é reversível. A adaptação modificada às condições majoritárias de radiação do ambiente (fenotípica) ocorre principalmente durante o crescimento e diferenciação do órgão assimilador. Dessa forma, resultam características morfológicas, histológicas, ultraestruturais e bioquímicas as quais condicionam o comportamento das trocas do CO_2 sob forte e fraca radiação (Larcher, 2000).

A extensão e velocidade dos processos de adaptação são fixadas geneticamente e ocorrem dentro de certa amplitude: genótipos heliófitos resultam em indivíduos com típico comportamento fotossintético de plantas de sol somente se crescerem sob forte radiação e os genótipos esciófitos só desenvolvem plenamente as características de plantas de sombra se

crecerem sob fraca radiação. Os esciófitos podem se adaptar parcialmente a um gradual aumento de radiação e, assim, sofrer poucas injúrias sob elevadas intensidades luminosas (Larcher, 2000).

A variabilidade dos grupos vegetais em relação ao ponto de saturação é maior do que com relação à eficiência quântica ou ao ponto de compensação. O ponto de saturação das esciocitas varia de 100 a 200 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Por outro lado, para as árvores da floresta tropical o ponto de saturação das folhas de sol vai de 600 a 1 500 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para as folhas de sombra varia de 200 a 300 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e para plantas jovens o ponto de saturação vai de 50 a 150 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Larcher, 2000).

O fato das plantas de gengibre cuja morfogênese das folhas ocorreu a pleno sol apresentarem ponto de saturação da fotossíntese mais elevado sugere que o manejo da poda deva ser feito visando proporcionar uma maior disponibilidade de radiação nas fases iniciais do cultivo, de forma a permitir “a rustificação da planta”. Desta forma, as plantas de gengibre poderão aproveitar melhor a radiação disponível e serem mais tolerantes aos momentos em que a disponibilidade de radiação solar incidente exceder o ponto de saturação (cerca de 320 a 430 W m^{-2} , conforme a disponibilidade de radiação em que se deu a formação das folhas). Avaliando sistemas agroflorestais de café (*C. arabica*), Kumar & Tieszen (1980) também verificaram uma grande variação no ponto de saturação das plantas sombreadas e a pleno sol (300 e 600 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Em resposta ao sombreamento denso com guandu, plantas de café (*Coffea arabica*) cultivadas em Londrina, PR, sofreram uma redução no número de estômatos, na espessura do mesófilo e aumento dos espaços intercelulares. O manejo da copa do guandu por meio da poda fez com que durante o período experimental o percentual de interceptação de uma radiação solar global de 900 W m^{-2} variasse de 17 a 88% (Morais et al., 1999; Morais et al., 2004). Estes autores concluíram que o sombreamento excessivo proporcionado pelo guandu afetou drasticamente a fisiologia e a morfologia de *C. arabica*.

As modificações adaptativas provocadas por um sombreamento excessivo podem diminuir a capacidade fotossintética das folhas cuja morfogênese se deu neste período, tornando as plantas cultivadas com sombreamento menos produtivas (Kumar & Tieszen, 1980).

Levando em consideração os valores médios a quantidade de radiação incidente normalmente excedeu o ponto de saturação de luz das plantas de gengibre entre as 11:00 e as 14:00 horas. Neste período a transmissão da radiação deveria ser de cerca de 50% da radiação global incidente. Todavia, no restante do dia o sombreamento poderia ser excessivo.

A dificuldade para determinar a quantidade de sombreamento adequado nos sistemas agroflorestais ocorre principalmente nos valores intermediários de sombreamento, fase em que ocorre a maior variabilidade, dificultando a sua medição e caracterização (BELLOW & NAIR, 2003).

A produtividade média das plantas de gengibre cultivadas a pleno sol quando avaliação foi feita em trechos de 1 m dentro da parcela que apresentava bom estande foi significativamente superior à produtividade das plantas de gengibre cultivadas em consórcio com aléias de guandu e gliricídia. Este resultado sugere que as podas realizadas nas plantas de guandu não foram suficientes para que a transmissão de luz atendesse as necessidades das plantas de gengibre. As plantas de gliricídia ainda eram jovens para promover sombreamento e, segundo Schroth et al. (1995), possuem baixa densidade de raízes, competindo pouco por água e nutrientes.

O uso de plantas que apresentem copa fechada e transmissividade de radiação relativamente baixa não é recomendável para sistemas agroflorestais onde possa ocorrer competição por luz, ainda que tenha características desejáveis como facilidade de rebrote, resistência a poda e conteúdo dos tecidos rico em nutrientes. Assim como no presente estudo,

este fato também foi observado Nygren et al. (1993) na avaliação do sombreamento de aléias de *Erythrina poeppigiana*, na Costa Rica. Avaliando sistemas agroflorestais com aléias de *Eucalyptus urophylla* de 2,5 e 5,5 anos, Andrade et al (2002) verificaram que as plantas mais jovens, de copas menores, porém mais densas, proporcionavam uma menor disponibilidade de radiação.

Os resultados da colheita do gengibre no experimento 3, conduzido no bairro do Rio Escuro, quando comparados com os resultados do experimento 1 conduzido no bairro do Araribá, ambos em Ubatuba, sugerem que a mudança no sistema de poda no guandu feita para evitar o sombreamento excessivo não foi suficiente (a 1,20 m do nível do solo, no exp. 1 e raleando-se toda a copa no exp. 3).

A atribuição da competição às interações que ocorrem acima do solo e não às interações que ocorrem abaixo do solo tem como base a ocorrência de um ano chuvoso e a não resposta das plantas ao aporte de diferentes doses de fertilizante orgânico. A utilização da técnica de barreiras de lona de polietileno em trincheiras executada com sucesso por Willey & Reddy (1981) para diferenciar interações abaixo e acima do solo em consórcios de culturas anuais (milheto e amendoim) não seria aplicável no presente estudo pelo fato das linhas de cultivo de guandu e gengibre serem muito próximas (20 cm) em função da operação de amontoa. Em cultivo consorciado de leucena e milho conduzido em Queensland, na Austrália, de clima semelhante a Ubatuba e onde também se realiza o cultivo comercial do gengibre, Jeanes et al (1996) observaram que mesmo as linhas de milho próximas das aléias de leucena (37,5 cm) não apresentaram competição abaixo do solo.

Por meio da técnica de barreiras de polietileno, Gillespie et al. (2000) e Jose et al. (2000) conseguiram verificar a eficiência do sistema de poda em *Juglans nigra* e *Quercus rubra*, demonstrando que a redução na produção de milho ao longo de dez anos foi provocada pela competição das raízes. Contudo, Righi (2000) ponderou limitações na utilização desta prática ao observar que houve redução na produtividade de aléias de seringueira (*Hevea brasiliensis*), motivada provavelmente pelo corte das raízes quando da abertura de valas para a inserção da lona plástica. Em experimentos de curta duração e com plantas já estabelecidas, a abertura de valas para separar estudos de competição abaixo e acima do solo pode induzir a erros de interpretação.

A grande flutuação da disponibilidade de radiação solar nas condições do município de Ubatuba implica em sérias dificuldades à sua mensuração, já naturalmente dificultosa mesmo em monocultivos (LINVILL & DALE, 1975; GANIS, 1997) e ainda mais difícil em sistemas agroflorestais (BELLOW & NAIR, 2003). Andrade et al (2002), por exemplo, observaram em aléias de *Eucalyptus urophylla* uma variabilidade entre as leituras quanto à transmissão de luz de 6,5 % a 82 %.

O potencial do uso do gengibre como cultura intercalar em sistemas agroflorestais foi verificado por Newman et al (1997), no consórcio de plantas de *Paulownia elongata* com 16 m de altura, diâmetro de copa de 7 m e espaçamento de 3 x 5 m, com percentual de transmissividade da radiação de cerca de 50%. Nestas condições, o cultivo do gengibre apresentou produtividade 34% superior ao monocultivo a pleno sol, enquanto que o sombreamento proporcionou a diminuição da produtividade no cultivo intercalar de milho (0,68) e do feijão (0,63). Porém, para nenhuma das três culturas a diferença foi estatisticamente significativa, o que denota grande variabilidade nos resultados obtidos. Aparentemente, ensaios de campo com avaliação de tratamentos com diferentes transmissividade de radiação por meio de plantas que exercem o sombreamento introduzem uma maior variabilidade, além da já normalmente observada em experimentos de campo.

Comparando os efeitos da variação da radiação fotossinteticamente ativa em experimento de campo e em condições de cultivo controlado sobre três genótipos de feijão Ribeiro et al. (2004) verificaram que, sob condições controladas, os genótipos apresentaram

ponto de saturação em torno de 2 000 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e diferentes capacidades fotossintéticas, o que não foi observado sob condições de campo. O cultivar “carioca” foi o que apresentou o maior decréscimo quando cultivado em condições de campo (43%), enquanto que os cultivares “guarumbé” e “ouro negro” exibiram um decréscimo de 33% e 20%, respectivamente.

No presente estudo, consideradas as dificuldades de mensuração da transmissividade da radiação fotossinteticamente disponível em condições de campo e, a usual indisponibilidade de equipamentos para sua medição, considerou-se a quantificação da produtividade do gengibre como forma de integrar a medida de disponibilidade de radiação para a cultura. A referência utilizada foi a determinação da curva de resposta à variação de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, obtida por meio do IRGA.

Com sombreamento artificial, Duarte (1998) observou que a transmissividade da radiação de 70% foi a que proporcionou maior produtividade (cerca de 60 Mg ha^{-1}) para variedade brasileira de gengibre, havendo um efeito depressivo para o nível de sombreamento de 50%. Já para a variedade hawaiana o nível de sombreamento mais adequado foi o de 50% (produtividade de cerca de 40 Mg ha^{-1}). Este experimento foi conduzido a campo em Atibaia (SP), com irrigação e radiação solar média diária cerca de 20% superior à radiação solar média diária do município de Ubatuba (no verão 500 x 420 $\text{cal cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e no inverno 340 x 280 $\text{cal cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$; PEDRO JUNIOR et al., 1989).

Bovi & Godoy Junior (1990), avaliando densidade de plantio de palmitero (*Euterpe edulis*) em consórcio com seringueira (*Hevea brasiliensis*) em Ubatuba, já alertavam para a baixa disponibilidade de radiação no município quando comparado a outras regiões (1541 horas de insolação em média por ano contra 1920 horas em Pariquera-Açu, litoral sul de São Paulo). A dinâmica das florestas tropicais úmidas, como as que ocorrem no litoral norte paulista, são caracterizadas por mosaicos heterogêneos. Quando a fertilidade do solo e a disponibilidade de água e oxigênio no solo não são limitantes, distintas composições florísticas são ditadas predominantemente pela disponibilidade de radiação, destacando-se a arquitetura das diferentes espécies como estratégia das plantas no ambiente natural para superar a competição por luz (TORQUEBIAU, 1988; TORQUEBIAU & AKYEAMPONG, 1994).

O guandu, por possuir uma copa de porte baixo (entre 2,0 e 2,5 m) e uma grande capacidade de rebrota na época do verão, provavelmente acabou provocando no gengibre um sombreamento excessivo, já que aparentemente não houve competição pela disponibilidade de água e nutrientes. Com relação ao aproveitamento da radiação por parte do guandu, Ong et al. (1991) verificaram que quando cultivada solteira, esta espécie aproveitou apenas 22% da radiação disponível enquanto que o sorgo, ou a combinação guandu + sorgo, aproveitaram mais de 50% da radiação disponível nos primeiros 90 dias. Estes autores atribuíram o fato ao lento desenvolvimento do guandu nos primeiros 60 dias após o plantio, e recomendam o uso do guandu pela sua capacidade de explorar as camadas mais profundas durante a estação mais seca. No presente estudo, como as plantas de guandu haviam sido plantadas no ano anterior, com cerca de 30 dias após a primeira poda feita junto com o plantio em outubro o sombreamento já era superior a 50%, tendo sido necessária nova poda, visando prevenir a competição por luz e manter a transmissividade de luz fotossinteticamente disponível em torno de 50%. A grande capacidade de rebrota do feijão guandu, embora sendo uma característica desejável, no caso de sistemas em que o sombreamento provocado por ele possa se tornar um limitante para o desenvolvimento das culturas intercalares, precisa ser periodicamente podado e o custo de mão de obra destas operações deverá ser devidamente quantificado.

Com relação ao efeito das aléias no sombreamento, em experimento conduzido por Singh et al. (1989) na Índia com aléias de leucena (*Leucaena leucocephala*), espaçadas de

5 m, após e podadas a uma altura de cerca de 1 m, em 45 dias o sombreamento aumentou de 30 para 85% da radiação solar. Semwal et al. (2002) avaliaram cinco níveis de regime de poda em consórcios multidiversificados (sem poda, 25%, 50%, 75% e 100% de poda), concluindo que a poda de 75% da copa foi a que proporcionou menor competição por luz. Estes autores ressaltaram a importância de estudos de longa duração para resultados mais conclusivos, seja nas plantas podadas, seja nos cultivos intercalares. Assim sendo, a menor produtividade observada nas áreas sombreadas poderia ser compensada pelos benéficos proporcionados pelos restos de poda das aléias proporcionados a médio e longo prazos.

A poda das aléias de guandu, semeado em outubro de 2002, no ano agrícola 2003/2004 durante o período de cultivo do gengibre, significou o aporte de uma biomassa verde de cerca de 85 Mg ha⁻¹ enquanto que a poda das aléias de gliricídia proporcionou um produção de biomassa de 42 Mg ha⁻¹. Para minimizar o sombreamento dos cultivos intercalares devem ser considerados a forma (e densidade) da copa, a orientação e espaçamento das linhas de cultivo, o desenvolvimento fenológico das plantas e o regime de poda (CORLETT et al. 1992 b; CHIRKO et al. 1996_{a,b}). Segundo Lawson & Kang (1990), a execução da poda no tempo adequado é mais crítico quando as culturas intercalares são de baixa estatura como, por exemplo, o caupi e o gengibre.

Quando a avaliação se deu por meio da colheita dos rizomas em toda a parcela não houve diferença significativa entre os tratamentos sol e sombra. Todavia, com exceção do tratamento em que não houve aplicação de torta de mamona nem aplicação dos restos de poda do guandu (“zero”), em todos os outros tratamentos as parcelas sombreadas tiveram produtividade superior, notadamente no caso dos dois níveis mais altos de adubação, em que a produtividade na sombra foi cerca de duas vezes a das parcelas cultivadas a pleno sol. Estes resultados sugerem que as plantas de gengibre cultivadas a pleno sol estiveram mais sujeitas a condições de estresse, motivadas pelas oscilações climáticas ocorridas durante o período de cultivo, ocasionando uma maior ocorrência de podridões nos rizomas das plantas cultivadas a pleno sol. Porém, Beer et al. (1997) consideram que uma escolha não judiciosa de espécies para o sombreamento pode implicar em efeitos colaterais negativos, como é o caso da utilização de *Ingá* sp no sombreamento do café (*Coffea arabica*) servindo de hospedeiro alternativo para fitonematóides parasitas.

Uma alternativa para superar a variabilidade do parâmetro radiação total e radiação fotossinteticamente ativa é a utilização de atributos correlacionados mais estáveis.

Os efeitos positivos que podem ser proporcionados pelo sombreamento serão mais pronunciados quando a temperatura média do período exceder o nível ótimo para as culturas (em torno de 30 ° C), condição normalmente associada a estresse hídrico e fechamento dos estômatos (CORLETT et al. 1992 _{a,b}; FRANCESCO, 1999; PEREIRA et al., 2002). Jonsson et al (1999), avaliando diversos sistemas agroflorestais na África, verificaram que os efeitos resultantes de modificação na temperatura e na fertilidade do solo superaram eventuais efeitos deletérios provocados pelo sombreamento das árvores.

A variação da temperatura, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento, avaliados pela estação meteorológica situada ao lado do experimento 3, podem ser verificados nas Figuras 32, 33 e 34.

Observando-se a variação da temperatura e da umidade relativa do ar apresentados, pode-se notar que os períodos em que a temperatura esteve acima de 30 ° C foram mais frequentes no mês de dezembro. Embora a média da umidade relativa do ar nestes três meses tenha sido de cerca de 90%, em vários dias esteve abaixo de 60%, principalmente no mês de dezembro. A medição destes parâmetros poderia ter sido feita no interior dos tratamentos (sole e sombra), o que permitiria avaliar de forma indireta o efeito do consórcio no aproveitamento da radiação.

A alteração do micro clima por aléias no que diz respeito à disponibilidade de radiação pode ser bastante significativa. No México, em sistemas agroflorestais de café (*Coffea arabica*) sombreado com *Inga jinicuil* (205 árvores por ha e com uma altura média de 14 m), Barradas & Fanjul (1986) verificaram que neste sistema a amplitude térmica era de $1,5 \pm 0,2$ °C e em cultivo a pleno sol a amplitude térmica era de $5,4 \pm 1,5$ °C. Gajaseni & Gajaseni (1999) observaram que no interior de jardins multifuncionais a temperatura do solo era menor e a umidade relativa do ar maior, permitindo uma melhor conservação da água no solo.

As alterações na disponibilidade de energia e de água são determinantes no potencial de produtividade agrícola. A energia radiante, a temperatura e a umidade afetam o desenvolvimento e crescimento dos vegetais e de outros organismos presentes nos agroecossistemas. A disponibilidade de água dependerá do balanço entre chuva e evapotranspiração. O solo funciona como um reservatório ativo, influenciado pelo tipo de cobertura e pelo tipo de solo, que interage com a demanda atmosférica (disponibilidade energética, umidade do ar e velocidade do vento) (PEREIRA et al., 2002).

Com relação à velocidade do vento, os valores médios observados no presente estudo foram de $1,5 \text{ ms}^{-1}$. O mês de dezembro foi o que mais vezes a velocidade do vento foi superior a $2,5 \text{ ms}^{-1}$. Não foi possível observar predominância dos ventos em qualquer uma das direções, diferentemente do estudo conduzido por Friday e Fownes (2002) em cultivo de milho em aléias no Hawaí, que observaram predominância de ventos de intensidade média igual a $1,5 \text{ m s}^{-1}$ na direção nordeste.

Para Oteng (2000), danos severos podem ocorrer em sistemas agrícolas quando a velocidade do vento é superior a 10 m s^{-1} . Os resultados de velocidade do vento no experimento 3 no período avaliado estiveram bem abaixo deste valor. Porém, para Pereira et al., (2002), valores acima de 2 m s^{-1} implicam em elevada demanda evaporativa e conseqüente fechamento dos estômatos.

Quando a superfície está bem umedecida, a maior parte da energia disponível será utilizada para a evapotranspiração (70 a 80 %). Todavia, em alguns casos, mesmo com bastante umidade no solo, a planta não consegue absorver em uma taxa compatível com suas necessidades, resultando em fechamento temporário dos estômatos para evitar o secamento das folhas (PEREIRA et al., 2002).

Considerando os valores observados no presente trabalho para os parâmetros climáticos avaliados (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento), a combinação destes fatores pode ter exposto mais as plantas cultivadas em monocultivo à condição de estresse hídrico do que as plantas em cultivo consorciado.

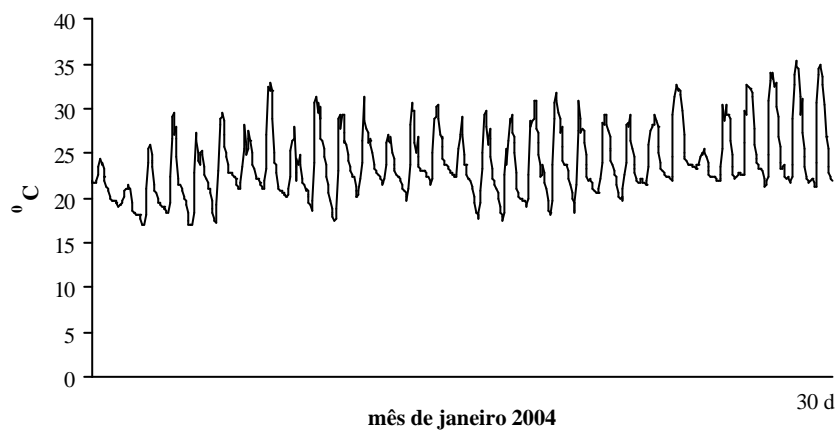
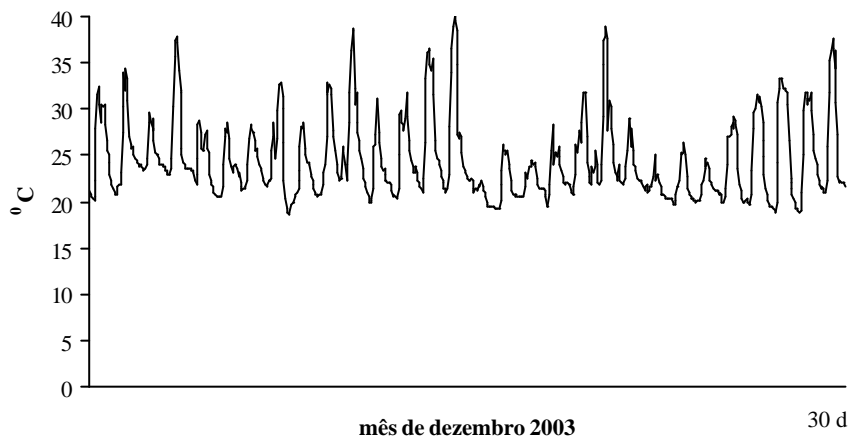
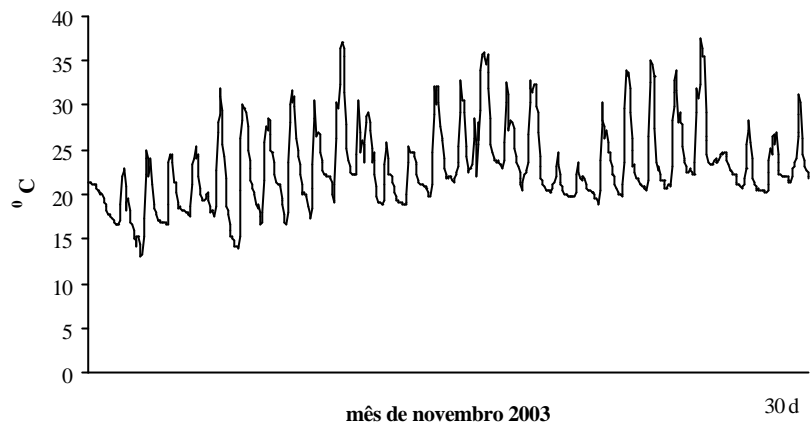


Figura 32 Variação da temperatura do ar ($^{\circ}$ C) no experimento 3 nos meses de novembro e dezembro de 2003 e janeiro de 2004

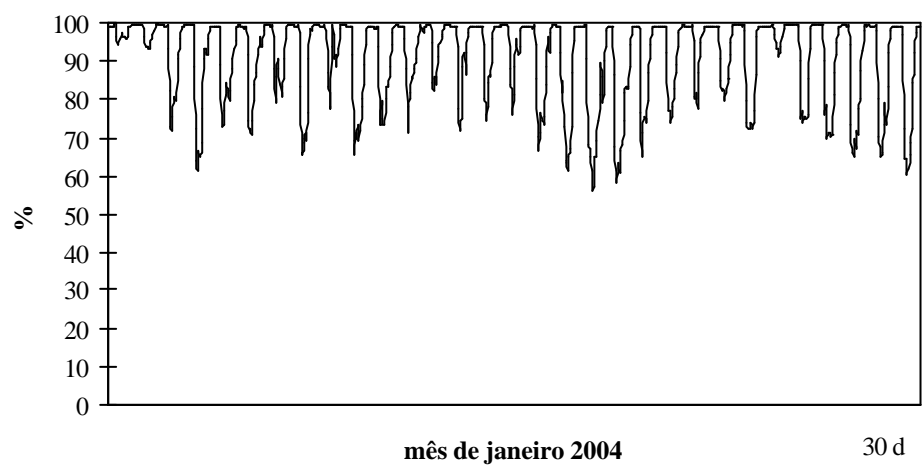
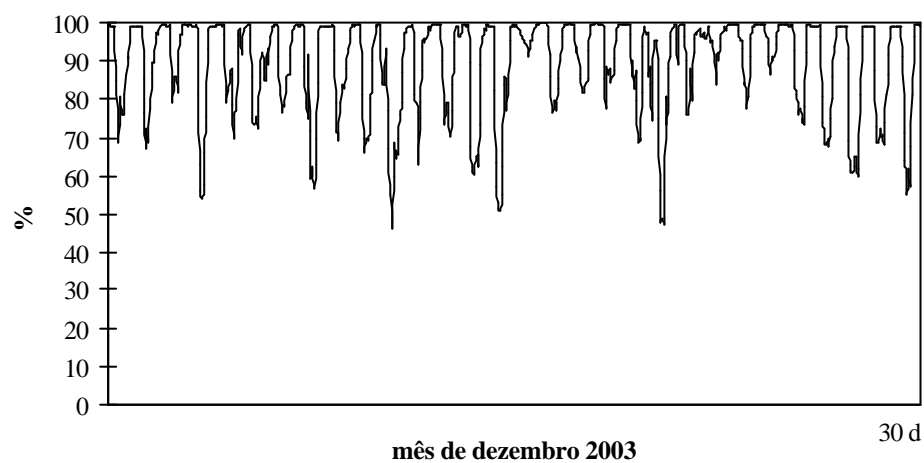
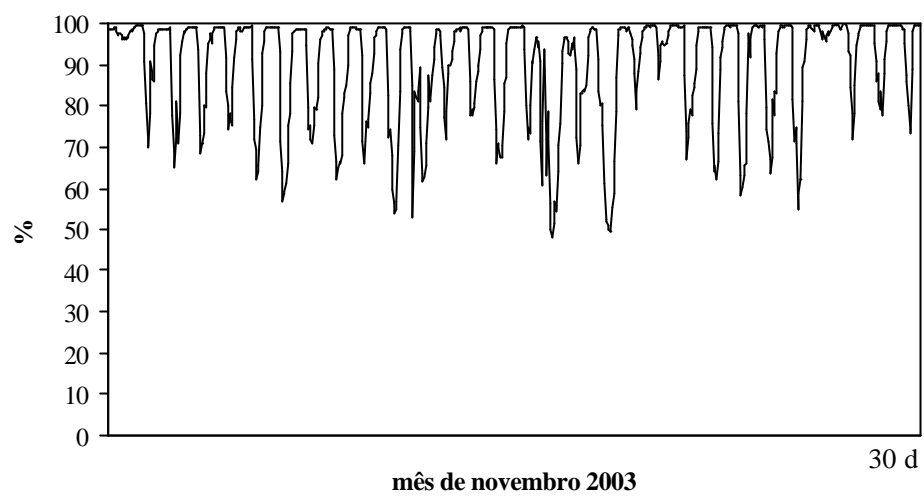


Figura 33 Variação da umidade relativa do ar (%) no experimento 3 nos meses de novembro e dezembro de 2003 e janeiro 2004

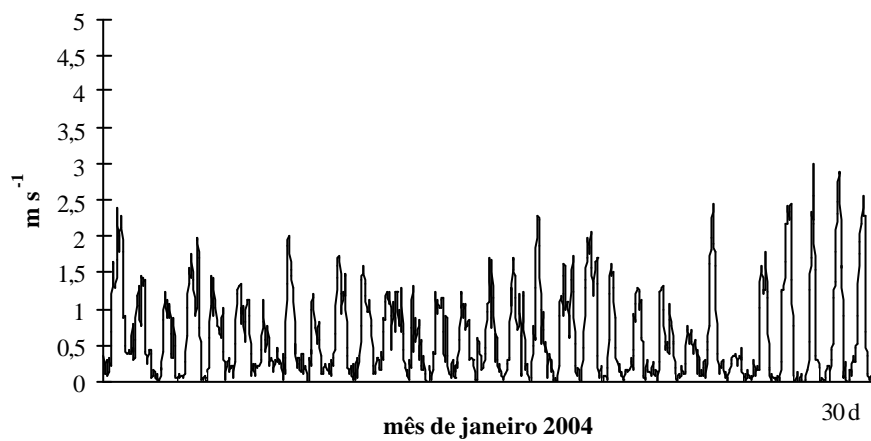
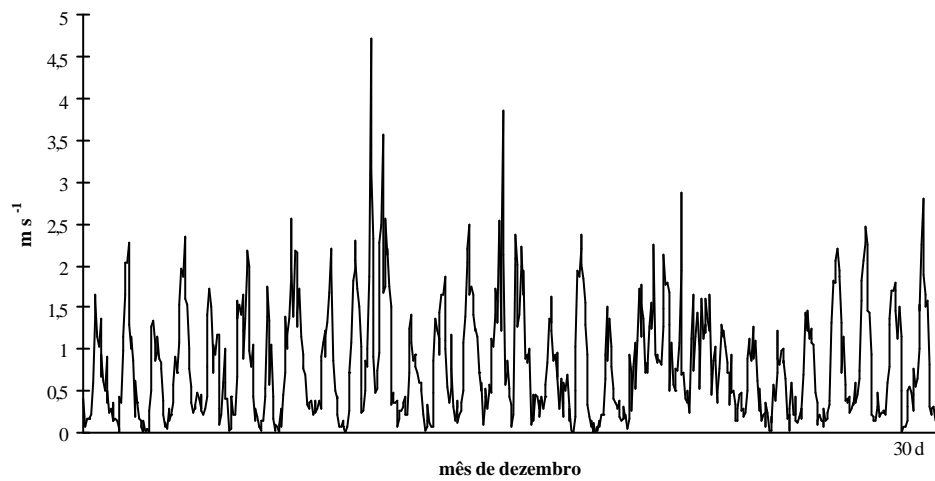
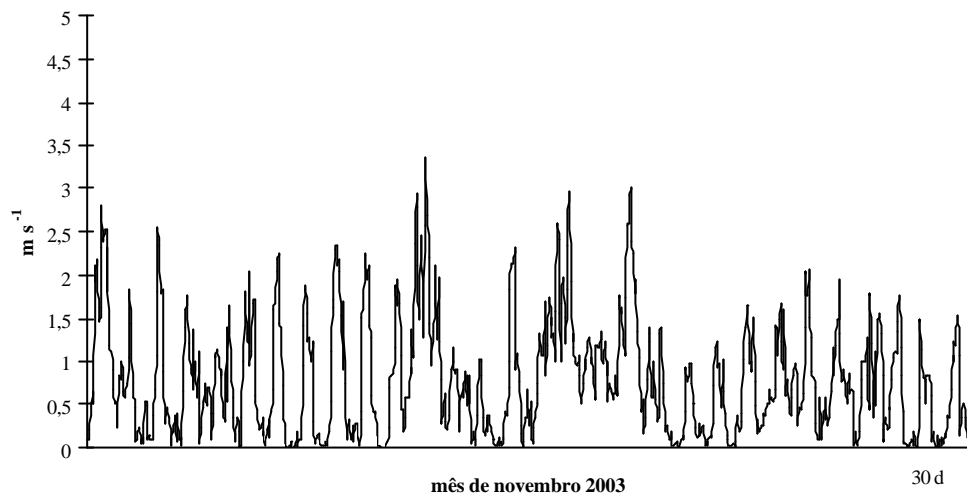


Figura 34 Variação da velocidade do vento no experimento 3 nos meses de novembro e dezembro 2003 e janeiro 2004

5 CONCLUSÕES

A produtividade do gengibre em monocultivo com fertilização de torta de mamona (600 kg ha^{-1} de N) foi significativamente superior à produtividade do gengibre com a adubação tradicionalmente utilizada na cultura ($1\ 000 \text{ kg ha}^{-1}$), com predominância de fertilizantes minerais.

A produtividade do gengibre em cultivo consorciado com leguminosas não diferiu da produtividade do gengibre em monocultivo, demonstrando o potencial destas plantas para aumentar a entrada de carbono neste sistema de produção.

O consórcio do gengibre com o capim napier apresentou grande competição. Desta forma, embora o cultivo intercalar do capim napier possa representar um grande aporte de material orgânico, a sua utilização na proporção em que ocorreu neste trabalho não é recomendada.

A macro e mesofauna do solo foi afetada pelo tipo de cobertura vegetal apenas nas camadas superficiais do solo, pelo sombreamento e pela qualidade dos resíduos orgânicos. O cultivo consorciado de leguminosas proporcionou uma maior diversidade da fauna edáfica. O gengibre em monocultivo, a pleno sol, favorece a dominância do grupo Formicidae, em detrimento de outros grupos de organismos. No consórcio com o capim napier, o grupo formicidae também foi favorecido, o que foi atribuído à qualidade dos resíduos orgânicos, com maior relação C/N. A aplicação da torta de mamona estimulou o aumento da fauna do solo, exceto para a dose mais elevada na qual aparentemente apresentou efeito tóxico.

Os diferentes níveis de fertilização com torta de mamona não afetaram os diferentes grupos tróficos de nematóides, porém o consórcio com guandu estimulou de forma significativa o aumento da população de fitonematóides. Esse resultado limita o cultivo de guandu em consórcio com gengibre.

O aporte da biomassa das leguminosas na ausência de torta de mamona e a dose mais elevada de torta proporcionaram um aumento no acúmulo de matéria orgânica do solo na camada superficial (0-20 cm) e nas doses intermediárias de torta chegou-se a observar um maior acúmulo de matéria orgânica na camada subsuperficial (20-40 cm). Estes resultados apontam que a combinação destas duas práticas têm potencial para, simultaneamente, disponibilizar nutrientes e promover o aumento da matéria orgânica do solo. Porém, há que se ressaltar que este início de alteração nos teores de matéria orgânica do solo não foi suficiente para melhorar de forma significativa as propriedades biológicas do solo, notadamente no que tange a supressividade da ocorrência de doenças de solo.

Não houve diferença significativa de produtividade tanto no cultivo consorciado quanto no monocultivo para os diferentes níveis de fertilização com torta de mamona utilizados nos dois solos (Gleissolo e Cambissolo). Esse resultado sugere que outros fatores estão limitando a produtividade. A relação N:K das fontes orgânicas utilizadas aparentemente não é adequada para a nutrição do gengibre.

Os teores de P observados em todos os tratamentos são muito elevados o que pode estar afetando a produtividade pela interação com micronutrientes. Os teores de K observados após a colheita do gengibre nas parcelas que só receberam a biomassa das podas e nas parcelas que receberam a maior dose de torta de mamona não apresentaram diferença significativa, sendo ambos considerados baixos. Os valores elevados da relação Ca/K observados podem estar contribuindo para limitar a produção.

O uso do penetrógrafo para a avaliação física não foi considerado adequado, enquanto que o método do infiltrômetro de anel, embora trabalhoso, permitiu visualizar uma significativa melhor infiltração nas parcelas com a presença de leguminosas.

As avaliações da disponibilidade de radiação e da necessidade do gengibre para maior eficiência fotossintética sugerem que em alguns momentos do cultivo consorciado a frequência das podas possa não ter sido suficiente para evitar a competição por luz. Em função de adaptações fisiológicas durante o crescimento da planta, os dados obtidos sugerem ser interessante uma maior disponibilidade de radiação na fase inicial de seu desenvolvimento.

Pode-se concluir que existe viabilidade do consórcio do gengibre com leguminosas uma vez que nos sistemas de produção estudados os cultivos consorciados apresentaram produtividade de rizomas semelhante ao monocultivo. Para as condições estudadas, o cultivo do gengibre com aléias de leguminosas tem potencial para, em médio prazo, aumentar os teores de matéria orgânica do solo sem reduzir a produção de rizomas de gengibre. O risco do incremento de fitonematóides em função de consórcios deverá sempre ser ponderado.

O efeito acumulativo da biomassa das leguminosas nas propriedades biológicas, químicas e físicas do solo no cultivo do gengibre em consórcio poderá proporcionar maior sustentabilidade a este sistema de produção agrícola.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estabelecimento de consórcios, notadamente quando estes implicam na introdução de arbustos e árvores, representam uma grande mudança no desenho do sistema de produção.

A realização da experimentação destas inovações na propriedade rural permite que o agricultor participe da incorporação de adequações ao processo e conviva com várias formas de avaliação da sustentabilidade do sistema de produção, para poder ponderá-los com a produtividade da cultura principal.

Como os efeitos positivos esperados da consorciação de plantas ocorrem de maneira acumulativa e de forma relativamente lenta, considera-se importante que parte significativa da experimentação nesta área ocorra nas propriedades rurais e com a ativa participação do agricultor.

Considerando-se que as condições agroecológicas do litoral norte de São Paulo apresentam potencial para a implantação de cultivos consorciados e adoção de sistemas agroflorestais, recomenda-se a quantificação da demanda de mão-de-obra de novas práticas e a avaliação econômica destes sistemas de produção agrícola.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAWI, G.S.; WIDMER, T.L. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n.1, p. 37–47, Aug. 2000.

ACLAN, F.; QUISUMBING, E.C. Fertilizer requirement, mulch and light attenuation on the yield and quality of ginger. **The Philippine Agriculturist**, Laguna, v. 60, n. 1, p. 183-191, Feb. 1976.

AGBEDE, ; A.M. Effect of tillage on soil properties and yam yield on an Alfisol in southwestern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 1, p. 1–8, mar. 2006.

AGUS, F.; GARRITY, D.P.; CASSEL, D.K. Soil fertility in contour hedgerow systems on sloping oxisols in Mindanao, Philippines. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 50, n. 2, p. 159-167, mar. 1999.

AKHTAR, M.; MAHMOOD, I. Control of plant-parasitic nematodes with organic and inorganic amendments in agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 4, n.3, p. 243-247, Nov. 1996.

AKONDE, T.P.; KÜHNE, R.F.; STEINMÜLLER, N.; LEIHNER, D.E. Alley cropping on an Ultisol in subhumid Benin. Part 1: Long-term effect on maize, cassava and tree productivity. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 1-12, Apr. 1996.

AKONDE, T.P.; KÜHNE, R.F.; STEINMÜLLER, N.; LEIHNER, D.E. Alley cropping on an Ultisol in subhumid Benin. Part 3: Nutrient budget of maize, cassava and trees. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 213-226, Jun. 1997.

ALBRECHT, A.; KANDJI S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 99, n. 1/3, p. 15–27, Oct. 2003.

ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; PAULA, M.B.; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.

ALEGRE, J.C.; CASSEL, D.K. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash-and-burn. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 58, n. 1, p. 39-48, Oct. 1996.

ALMEIDA, H. A. Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e a global no agroecossistema cacau. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1999. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, S.G.; PETERSEN, P.; CORDEIRO, A. **Crise sócio-ambiental e conversão ecológica da agricultura brasileira**; subsídios a formulação de diretrizes ambientais para o desenvolvimento agrícola. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2001. 121 p.

ALPHEY, T.J.W.; ROBERTSON, W.M.; LYON, G.D. Rishitin a natural plant product with nematicidal activity. **Revue de Nématologie**, Montpellier, v. 11, n 4. p. 399-404, Apr. 1988.

ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 2. ed. Guaíba: AS-PTA, 2002. 592 p.

ALTIERI, M. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1/3, p. 19-31, Dec. 1999.

ALVES, S.M.C.; ABOUD, A.C.S.; RIBEIRO, R.L.D.; ALMEIDA, D.L. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1111-1117, nov. 2004.

AMLINGER, F.; GÖTZ, B.; DREHER, P.; GESZTI, J.; WEISSTEINER, C. Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability—a review. **European Journal of Soil Biology**, Amsterdam, v. 39, n. 3, p. 107-116, Jul. 2003.

ANDERSON, A.B. Extraction and forest management by rural inhabitants in the Amazon Estuary. In: _____. **Alternative to deforestation**: steps toward sustainable use of the Amazon Rain Forest. 2nd ed. Cali: Columbia University Press, 1990. p. 65-85.

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility**: a handbook of methods. 2nd ed. Wallingford: CAB, 1993. 221 p.

ANDERSON, S.; GÜNDEL, S.; POUND, B.; TRIONPHE, B. **Cover crops in smallholder**: lessons from Latin America. 2nd ed. London: ITDG, 2001. 136 p.

ANDRADE, C.M.S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O.G. Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 1 p. 19-23, jan, 2002.

ANDRADE, L.R.M.; ICUMA, I.M.; JUNQUEIRA, N.T.V.; CARIA, C.T.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.J. **Cobertura de solo em pomares de maracujazeiro**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados. 2002. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).

ANDRETTA, G.C. Governo do Estado do Paraná. Valor Bruto da Produção Paranaense 1997 a 2006. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/seab/valor_bruto.pdf>. Acesso em 10 maio 2008.

ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; RAMOS, D.F. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 91-115.

AQUINO, A.M. Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema. In: AQUINO, A.M de; ASSIS, R.L. **Processo biológicos no sistema solo-planta**: ferramenta para uma agricultura sustentável. Brasília: Embrapa Formação Tecnológica, 2005. p. 55-78.

AQUINO, A.M. **Manual para macroflora do solo**. Seropédica. EMBRAPA Agrobiologia. 2001. 20 p. (Documentos, 130.)

ARAÚJO, P.B. de. Isopodos: os crustáceos colonizadores da terra. **Acta Biológica Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 16, n. 2, p. 15-27, 1994.

AREVALO, L.A.; ALEGRE, J.C.; BANDY, J.C.; SZOTT, L.T. The effect of cattle grazing on soil physical and chemical properties in a silvopastoral system in the Peruvian Amazon. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 109-124, Feb. 1998.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, May/Jun. 2005.

ARROW, K; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C.S.; JANSSON, B.; LEVIN, S.; MÄLER, K.; PERRINGS, C.; PIMENTEL, D. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Ecological Applications**, Washington, v.6, n.1, p. 13-15, Feb. 1996.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 153-160, Feb. 2002.

ASSIS JÚNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J.C.; KASUYA, M.C.M.M.; COUTO, L.; MELIDO, R.C.N. Atividade microbiana do solo em sistemas agrofloretais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n. 1, p.35-41, jan/fev. 2003.

ASSIS, F.N.; MENDES, M.E.G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 2. n. 7, p. 797-800, jul. 1989.

ASSIS, J.C. **Resistência de clones de batata à podridão mole (*Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*)**. 2007. 51 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

BADEJO, M. A.; TOGUN, A.O., (Ed.). **Strategies and tactics of sustainable agriculture in the tropics**. Ibadan: College Press; Surulere: Emproct Consultants, 1998. v. 1. p.68-84.

BALARDIN, R. **Fundamentos da resistência em plantas**. Disponível em: <<http://www.balardin.com.br>>. Acesso em: 01.set.2005.

BALASUBRAMANIAN, V.; SEKAYANGE, L. Effects of tree legumes in hedgerows on soil fertility changes and crop performance in the semi-arid highlands of Rwanda. **Biological Agriculture and Horticulture**, New Jersey, v. 8, p. 17-32, Jan. 1991.

BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Soil organic carbon/soil organic matter. In: PEVERILL, K.I.; SPARROW, L.A.; REUTER, D.J. **Soil analysis: an interpretation manual**. Melbourne: CSIRO Publishing, 1999. p. 159-170.

BARBER, W.J. **Uma história do pensamento econômico**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1971. 250 p.

BARBOSA, Z. **Efeito do fósforo e do zinco na nutrição e crescimento de *Myracrodumurundeuva* Fr. All. aroeira do sertão**. 1994. 51 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P. ; MAFRA, A.L.; WILDENER, D.do P.; MIQUELLUTI, D.J. **Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense**. Disponível em: <http://www.cav.udesc.br/revista_cv_2004/dilmar>. PDF. Acesso em: 10 jan. 2006.

BARRADAS, V.L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea Arabica* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 38, n. 1/3, p. 101-112, Oct. 1986.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M.F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1287-1293, out. 2001.

BARTHOLOMEW, W.V., MEYER, J. AND LAUDELOUT, H. **Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi region**. Brussels: Institute National pour l'Etude Agronomique du Congo, 1953. (Serie Scientifique, v. 57,).

BARZEGAR, A.R.; YOUSEFI, A.; DARYASHENAS, A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 247, n. 2, p. 295-301, Dec. 2002.

BAUER, A.; BLACK A.L. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. **Soil Science Society American Journal**, Stanford, v. 56, n. 1, p. 248-254, Jan-Feb. 1992.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BEARE, M.H.; COLEMAN, D.C.; CROSLEY, JR. A hierarchical approach to biogeochemical cycling. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 5-22, Mar. 1995.

BECKER, B.K. Amazônia: construindo o conceito e a conservação da biodiversidade na prática. In: GARAY, I.; DIAS, B. **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 92-111.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 38, n. 1/3, p. 139-164, Jul. 1997.

BELLOW, J.G.; NAIR, P.K.R. Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 197-211, Jan. 2003.

BENJAMIN, T.J.; HOOVER, W.L.; SEIFERT, J.R.; GILLESPIE, A.R. Defining competition vectors in a temperature alley cropping system in the midwestern USA. 4. The economic return of ecological knowledge. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 79-93, Feb. 2000.

BENTES-GAMA, M.M.; SILVA, M.L.; VILCAHUAMÁN, L.J.M.; LOCATELLI, M. Análise econômica de sistemas agroflorestais na amazônia ocidental, Machadinho d'oeste-Ro. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n. 3, p.401-411, mar. 2005.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 60, n. 2/3, p. 175-189, Dec. 1998.

BERNARDES, M.S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T.; **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 13-48.

BERTON, R.S.; PRATT, P.F.; FRANKENBERGER, W.T. Phosphorus availability in soils amended with organic materials, estimated by three chemical methods and two enzyme activities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n. 4, p. 617-624, abr. 1997.

BHARATI, L.; LEE, K.; H ISENHART,; T.M.; SCHULTZ, R.C. Soil-water infiltration under crops, pasture, and established riparian buffer in Midwestern USA. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 56, n. 1, p. 31-35, Oct. 2002.

BISHT, J.K. Performance of ginger (*Zingiber officinale*) and turmeric (*Curcuma longa*) with fodder tree based silvi-horti system in Hills. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 70, n. 7 p. 431-433, Jul. 2000.

BLAIR, J.M.; BOHLEN, P.J.; FRECKMAN, D.W. Soil invertebrates as indicators of soil quality. . In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 273-291. (Special Publication number, 49).

BODDEY, R.M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R.M.; FERREIRA, E. OLIVEIRA, O.C.; REZENDE, C. P.; CANTARUTTI, R.B.; PEREIRA, J.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 389-403, Jul. 2004.

BODDEY, R.M.; SÁ, J.C.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil, Biological and Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, n. 5/6, p. 787-799, May. 1997.

BÖHRINGER, A.; TAMÔ, M.; DREYER, H.M. Growth and productivity of pigeonpea (*Cajanus cajan*) genotypes for use in alley cropping and their interactions with the environment. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 30, n. 2, p. 207-215, Feb. 1994.

BONGERS, T. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, Berlin, v. 83, n. 1, p. 14-19, May. 1990.

BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 14, n. 6, p. 224-228, Jun.1999.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2001. 500 p.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R.; OLIVEIRA JUNIOR, A.O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, Jan. 2003.

BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 129-136, Feb. 2002.

BOVI, M. L. A.; GODOY JUNIOR, G. Densidade de plantio de palmito em consórcio com seringueiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 7 p. 1023-1029, Jul. 1990.

BRANSTOOM, C. Rethinking the `Atlantic Forest' of Brazil: new evidence for land cover and land value in western Sao Paulo, 1900±1930. **Journal of Historical Geography**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 420-439, Jul. 2002.

BRASIL. Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 26 dez. 2006. Seção I. p 1-3.

BRASIL, Ministério das Relações Exteriores. **Economia**. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2008.

BROADLEY, R. **Ginger in Queensland Commercial production**. Department of Primary Industries and Fisheries. Disponível em: <<http://www.qld.gov.au/horticulture>>. Acesso em: 01 set. 2005.

BUCKLES, D.; TRIOMPHE, B. Adoption of mucuna in the farming systems of northern Honduras. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 47, n. 1/3, p. 67-91, Dec. 1999.

BULLUCK III, L.R.; BARKER, K.R.; RISTAINO, J.B. Influences of organic and synthetic soil fertility amendments on nematode trophic groups and community dynamics under tomatoes. **Applied Soil Ecology**. Amsterdam, v.21, n. 3, p. 233-250, Oct-Nov. 2002.

BURCH, J.B.; PEARCE, T.A. Terrestrial gastropoda. In: DINDAL, D.L. (Ed.). **Soil biology guide**. New York: John Wiley, 1990. p.201-309.

CALDEIRA, P.S.A. **Cinética de degradação de compostos orgânicos no solo**. 1997. 68 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

CAMARGO, A.M.M.P.; CASER, D.V.; CAMARGO, W.P. Evolução e aspectos econômicos da cultura de gengibre. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 44., 2004. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande. UFCG, 2004. 1 CD-ROM.

CAMARGO, O.A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44 p.

CANNELL, M.G.R.; MOBBS, D.C.; LAWSON, G.J. Complementarity of light and water use in tropical agroforests. II. Modelled theoretical tree production and potential crop yield in arid to humid climates. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 102, n. 2/3, p. 275-282, Mar. 1998.

CANNELL, M.G.R.; VAN NOORDWIJK, M.V.; ONG, C.K. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 27-31, Apr. 1996.

CASSEL, D.K. Spatial and temporal variability of soil physical properties following tillage of Norfolk loamy sand. **Soil Science Society of America Journal**, Stanford, v. 47, n. 2, p. 196-201, Mar. 1983

CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.A.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.997-1003, abr.1999.

CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de uma Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p. 254-258, fev. 2001.

CEREZINE, P.C.; OLINISKY, I.A.; BITTENCOURT, M.V.L.; VALÉRIO FILHO, W.V. Mancha foliar de phyllosticta em gengibre: caracterização cultural do patógeno e efeito de tratamentos químicos no controle da doença em Morretes, Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 477-487, Apr. 1995.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos**. Porto Alegre: LPM, 1986. 256 p.

CHAN, K.Y.; HEENAN, D.P.; OATES, A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 63, n. 3/4, p. 133-139, Jan. 2002.

CHIRKO, C.P.; GOLD, M.A.; NGUYEN, P.V.; JIANG, J.P. Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Qp) in a Paulownia-wheat intercropping system. **Forest, Ecology and Management**, Amsterdam, v. 83, n. 3, p. 171-180, Jul. 1996_a.

CHIRKO, C.P.; GOLD, M.A.; NGUYEN, P.V.; JIANG, J.P. Influence of orientation on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Qp) at the tree and crop interface in a Paulownia-wheat intercropping system. **Forest, Ecology and Management**, Amsterdam, v. 89, n 1/3, p. 149-156, Dec. 1996_b.

CHIRWA, T.S.; MAFONGOYA, P.L.; CHINTU, R. Mixed planted-fallows using coppicing and non-coppicing tree species for degraded Acrisols in eastern Zambia. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 59, n. 3, p. 243-251, Nov. 2003.

CHIRWA, T.S.; MAFONGOYA, P.L.; MBEWE, D.N.M.; CHISHALA, B.H. Changes in soil properties and their effects on maize productivity following Sesbania Sesban and Cajanus cajan improved fallow systems in eastern Zambia. **Biology and Fertility Soils**, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 20-27, Jun. 2004.

CHOWDHURY, P.C. Intercropping short-duration summer crops with ginger in Daejeeling hills. **Indian Farming**, New Dehli, v. 37, n. 11, p. 4-5, Feb. 1988.

CHRISTENSEN, B.T. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of models structure. In: POWLSON, D.S.; SMITH, P.; SMITH, J.V. (Ed.). **Evaluation of soil organic matter models**. Berlin: Spring-Verlag, 1996. p. 157-170.

CICHOTA; R. van LIER Q. de JONG; LEGUIZAMÓN ROJAS, C. A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p.789-798, Oct. 2003.

CINCOTTA, R.P. WISNEWSKI, J.; ENGELMAN, R. Human population in the biodiversity hotspots. **Nature**, London, v. 404, n. 27, p. 990-992, Apr. 2000.

COCHRAN, V.L.; SCHLENTNER, S.F. Intercropped oat and fababean in Alaska: Dry matter production, dinitrogen fixation, nitrogen transfer, and nitrogen fertilizer response. **Agronomy Journal**, Stanford, v. 87, n. 3, p. 420-424, May. 1995.

COCHRANE, T.T. Chemical properties of native savanna and forest soils in central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Stanford, v.53, n. 1, p.139-141, Jan. 1989.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: safra 2007-2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 05 maio 2008.

CONWAY, G. The properties of agroecosystems. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 24, n. 1, p.95-117, Oct. 1987.

COOK, R.J. Introduction of soil organisms to control root diseases. In: PANKHUR, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPT, V.V.S.E.; GRACE, P.R. **Soil biota: management in sustainable farming systems**. Melbourne: C.S.I.R.O. 1994. p. 13-22.

COOMBS, J.; HALL, D.L.; LONG, S.P.; SCURLOCK, J.M. **Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad**. 3rd ed. Texcoco. Editorial Futura, 1988. 259 p.

CORLETT, J.E.; BLACK, C.R.; ONG, C.K.; MONTEITH, A. Above and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 60, n. 1/2, p. 73-91, Aug. 1992_b.

CORLETT, J.E.; ONG, C.K.; BLACK, C.R.; MONTEITH, A. Above and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. I. Experimental design, instrumentation and diurnal trends. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 60, n. 1/2, p. 53-72, Aug. 1992a.

CORRÊA, V.R. **Influência de fertilizantes nas comunidades de nematóides em cerrado nativo sensu stricto**. 2002. 71 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

CORREIA, M.E.F. **Distribuição, preferência alimentar e transformação de serapilheira por diplópodes em sistemas agroflorestais**. 2003. 100 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CORREIA, M.E.F. **Relações entre diversidade de fauna do solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. 33 p. (Documento 156).

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.197-226.

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G.; FARAIA, S.M. Sucessão das comunidades de macroartrópodos edáficos em plantações de três leguminosas arbóreas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 1997. 1 CD-ROM.

COSTA, F.X; SEVERINO, L.S.; BELTRÃO, E. de M.; FREIRE, R. M.M;LUCENA, A.M.A.de ; GUIMARÃES, M.M.B. Composição química da torta de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2004, Campina Grande. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/anais_mamona/>. Acesso em: 23 nov.2005.

D'HONDT-DEFranc, M. Nematodes and agroforestry. **Agroforestry Today**, Nairobi, v. 5, n. 2, p. 5-9, Apr-Jun. 1993.

DALY, H.E. **A economia ecológica e o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1991. 21 p. (Textos para debate, 34).

DANIEL, O.; COUTO, L.; SILVA, E.; PASSOS, C.A.M.; GARCIA, R.; JUCKSCH, I. Proposta de um conjunto mínimo de indicadores biofísicos para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas agroflorestais. **Cerne**, Viçosa, v.7, n. 1, p. 41-53, jan. 2001.

DANSO, S.K.A.; BOWEN, G.D.; SANGINGA, N. Biological nitrogen fixation in trees in agro-ecosystems. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 141, n. 1/2, p. 177-196, Mar. 1992.

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

DEBIASI, C. FELTRIN, F.; MICHELUZZI, F. C. Micropropagation of ginger (*Zingiber officinale*). **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 61-65, Jan-Mar. 2004.

DENICH, M.; VLEK, P.L.G.; SA´, T.D.A.; VIELHAUER, K.; LU´CKE, W. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 110, n. 1/2, p. 43–58, Oct. 2005.

DEPONTI, C.M.; ECKERT, C.; AZAMBUJA, J.L.B. Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3. n. 4, p. 44-52, out-dez. 2002.

DEVIDE, A.C.P.; MARCHIORI, A.C.C.; LIMA, N.A.; CASTRO, C.M.; CASTILHO, A.M.C.; RIBEIRO, R.LD. Diagnóstico da produção de gengibre (*Zingiber officinale*) do litoral norte de São Paulo. Tecnologia, sócio-economia, cultura e ambiente. In: CONGRESSO DE PESQUISA CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, 1., 2003, Seropédica. **Anais...** Seropédica: UFRRJ, 2003. 1 CD-ROM.

DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P.;TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.;JONES, A.J., (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 247-272.

DIEGUES, A.C. Etnoconservação da natureza: enfoques alternativos. In: DIEGUES, A.C. **Etnoconservação: novos rumos para a conservação da natureza nos trópicos**. São Paulo: Hucitec/Annablume/NUPAUB. 2000. p. 1-46.

DIEKOW, J; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KOGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 87–95, Mar. 2005.

DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. **Soil, Biological and Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, n. 5/6, p. 771-774, May. 1997.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 25-37. (Special Publication, 49).

DOVER, M.J.; TALBOT, L.M. **Paradigmas e princípios ecológicos para a agricultura**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 42 p. (Textos para debate, 44).

DRECHSEL, P.; STEINER, K.G.; HAGEDORN, F.; A review on the potential of improved fallows and green manure in Rwanda. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 33, n. 2, p. 109-136, Feb. 1996.

DRINKWATER, L.E.; CAMBARDELLA, C.A.; REEDER, J.D.; RICE, C.W. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison:Soil Science Society of América, 1996. p. 217-229. (Special Publication number, 49).

DUARTE, FR. **Efeito da atenuação de luz e da adubação mineral de cobertura sobre a produtividade e a qualidade de duas variedades de gengibre (*Zingiber officinale* Rosc.)**. 1998. 98 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

DUDAL R.; DECKERS, J. Soil Organic matter in relation to soil productivity. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Chichester: John Wiley, 1993. p. 377-380.

EKSCHMITTA, K.; GRIFFITHS, B. S. Soil biodiversity and its implications for ecosystem functioning in a heterogeneous and variable environment. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.10, n.3, p. 201-215, Nov. 1998.

ELPO, E. R. S. NEGRELLE, R.R.B. *Zingiber officinale* Roscoe: Aspectos botânicos e ecológicos. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 27-32, Jan. 2004.

ELPO, E.R.S.; NEGRELLE, R.R.B.; GOMES, E.C. Avaliação da qualidade microbiológica do gengibre "in natura" comercializado na região metropolitana de Curitiba, PR. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 139 -146, fev. 2004.

ELPO, E.R.S.; NEGRELLE, R.R.B.; RÜCKER, N.G.A. Produção de gengibre no município de Morretes, PR. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.9, n. 2, p.211-217, fev. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE EXTENSÃO RURAL - EMATER. Informações sobre a cultura do gengibre. In: ENCONTRO DE PRODUTORES DE GENGIBRE, 11., 1991. Morretes, Paraná. **Papéis...Morretes**: EMATER, 1991. 14 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. EPAGRI. **Normas técnicas da cultura do gengibre. Litoral catarinense e litoral paranaense**. Florianópolis: EPAGRI/EMATER/PR/IAPAR, 1998. 26 p.

EPSTEIN, E. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. **Journal of Environment Quality**, Stanford, v. 4, n. 3, p. 422-426, Jul-Sep. 1975.

ESPÍNDOLA, J.A.A.; **Avaliação de leguminosas herbáceas perenes usadas como cobertura viva do solo e sua influência sobre a produção da bananeira (*Musa* spp)**. 2001. 144 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

ETTEMA, C.H.; BONGERS, T. Characterization of nematode colonization and succession in disturbed soil using the Maturity Index. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 16, n. 2, p. 79-85, Jul. 1993.

EWEL, J.J. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 245-271, Nov. 1986.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n. 1, p.73-78, jan. 2004.

FELLER, C. Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low-activity clay soils in tropical zones. In: MULONGOY, K; MERCKX, R. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Chichester: John Wiley , 1993. p. 77-88.

FELLER, C.; BEARE; M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1/4, p. 69-116, Sep. 1997.

FERNANDES, A.R.; CARVALHO, J. G.; MELO, P. C. Efeito do fósforo e do zinco sobre o crescimento de mudas do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.). **Revista Cerne**, Lavras, v.9, n. 2, p. 221-230, jul-dez. 2003.

FERNANDEZ, I.; CABANEIRO, A.; CARBALLAS, T. Organic matter changes immediately after a wildfire in an atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 1-11, jan. 1997.

FERRAZ, L.C.C.B Doenças causadas por nematóides em batata-doce, beterraba, gengibre e inhame. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 182, p. 31-38, 1995.

FERRIS H.; MATUTE, M.M. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 23, n. 2 p. 93-110, Jun. 2003.

FERRIS, H.; MULLENS, T.A.; FORD, K.E. Stability and characteristics of spatial description parameters for nematode populations. **Journal of Nematology**, Burlington, v. 22, n. 4, p. 427-439, Oct. 1990.

FIGUEIRA, A.F. **Dinâmica da população de nematóides do solo em quatro sistemas de uma unidade de produção agroecológica**. 2002. 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro., 2002.

FIGUEIREDO, P.J.M. **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. Piracicaba: Editora UNIMEP, 1994. 240 p.

FORTUNA, A.; HARWOOD, R.; KIZILKAYA, K.; PAUL, E.A. Optimizing nutrient availability and potential carbon sequestration in an agroecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 35, n. 8, p. 1005-1013, Aug. 2003.

FOSTER, S. G.. Disponível em: < <http://www.stevenfoster.com/education/monograph/ginger.html> >. Acesso em: 16 out. 2002.

FOWLER, H.G. Ecologia, formigas indicam nível de recuperação de áreas degradadas pela mineração. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.4, n. 1, p. 69-71, jan. 1998.

FOWNES, J.H.; ANDERSON, D.G. Changes in nodule and root biomass of *Sesbania sesban* and *Leucaena leucocephala* following coppicing. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 138, n. 1, p. 9-16, Dec. 1991.

FRANCESCO, I. Plant physiology and microclimate: examples of study on grapevine and apple in North-Italy. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1999. 1 CD-ROM.

FRANZLUEBBERS, A.J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, p. 197-205, Jul. 2002.

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; SANTOS, H.P.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, n. 34, p. 221-230, Mar. 2002.

FRIDAY, J.B.; FOWNES, J.H. A simulation model for hedgerow light interception and growth. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 108, n. 1, p. 29-43, May, 2001.

FRIDAY, J.B.; FOWNES, J.H. Competition for light between hedgerows and maize in an alley cropping system in Hawaii, USA. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 55, n. 2, p. 125-137, Sep. 2002.

FUENTES-QUEZADA, E. Economic growth and long-term carrying capacity: how will the bill be split? **Ecological Applications**, Washington, v. 6, n. 1, p. 29-30, 1996.

FUKAI, S.; ALCOY, A.B.; LLAMELO, A. B.; PATTERSON R.D.. Effects of solar radiation on growth and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) I. Canopy development and dry matter growth. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 9, p. 347-360, 1984.

FURCH, K ; KLINGE H **Chemical relationships between vegetation, soil and water in Forest and Savanna Ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1989. p. 189-204.

GACHENGO, C.N.; PALM, C.A.; JAMA, B.; OTHIENO, C. Tithonia and senna green manures and inorganic fertilizers as phosphorus sources for maize in Western Kenya. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 21-36, Nov. 1998.

GAJASENI, J.; GAJASENI, N. Ecological rationalities of the traditional homegarden system in the Chao Phraya, Thailand. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 3-23, Jun. 1999.

GANIS, A. Radiation transfer estimate in a row canopy: a simple procedure. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 88, n. 1-4, p. 67-76, Dec. 1997.

GARAY, I.; DIAS, B. **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Petrópolis: Vozes, 2001. 430 p.

GARCIA-BARRIOS, L; ONG, C.K. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 61-62, n. 1/3, p. 221-236, Jul. 2004.

GAUR, A. C.; MUKHERJEE, D. Recycling of organic matter through mulch in relation to chemical and microbiological properties of soil and crop yields. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.56, n. 2, p. 273-281, jun. 1980.

GEIGER, S.C., A. MANU, A. BATIONO. Changes in sandy sahelian soil following crop residue and fertilizer additions. **Soil Science Society of America Journal**, Stanford, v. 56, n. 1, p. 172-177, jan/fev. 1992.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 3, p. 477-484, 2004.

GHINI, R.; DOMINGUES, F.; BETTIOL, W. **Casca de camarão para o controle de murcha de Fusarium em gengibre**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 3p. (circular técnica 11)

GIAMPIETRO, M. PASTORE, G. Multidimensional Reading of the Dynamics of Rural Intensification in China: The Amoeba Approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**. Philadelphia, v.18, n. 3, 299-330, may. 1999.

GIAMPIETRO, M., BUKKENS, S., PIMENTEL, D. General trends of technological change in agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v.18, n. 3, p. 261-282, may. 1999.

GILLER, K.E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. London: Cab International. 2001. 423 p.

GILLESPIE, A. R.; JOSE, S.; MENGEL, D.B.; HOOVER, W.L.; POPE, P.E.; SEIFERT, J.R.; BIEHLE, D.J.; STALL, T.; BENJAMIN, T. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 25-40, Feb. 2000.

GINGER: Geographic distribution, biology and ecology, properties, use. Disponível em: <<http://www.runetwork.de/html/en/articles/document.html>>. Acesso em: 12 fev. 2004.

GIRARDI, C.G.; SILVA, M.F.; PESCADOR, R. Influência da luz na aclimação de mudas de *Zingiber officinale* - Roscoe (Zingiberaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n.2, p. 759-761, jul. 2007.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS. 2000. 653 p.

GOMES, F.P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. 3 ed. Piracicaba: Potafós, 1985. 160 p.

GOMES, G.S., HUANG, S.P.; CARES, J.E. Nematode community, trophic structure and population fluctuation in soybean fields. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 258-266, Mai-Jun. 2003.

GONZÁLEZ, G.; LEY, R.E.; SCHIMIDT, S.K.; ZOU, X.; SEASTEDT, T.R. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. **Oecologia**, Berlin, v. 128, n. 4, p. 549-556, Aug. 2001.

GONZALEZ, M.I.M. ; GALLARDO, J.F. El efecto hojarasca (fallen; trash, trifles): una revision. **Anales de Edafologia y Agrobiología**, Madrid, v. 41, n. 1, p. 1129-1157, Jan.1982.

GRANHA, J.R.D.O. **Comportamento dos agroecossistemas com a utilização de seus componentes estruturais como fatores indicativos de sua sustentabilidade (ensaios e estudos de caso)**. 1999. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1999.

GRAY, D.; GARRETT, H.E.G. Nitrogen fertilization and aspects of fruit yield in a Missouri black walnut alley cropping practice. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 44, n. 2/3, p. 333-344, Dec. 1999.

GROFFMAN, P.M.; BOHLEN, P.J. Soil and sediment biodiversity. **Bioscience**, Washington, v. 49, n. 2, p. 139-148, Feb. 1999.

GUHA, R. O biólogo autoritário e a arrogância do anti-humanismo. In: DIEGUES, A.C. **Etnoconservação: novos rumos para a conservação da natureza nos trópicos**. São Paulo: Hucitec/Annablume/NUPAUB, 2000. p. 81-99.

HACKER, S.D.; GAINES, S.T. Some implications of direct positive interactions for community species diversity. **Ecology**, Washington, v. 78, n. 7, p. 1990-2003, Oc.t. 1997.

HALL, D.O.; RAO, K.K. **Fotossíntese**. 4 .ed. São Paulo: Edusp, 1980. 89 p.

HANSEN, J.W. Is Agricultural Sustainability a useful concept? **Agricultural Systems**, Amsterdam, v 50, n. 2, p. 117-143, May . 1996.

HARTE, J. Confronting visions of a sustainable future. **Ecological Applications**, Washington, v. 6, n. 1, p. 27-29, Feb. 1996.

HARTEMINK, A.E. Biomass and nutrient accumulation of Piper aduncum and Imperata cylindrica fallows in the humid lowlands of Papua New Guinea. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 144, n. 1/3, p. 19-32, Apr. 2001

HARTEMINK, A.E. Nutrient stocks of short-term fallows on a high base status soil in the humid tropics of Papua New Guinea. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 63, n.1, p. 33-43, Dec. 2004.

HARTEMINK, A.E. Soil science in tropical and temperate regions – some differences and similarities. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 77, p. 269-292, 2002.

HARTGE, K.H.; BOHNE, H.; SCHREY, H.P.; EXTRA, H. Penetrometer measurements for screening soil physical variability. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 5, n. 4, p. 343-350, Aug. 1985.

HAWS, N.W.; LIU, B.; BOAST, C.W.; RAO, P.S.C.; KLADIVKO, E.J.; FRANZMEIER, D.P. Spatial variability and measurement scale of infiltration rate on an agricultural landscape. **Soil Science Society of America**, Stanford, v. 68, n. 6, p. 1818-1826, Nov.2004.

HILGARD, E.H. **Soils, their formation, properties, composition and relation to climate and plant growth**. New York: Macmillan, 1906. 208p.

HOFFMANN, L.L., REIS, E.M., FORCELINI, C.A., PANISSON, E., MENDES, C.S. & CASA, R.T. Efeitos da rotação de cultura, de cultivares e da aplicação de fungicida sobre o rendimento de grãos e doenças foliares em soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.29, n. 3, p. 245-251, mai-jun. 2004.

HOLLOWAY, M., Sustaining the Amazon. **Scientific American**, v. 77. p. 91-99, jul. 1993.

HOUGHTON, R.A. Land-use change and the carbon cycle. **Global Change Biology**, San Francisco, v. 1, n. 4, p. 275-287, Apr. 1995.

HUXLEY, P. **Tropical Agroforestry**. Oxford: Blackwell Science, 1999. 371 p.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

ISHIMURA, I.; SUGUINOSITA, L.N.; PENTEADO, L.A.C. **Informações sobre a cultura do gengibre**. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, 1984. 14 p. (Mimeografado)

ITONG, R.B.; VILLAMAYOR JR.; F.G. Effect of shading on some root crops. **The Radix**, Baybay, v. 13, n. 1, p. 8-9, jan. 1991.

JAEHN, A.; N.S. LAMBERT, N.S. Uso de torta de mamona como nematicida em viveiro de café. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 8, p.285-294, 1984.

JAMA, B.; BURESH, R.J.; NDUFA, J.K.; SHEPHERD, K.D. Vertical distribution of roots and soil nitrate: tree species and phosphorus effects. **Soil Science Society of American Journal**, Stanford, v. 62, n. 1, p. 280-286, Jan-Feb. 1998.

JAMA, B.; SWINKELS, R.A.; BURESH, R.J. Agronomic and economic evaluation of organic and inorganic sources of phosphorus in western Kenya. **Agronomy Journal**, Stanford, v. 89, n. 4, p. 597-604, Jul. 1997.

JASWAL, S.C.; MISHRA, V.K.; VERMA, K.S.; Intercropping ginger and turmeric with poplar (*Populus deltoids* `G-3` Marsh.) **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 22, n. 2, p. 111-117, Nov. 1993.

JAYACHANDRAN, K.; BAI, M.M.; SALAN, M.A.; MAMMEN, M.K.; MATHEW, K.P. Performance of ginger under shade and open conditions. **Indian Cocoa, Arecanut and Spices Journal**. Calicut, v. 15, n. 2, p. 40-41, Feb. 1991.

JEANES, K.W.; GUTTERIDGE, R.C.; SHELTON, H.M. Competition effects between leucaena and maize grown simultaneously in an alley cropping system in sub-tropical Australia. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 32, n. 1, p. 49-56, Jan. 1996.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Davis, v. 48, n. 9, p. 692, Sep. 1964.

JOLY, C.A.; BICUDO, C.E.M. Fungos Macroscópicos e Plantas. In: BICUDO; C. E. M. SHEPHERD, G.J. **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil**: síntese do conhecimento ao final do século XX. São Paulo: FAPESP, 1998. 79p.

JONES, C.G.; LAWTON, J.H.; SHACHAK, M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. **Ecology**, Washington, v. 78, p.1946-1957, 1997.

JONSSON, K.; ONG, C.K.; ODONGO, C.W. Influence of scattered nére and karate trees on microclimate soil fertility and millet yield in Burkina Faso. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 35, n. 1, p. 39-53, Jan. 1999.

JOSE, S.; GILLESPIE, A.R.; SEIFERT, J.R.; BIEHLE, D.J. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the Midwestern USA. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 41-59, Feb. 2000.

JUO, A.S.R.; MANU, A. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.58, n. 1, p. 49-60, Jun. 1996.

KAY, B.D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. **Advances in Soil Science**, New York, v. 12, n. 1, p. 1-52, jan. 1990.

KHANDKAR, U.R.; NIGAM, K.B. Effect of famyard manure and fertility level on growth and yield of ginger (*Zingiber officinale*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 66, n. 9, p. 545-550, sep. 1996.

KHATOUNIAN, C.A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 348 p.

KLADIVKO, E.J. Tillage systems and soil ecology. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 1-2, p. 61-76, Aug. 2001.

KOEHLER, H. Secondary succession of soil mesofauna: A thirteen year study. **Applied Soil Ecology**. Amsterdam, v. 9, p. 81-86, n. 1/3, Sep. 1998.

KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea Arabica* L. I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, Jan. 1980.

KUMAR, N.; JOSHI, M.C. Ginger cultivation in Uttarakhand region. **Indian Farmer`s Digest**, Uttarakhand, v. 17, n. 3. p. 13-14, Mar. 1984.

LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: I. Soil moisture and crop yields. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 7-29, Feb. 1989_a.

LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: V. Water infiltrability, transmissivity and soil water sorptivity. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 217-238, Jun. 1989 b.

LAL, R. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 1/3, p. 101-116, Nov. 1988.

LAL R. **Métodos para a avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97 p. (EMBRAPA Meio Ambiente – Documentos, 3).

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 3 ed. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LAVELLE, P. Ecological challenges for soil science. **Soil Science**, Washington, v.165, n. 1, p. 73-86, Jan. 2000.

LAVELLE, P. Fauna activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, Amsterdam, v. 27, p. 93-132, 1997.

LAWSON, T.L.; KANG, B.T. Yeld of maize and cowpea in an alley cropping system in relation to available light. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 52, n.3/4, p. 347-357, Sep, 1990.

LEAR, B. Application of castor pomace and cropping of castor beans to soil to reduce nematode populations. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 43, p. 459-460, 1959.

LEE, M. T.; EDWARDS, D.G.; ASHER, C.J. Nitrogen nutrition of ginger (*Zingiber officinale*). II. Establishment of a leaf analysis test. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 4, p. 69-81, 1981.

LEE, M. T.; ASHER, C.J. Nitrogen nutrition of ginger (*Zingiber officinale*) - effects of sources, rates, and times of nitrogen application. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 23-34, Feb. 1981.

LEFROY, E.C.; HOBBS, R.J.; O'CONNOR, M.H.; PATE, J.S. What can agriculture learn from natural ecosystems ? **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 45, n. 1/3, p. 423-436, mar. 1999.

LIEBMAN, M. Sistemas de policultivos. In: ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. p.347-368.

LINFORD, M. B. Stimulated activity of natural enemies of nematodes. **Science**, New York, v. 85, p. 123-124, 1937.

LINFORD, M. B., F. YAP, and J. M. OLIVEIRA.. Reduction of soil populations of root-knot nematode during decomposition of organic matter. **Soil Science**, Philadelphia, v. 45, p. 127-141, 1938.

LINVILL, D.E.; DALE, R.F. Population density and sampling location effects on net radiation measurements over corn. **Agronomy Journal**, Stanford, v. 67, n. 4, p. 463-468, jul. 1975.

LONERAGAN, J.F. GRUNES, D.L. WELCH, R.M.; ADUAYI, E.A.; TENGAH, A.; LAZAR, V.A.; CARY, E.E. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply **Soil Science Society of America**, Stanford, v. 46, n. 6, p.1247-1254, Nov. 1982.

LONG, S.P.; HALLGREN, J.E. Measurement of CO₂ assimilation by plants in the field and the laboratory. In: COOMBS, J.; HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHÀR-NORDENDAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. (Ed.). **Photosynthesis and production in a changing environment. a field and laboratory manual**. London: Chapman & Hall, 1988. p. 129-165.

LORDELLO, L.G.E. **Nematóides das plantas cultivadas**. 4 ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1986. 197 p.

LOUCKS, O.L. Emergence of research on agro-ecosystems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 8. p. 173-192, Nov. 1977.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T.; **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 1-12.

LUNZ, A.M.P.; FRANKE, I.L. **Recomendações técnicas para desenho de sistemas agroflorestais multiestratos no estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre. 1998. 5 p. (Comunicado Técnico Embrapa, 87).

LUNZ, A.M.P.; MELO, A.W.F. **Monitoramento e avaliação dos principais desenhos de sistemas agroflorestais multiestratos do projeto reca**. Rio Branco: Embrapa Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre. 1998. 4p. (Comunicado Técnico Embrapa ' 134).

LYNCH, J.M. **Biotecnologia do Solo**. 2 ed. São Paulo: Editora Manole. 1986. 209 p.

MAEDA, H.A.. **Efeito da cobertura morta, aduações orgânica e mineral sobre as produções comercial e industrial de gengibre (*Zingiber officinale*)**. 1990. 62 p. Monografia - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Jaboticabal., 1990.

MAFONGOYA, P.L.; GILLER, K.E.; PALM, C.A. Decomposition and nitrogen release patters of tree prunings and litter. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 38, n. 1/3, p. 77-97, jul. 1998.

MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R. Multipurpose tree prunings as a source of nitrogen to maize under semiarid conditions in Zimbabwe. I. Nitrogen-recovery rates in relation to pruning quality and method of application. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 35, n. 1, \p. 31-46, Feb. 1996_a.

MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R. Multipurpose tree prunings as a source of nitrogen to maize under semiarid conditions in Zimbabwe. II. Nitrogen-recovery rates and crop growth as influenced by mixtures and prunings. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 35, n.1 p. 47-56, Feb. 1996_b.

MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R. Multipurpose tree prunings as a source of nitrogen to maize under semiarid conditions in Zimbabwe. III. Interaction of pruning quality and time and method of application on nitrogen recovery by maize in two soil types. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 35, n.1, p. 57-70, Feb. 1996.

MAFRA, A.; MIKLÓS, A.A.W. Fertilizantes minerais solúveis e suas inconveniências ambientais: coletânea bibliográfica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE AGRICULTURA BIODINÂMICA, 3., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Esalq, 1998. p. 30-57

MAIN, A.R. How much biodiversity is enough ? **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 45, n. 1/3, p. 23-41, Mar. 1999.

MAISTRE, J.L. **Las Plantas de especias**. Barcelona. Blume. 1969. cap. 2, p. 21-56: El jengibre y la cúrcuma.

MAJER, J.D.; RECHER, H. Are eucalypts Brazil's friend or foe? An entomological viewpoint. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.28, n. 2, p. 85-200, jun. 1999.

MANNOR, G.; CLARK, R.L.; RADCLIFFE, D.E.; LANGDALE, G.W. Soil cone index variability under fixed traffic tillage systems. **Transactions of the ASAE**, Cambridge, v. 34, n. 5, p. 1952-1956, Oct. 1991.

MAPA, R.B.; GUNASENA, H.P.M Effect of alley cropping on soil aggregate stability of a tropical Alfisol. **Agroforestry Systems**. Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 237-245, Dec. 1995.

MARCHIORI, A.C.C. **Avaliação de agroecossistemas que receberam aplicação de composto de resíduos sólidos urbanos por longos períodos**. 2000. 187 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

MARCHIORI, A.C.C. FOCHT, D.; SPAROVEK, G. Planejamento da Reciclagem de resíduos orgânicos urbanos do município de Piracicaba (SP), através da estimativa da demanda do setor agropecuário. Fase 1: aproveitamento do composto de resíduos sólidos urbanos na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). In: SATHLA - SUSTAINABLE AGRICULTURE IN TROPICAL AND SUBTROPICAL HIGHLANDS WITH SPECIAL REFERENCE TO LATIN AMERICAN, 1., 1999. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 1999. p. 51-53.

MARCHIORI, A.C.C.; FOCHT, D.; SPAROVECK, G. Impacto do gerenciamento integrado da destinação de resíduos sólidos urbanos na conservação do solo e da água. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 145-146.

MARLEY, P.S.; HILLOCKS, R.J. Effect of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on fusarium wilt in pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 46, n.1/3, p. 15-20, jun. 1996.

MARQUES, R. **Efeito do fósforo e zinco na nutrição e crescimento de porta-enxertos de seringueira (Hevea brasiliensis Muell. Arg.)**. 1990. 110 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1990.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 3th ed. London: Academic Press, 1995. 452 p.

MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.32, n. 3, p. 361-369, Mar. 2000.

MARTINS, F.R.; SANTOS, F.A.M. Técnicas usuais de estimativa da biodiversidade. **Revista Holos** v. 1 (edição especial). p. 236-267. 1999. Disponível em: <<http://www.cefetrn.br/ojs/index.php/HOLOS/>>. Acesso em: 10.maio .2005.

MARTIUS, C.; HÖFER, H.; GARCIA, M.; MARCOS, V.B.; RÖMBKE, J.; FÖRSTER, B.; HANAGARTH, W. Microclimate in agroforestry systems in central Amazonia: does canopy closure matter to soil organisms ? **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 60, n. 3, p. 291–304, May. 2004.

MATTOS, J.K.A. Doenças causadas por fungos em batata-doce, beterraba, cará, gengibre e inhame. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17. p. 25-28, 1995.

MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; PEREIRA, H.S.; MENEZES, G.M.; TAGLIARINI, C.H. Influência da compactação no desenvolvimento do sistema radicular de citros: sugestão de método qualitativo de avaliação e recomendações de manejo. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 15, n. 2, p. 251-262, fev. 1994.

MEKONNEN, K.; BURESH, R.J.; JAMA, B. Root and inorganic nitrogen distributions in Sesbania fallow, natural fallow and maize fields. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 188, n. 2, p. 319-327, Jan. 1997.

MELEIRO, M. **Desenvolvimento de Zingiberales ornamentais em diferentes condições de luminosidade**. 2003. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas., Campinas, 2003.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRANETTO, A.; KIEHL, J.C. **Fertilidade do solo**. 5 ed. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutriente para as plantas. In: AUTOR(ES) **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.

MENDES-FERRÃO, J. **Especiarias - Cultura, Tecnologia, Comércio**. Lisboa: Instituto de Investigação Científica e Tropical, 1993. 52 p.

MENDONÇA, E.S.; STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 57, n. 2, p. 117-125, Feb. 2003.

MERLIM, A. de O.; GUERRA, J. G. M.; JUNQUEIRA, R. M. AQUINO, A. M; de. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.62, n. 1, p. 57-61, jan. 2005.

MICHAEL, J.E.; PETER, A.; DEWEE, P.A. Trees in managed landscapes: factors in farmer decision making. In: BUCK, L.E.; LASSOIE, J.P.; FERNANDES, E.C.M. **Agroforestry in sustainable agricultural systems**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 277-294.

MINC, L.D.; VANDERMEER, J. The origin and spread of agriculture. In: CARROL, C.R.; VANDERMEER, J.H.; ROSSET, P.M. **Agroecology**. New York: McGrawhill, 1990. p. 65-111.

MONTEIRO, A.R. Controle de nematóides por espécies de adubos verdes. In: WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRONOMICO, 1., 1993. Campinas **Resumos...**Campinas: IAC, 1993. p. 109-121. (Documentos IAC 35).

MORAES, M.V.; LORDELLO, L.G. E. Uso de torta de mamona no controle de nematóides em solo para viveiro de café. **Sociedade Brasileira de Nematologia**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 267-271, 1977.

MORAIS, H.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38. n. 10. p. 1131-1137, out. 1999.

MORAIS, H.; MEDRI, M.E.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C. Modifications on leaf anatomy of coffea arábica caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47. n. 6. p. 863-871, Jun. 2004.

MOTAVALLI, P.P.; ANDERSON, S.H.; PENGTHAMKEERATI, P.; GANTZER, C.J. Use of soil cone penetrometers to detect the effects of compaction and organic amendements in claypan soils. **Soil & Tillage, Research**, Amsterdam, v. 74, n. 2, p. 103-114, Dec. 2003.

MOURÃO FILHO, F.A.A.; AZEVEDO, J.C.; NICK, J.A. Função e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranja Valência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 185-192, fev. 2002.

MUNRO, T.L.; COOK, H.F.; LEE, H.C. Sustainability indicators used to compare properties of organic and conventionally managed topsoils. **Biological Agriculture and Horticulture**, Oxon, v. 20, n. 3, p. 201-214, Mar. 2002.

MUSSURY, R.M.; SCALON, S.P.Q.; SILVA, S.V. Study of acari and collembola populations in four cultivation systems in Dourados – MS. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 257-264, Mar. 2002.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 24, p. 853-858, Feb. 2000.

NAIR, P.K.R Do tropical homegardens elude science, or is it the other way around ? **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 239-245, Oct. 2001.

NAIR, P.K.R.; BURESH, R.J.; MUGENDI, D.N.; LATT, C.R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. In: BUCK, L.E.; LASSOIE, J.P.; FERNANDES, E.C.M. **Agroforestry in sustainable agricultural systems**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 1-31.

NAZARENO, N.R.X. Controle da mancha do amarelão (*Phyllosticta* sp) do gengibre com fungicidas comerciais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 13, p. 142-146, 1995.

NEAVE, P.C.A. Fox Response of soil invertebrates to reduced tillage systems established on a clay loam soil. **Applied Soil Ecology**. Amsterdam, v. 9, n. 1/3, p. 423-428, Sep. 1998.

NEGRELLE, R.R.B.; ELPO, E.R.S.; RÜCKER, N.G.A. Análise prospectiva do agronegócio gengibre no estado do Paraná. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n. 4, p. 1022-1028, out-dez. 2005.

NEHER, D.A. Soil community composition and ecosystem processes: comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 45, n. 1/3, p. 159-185, Mar. 1999.

NEVES, D. I.; HUANG, S.P. Differential Responses of Nematode Communities to Soybean Genotypes Resistant and Susceptible to *Heterodera glycines* race 3. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.30, n. 1, p. 21-25, Jan-Feb. 2005.

NEWMAN, S.M. Low-cost sensor integrators for measuring the transmissivity of complex canopies to photosynthetically active radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 35, n. 1/4, p. 243-254, Oct. 1985.

NEWMAN, S.M.; BENNETT, K.; WU, Y. Performance of maize, beans and ginger as intercrops in Paulownia plantations in China. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 39, n. 1, p. 23-30, Oct. 1997.

NICOLARDOT, B., FAUVET, G. CHENEBY, D. Carbon and nitrogen cycling through soil microbial biomass at various temperatures. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p. 253-261, Feb. 1994.

NOGUEIRA, E.A.; MELLO, N.T.C. Um caso bem-sucedido: a produção familiar de gengibre em Tapiraí, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.31, n. 10, p. 53-59, out. 2001.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

NYGREN, P. Un modelo de los patrones de sombra de arboles manejados con podas periodicas en sistemas agroflorestales. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 177-188, fev. 1993.

NYGREN, P.; MARAUX, F.; SANCHEZ, G.A. Transmision de la radiacion solar en la copa de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F.Cook. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 167-176, fev. 1993.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1/4, p. 377-400, Mar. 1993.

ODHIAMBO, H.O.; ONG, C.K.; DEANS, J.D.; WILSON, J.; KHAN, A.A.H.; SPRENT, J.I. Roots, soil water and crop yield: tree crop interactions in a semi-arid agroforestry system in Kenya. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 235, n. 2, p. 221-233, Aug. 2001.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R.P.; GORDON, A.M. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 104, n. 3, p. 359-377, dec. 2004.

OKE, M. The concept of sustainability in agroecosystems – myth or reality. In: ADETOLA, M.; TOGUN, A.D. **Strategies and tactics of sustainable in the tropics**. Nigeria: College Press. Ibadan, 1998. p. 1-8

OKWUOWULU, P.A.; ENE, S.O.; ODURUKWE, S.O.; OJINAKA, T.I. Effect of time of planting and age at harvest on the yield of the stem-tuber and shoots in ginger (*Zingiber officinale*) in the rainforest zone of south-eastern Nigeria. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 26, n. 22, p. 209-212, 1990.

OLIVEIRA, F. J. de. Combinações de espaçamentos e populações de plantas de caupi e de milho em monocultura e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n. 8, p.931-945, ago. 1993.

OLIVEIRA, F.L.; RIBEIRO, R.L.D.; SILVA, V.V.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. Desempenho do inhame (taro) em plantio direto e no consórcio com crotalária, sob manejo orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n. 3, p.638-641, jul-set. 2004.

OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agrônômico. 1999b. 112 p.

OLIVEIRA, R.R. **O rastro do homem na floresta: sustentabilidade e funcionalidade da mata atlântica sob manejo caiçara**. 1999a 150 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

OLSEN, S. R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W. L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of American, 1972. p.243-264.

ONG, C.K.; CORLETT, J.E.; SINGH, R.P. BLACK, C.R. Above and below ground interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, n. 1/4, p. 45-57, Nov. 1991.

ORIAN, G.H. Economic growth, the environment, and ethics. **Ecological Applications**, Washington, v. 6, n. 1, p. 26-27, Feb. 1996

OTENG, S.B.B.; STIGTER, C.J.; ANG`A, J.K.; MUNGAI, D.N. Wind protection in a hedged agroforestry system in semiarid Kenya. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 50, n. 2, p. 137-156, May. 2000.

PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 105-124, Feb. 1995.

PANIGRAHI, U.C.; PATRO, B.R. Effects of application of NPK through FYM and fertilizers and time of harvesting on yield of ginger. **Journal of Maharashtra Agricultural Universities**, Maharashtra, v.12. p. 350-354, 1987.

PAOLETTI, M.G.; Using bioindicators base on biodiversity to assess landscape sustainability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1/3, p. 1-18, jun. 1999.

PARK, J.; COUSINS, S.H. Soil biological health and agro-ecological change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 137-148, Dec. 1998

PARKER, C.F.; SOMMERS, L.E. Mineralization of nitrogen in sewage sledges. **Journal of Environment Quality**, Stanford, v. 12, n. 1, p. 150-156, Jan-Mar. 1983.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D. ANDROCIOLI FILHO, A.; VIEIRA, M.J. Alteração da agregação do solo em função do manejo em lavouras cafeeiras. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 205-215, 1995_a.

PAVAN, M.A.; VIEIRA, M.J.; ANDROCIOLI FILHO, A. Influência do manejo das plantas daninhas em lavoura cafeeira na capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis no solo com cargas variáveis. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 305-311, 1995_b.

PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P.; CHIAVEGATTO, O.M.D.P.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O. **Disponibilidade de radiação solar global para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1989. 13 p. (Boletim Técnico,123)

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia. fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C.; CAMARGO, M.B.P. Solar radiation regime in three cassava (*Manihot esculenta* Crantz) canopies. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 1-10, Mar. 1982.

PERFECT, E.; GROENEVELD, P.H.; KAY, B.D.; GRANT, C.D. Spatial variability of soil penetrometer measurements at the mesoscopic scale. **Soil & Tillage, Research**, Amsterdam, v. 16, n. 3, p. 257-271, May. 1990.

PETERSEN, P. Diagnóstico ambiental rápido e participativo: levantando informações e mobilizando a comunidade para um manejo sustentável das terras. Rio de Janeiro, **Cadernos de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 4, p. 22-28, 1996.

PINHEIRO, E.F.M. ; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 79-84, May. 2004.

PINTO, L.P.S.; COSTA, J.P.O.; FONSECA, G.A.B.; COSTA, C.M.R. Mata Atlântica: ciência, conservação e políticas. In: WORKSHOP CIENTÍFICO SOBRE A MATA ATLÂNTICA, 1., 1996. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Conservation International do Brasil, 1996. 23 p.

POWLES, S.B. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 35, p. 15-44, 1984.

PRATA, F.; HIKISHIMA, M.; SANTOS FILHO, A.; MOTTA, A.C.V. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions em solos do Estado do Paraná. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 69-74, 1996.

PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops – Monocotyledons**. Essex: Longman, 1981. p. 519-541. (Zingiberaceae).

QUEENSLAND GOVERNMENT. Department of Primary Industries & Fisheries. **Ginger**. Disponível em: <<http://www.dpi.qld.gov.au/>>. Acesso em: 20 nov. 2005.

RAIJ, B. van; A capacidade de troca de cátions das frações orgânicas e mineral em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 28. p. 85-112. 1969.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem**. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (IAC Boletim Técnico,100).

RAO, M.R.; NAIR, P.K.R.; ONG, C.K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 38, n. 1/3, p. 3-50, Jul. 1998.

RAO, M.R.; SINGH, M. Productivity and Risk Evaluation in Contrasting Intercropping Systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 23, n. 3/4, p. 279-293, Jun. 1990.

RAO, M.R.; SINGH, M.P.; DAY, R. Insect pest problems in tropical agroforestry systems: contributory factors and strategies for management. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 50, n. 3, p. 243-277, Dec. 2000.

RAVISANKAR, C.; MUTHUSWAMY, S. Study on the quality of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) grown in different light intensities. **South Indian Horticulture**, Bangalore, v.35, p. 226-231, 1987.

REDDY, M.S.; WILLEY, R.W. Growth and resource use studies in an intercrop of pearl millet-groundnut. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 4, p. 13-24, 1981.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**. Barueri: Manole. 2004. 469 p.

REIJNTJES, C.; HAVERKORT, B.; WATERS-BAYER, A. **Agricultura para o futuro: uma introdução à agricultura sustentável e de baixo uso de insumos externos**. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1994. 324p.

REIS JUNIOR, R.A.; MONNERAT, P.H. DRIS norms validation for sugarcane crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 379-385, Mar. 2003.

RESENDE, M.;LANI J.L.; REZENDE S.B. Pedossistemas da mata atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26. n. 3, p.261-269, 2002.

RESENDE, MAURO. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1997. 100 p.

RIBEIRO, D. D.; D.D.; MENDONÇA, M.R.; HESPANHOL, A. N. Relações de trabalho na agricultura mecanizada: a monocultura da soja em Goiás. Barcelona, **Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, v. 6, n. 119, 2002. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn119-81.htm>>. Acesso em: 05.maio 2008.

RIBEIRO, R.V.; SANTOS, M.G.; SOUZA, G.M.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F.; ANGELOCCI, L.R.; RICE, C.W.; MOORMAN, T.B.; BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America. 1996. p. 203-215. (Special Publication, 49).

RIGHI, C.A. **Interações ecofisiológicas acima e abaixo do solo em um sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis*) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)**. 2000. 121 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

RODRIGUES, A. TOMMASINO, H.; FOLADORI, G; GREGORCZUK, A. É correto pensar a sustentabilidade em nível local ? Uma análise metodológica de um estudo de caso em uma Área de Proteção Ambiental no litoral sul do Brasil. **Ambiente & Sociedade**. v. 5/6, n. 2/1, p. 109-127, ago-dez. 2002, jan-jul. 2003.

RODRÍGUEZ, J.A.V. **Efecto de niveles de nitrógeno en el crecimiento y producción del jengibre (*Zingiber officinale*) en un suelo Coto**. 2005. 55 p. Dissertación (Maestro em Agronomía y Suelos) - Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico,2005.

ROWE, E.C.; VAN NOORDWIJK, M. SUPRAYOGO, D.; HAIRIAH, K.; GILLER, K.E.; CADISCH, G. Root distributions partially explain ¹⁵N uptake patterns in *Gliricidia* and *Peltophorum* hedgerow intercropping systems. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 235, n. 2, p. 167-179, Aug. 2001.

SACRAMENTO, C.K. Aspectos agronômicos de plantas condimentares. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 18, p. 164-166, jul. 2000.

SALMINEN, R.; HARI, P.; KELLOMAKI, S.; KORPILAHTI, E.; KOTIRANTA, M.; SIEVANEN, R.; A measuring system for estimating the frequency distribution of irradiance within plant canopies. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 887-895, 1983.

SANCHEZ, P.A. El ambiente tropical. In: _____. **Suelos del tropico: características y manejo**. San José: IICA, 1976. p. 1-53.

SANEWSKI, G.M.; FUKAI, S.; GILES, J. Shoot emergence of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) as affected by time of lifting, storage, size, and type of planting pieces. **Tropical Agriculture**, Trinite-et-Tobago, v. 73, n. 4, p. 286-291, 1996.

SANGINGA, N.; DANSO, S.K.A.; ZAPATA, F. Field measurements of nitrogen fixation in leguminous trees used in agroforestry systems: influence of ¹⁵N-labeling approaches and reference trees. **Biology and Fertility of Soils**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 26-32, Aug. 1996.

SANGINGA, N.; VANLAUWE, B.; DANSO, S.K.A. Management of biological N₂ fixation in alley cropping systems: Estimation and contribution to N balance. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 174, n. 1/2, p. 119-141, Jul. 1995.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-12, jan-fev. 2006.

SANTOS FILHO, A. Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos do Estado do Paraná. **Revista do Setor de Ciência Agrárias**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 43-46, 1985.

SANTOS, B.B.; LOZANO, L.A.L. Ocorrência de nematóides do gênero *Meloidogyne* em gengibre nos estados de Goiás e Paraná. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 269-270, 1993.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 491 p.

SANTOS, G.O. **Organogênese do gengibre (*Zingiber officinale* R.) e seu crescimento em dois solos e cinco doses de nitrogênio**. 1992. 72 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1992.

SANTOS, H.P.; LHAMBY, J.C.B.; SPERA, S.T.; Rendimento de grão de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 21-29, jan. 2006.

SARATHCHANDRAA, S.U.; GHANIA, A.; YEATESB, G.W.; BURCHA, G.; COXA, N.R. Effect of nitrogen and phosphate fertilisers on microbial and nematode diversity in pasture soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, n. 7/8, p. 953-964, Jun. 2001.

SARRANTONIO, M.; DORAN, J.W.; LIEBIG, M.A.; HALVORSON, J.J. On-farm assessment of soil quality and health. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of América, 1996. p. 83-105. (Special Publication, 49).

SCHIEDECK, G.; MARTINS, S.R.; STEINMETZ, S.; MARTINS, P.R.D. Influência do arranjo espacial de tubos solarímetros na resposta à radiação solar global incidente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., ;REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1999. 1 CD-ROM.

SCHIMEL, D.S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. **Global Change Biology**, San Francisco, v. 1, n. 1, p. 77-91, apr. 1995.

SCHLINDWEIN, S. L. ; D'AGOSTINI, L. R. . Sobre o conceito de agroecossistema. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBSP, 1998. p. 1-20.

SCHROTH, G. A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 43, n. 1/3, p. 5-34. Oct. 1998.

SCHROTH, G.; BALLE, P.; PELTIER, R. Alley cropping groundnut with *Gliricidia sepium* in Côte d'Ivoire: effects on yields, microclimate and crop diseases. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 147-163, Feb. 1995.

SCHROTH, G.; KRAUSS, U.; GASPAROTTO, L.; DUARTE AGUILAR, J.A.; VOHLAND, K. Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 50, n. 3, p. 199-241, Dec. 2000_a.

SCHROTH, G.; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M.R.L.; BARROS, E.; MACEDO, J.L.V. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 85-102, Oct. 2001.

SCHROTH, G.; TEIXEIRA, W.G.; SEIXAS, R.; SILVA, L.F.; SCHALLER, M.; MACEDO, J.L.V.; ZECH, W. Effect of five tree crops and a cover crop in multi-strata agroforestry at two fertilization levels on soil fertility and soil solution chemistry in central Amazonia. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 221, n. 2, p. 143-156, Jun. 2000_b.

SEMWAL, R.L.; MAIJHURI, R.K.; RAO, K.S.; SINGH., K.; SAXENA, K.G. Crop productivity under differently lopped canopies of multipurpose trees in Central Himalaya, India. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 56, n. 1, p. 57-63, Oct. 2002.

SEVERINO, L.S; COSTA, F.X; BELTRÃO, E. de M.; LUCENA, A.M.A.de.; GUIMARÃES, M.M.B. Mineralização da torta de mamona, esterco e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2004, Campina Grande. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/anais_mamona/>. Acesso em: 23 nov.2005.

SHANNON, C.E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949. 150 p.

SHARMA, G.C.; BAJAJ, B.K. Effect of inter-cropping bell-pepper with ginger on plant parasitic nematode populations and crop yields. **Annals of Applied Biology**, Oxford, v. 133, n. 2, p. 199-205, 1998.

SHARMA, R.D.; PEREIRA, J.; RESCK, D.V.S. **Eficiência de adubos verdes no controle de nematóides associados à soja nos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1982. 30p. (Boletim de Pesquisa, 13).

SIEGENTHALER, U.; SARMIENTO, J.L. Atmospheric carbon dioxide and the ocean. **Nature**, London, v. 365. p. 119-125, Sep.1993.

SIKORA, L.J.; STOTT, D.E. Soil organic carbon and nitrogen. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 157-167. (Special Publication, 49).

SILESHI, G.; MAFONGOYA, P.L. Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zambia. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 33, n.1, p. 49-60, aug. 2006

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, Stanford, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, Nov. 1994.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, n. 1/2, p. 81-93, Dec. 1997.

SILVA, A.P.; IMHOFF, S.C.; TORMENA, C.A.; LEÃO, T.P. Avaliação da compactação de solos florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 352-372.

SILVA, J. T. A.; BORGES, A. L.; CARVALHO, J. G.; DAMASENO, J. E. A. Adubação com potássio e nitrogênio em três ciclos de produção da bananeira c.v Prata Anã. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 152-155, abr. 2003.

SINCLAIR, T.R.; DESJARDINS, R.L.; LEMON, E.R. Analysis of sampling errors with traversing radiation sensors in corn canopies. **Agronomy Journal**, Stanford, v. 66, n. 2, p. 214-217, Mar. 1974.

SINCLAIR, T.R.; LEMON, E.R. Penetration of photosynthetically active radiation in corn canopies. **Agronomy Journal**, Stanford, v. 66, n. 2, p. 201-205, Mar. 1974.

SINGH, K.A.; PATIRAM, F.; SING, L.N.; ROY, R.N. Effect of bamboo (*Bambusa nutans* Wall. Ex Munro) shade on the yield of some agricultural crops at Mid hills of Eastern Himalaya. **Indian Journal of Forestry**, Dehra Dun, v. 15, n. 4, p. 339-341, Apr. 1992.

SINGH, R.P.; ONG, C.K.; SAHARAN, N. Above and below ground interactions in alley-cropping in semi-arid India. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 9, n. 3, p. 259-274, Dec. 1989.

SIROHI, B.S. Ginger cultivation in Himachal Pradesh and problems of marketing. In: NATIONAL SEMINAR ON GINGER AND TURMERIC, 1., 1980, Calicut. **Proceedings...** Kerala: Central Plantation Crops Research Institute, 1982. p. 227-228.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 7-31, Sep. 2004.

SMIL, V. Crop residues: agriculture's largest harvest. **Bioscience**, Washington, v. 49, n. 4, p. 299-308, Apr. 1999.

SMITH, W.K.; KNAPP, A.K.; REINERS, W.A. Penumbra effects on sunlight penetration in plant communities. **Ecology**, Washington, v. 70, n. 6, p. 1603-1609, Dec. 1989.

SOUZA, J.L.; REZENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa. Editora Aprenda Fácil. 2003. 391 p.

SOUZA, R. M. S.; REIS, A.V. Doenças causadas por bactérias em batata-doce, beterraba, cará, gengibre e inhame. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 182, p. 29-31, 1995.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.18-23, Jan-Apr. 2003.

STEIGUER, J.E. Three theories from economics about the environment. **BioScience**, Washington, v. 45, n. 8, p. 552-557, Sept. 1995.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil**: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley 1986. 380p.

STIRLING, A.M. The causes of poor establishment of ginger (*Zingiber officinale*) in Queensland, Australia. **Australasian Plant Pathology**, Rockhampton, v.33, n. 4, p. 203-210, Apr. 2002.

STOCKDALE, E.A.; LAMPKIN N.H.; KEATINGE, R.; LENNARTSSON, E.K.M.; MACDONALD, D.W; PADEL, S.; TATTERSALL, F.H.; WOLFE, M.S.; WATSON, C.A. Agronomic and environmental implication of organic farming systems. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 70, p. 261-327, 2001.

STOLT, M.H.; GENTHNER, M.H.; DANIELS, W.L.; GROOVER, V.A. Spatial variability in Palustrine Wetlands. **Soil Science Society of American Journal**, Stanford, v. 65, n.2, p. 527-535, Mar. 2001.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, jan. 1999.

SULLIVAN, T. **Interactions between soil microbial communities and plant roots: A Minireview.** Disponível em: <http://colostate.edu/Depts/Entomology/courses/en570/papers_2004/sullivan.pdf>. Acesso em: 01 out. 2005.

SWIFT, M.J.; WOOPER, P. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: definitions and measurement. In: MULUNGOY, K.; MERCKX, R. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture.** Chichester: John Wiley, 1993. p. 3-18.

TAN, Z.X.; LAL, R.; SMECK, N.E.; CALHOUN, F.G. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables. **Geoderma**, Amsterdam, v.121, n. 3/4, p. 187-195, Aug. 2004.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 725-730, mar. 2001.

THANGATA, P.H.; ALAVALAPATI, J.R.R. Agroforestry adoption in southern Malawi: the case of mixed intercropping of *Gliricidia sepium* and maize. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 78, n. 1, p. 57-71, Oct. 2003.

TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B.T. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects on soil fauna. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 25, n. 6, p. 731-737, Jun. 1993.

TORQUEBIAU, E.; AKYEAMPONG, E. Proporcionando algo de luz sobre la sombra ... su efecto en el frijol, maíz y banano. **Agroforestería en las Américas**, Turrialba, v. 1, n. 4, p. 18-21, Oct-Dec. 1994.

TORQUEBIAU, E.F. Photosynthetically active radiation environment patch dynamics and architecture in a tropical rainforest in Sumatra. **Australian Journal Plant Physiology**, Melbourne, v. 15, n. 2, p. 327-342, Feb.1988.

TRENTO, S.M.; IRGANG, H.H.; REIS, E.M. Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência de grãos ardidos em milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.27, n. 6, p. 606-613, Jun. 2002.

TRUJILLO, E.E. Fusarium yellows and rhizome rot of common ginger. **Phytopathology**, Palo Alto, v.53, p.1370-1371, 1963.

URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; GILLER, K.E. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 30, n. 14, p. 2099-2106, Dec. 1998.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Manejo de sistemas agrícolas para seqüestro de carbono no solo. In: AQUINO, A.M. de ; ASSIS, R.L. **Processo biológicos no sistema solo-planta**: ferramenta para uma agricultura sustentável. Brasília: Embrapa Formação Tecnológica, 2005. p. 323-342.

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3/4, p. 193-202, Sep. 2001.

VAGEN, T.; SALMATA, M.A.A. Deforestation and cultivation effects on characteristics of oxisols in the highlands of Madagascar. **Geoderma**, Amsterdam, v. 131, n. 1/2, p. 190– 200, Mar. 2006.

VALARINI, P.J.; TOKESHI, H.; MANSANI, M.J. Ocorrência de murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) em cultivo de gengibre (*Zingiber officinale*) no Estado de São Paulo. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 27. n.1. p. 117-118, jan. 2001.

VAN DEN BERG, M.; LEPSCH, I.F.; SAKAI, E. Solos de planícies aluviais do Vale do Rio Ribeira de Iguape, SP. II. Relações entre características físicas e químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 3, p. 315-321, Mar. 1987.

VAN DER PLOEG, R.R.; BOHM, W.; KIRKHAM, M.B.; M.B. On the origin of the theory mineral nutrition of plants and the law of the minimum. **Soil Science Society of American Journal**, Stanford, v. 63, n. 5, p. 1055-1062, Sep. 1999.

VAN NOORDWIJK, M.; CADISCH, G. Access and excess problems in plant nutrition. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 247, n. 1, p. 25-40, Nov. 2002.

VANDERMEER, J.H. Intercropping. In: CARROL, C.R.; VANDERMEER, J.H.; ROSSET, P.M. **Agroecology**. New York: McGrawhill, 1990. 641 p.

VEIGA, J.E. **Do Global ao Local**. Autores Associados. 2005. 120 p.

VENEGAS, R.; SIAU, G. Conceptos, principios y fundamentos para el diseño de sistemas sustentables de producción. **Agroecología y desarrollo**, Santiago, v. 7, p.15-28, Aug. 1994.

VERDADE, F.C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 15, p. 35-42, 1956.

VILLIERS, E.A. **Nematodes in ginger**. Pretoria: Department of Agricultural Technical Service, 1978. 2 p.

VIRGINIA H. D.; SUZANNE C. B. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 3–10, Aug. 2001.

VOHLLAND, K.; SCHROTH, G. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in Central Amazona as affected by plant species and management. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 57-68, Sep. 1999.

VOISIN, A. **Adubos**: novas leis científicas de sua aplicação. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1976. 130 p.

WANG, K. H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus*, and *Tagetes erecta*. **Nematropica**, Baton Rouge, v. 31, n. 2, p.235-249, 2001.

WARBURG, M.R.; LINSENMAR, K.E. BERKOVITZ, A. The effect of climate on the distribution and abundance of isopods. In: SYMPOSIUM OF THE ZOOLOGICAL SOCIETY OF LONDON, 53. , 1984, London **Proceedings...** London: Zoological Society of London, 1984. p. 339-367.

WARBURG, M.R. Isopods and their terrestrial environment, **Advances Ecology Resource**, v. 17, p.187-242, 1987.

WEN, G.; BATES, T.E.; VORONEY, R.P. Evaluation of nitrogen availability in irradiated sewage sludge, sludge compost and manure compost. **Journal of Environment Quality**, Stanford, v. 24, n. 3, p. 527-534, May. 1995.

WHATLEY, J.M.; WHATLEY, F.R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: Edusp. 1982 102 p.

WHITTINGTON, W.J.; O'BRIEN, T.A. A comparison of yields from plots sown with a single species or a mixture of grass species. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 5, n. 1, p. 209-213, Apr. 1968.

WILLEY, R.W.; REDDY, M.S. A field technique for separating above and below-ground interactions in intercropping: an experiment with pearl millet/groundnut. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 17, p. 257-264, 1981.

WILLIAMS, P.A.; GORDON, A.M. Microclimate and soil moisture effects of three intercrops on the rows of a newly-planted intercropped plantation. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 29, n. 3, p. 285-302, Mar. 1995.

WILSON, H.W.; OVID, A. Growth and yield response of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) as affected by shade and fertilizer applications. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, n. 8, p. 1539-1545, Aug. 1993.

WILSON, H.W.; OVID, A. Preliminary investigation of shading as a mean of correcting chlorosis in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) In: ANNUAL SEMINAR ON AGRICULTURAL RESEARCH, 3., 1989, Trinidad and Tobago. **Proceedings...** Trinidad and Tobago: National Institute of Higher Education, Reseach Science and Technology, 1989. p 52-59.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 891-900, set-out, 2004.

WOOMER, PL.; SWIFT, M.J. **The biological management of tropical soil fertility**. London: John Wiley, 1994., London:TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Programme) and Sayce Publishing (United Kingdom), 1994. 243 p.

WU, T. The origin of *Zingiber officinale*. **Agricultural Archeology**, Nanchang, v. 2, p. 247-250, 1985.

WU, T.; SCHOENAU, J.J.; LI, F.; QIAN, P.; MALHI, S.S.; SHI, Y.; XUE; F. Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.77, n. 1, p. 59-68, May. 2004.

WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRONOMICO, 1., 1993. p. 17-29. (Documentos IAC, 35).

WYDRA, K.;VERDIER, V. Occurrence of cassava diseases in relation to environmental, agronomic and plant characteristics. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 93, n. 1/3, p. 211-226, Dec. 2002.

YANG, X.; WANDER, M.M. Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 52, n. 1/2, p.1-9. Sep. 1999.

YEATES G.W.; BIRD, A.F. Some observations on the influence of agricultural practices on the nematode fauna of some South Australian soils. **Fundamental and Applied Nematology**, Washington, v. 17, p. 133-145, 1994.

YEATES, G.W.; BONGERS, de GOEDE, R.G.M., FRECKMAN, D.W., GEORGIEVA, S.S. Feeding habits in nematode families and genera – an outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**, Burlington, v. 25, n. 3, p. 315-331, Mar. 1993.

YEATES, G.W.; WARDLEB, D.A.; WATSON, R.N. Responses of soil nematode populations, community structure, diversity and temporal variability to agricultural intensification over a seven-year period. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 31, n.12, p. 1721-1733, Oct. 1999.

YEMEFACK, M. JETTEN, V.G.; ROSSITER, D.G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 1, p. 84–98, Mar. 2006.

ZANONI, M.M.; FERREIRA, A.D.D.; MIGUEL, L.A.; FLORIANI, D.; CANALI, N.; RAYNAUT, C. Preservação da natureza e desenvolvimento rural: dilemas e estratégias dos agricultores familiares em Áreas de Proteção Ambiental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v.2, p. 39-55, 2002.

ZHANG, J.; SONG, C.; WENYAN, Y. Tillage effects on soil carbon fractions in the Sanjiang Plain, Northeast China. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1 p. 102-108, Mar. 2007.

ZHEN, L.; ZOEBSCH, M.A.; CHEN, G.; FENG, Z. A Sustainability of farmers' soil fertility management practices: A case study in the North China Plain. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 79, n. 4, p. 409–419, Jun. 2006.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28–40, Nov. 2005.