


---

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGIA VEGETAL)

---

# ESTOQUE DE CARBONO E DINÂMICA ECOFISIOLÓGICA EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

DAINA GUTMANIS



Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas, Área de Concentração: Biologia Vegetal.

Dezembro - 2004

**ESTOQUE DE CARBONO E DINÂMICA ECOFISIOLÓGICA  
EM SISTEMAS SILVIPASTORIS**

**DAINA GUTMANIS**

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. **OSVALDO AULINO DA SILVA**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências,  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de  
Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro, para a  
obtenção do título de Doutor em Ciências  
Biológicas, Área de Concentração: Biologia  
Vegetal.

RIO CLARO

Estado de São Paulo - Brasil

Dezembro de 2004

581.5 Gutmanis, Daina  
G983e      Estoque de carbono e dinâmica ecofisiológica em sistemas  
            silvipastoris / Daina Gutmanis. – Rio Claro : [s.n.], 2004  
            142 f. : il., gráfs., tabs., fots.

            Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,  
            Instituto de Biociências de Rio Claro  
            Orientador: Osvaldo Aulino da Silva

            1. Ecologia vegetal. 2. Pastagens. 3. Árvores. 4. Biomassa.  
            5. Ciclagem de nutrientes. 6. Microclima I. Título

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGIA VEGETAL)

TESE DE DOUTORADO defendida em 01.03.2005:

“Estoque de carbono e dinâmica ecofisiológica em sistemas silvipastoris”

*DAINA GUTMANIS*

Comissão Examinadora:




Prof. Dr. Osvaldo Aulino da Silva



Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri



Profa. Dra. Valquíria de Bem Gomes Alcântara



Prof. Dr. Victor José Mendes Cardoso



Prof. Dr. Fábio Poggiani

*Aos meus queridos pais, Ansis e  
Erna Gutmanis, pelo exemplo de  
vida, dedicação incansável e pelo  
amor eterno e infinito....*

*À minha querida irmã, Gunta Gutmanis, e  
estimados sobrinhos, Liane e André, pela  
união e companheirismo, tanto nas horas  
boas quanto nas horas mais difíceis.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, acima de todas as coisas, por essa oportunidade de aprendizado e por me dar forças para superar todas as provas.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Aulino da Silva, pela orientação, pelo acolhimento amigável no curso de pós-graduação e pela visão objetiva no direcionamento do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Enéas Salati, mestre e mentor intelectual do presente trabalho, que vislumbrou num mero projeto agrônômico o seu potencial de inserção num contexto muito mais amplo e que me introduziu na problemática de mudanças climáticas globais.

Ao Prof. Carlos Clementi Cerri e ao Laboratório de Bioquímica Ambiental do CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da USP, Campus de Piracicaba, pelas sugestões muito úteis e pelas análises de carbono.

Ao Prof. Marco Aurélio Leite Fontes, da UFLA – Universidade Federal de Lavras, que, mesmo estando distante, prestou grande ajuda na elaboração das análises multivariadas.

Ao meu estagiário, Antonio André dos Santos, técnico agrícola, pelo serviço incansável, responsável e com toque poético.

Aos colegas do Instituto de Zootecnia, Valquíria de Bem Gomes Alcântara, Maria Tereza Colozza e Antonio João Lourenço, e do Instituto Florestal, Edegar Gianotti, pela ajuda material e intelectual no desenrolar deste projeto.

À FAPESP, pelo inestimável apoio financeiro na primeira fase deste projeto, e ao Instituto de Zootecnia – APTA – SAA/SP, pela concessão da área e apoio estrutural.

À CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável pelo Prêmio CEBDS de Desenvolvimento Sustentável (2004) conferido ao presente trabalho, um reconhecimento que muito significou para mim.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	6
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	8
2.1. Mudanças climáticas globais e os créditos de carbono .....	8
2.2. Produção de biomassa e seqüestro de carbono em sistemas silvipastoris .....	11
2.2.1. Biomassa de árvores .....	13
2.2.2. Biomassa de capins .....	16
2.3. Principais fatores que afetam a produção de biomassa em sistemas silvipastoris .....	21
2.3.1. Solo e ciclagem de nutrientes .....	21
2.3.2. Clima .....	26
2.4. Aspectos relacionados à produção animal .....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1. Características do local .....	29
3.2. Tratamentos e delineamento experimental .....	29
3.3. Características das espécies utilizadas .....	32
3.4. Implantação do experimento .....	34
3.5. Variáveis avaliadas .....	35
3.5.1. Fase 1 – Avaliação do desempenho dos capins .....	36
3.5.2. Fase 2 – Determinação da biomassa e estoque de carbono ....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
4.1. Clima e microclima .....	46
4.2. Biomassa arbórea .....	53
4.3. Biomassa de forragens .....	61
4.4. Biomassa de serapilheira .....	71
4.5. Características dos solos e atividade microbiana .....	73
4.6. Concentração e estoque de carbono nos diferentes compartimentos	82

4.7. Concentração de nutrientes nos diferentes compartimentos .....	90
4.8. Conteúdo de minerais nos diferentes compartimentos .....	97
4.9. Valor nutritivo da forragem .....	108
4.10. Radiação solar e fotossíntese .....	117
4.11. Correlação entre os fatores de produção .....	123
4.12. Considerações finais .....	126
5. CONCLUSÕES .....	128
6. LITERATURA CITADA .....	130



## LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Interações entre os componentes árvore x pasto x ambiente em sistemas silvipastoris. Fonte: Sá (1994) .....	12
2	Representação esquemática do acúmulo de acículas sobre o solo em função da qualidade do sítio com povoamento de <i>Pinus taeda</i> . Fonte: Reissmann & Wisnewski (2000) .....	15
3	Esquema da área experimental, com o talhão de pinus (acima) dividido em quatro blocos (B1, B2, B3 e B4), cada um com duas densidades de árvores (D1 e D2) e seis sub-parcelas de capins. Abaixo se acham as parcelas a pleno sol, contando com quatro blocos e seis parcelas de capins cada .....	30
4	Separação das acículas dos galhos de pinheiros para determinação de sua biomassa .....	39
5	Amostragem de discos de madeira ao longo do tronco de pinheiros para determinação de sua biomassa .....	39
6	Tentativa de remoção do sistema radicular das árvores por meio de talha	41
7	Tentativa de escavação do sistema radicular de pinheiros pelo uso de jatos de água sob pressão .....	41
8	Remoção do sistema radicular de pinheiros com retro-escavadeira .....	42
9	Amostragem do solo pela remoção de monólitos para quantificação de raízes finas em diferentes profundidades do solo .....	45
10	Separação de raízes finas por meio de lavagem do solo sobre peneiras ...	45
11	Temperaturas máxima e mínima ao longo do período experimental, comparadas com as médias de 30 anos .....	46
12	Precipitação ao longo do período experimental, comparada com a média de 20 anos .....	47
13	Balanço hídrico de Nova Odessa – SP, no período Abril/98 a Setembro/2000 .....	47

14	Evolução das temperaturas do ar e do solo e das umidades do ar e do solo ao longo do período experimental, a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	50
15	Representação gráfica das regressões correlacionando o peso da matéria seca dos componentes das árvores de <i>Pinus elliottii</i> com o diâmetro à altura do peito (DAP). .....	55
16	Representação gráfica da relação entre a altura (H) com o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores de <i>Pinus elliottii</i> .....	56
17	Representação gráfica das correlações entre diâmetro à altura do peito (DAP) e o peso seco dos componentes das árvores de <i>Pinus elliottii</i> .....	56
18	Esquema do sistema radicular de <i>Pinus radiata</i> , com 25 anos de idade, DAP de 60 cm e peso de 584 kg. Fonte: Watson & O'Loughlin (1990) ..	60
19	Produção média anual (t MS/ha) de seis capins cultivados a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) ....	61
20	Produção de seis capins a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), ao longo do período experimental.	63
21	Comparação entre os sistemas radiculares dos capins tanzânia (à esquerda), aruana (ao centro) e green panic (à direita), cultivados à pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	67
22	Comparação entre os sistemas radiculares dos capins brizanta (à esquerda), humidícola (ao centro) e tifton-85 (à direita), cultivados à pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	68
23	Evolução dos teores médios de matéria orgânica, fósforo e potássio nos solos, nas parcelas a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	76
24	Evolução dos teores médios de cálcio, magnésio e saturação de bases nos solos, nas parcelas a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	77
25	Quantidade de serapilheira no talhão de <i>Pinus elliottiis</i> antes do início do experimento .....	78

26	Atividade microbiana média (mg CO <sub>2</sub> /g de resíduo seco, em 8 dias) nos solos a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), ao longo do período experimental.....	79
27	Evolução dos teores médios de nitrogênio, fósforo e potássio nos capins à pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	93
28	Evolução dos teores médios de cálcio, magnésio e enxofre nos capins à pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	94
29	Evolução dos teores médios de proteína bruta, celulose, lignina e DIVMS em capins cultivados à pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	110
30	Plasticidade fenotípica verificada no capim <i>Brachiaria humidicola</i> . Acima, em condições de sombreamento, e abaixo, a pleno sol .....	120
31	Plasticidade fenotípica verificada no capim <i>Cynodon dactylon</i> cv. Tifton-85. Acima, em condições de sombreamento, e abaixo, a pleno sol .....	121
32	Diagrama produzido pela análise dos componentes principais (PCA), com base nas variáveis ambientais obtidas para as 48 parcelas no talhão de <i>Pinus elliottii</i> e 24 à pleno sol. As linhas partindo do centro do diagrama representam as variáveis ambientais. Os símbolos representam as parcelas e seu subgrupo de intensidade de sombreamento: a pleno sol (0), densidade D1 (1) e densidade D2 (2) .....	124

## LISTA DE TABELAS

		Página
1	Crescimento de <i>Pinus radiata</i> sob diferentes densidades de plantio, em Tikitere, NZ: diâmetro à altura do peito (DAP), altura (H), volume total de madeira por área e incremento médio anual, ao final de 21 anos .....	13
2	Concentração de nutrientes, em % da matéria seca, nos diferentes compartimentos das árvores, observado por diferentes autores, em plantios florestais tradicionais (solteiros) .....	23
3	Quantidade de biomassa e conteúdo de minerais nos diversos componentes das árvores e na serapilheira, observados por diversos autores .....	24
4	Temperaturas do ar e do solo e umidades do ar e do solo sob duas densidades de pinheiros, D1(200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), comparadas às condições a pleno sol. ....	49
5	Dados dendrométricos médios observados em duas densidades de <i>P. elliotii</i> , D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), que possuíam 6 capins cultivados no seu sub-bosque. DAP = diâmetro à altura do peito; H = altura; VOL= volume de madeira; AB = área basal .....	53
6	Biomassa individual e biomassa total de <i>Pinus elliotii</i> , para cada um de seus compartimentos, observado por capim cultivado em seu sub-bosque e por densidade de árvores: D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha)	57
7	Produção média anual de capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), comparada à produção a pleno sol, e serapilheira acumulada ao fim de dois anos, nos mesmos locais .....	62
8	Quantidade de biomassa de raízes finas, em quatro profundidades do solo, em função dos capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	69

9	Estimativa do coeficiente de decomposição e tempo médio de renovação da biomassa de capins acumulada na serapilheira a pleno sol .....	72
10	Principais características dos solos antes do início do experimento .....	74
11	Teores médios de nutrientes nos solos e atividade microbiana, na camada de 0-20 cm de profundidade, em parcelas cultivadas com diferentes capins, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	75
12	Teor de carbono nos diversos compartimentos, em % MS, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	83
13	Conteúdo de carbono nas árvores, capins e serapilheira, em kg/ha, tanto em condições de sombreamento por duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), quanto à pleno sol .....	84
14	Conteúdo de carbono nos solos, à diferentes profundidades, e nas raízes finas, em kg/ha, tanto em condições de sombreamento por duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), quanto à pleno sol .....	85
15	Estimativa do estoque médio anual de carbono na biomassa acima do solo em sistemas com diferentes capins, em condições de pleno sol e sob duas densidades de árvores, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).	87
16	Teor de minerais nos diferentes componentes de <i>Pinus elliottii</i> nas duas densidades, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	90
17	Teor de minerais nos capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e nos a pleno sol .....	92
18	Teor de minerais na serapilheira acumulada sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e na a pleno sol .....	96
19	Conteúdo de Nitrogênio nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	98

20	Conteúdo de Fósforo nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	99
21	Conteúdo de Potássio nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	100
22	Conteúdo de Cálcio nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	101
23	Conteúdo de Magnésio nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	102
24	Conteúdo de Enxofre nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	103
25	Contribuição de cada componente no conteúdo total de minerais em função dos capins e dos ambientes testados. sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol .....	105
26	Estimativa da quantidade de minerais retidos na parte aérea das árvores e nos capins, dos devolvidos ao solo na serapilheira e do total retirado do solo (kg/ha/ano) em sistemas com diferentes capins, em condições a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	106
27	Qualidade nutritiva média de seis capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1(200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), comparada com os produzidos a pleno sol .....	109
28	Estimativa da quantidade de proteína bruta e de proteína digestível (em kg/ha/ano) disponível à alimentação animal nos capins cultivados a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1(200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	113

29	Composição bromatológica de acículas verdes de pinheiros, provenientes de duas densidades de árvores, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha) .....	114
30	Índice de área foliar, radiação solar incidente, fração da radiação solar transmitida até o solo, potencial fotossintético e altura do meristema apical nos capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv./ha) e D2 (400 árv./ha), e à pleno sol .....	118

## ESTOQUE DE CARBONO E DINÂMICA ECOFISIOLÓGICA EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

Autora: DAINA GUTMANIS

Orientador: Prof. Dr. OSVALDO AULINO DA SILVA

### RESUMO

O presente trabalho visou comparar o estoque de carbono e demais fatores de crescimento de um sistema silvipastoril com o de pastagens exclusivas, para identificar aquele que melhor contribui para o seqüestro de carbono atmosférico, grande contribuinte do aumento do efeito estufa. No sistema silvipastoril foram avaliadas duas densidades de árvores (*Pinus elliottii*): 200 e 400 árv./ha, com 30 anos de idade, e 6 gramíneas (*Panicum maximum* cv. Tanzânia, *P. maximum* cv. Aruana, *P. maximum* var. *Trichoglume*, *Brachiaria brizantha*, *B. humidicola* e *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85), cultivadas no sub-bosque, em condições de sombreamento. Estas mesmas forrageiras também foram avaliadas em condições de pleno sol.

As observações microclimáticas indicaram ambiente mais ameno na área sombreada. Enquanto os capins mais produtivos à sombra foram o tanzânia e o brizanta, produzindo respectivamente 10,5 e 10,9 t MS/ha/ano na densidade D1 e 8,7 e 8,1 t



MS/ha/ano na densidade D2, a produtividade média anual das árvores foi de 6,0 t MS/ha/ano na densidade D1 e de 10,7 t MS/ha/ano na densidade D2.

Os estoques totais médios de carbono nas densidades D1 (7,6 t C/ha/ano) e D2 (9,6 t C/ha/ano) foram superiores em 57 e 98% ao observado a pleno sol (4,8 t C/ha/ano). Os capins contribuíram em média com 43% do estoque de carbono na densidade D1 e com 28% na densidade D2.

Com relação à qualidade nutritiva, os capins produzidos em condições de sombreamento apresentaram um aumento nos teores de PB, lignina, FDA e cinzas, respectivamente de 1,87; 1,64; 0,87 e 0,79 unidades percentuais, e uma diminuição nos teores de hemicelulose, FDN, digestibilidade e celulose, respectivamente de 4,23; 3,34; 1,84 e 1,38 unidades percentuais. Apesar de na sombra ter havido uma produção menor de capim, a quantidade de proteína bruta nas densidades D1 (843 kg/ha/ano) e D2 (756 kg/ha/ano) praticamente não sofreu alteração, correspondendo respectivamente a 100% e 90% da a pleno sol.

Enquanto as árvores retêm apenas 4,0 e 7,8 % do total de minerais retirados do solo, respectivamente na densidade D1 (20,6 kg/ha/ano) e D2 (38,3 kg/ha/ano), os capins retêm 94,8% a pleno sol (447 kg/ha/ano), 80,5% na densidade D1 (415 kg/ha/ano) e 70,7% na densidade D2 (347 kg/ha/ano), que poderão ser consumidos pelos animais ou retornados ao solo na forma de cobertura morta.

Concluiu-se que, dependendo da idade e da densidade de árvores, a quantidade de biomassa produzida pelos capins e, conseqüentemente de carbono estocado, pode ser até superior à produção média anual das árvores, contribuindo significativamente com o seqüestro de carbono. Os capins também se mostraram grandes cicladores de nutrientes.

## **CARBON STOCK AND ECOPHYSIOLOGICAL DYNAMIC IN SILVIPASTORAL SYSTEMS**

Author: DAINA GUTMANIS

Adviser: Prof. Dr. OSVALDO AULINO DA SILVA

### **ABSTRACT**

The present work sought to compare the carbon stock present in a silvipastoral system to that in exclusive pastures, to identify which one best contributes to the carbon sequestration from the atmosphere, big taxpayer of the increase in the greenhouse effect. In the silvipastoral system they were evaluated two densities of trees (*Pinus elliottii*): 200 and 400 stems/ha, with 30 years old, and 6 grasses (*Panicum maximum* cv. Tanzania, *P. maximum* cv. Aruana, *P. maximum* var. *Trichoglume*, *Brachiaria brizantha*, *B. humidicola* and *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85), cultivated under the trees, in shade conditions. These same grasses were also evaluated under full sun conditions.

The carbon stocks and the mineral content in the system were measured in the biomass above and below the soil. Periodically, along two years, the growth of the trees, the forage yield and its nutritional value were also evaluated as well as the conditions of

the soil and the microclimate influencing the system. This project was developed at the Instituto de Zootecnia, in Nova Odessa, SP, Brazil.

Depending on the age and the trees stock, the amount of biomass produced by grasses, and consequently of carbon stored, can be even higher than the average annual production by trees, significantly contributing with the carbon sequestration. The results showed that, even receiving 29% and 21% of the photosynthetically active radiation that reach the grass in the full sun, respectively in densities D1 and D2, the forage production corresponded to 75% and 50% of the obtained in the full sun. While the most productive grasses under shade were the tanzania and the brizanta grasses, producing 10,5 and 10,9 t DM/ha/year respectively in the density D1 and 8,7 and 8,1 t DM/ha/year in the density D2, the average annual production of the trees was of 6,0 t DM/ha/year in the density D1 and of 10,7 t DM/ha/year in the density D2.

The average total carbon storage in the densities D1 (7,6 t C/ha/year) and D2 (9,6 t C/ha/year) were superior in 57 and 98% of the observed in the full sun (4,8 t C/ha/year). While in density D1 the tree biomass contributed in average with 29% of the total carbon storage in the system, in density D2 it was in average 42% of the total. On the other hand, grasses contributed in average with 43% of the carbon storage in the density D1 and with 28% in the density D2.

In relation to the nutritive quality, the grasses produced under shade conditions presented an increase in the concentration of CP, lignin, ADF and ashes, respectively of 1,87; 1,64; 0,87 and 0,79 percentage units, and a decrease in the concentration of hemicellulose, NDF, digestibility and cellulose, respectively of 4,23; 3,34; 1,84 and 1,38 percentage units. In spite of under shade there was a smaller forage yield, the amount of crude protein in the densities D1 (843 kg/ha/year) and D2 (756 kg/ha/year) practically didn't suffer alteration, corresponding respectively to 100% and 90% of that in the full sun. However, even with a higher content of CP in the forage produced under shade, what is desirable, there was a decrease in the content of hemicellulose and cellulose and in its digestibility, decreasing slightly its nutritious value.

It was observed that grasses contribute greatly with the mineral cycling. While trees just retain 4,0 and 7,8% of the total minerals removed from the soil, respectively in density D1 (20,6 kg/ha/year) and D2 (38,3 kg/ha/year), grasses retain 94,8% in the full sun (447 kg/ha/year), 80,5% in density D1 (415 kg/ha/year) and 70,7% in density D2

(347 kg/ha/year), which can be consumed by the animals or come back to the soil in the form of mulch. Due to the easiest decomposition of the dead material from grasses, they can contribute more rapidly with the increase of the soil organic matter, conservation of the soil humidity, soil protection against erosion and in the nutrient cycling by the faster mineralization.

The microclimate observations indicated a more pleasant environment in the shaded area. The air temperature in the shaded plots was 0,25 and 0,50 °C lower, respectively in the densities D1 and D2, than in the plots in the full sun. The soil temperature was on the average 1,35 and 1,70 °C lower, respectively in the densities D1 and D2, than in the full sun. The soil humidity in the shaded area was in average 8,03 percentage points higher than that in the full sun, density D1 being just 1,05 percentage points higher than that in density D2. On the other hand, the relative air humidity in the full sun was on the average 7,21 percentage units higher than that in the shaded area.

With the forage yield obtained by grasses tanzania and brizanta, the most productive and of better nutritious value, it would be possible to maintain 2 AU/ha/year, consuming between 11 and 13 kg DM/day/AU. Besides, the trees could be maintained as a saving account for the future and generate a complemental income when they were cut off and sold. A *Pinus* planting with 30 years old could generate 179 m<sup>3</sup>/ha and 318 m<sup>3</sup>/ha of wood, respectively in densities D1 and D2.

Taking into account the current panorama of economic incentives created by the carbon credits or CDMs and the scenery of climatic changes, the silvipastoral systems constitute an environmentally correct activity and of increment in the profitability of the rural property. This concept can be adopted either by small producers or by great agroforestry companies, allowing to combine different tree species (native and/or exotic) and different animals (cattle, sheep and goats), those more suitable to the each situation.

## 1. INTRODUÇÃO

Em décadas passadas, visando a abertura de novas fronteiras agrícolas, infelizmente o Brasil adotou programas que nem sempre eram compatíveis com a dinâmica ecológica das respectivas regiões, resultando em desmatamentos desordenados, tentativas frustradas de implantação de lavouras e/ou pastagens e finalmente, abandono destas áreas frente à regeneração natural. Ainda hoje, viajando pelo interior de Mato Grosso e Goiás, é possível ver imensas áreas de pastagens sem uma única árvore viva. Vêm-se apenas os resquícios desse processo de desmatamento por meio de queimadas, onde ficaram em pé apenas os troncos negros das árvores maiores, mais parecendo “defuntos em pé”, dando testemunho do que foi um dia aquela vegetação. No entanto, nas horas mais quentes do dia, observa-se o gado se aglomerando em torno de algum arbusto maior, a procura de sombra, indicando que mesmo raças adaptadas aos trópicos necessitam de condições mínimas de proteção contra situações de stress térmico, tanto máximo (calor) como mínimo (frio, vento, geadas). Observa-se também que o capim cresce melhor e é mais verde à sombra das árvores.

Por outro lado, em áreas de reflorestamento, tanto em plantios jovens como em talhões adultos que já sofreram algum desbaste, quando a luminosidade no seu interior é maior, existe o problema da formação de macega no sub-bosque, representando risco constante de incêndio e exigindo roçadas freqüentes.

A adoção de sistemas silvipastoris permitiria ao produtor rural aumentar seus rendimentos, seja pelo gado que consumiria a vegetação do sub-bosque, eliminando-se assim a necessidade de roçadas, seja pela venda de madeira ou de animais e seus subprodutos, além de permitir o melhor aproveitamento da mão-de-obra e aumentar a oferta de empregos, sem falar nos benefícios ambientais de melhorar a conservação dos solos e aumentar a biodiversidade local.

Além de sua importância em termos de micro-escala, sistemas silvipastoris também são vistos como alternativas interessantes em nível de macro-escala. Um dos problemas mais graves que atinge atualmente o planeta Terra como um todo é o aumento do efeito estufa, devido principalmente ao acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera, e as mudanças climáticas dele decorrentes. Visando amenizar esses efeitos, foi criado pela ONU em 1997 o Protocolo de Kyoto e os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDLs), uma forma de países desenvolvidos financiarem projetos de seqüestro de carbono em países em desenvolvimento. Assim, iniciou-se uma verdadeira corrida atrás dos “créditos de carbono”, principalmente através de projetos de reflorestamento, o que despertou especial interesse no Brasil. Como esses créditos de carbono são concedidos em função da biomassa produzida, tanto a introdução de árvores em áreas de pastagens quanto a introdução de pastagens em áreas de reflorestamento seriam duas formas de aumentar a eficiência do uso da terra e aumentar o seu lucro, além dos benefícios agrônômicos, ambientais e sociais já mencionados.

Assim sendo, os objetivos do presente trabalho foram: a) avaliar o potencial de produção de fitomassa e o estoque de carbono em cada sistema; b) avaliar a ciclagem de nutrientes nos diferentes sistemas; c) avaliar o valor nutritivo das plantas forrageiras cultivadas em condições de sombreamento; d) avaliar como diferentes densidades de árvores afetam o microclima local; e e) verificar como diferentes densidades de árvores afetam o processo fotossintético das plantas forrageiras.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Mudanças climáticas globais e os créditos de carbono**

O acúmulo de gases (dióxido de carbono, metano, óxido de nitrogênio, halocarbonos, etc.) e de vapor de água, decorrentes principalmente de atividades industriais, do uso de combustível fóssil e de mudanças no uso da terra (desmatamentos e queimadas), tendem a aprisionar o calor que chega à superfície do planeta na forma de radiação solar, causando um aumento da temperatura. Esse fato pode levar ao aumento do nível do mar devido ao derretimento parcial do gelo das calotas polares, alterações nos níveis de precipitação das chuvas e de umidade dos solos, trazendo conseqüências imprevisíveis para a atividade agrícola e pecuária em todo o planeta, e alteração acelerada no equilíbrio ecológico de diversos habitats naturais, provocando o aumento das populações de pragas e o desaparecimento de várias espécies vegetais, animais e de microorganismos, com a conseqüente perda da diversidade genética.

O relatório do International Panel on Climate Change (IPCC, 1995) mostra que nos últimos 100 anos a temperatura média anual se elevou 0,6 °C e o nível do mar em 25 cm e as projeções para o ano 2100 são de que haja um aumento médio de 2,4 °C na temperatura e de 49 cm no nível do mar. Para se ter uma idéia da dimensão do problema, só a concentração de CO<sub>2</sub>, que no período pré-industrial era de aproximadamente 280 ppmv, em 1994 passou para 358 ppmv, representando um aumento de 0,4% ao ano.

Cerca de sete bilhões de toneladas de dióxido de carbono são lançadas anualmente na atmosfera terrestre, provenientes de atividades antropogênicas, sendo 70% resultantes da queima de combustíveis fósseis e 30% devido a mudanças no uso da terra (desmatamentos e queimadas). Mesmo com a absorção pelos ecossistemas terrestres e pelos oceanos de grande parte dessa emissão, ainda restam três bilhões de toneladas anuais que ampliam paulatinamente o risco do chamado Efeito Estufa (IPCC, 1995).

Diversas estratégias têm sido apresentadas para mitigar os danos causados pelo homem ao meio ambiente, como, por exemplo, o Protocolo de Montreal, sobre a redução dos níveis de CFC na atmosfera, e a Agenda 21, sobre as ações a serem desenvolvidas com relação ao manejo adequado dos recursos hídricos, agricultura, florestas, biotecnologia, desenvolvimento sustentado, etc. O caminho para a redução do aquecimento global passa necessariamente pela redução drástica dos níveis de emissão de poluentes atmosféricos, seja através da atividade industrial ou das queimadas nas florestas tropicais. Exige, também, medidas capazes de reduzir os níveis de carbono na atmosfera, como a preservação das áreas naturais e o estímulo ao reflorestamento.

De acordo com o PROTOCOLO DE QUIOTO, criado pela Organização das Nações Unidas em 1997, os países listados no Anexo I, basicamente os países industrializados e países em transição, terão que reduzir até o ano 2008 suas emissões CO<sub>2</sub> ou garantir sua remoção através de meios específicos ao nível de 95% do registrado em 1990. Um dos modos de se alcançar esta proposta está nos CDMs – Clean Development Mechanisms (ou MDLs - Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, em português): basicamente um mercado internacional de créditos pela absorção de carbono, através dos quais países industrializados financiam projetos em países em desenvolvimento para reduzir estas emissões. O Brasil tem especial interesse neste mercado de carbono e grande potencial de absorver boa parte destes investimentos, e para tanto já está elaborando os critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para avaliação de projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas (NOVAES *et al.*, 2002).

O seqüestro de CO<sub>2</sub> atmosférico e sua incorporação em biomassa vegetal são feitos através do processo de fotossíntese. Sabe-se que, em termos gerais, as plantas possuem 43% de carbono em sua composição, no entanto, enquanto as florestas



produzem de 60 a 150 t C/ha, as culturas agrícolas muitas vezes nem chegam a 10 t C/ha. Assim, apenas espécies de longo ciclo de crescimento e com grande potencial de produção de biomassa podem contribuir de forma significativa na absorção do CO<sub>2</sub> atmosférico. Culturas agrícolas anuais, apesar de também sequestrarem CO<sub>2</sub> atmosférico, o retornam para o ar quando da sua colheita e decomposição dos restos vegetais (SALATI *et al.*, 1998).

Existem três formas de se conservar e imobilizar Carbono: a) conservando o estoque de C existente em florestas, reduzindo a velocidade de desmatamento, mudando os regimes de corte e protegendo as florestas de outras perturbações antropogênicas; b) ampliando o estoque de C pelo aumento de área e/ou de densidade de C em florestas nativas, florestas plantadas e em sistemas agro-florestais; e c) substituição de combustíveis fósseis por lenha proveniente de florestas com manejo sustentado, e produtos madeireiros de curta duração por produtos de madeira de longa duração (BROWN, 1996).

LEE & DODSON (1996) mostraram o potencial de se reduzir as emissões líquidas de C pela conversão de áreas agrícolas marginais em áreas de reflorestamento, usando o Modelo de Cálculo do Impacto de Erosão/ Produtividade (EPIC) para calcular a quantia de C atmosférico que poderia ser imobilizado por esta mudança no uso de terra. Eles concluíram que o sequestro de C seria da ordem de 40 e 18 t C/ha durante os primeiros e segundos ciclos de crescimento de 25-anos, respectivamente. Por outro lado, o sequestro de C seria de 8 t C/ha se os locais tivessem permanecido como pasto contínuo por 50 anos, ou de apenas 3 t C/ha depois de corrigir os dados devido ao lançamento de C para a atmosfera pelo uso de fertilizante nitrogenado.

SALATI *et al.* (1999) analisou as iniciativas existentes no Brasil e as alternativas para diminuir o desmatamento e aumentar o armazenamento de carbono. As diferentes opções se baseiam principalmente em projetos florestais, pela expansão da área de reflorestamento, na implementação de projetos agro-florestais, na reabilitação de florestas nativas através de manejo sustentável e na proteção e restauração das matas ciliares ao longo de rios e cursos de água. Um dos maiores projetos de restauração propostos é o Projeto FLORAM, concebido no início dos anos 90. Sua proposta básica é imobilizar CO<sub>2</sub> em florestas de uso múltiplo, cobrindo uma área de 20 milhões de ha (2,3% de território brasileiro) na região da Mata Atlântica, num período de 20 a 30 anos.

## 2.2. Produção de biomassa e seqüestro de carbono em sistemas silvipastoris

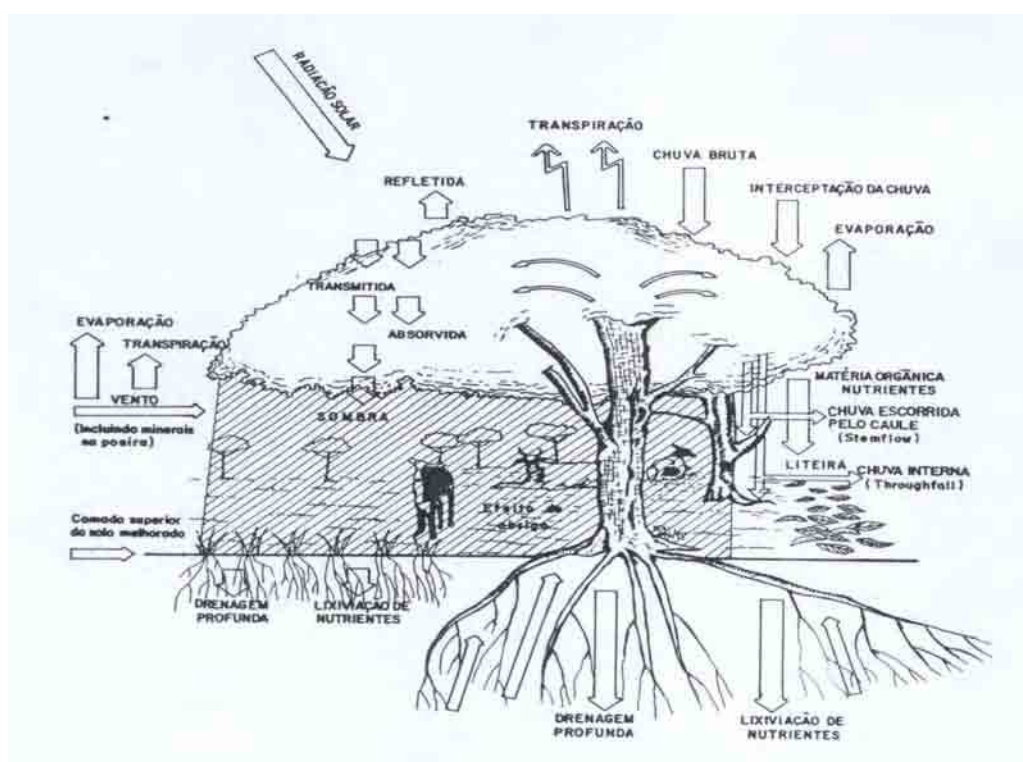
Sistemas Agroflorestais (SAFs) constituem-se em técnicas de produção de alimentos, madeira e energia que procuram imitar ao máximo os ecossistemas naturais, sendo assim menos agressivos ao ambiente, além de permitir um aumento no estoque de carbono nestes sistemas, propiciando uma solução sócio-econômica para o chamado Efeito Estufa. Uma das possibilidades de potencialização do uso de áreas destinadas ao reflorestamento é a implantação de sistemas silvipastoris, onde árvores são cultivadas junto com pastos, sendo que as forrageiras, por também serem culturas perenes, quando bem manejadas, podem ser mantidas em constante crescimento e, portanto, incorporando CO<sub>2</sub> atmosférico.

Sistemas Silvipastoris não são técnicas novas. Já são largamente utilizados em alguns países da Ásia (SHELTON *et al.*, 1987), na Austrália e Nova Zelândia (MEAD, 1995) e nos E.U.A. (ZINKHAN & MERCER, 1997). No Brasil, empresas particulares de reflorestamento possuem 5,5 milhões de hectares de florestas plantadas, mas ainda não utilizam gado para controlar a vegetação do sub-bosque, embora mais recentemente algumas já começaram a utilizá-lo com grande sucesso. Um exemplo é a CMM – Companhia Mineira de Metais, empresa pertencente ao Grupo Votorantim, que realiza plantios raleados de eucalipto, no espaçamento de 4 x 10 m, especificamente para este fim. Para melhor aproveitamento das ruas largas entre os eucaliptos, a CMM faz dois anos de lavoura e introduz a gramínea forrageira em seguida, com pastejo da área até o corte dos eucaliptos, no 11<sup>o</sup> ano, quando recomeça o ciclo (FRANCO, 1998). VEIGA & SERRÃO (1990), CARVALHO (1997) e GARCIA & COUTO (1997) analisaram o potencial de sistemas silvipastoris no Brasil.

Segundo o Inventário Florestal do Estado de São Paulo de 1993 (KRONKA *et al.*, 1993), existem neste Estado apenas 3.330.744 ha de cobertura vegetal natural e 812.523 ha de reflorestamentos, correspondendo a 13,4% e 3,27% respectivamente da área total do Estado. Os reflorestamentos se concentram nas regiões de Sorocaba (44%), Campinas (13%), Ribeirão Preto (12%) e Vale do Paraíba (10%) e em propriedades consideradas de pequeno a médio porte (até 100 ha). Estas regiões são também produtoras de carne, leite e lã, atividades que poderiam ser perfeitamente associadas em sistemas silvipastoris, visando a otimização de uso dos diferentes fatores de produção.

Tendo-se em conta o longo ciclo produtivo das espécies florestais (em média 7 anos para eucaliptos e 25-30 anos para pinus) e a formação de macega no seu sub-bosque, representando risco constante de incêndio e exigindo roçadas freqüentes, a implantação de sistemas silvipastoris justifica-se pela possibilidade de cada produtor rural dar a sua contribuição para a diminuição do efeito estufa sem deixar de produzir o seu sustento diário; de obter rendimentos anuais que amenizam os gastos com a manutenção dos talhões florestais, seja através da venda de gado ou do consumo da vegetação do sub-bosque, eliminando-se a necessidade de roçadas, além de permitir o melhor aproveitamento da mão-de-obra e maior oferta de empregos.

Vários autores já analisaram os diferentes aspectos da dinâmica ecofisiológica que ocorre em sistemas silvipastoris. Estes sistemas pressupõem o inter-relacionamento e o adequado equilíbrio de seus vários componentes: a espécie florestal, a espécie forrageira, o animal, o solo e o microclima (Figura 1). Serão retratados a seguir alguns destes aspectos.



**Figura 1:** Interações entre os componentes árvore x pasto x ambiente em sistemas silvipastoris. Fonte: SÁ (1994).

### 2.2.1. Biomassa de Árvores

Apesar de, a rigor, o termo “biomassa” englobar material orgânico tanto de origem vegetal (fitomassa) quanto de origem animal (zoomassa), tendo em vista que a determinação da zoomassa é raramente utilizada em trabalhos nesta área e o uso generalizado do termo “biomassa” ao se referir exclusivamente à fitomassa, o mesmo também será adotado no presente trabalho.

Sabe-se que o crescimento das árvores aumenta com o aumento da densidade até que a competição por água e luz supere os benefícios da proteção mútua. CAMERON *et al.* (1989) observaram que com 1,5 anos o máximo de produção de biomassa de eucalipto foi na densidade de 3.580 árv/ha. Com 2, 2,5, 3, 3,5 e 4,6 anos a produção máxima foi com 1.140, 595, 305, 158 e 82 árv/ha. Tem se observado ainda que o crescimento diamétrico das árvores é inversamente proporcional à densidade do povoamento enquanto que a altura não é afetada por ela; já o crescimento volumétrico é diretamente proporcional à densidade (BARBOSA & GARRIDO, 1990).

Um projeto clássico, talvez o que serviu de base para o estabelecimento de todas as políticas técnicas e econômicas com relação à adoção de sistemas silvipastoris na Nova Zelândia, é o Experimento de Tikitere, implantado em 1973, com *Pinus radiata*, nas densidades de 0, 50, 100, 200 e 400 árv./ha. A pastagem formada no sub-bosque era basicamente de azevém e trevo, sendo pastejada por ovinos. Na Tabela 1 são apresentados os dados referentes ao crescimento das árvores.

**Tabela 1:** Crescimento de *Pinus radiata* sob diferentes densidades de plantio, em Tikitere, NZ: diâmetro à altura do peito (DAP), altura (H), volume total de madeira por área e incremento médio anual, ao final de 21 anos.

Densid. Árvs. (árv./ha)	DAP (cm)	H (m)	Vol. Total (m <sup>3</sup> /ha)	Incr. Méd. Anual (m <sup>3</sup> /ha/ano)
50	72,5	26,4	147,5	7,0
100	68,6	29,3	293,2	14,0
200	56,4	31,6	468,4	22,3
400	47,0	35,2	742,9	35,4

Fonte: Adaptado de KNOWLES *et al.*, 1994.

MEAD *et al.* (1993), estudando as interações que ocorrem entre *Pinus radiata*, plantado no espaçamento de 1,4 m entre árvores e 7 m entre linhas, com algumas espécies forrageiras temperadas, verificou que no primeiro ano não houve diferenças significativas no crescimento em altura e em diâmetro das árvores. Já no segundo ano estas diferenças já começaram a aparecer, sendo maiores nas parcelas plantadas com alfafa e nas com uma mistura de trevo e faláris. Não houve diferença significativa entre os vários tratamentos para a produção de forragem, uma vez que as árvores ainda eram jovens. No entanto, os autores concluem dizendo que aparentemente alfafa e faláris deveriam ser evitadas em situações onde se deseja um bom crescimento das árvores de pinus.

É possível manejar significativamente a copa das árvores para maior disponibilidade de luz no sub-bosque através de diferentes espaçamentos, desbastes e desramas. SEQUEIRA & GHOLZ (1991) observaram que maiores espaçamentos na linha e menores nas entrelinhas permitiam um maior desenvolvimento das árvores enquanto que menores espaçamentos na linha e maiores nas entrelinhas maximizavam a penetração da luz no sub-bosque às expensas do crescimento das árvores.

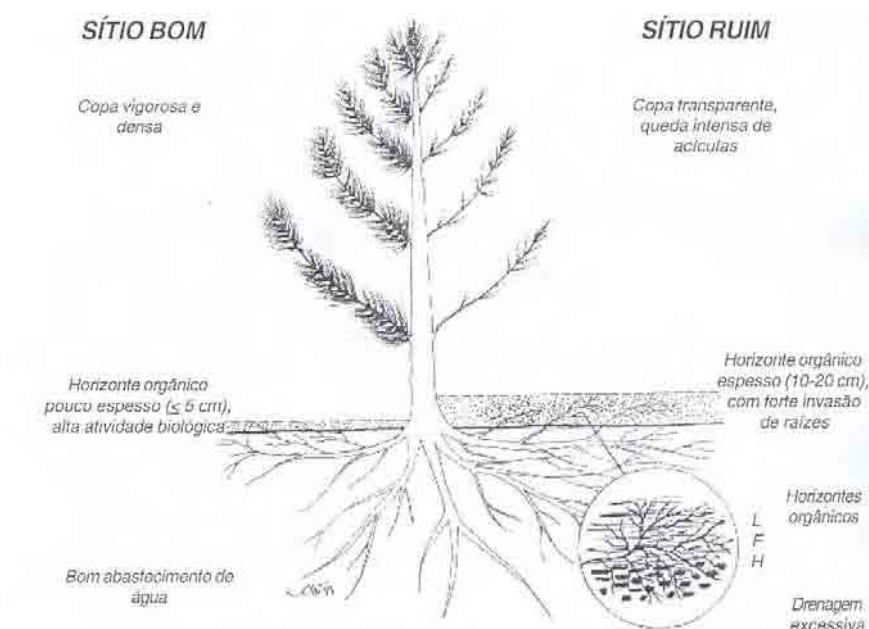
A consorciação de espécies florestais de interesse econômico com forrageiras, tanto gramíneas como leguminosas, parece não afetar o desenvolvimento das árvores e apesar dos valores observados nem sempre serem estatisticamente significativos, apresentaram uma tendência a serem superiores à testemunha, sem consorciação (BAGGIO & SCHREINER, 1988 e GARCIA *et al.*, 1994).

YANUSA *et al.* (1995) constataram que as produções totais combinadas das árvores e das pastagens em sistemas agroflorestais foram maiores que as produções individuais de árvores e pastagens produzidas separadamente. Verificaram que a taxa de uso equivalente do solo foi de 1,95 para azevém, 1,71 para azevém/trevo e 1,45 para alfafa. Concluíram que a associação em sistemas agro-florestais aumentou a produtividade do solo entre 51 e 95%.

KABEDA (1991) avaliou a produção de biomassa acima do solo e o acúmulo de nutrientes numa seqüência cronológica de plantios de *Pinus caribaea* e constatou uma produção média anual de 10,75 t/ha/ano em plantios com 15 anos de idade, e considerando que 45% da mesma é de carbono, corresponderia a uma imobilização de 4,8 t C/ha/ano. Valores semelhantes podem ser deduzidos do trabalho de KNOWLES *et*

al. (1994), que obtiveram um incremento médio anual no volume de madeira de 22,3 e 35,4 m<sup>3</sup>/ha/ano com *Pinus radiata*, respectivamente nas densidades de 200 e 400 árv./ha, o que corresponderia a um estoque de 5,2 e 8,3 t C/ha/ano.

REISSMANN & WISNEWSKI (2000), analisando vários trabalhos sobre aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*, chamam atenção para a importância da ciclagem biológica de nutrientes, principalmente em sítios mais pobres. Afirmam que os fluxos de entrada, saída e armazenamento de nutrientes na serapilheira acumulada devem ser estudados e levados em consideração nas decisões de manejo. Conforme pode ser observado na Figura 2, a serapilheira produzida pode se acumular sobre o solo mineral formando horizontes orgânicos espessos. Este acúmulo é atribuído à dificuldade de decomposição do material e às condições ambientais desfavoráveis do sítio como, por exemplo, deficiência hídrica ou de nutrientes, que inibam o processo de decomposição. Na serapilheira ficam armazenadas grandes quantidades de nutrientes, principalmente N, P e Ca. Parte destes nutrientes pode ficar imobilizada se a decomposição for muito lenta. Os que são mineralizados podem ser absorvidos pelas raízes finas que permeiam a serapilheira acumulada, ou lixiviados pela água da chuva.



**Figura 2:** Representação esquemática do acúmulo de acículas sobre o solo em função da qualidade do sítio com povoamento de *Pinus taeda*. Fonte: REISSMANN & WISNEWSKI (2000).

Evidências indicam que a absorção de nutrientes diretamente da serapilheira representa um fluxo importante de nutrientes para atender à demanda nutricional das árvores, principalmente quando se considera que a produção estimada de serapilheira varia de 6,4 a 9,3 t/ha/ano (VALERI, 1988; SOAVE, 1990; e TIMONI, 1990).

Considerando os macro e os microminerais essenciais ao desenvolvimento das árvores, alguns se destacam de maneira mais expressiva, como é o caso do K, Mg e Zn. REISSMANN & WISNEWSKI (2000), analisando vários trabalhos, consideram que teores mínimos de 6,0 g K/kg MS, 0,6 g Mg/kg MS e de 20 mg Zn/kg MS são satisfatórios para o seu bom crescimento. Quanto ao N e ao P, os níveis encontrados nas acículas sugerem bom suprimento em praticamente todos os sítios. No entanto, os autores lembram que, assim como há a lei do mínimo, há também a lei das proporções, requerendo que os demais elementos sejam fornecidos em quantidades proporcionais, como é o caso das relações N/K, P/Zn, K/Ca e Fe/Mn.

### **2.2.2. Biomassa de capins**

Para cada situação são necessários estudos específicos sobre qual a melhor associação, em função da espécie florestal, do grau de sombreamento, do solo e do clima. Mesmo assim, algumas espécies já testadas parecem ser mais promissoras, entre elas as gramíneas green-panic (*Panicum maximum* var. *trichoglume*), colômbio (*Panicum maximum*), quicúio (*Brachiaria humidicola*), gordura (*Melinis minutiflora*) e brizanta (*B. brizantha*), e as leguminosas calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), dólicos (*Macrotyloma axillare*) e siratro (*Macroptilium atropurpureum* cv. *siratro*), enquanto que outras não foram recomendadas: a gramínea setária narok (*Setaria anceps* cv. *Narok*) e as leguminosas mucuna (*Stizolobium aterrimum*) e trevo branco (*Trifolium repens*) (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1980; ERIKSEN & WHITNEY, 1981; SCHREINER, 1987; SHELTON *et al.* 1987 e SCHREINER, 1988).

De uma forma geral, os autores acima observaram que as gramíneas são mais afetadas pela presença das árvores ou pelo sombreamento do que as leguminosas. Ao contrário do que se poderia esperar para gramíneas tropicais, em muitos casos a

produção de matéria seca (t MS/ha) foi maior na sombra do que a pleno sol, apesar de haver também um aumento no teor de umidade (%UM) nas mesmas.

Outro fato de relevância que ocorre em capins sombreados é o de apresentarem maiores teores de nitrogênio (% N). Observa-se ainda que outros nutrientes na planta forrageira também aumentam com o sombreamento: P, K, Ca, Mg, S, B e Cu, enquanto que alguns diminuem: Mn, Zn e Mo. Com relação aos componentes estruturais dos tecidos, os teores de lignina aumentam e os de celulose e hemicelulose praticamente não se alteram ou diminuem muito pouco, ao passo que os teores de carboidratos solúveis diminuem significativamente em condições de baixa luminosidade (SAMARAKOON *et al.*, 1990a e 1990b). O fato de raízes e colmos apresentarem reservas menores de carboidratos irá refletir no manejo destas pastagens, uma vez que a velocidade de rebrota ficará reduzida, necessitando para tanto altura maior de corte ou de pastejo e/ou tempo de descanso maior (WONG & WILSON, 1980). Se por um lado teores de constituintes da parede celular e de cinzas insolúveis menores e de N maiores podem contribuir para aumentar a digestibilidade, por outro lado teores menores de carboidratos solúveis e maiores de lignina podem diminuí-la. A depender desse balanço dos constituintes dos tecidos, o efeito do sombreamento pode ser positivo, nulo ou negativo (WILSON, 1981; SAMARAKOON *et al.*, 1990a). Desta forma, é difícil generalizar e prever como a digestibilidade da MS de determinada espécie vai variar com o sombreamento.

BELSKY (1992) analisou como a presença de árvores em savanas do Quênia afetava o valor nutritivo de gramíneas que cresciam sob suas copas e verificou que os teores de N, P, K, Ca, B e Cu aumentavam dos campos abertos até o sub-bosque das árvores enquanto que os teores de Mn, Zn e Mo decresciam. Uma vez que houve um aumento da produção de forragem de áreas abertas para o sub-bosque, o conteúdo total de todos os nutrientes por unidade de área aumentou em direção à base das árvores. A concentração de fibras nas forragens – FDN (fibra detergente neutro), FDA (fibra detergente ácido) e celulose – e de SiO<sub>3</sub> diminuíram, enquanto a lignina aumentou a partir de campos abertos até a região sob as copas das árvores; a digestibilidade da matéria seca foi ligeiramente menor na região sob as copas. O autor concluiu que a presença de árvores em savanas aumenta a disponibilidade de nutrientes em forragens herbáceas, apesar de ser contra-balanceada por uma ligeira queda na sua digestibilidade.



Utilizando sombreamento artificial, CASTRO *et al.* (1998) estudaram os efeitos de três níveis de luminosidade sobre a composição mineral de seis gramíneas tropicais e também constataram que com o sombreamento houve tendência geral à elevação dos teores de P, K, Ca e Mg. REYNOLDS (1978) e SMITH & WHITEMAN (1983) avaliaram o desenvolvimento de várias espécies forrageiras no sub-bosque de coqueiros e apresentaram dados semelhantes aos obtidos por outros autores, quanto ao potencial produtivo, teor de minerais e valor nutritivo, quando consorciadas com outras espécies arbóreas.

A adaptação morfológica ao stress associada à alteração na partição de fotoassimilados pode influenciar a qualidade da forragem. As plantas respondem ao sombreamento pelo maior direcionamento de matéria seca para aumentar a área foliar e o comprimento dos colmos e pelo decréscimo na matéria seca enviada para o crescimento das raízes. A área foliar de plantas sombreadas é mantida ou aumentada às expensas da espessura das folhas, resultando em lâminas de folhas mais longas, mais estreitas e mais finas do que as de plantas que cresceram a pleno sol. Da mesma forma, mesmo que o peso seco de colmos diminua em condições de sombra, o comprimento dos mesmos pode aumentar e assim resultar em colmos finos e estiolados. KEPHART & BUXTON (1993) procuraram avaliar o efeito da sombra sobre a qualidade de forragens tipo C3 e C4 e constataram que o teor de FDN nas lâminas das folhas foi 18% maior em plantas C4 que em plantas C3. Não foram constatadas outras diferenças claras entre plantas C3 e C4. Observaram que, à medida que se diminui a luminosidade, a concentração de FDN diminui e a DIVMS (digestibilidade *in vitro* da matéria seca) e o teor de N aumentam. Comparando-se o tratamento com 37% de luz com o tratamento a pleno sol, houve uma redução de 3% nas concentrações de FDN e um aumento de 5 e 26%, respectivamente para DIVMS e N. Concluíram que o sombreamento teve efeito concentrador de compostos nitrogenados e redutor na concentração de paredes celulares.

Uma vez que a produção de forragens está na dependência direta do grau de luminosidade do local e da capacidade adaptativa das espécies ao mesmo, WILSON & LUDLOW (1991) desenvolveram um modelo que permite calcular o crescimento potencial de gramíneas e leguminosas sob vários níveis de luz. Com isso, os autores

puderam comparar a produção de forragens com os requerimentos nutricionais dos animais e estimar a produção animal que se poderia esperar do local.

CARVALHO *et al.* (1997) testaram seis gramíneas tropicais estabelecidas no sub-bosque de angico-vermelho e constataram que a *Brachiaria brizantha* cv. Marandú e o *Panicum maximum* cv. Vencedor foram as gramíneas mais tolerantes ao sombreamento, alcançando 98 e 77%, respectivamente, da produção obtida na área não-sombreada. Observaram ainda que o acúmulo de N dessas espécies foi maior 47 e 22%, respectivamente, na área de sombra do que na testemunha.

O maior teor de nitrogênio e a maior produção de matéria seca por alguns capins tropicais em resposta a um sombreamento moderado é incomum por várias razões. Primeiro, porque a maior concentração de N nos perfilhos é estimulada pelo sombreamento em circunstâncias onde a disponibilidade de N seria limitante ao crescimento do capim a pleno sol. Segundo, porque o sombreamento moderado estimula uma maior produção de matéria seca na parte aérea quando comparado ao crescimento a pleno sol, em espécies de capins geralmente consideradas como “não adaptadas à sombra”. Estas espécies de capins tropicais do tipo “solar” não exibem a característica baixa taxa de crescimento que ocorre em espécies “adaptadas à sombra” (WILD, 1995).

O sombreamento modifica a intensidade e a qualidade espectral da luz que atinge a pastagem (WILSON & LUDLOW, 1991), assim como afeta os regimes de temperatura e umidade do solo (BELSKY *et al.*, 1993). Estas alterações afetam diretamente o crescimento dos capins, no entanto, são relativamente poucas as formas em que a sombra possa agir sobre a planta de forma a aumentar as quantidades de N e de matéria seca produzidos por ela.

Possíveis mecanismos pelos quais o “efeito sombra” poderia ser produzido pela própria planta incluem: a) a partição do N do crescimento de raízes para a parte aérea; b) estímulo à ciclagem de N pela resposta da planta ao sombreamento, provavelmente envolvendo a população microbiana da rizosfera e levando a um aumento na fixação de N<sub>2</sub>, absorção micorrízica de N ou estímulo à mineralização do N microbiano pelas plantas; e c) o sombreamento pode amenizar o stress que ocorre nas plantas a pleno sol, tais como falta de água ou danos devidos à fotoinibição (WILD, 1995).

A partição de nutrientes para a produção de perfilhos é uma resposta comum ao sombreamento e já foi demonstrado em várias espécies de capins tropicais. Apesar do

“efeito sombra” ter sido observado por WONG & WILSON (1980) em um pasto jovem de green panic, considerando-se as grandes reservas de nutrientes imobilizadas na biomassa das raízes e as dificuldades em amostrar e separar as raízes do solo durante experimentos de campo, seria insensato neste momento descartar a sua participação no “efeito sombra”.

A fixação de  $N_2$ , a atividade micorrízica e os efeitos da rizosfera sobre os microorganismos mineralizadores de N se baseiam principalmente nas raízes dos capins como fonte de C, proveniente de exudados e de mucilagens, que provavelmente são reduzidos quando a luminosidade limita a fotossíntese. Além do mais, é mais provável que elas sejam reduzidas do que estimuladas por temperaturas mais baixas sob sombreamento. Portanto, é improvável que elas sejam aumentadas sob sombreamento, conclusão geralmente apoiada pela literatura (WILD, 1995).

O efeito da competição por água do solo pelas árvores também foi questionada. WONG & WILSON (1980), usando sombreamento artificial, demonstraram que o “efeito sombra” não foi devido à ciclagem de nutrientes pela queda de folhagem de árvores, mas é provável que a influência das árvores sobre a umidade do solo seja importante no campo, uma vez que tanto o sombrite quanto a sombra das árvores pode reduzir a evapotranspiração nas pastagens. Trabalhos relativos ao efeito das árvores sobre o balanço de umidade nas pastagens têm sido conflitantes e o papel que a umidade do solo representa necessita ser melhor esclarecido. LUDLOW et al. (1988) demonstrou que o melhor crescimento na sombra não foi devido a fotoinibidores que danificavam plantas que cresciam a pleno sol.

No entanto, WILSON et al. (1986) acreditam que sua hipótese, de que sombreamento moderado altera o balanço entre os processos de mineralização e de imobilização em capins tropicais com limitação de N, está bem fundamentada. Há várias maneiras pelas quais o balanço entre os processos de mobilização e imobilização no solo podem ser alterados e portanto é importante identificar as fontes de qualquer N adicional utilizado por capins sombreados.

Considerando que haja uma fonte alternativa de N em pastagens sombreadas, existem algumas possibilidades para a sua origem. Uma delas é que a ciclagem de N é mais rápida, proveniente da serapilheira e matéria orgânica do solo, possivelmente resultante de uma população microbiana mais diversificada e mais ativa ou de mudanças

na quantidade ou qualidade da serapilheira e outros substratos para microorganismos. Outra possibilidade é a absorção mais eficiente de N pelas raízes sob sombreamento, indicando que eventualmente as plantas poderiam competir favoravelmente com a microflora do solo pelo N-inorgânico e assim absorver maior quantidade de N. Talvez a maior umidade do solo permita uma melhor mobilidade do N e sua absorção da solução do solo. Por fim, a sombra pode aumentar a economia de N em pastagens pela redução das perdas de N.

### **2.3. Fatores que afetam a produção de biomassa em sistemas silvipastoris**

#### **2.3.1. Solo e ciclagem de nutrientes**

Segundo SWITZER & NELSON (1972), a ciclagem de nutrientes em florestas pode ser dividida em dois ciclos principais: o geoquímico e o biológico. O ciclo geoquímico caracteriza-se pelas trocas de elementos minerais entre um determinado ecossistema e seus componentes externos. As principais fontes de entrada de nutrientes no ecossistema florestal são: a chuva, o intemperismo de rochas, a fixação biológica do N e a aplicação de fertilizantes e resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais. Neste ciclo, as perdas de nutrientes para fora do ecossistema são ocasionadas pelos processos de erosão e lixiviação pela água de drenagem, fogo, processos de denitrificação e, principalmente, pela colheita florestal. O ciclo biológico, que consiste na movimentação de nutrientes dentro do ecossistema, pode ser sub-dividido em biogeoquímico e em bioquímico. O ciclo biogeoquímico refere-se às trocas químicas entre o solo e as plantas. Caracteriza-se pela absorção de nutrientes através do sistema radicular e sua distribuição entre os diversos componentes das plantas. Ocorre, em seguida, a transferência dos nutrientes ao solo através da deposição da serapilheira, da lixiviação das folhas, ramos e troncos pela ação da chuva, além dos processos de herbivoria e da dispersão de frutos e sementes. O ciclo bioquímico consiste na translocação de nutrientes dos tecidos velhos para os tecidos novos da planta, onde os processos de divisão celular e de crescimento são mais ativos.

A quantidade de nutrientes num ecossistema florestal é representada pela somatória dos nutrientes contidos nos diferentes compartimentos das árvores (folhas, ramos, casca e lenho), vegetação do sub-bosque, serapilheira e solo.

Segundo POGGIANI (1985), a remoção de nutrientes do sítio, em função da exploração florestal, deve-se primeiramente à exportação dos nutrientes contidos na biomassa arbórea. Evidentemente, a exportação de nutrientes é sempre proporcional à quantidade de biomassa exportada. Todavia, cada componente da árvore possui diferentes concentrações de elementos químicos em seus tecidos, havendo um gradiente que geralmente apresenta a seguinte seqüência: folhas > casca > ramos > lenho. A concentração de nutrientes varia de espécie para espécie e também em função da idade das árvores. Normalmente, o acúmulo de nutrientes acompanha a expansão da biomassa arbórea crescendo de forma linear ou exponencial durante a fase inicial e à taxas mais reduzidas quando atinge a maturidade. A magnitude do acúmulo de nutrientes pelas árvores está também intimamente relacionada com as condições de fertilidade do solo. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os dados referentes à vários autores.

Para RHODES (1997), o entendimento das diferenças espécie-específicas nas interações entre árvores e solos tem importância no planejamento e é de interesse imediato para os fazendeiros preocupados em manter ou aumentar a produtividade de sua propriedade, influenciando a escolha da área, das espécies a serem plantadas, as técnicas de plantio e de manejo e a escala de tempo do empreendimento.

Diversos autores observaram que em condições de sombreamento ocorre um aumento significativo nos teores de MO (matéria orgânica), N, P, K e Ca e diminuição no teor de Mg nos solos (BELSKY *et al.*, 1989; BELSKY, 1992 e BELSKY *et al.*, 1993).

HAWKE & O'CONNOR (1993) analisaram o solo sob plantios de *Pinus radiata* e constataram um declínio significativo no seu pH à medida que aumentava a idade e a densidade das árvores. Os autores acreditam que esse fato deve estar relacionado com a queda e decomposição de acículas, uma vez que estas apresentam pH de 4,4 e produzem volume considerável de material, da ordem de 4 a 6 t MS/ha/ano, respectivamente nas densidade de 100 e 200 árv./ha, em plantios de 15 anos de idade. Por outro lado, verificaram efeitos positivos no teor de nutrientes no solo. Os teores de P, K, S e Mn tiveram um aumento ou se mantiveram em níveis adequados sob as árvores.

**Tabela 2:** Concentração de nutrientes, em % da matéria seca, nos diferentes compartimentos das árvores, observada por diferentes autores, em plantios florestais tradicionais (solteiros).

<b>Autores</b>	<b>Partes</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Valeri 1988 Brasil <i>P. taeda</i>	acículas	1,526	0,090	0,335	0,289	0,106	--
	galhos	0,476	0,023	0,102	0,174	0,046	--
	tronco	0,086	0,008	0,039	0,086	0,013	--
	casca	0,278	0,019	0,089	0,182	0,036	--
	serap	0,475	0,047	0,041	0,513	0,110	--
Soave 1990 Brasil <i>P. elliotii</i>	acículas	1,15	0,08	0,62	0,19	0,08	--
	galhos	0,25	0,02	0,08	0,20	0,20	--
	tronco	0,24	0,02	0,06	0,12	0,04	--
	serap	0,53	0,02	0,08	0,27	0,07	--
Timoni 1990 Brasil <i>P. kesiya</i>	acículas	1,66	0,07	0,37	0,22	0,06	0,08
	galhos	0,35	0,02	0,19	0,16	0,04	0,02
	tronco	0,12	0,01	0,04	0,05	0,02	0,03
	casca	0,33	0,03	0,02	0,21	0,07	0,03
	serap	0,86	0,03	0,14	0,23	0,05	0,05
	raiz. gros.	0,23	0,02	0,08	0,09	0,04	0,05
	raiz. finas	0,51	0,03	0,17	0,17	0,08	0,04
Kabeda 1991 Nigéria <i>P. caribaea</i> <i>hondurensis</i>	acículas	0,92	0,055	0,58	0,34	0,10	--
	galhos	0,28	0,029	0,15	0,18	0,06	--
	tronco	0,28	0,026	0,09	0,11	0,04	--
	casca	0,16	0,015	0,12	0,08	0,03	--
Rawat & Tandon 1993 Índia <i>P.</i> <i>roxburghii</i>	acículas	0,94	0,020	0,610	0,580	0,180	--
	galhos	0,26	0,005	0,190	0,201	0,130	--
	tronco	0,14	0,005	0,162	0,021	0,102	--
	casca	0,22	0,006	0,260	0,350	0,090	--

O sombreamento, limitando a penetração de luz, diminui a temperatura do solo e a presença de gramíneas favorece a sua proteção através da maior infiltração de água e menor perda por evaporação, refletindo em teores de umidade do solo maiores. Como o teor de nutrientes no solo e sua umidade foram maiores próximos às árvores, provavelmente pode estar ocorrendo uma maior concentração de nutrientes na solução

**Tabela 3:** Quantidade de biomassa e conteúdo de minerais nos diversos componentes das árvores e na serapilheira, observados por diversos autores.

Autores	Componentes	Biomassa (t MS/ha)						Minerais (kg/ha)							
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S		
Poggiani, 1985	Acículas	100,8	5,8	44,0	19,7	7,7	--								
<i>P. caribaea hondurensis</i>	Galhos	23,0	1,4	11,8	13,6	4,2	--								
14 anos, 955 árv/ha	Tronco	180,7	9,0	94,8	70,4	22,0	--								
Brasil	Total	304,5	16,2	150,6	103,7	33,9	--								
	Serapilheira	155,6	8,49	19,8	38,2	8,9	--								
Valeri, 1988	Acículas	142,4	8,4	31,3	27,0	9,9	--								
<i>P. taeda</i> , 14 anos	Galhos	107,5	4,9	22,0	40,8	11,2	--								
731 árv/ha	Tronco	172,6	13,2	67,4	123,1	24,1	--								
Brasil	Total	422,5	26,5	120,7	190,9	45,2	--								
	Serapilheira	185,0	13,4	8,4	87,5	14,2	--								
Soave, 1990	Acículas	147,3	12,1	94,0	28,8	12,1	--								
<i>P. elliottii</i> , 31 anos	Galhos	65,7	5,2	21,2	55,6	10,7	--								
1250 árv/ha	Tronco	392,7	27,8	98,2	196,3	57,3	--								
Brasil	Total	632,7	45,2	213,4	280,7	80,1	--								
	Serapilheira	38,0	2,0	4,0	22,0	5,0	--								

(Cont.)

**Tabela 3:** Quantidade de biomassa e conteúdo de minerais nos diversos componentes das árvores e na serapilheira, observados por diversos autores.

Autores	Componentes	Biomassa						Mg	S
		(t MS/ha)							
		N	P	K	Ca				
		(kg/ha)							
Timoni, 1990	Acículas	104	4	23	14	3	5		
<i>P. kesíya</i> , 16 anos	Galhos	63	3	23	39	7	5		
1537 árv/ha	Tronco	163	13	47	73	27	38		
Brasil	Total	330	20	93	126	37	48		
	Serapilheira	173	4	5	22	4	8		
Birk, 1993	Acículas	212,1	19,3	89,3	69,8	20,5	--		
<i>P. radiata</i> , 21 anos	Galhos	117,9	16,9	118,8	100,3	30,7	--		
804 árv/ha	Tronco	234,2	26,0	219,8	249,6	76,2	--		
Austrália	Total	564,2	62,2	427,9	419,7	127,4	--		
	Serapilheira	171,0	17,7	35,0	108,0	22,0	--		
Rawat & Tandon, 1993	Acículas	156,0	3,3	101,3	96,3	29,9	--		
<i>P. roxburghii</i> , 18 anos	Galhos	21,8	0,4	16,0	16,9	10,9	--		
981 árv/ha	Tronco	89,9	3,0	104,7	48,7	57,7	--		
Índia	Total	267,7	6,7	222,0	161,9	98,5	--		
	Serapilheira	75,8	0,6	18,0	16,1	16,2	--		



do solo permitindo que as plantas os absorvam, resultando em maior produção de MS (WILSON *et al.*, 1986; BELSKY *et al.*, 1989 e SEQUEIRA & GHOLZ, 1991).

Em algumas situações observou-se maior atividade microbiana, sugerindo que talvez micorrizas pudessem estar envolvidas na maior produção de biomassa e de maiores teores de N nas plantas (WONG & WILSON, 1980).

Posteriormente, WILSON (1996), procurando justificar o maior teor de N em capins sombreados, estudou o efeito do sombreamento artificial (50% de luminosidade) sobre alguns capins tropicais. Observou que o sombreamento aumentou a produção de matéria seca da parte aérea do capim green-panic em 37%, do capim rhodes em 22% e em 9% no capim *Heteropogon contortus*. Aumentos relativos semelhantes também foram observados para os teores de N na parte aérea. A biomassa de raízes foi menor na área sombreada que na a pleno sol, mas isso não explicou o maior teor de N na parte aérea. Por outro lado, as concentrações de nitrato e de amônia na superfície do solo sombreado tenderam a ser maiores, confirmando a hipótese da atuação de um amplo processo biológico no solo, que desloca o balanço de imobilização/mineralização mais a favor da mineralização. O autor considera que isso se deve ao sombreamento, que diminuiu as temperaturas extremas na superfície do solo e na serapilheira em até 10-12 °C e melhorou o status de água no solo, quando comparado com as parcelas a pleno sol, o que favoreceu a degradação da matéria orgânica e a ciclagem de N. O autor também concluiu que temperaturas extremas na superfície e baixa umidade do solo em pastagens a pleno sol parecem ser prejudiciais à alta atividade microbiana.

### 2.3.2. Clima

As árvores afetam o seu microclima principalmente por interceptarem a radiação solar. As temperaturas do ar e do solo são reduzidas e as umidades do ar e do solo aumentadas à medida que se aumenta o nível de sombreamento (WONG & WILSON, 1980; BELSKY *et al.*, 1989 e BELSKY *et al.*, 1993).

HAWKE & WEDDERBURN (1994) acompanharam diariamente, durante 3 anos, as variáveis climáticas em 4 densidades de pinus: 0, 100, 200 e 400 árv./ha, com idades de 8-11 anos. As forrageiras usadas foram: *Lolium perene*, *Trifolium repens*,

*Agrotis capillaris* e *Anthoxanthum odoratum*. Observaram que a velocidade do vento foi a variável mais afetada pelas árvores, ocorrendo uma redução na média anual de 78, 45 e 44% respectivamente nas densidades de 400, 200 e 100 árv./ha, quando comparado com as médias da área sem árvores. As variações nas temperaturas máximas e mínimas médias do ar foram respectivamente de 1,3 e 1,5 °C, entre as densidades de árvores testadas, não apresentando efeito sazonal. Por outro lado, a temperatura mínima ao nível do solo apresentou padrão sazonal, aumentando à medida que aumentava a densidade de árvores, com uma variação de 2,5-3,0 °C. Em noites muito frias, a temperatura ao nível do solo foi maior em densidades maiores de árvores. Já as temperaturas do solo, nas profundidades de 10 e 30 cm, tenderam a diminuir com o aumento da densidade de árvores, com exceção da densidade de 100 árv./ha, que foi igual à área sem árvores. Os autores consideraram que este fato talvez se deva ao próprio sombreamento pelas árvores e pela maior quantidade de acículas que caem sobre o solo, dificultando o aquecimento do solo. Estas observações microclimáticas têm repercussões sobre o conforto animal e seu desempenho. A redução de vento sob as árvores reduz o stress térmico, principalmente em regiões de clima temperado, reduzindo a taxa de mortalidade dos animais, principalmente dos jovens. Isso pode representar uma economia na energia de manutenção dos mesmos. Já em regiões quentes, a redução de ventos pode causar stress térmico pela dificuldade de troca calórica.

SÁ (1994) afirmou que a quantidade de radiação, a qualidade espectral e, até certo ponto, a natureza (direta ou difusa) da energia solar que atinge os diferentes componentes dos sistemas agroflorestais estão associados ao grau de fechamento das copas e à estrutura do dossel vegetal. A modificação na composição espectral através das diversas camadas da vegetação é decorrente do caráter seletivo da absorção de radiação pelos pigmentos encontrados nos elementos da vegetação, resultando em intensa absorção na faixa fotossinteticamente ativa (RFA) (400 a 700 nm) e, conseqüentemente, diminuição gradativa da energia nesta faixa até o solo.

Como a interceptação da luz solar vai determinar a eficiência fotossintética de cada planta em determinada situação, e conseqüentemente, sua produção de biomassa, torna-se interessante identificar quais são as habilidades naturais, químicas e morfológicas de cada espécie forrageira e procurar favorecer o seu desempenho através de técnicas de manejo do ambiente.

#### 2.4. Aspectos relacionados à produção animal

Poucos trabalhos foram encontrados sobre o desempenho animal em sistemas silvipastoris, talvez porque a preocupação maior no momento esteja concentrada na determinação das melhores densidades de árvores /ha e na seleção das forrageiras mais adaptadas às condições de sombreamento, bem como determinar como ele afeta o seu valor nutritivo.

Maior produção de forragem por área, menor teor de matéria seca e maior teor de N podem ter reflexos interessantes na alimentação animal: ao mesmo tempo em que a forragem apresenta maiores teores de proteína (%PB), o consumo voluntário pode ficar limitado fisicamente pelo fato dela apresentar também maiores teores de umidade, a não ser que sua digestibilidade seja aumentada o suficiente para aumentar sua velocidade de passagem pelo trato digestivo (WILSON, 1981 e ERIKSEN & WHITNEY, 1981).

HAWKE (1991) e HAWKE *et al.* (1993) avaliaram o ganho de peso em carneiros pastejando no sub-bosque de *Pinus radiata*, com idade de 13-15 anos, nas densidades de 0, 50, 100 e 200 árv./ha, obtendo ganhos médios de peso vivo de 170, 155, 136 e 94 g/an./dia, respectivamente. Observaram ainda que a digestibilidade da forragem variou pouco entre as diferentes densidades de árvores mesmo com a mudança na composição botânica da pastagem. O acúmulo de acículas de pinheiros nas maiores densidades de árvores diminuiu a qualidade do alimento total em oferta. A queda de acículas não pode ser controlada mas períodos mais longos de rebrota para as forragens favoreceu maior seleção das mesmas. Os autores concluíram que o desempenho dos animais sob densidades menores de árvores em sistemas silvipastoris pode ser satisfatório, desde que o manejo das pastagens favoreça a produção de alimento fresco e nutritivo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Características do local**

Este projeto foi realizado na Estação Central do Instituto de Zootecnia, em Nova Odessa - S.P. A precipitação média anual do local é de 1.250 mm e a temperatura média anual é de 20 °C. O solo que ocorre na área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa e possui baixa fertilidade.

O talhão de pinus (*Pinus elliottii*) onde foi implantado o experimento possui uma área total de 4,3 ha. Originalmente foi plantado num espaçamento de 4x2 m e por ocasião do início do projeto contava com uma densidade de 480 árv/ha e idade inicial aproximada de 25 anos.

#### **3.2. Tratamentos e delineamento experimental**

Este projeto foi composto por dois experimentos distintos mas simultâneos e complementares: na Área nº 1 foi avaliado o desenvolvimento das forrageiras no sub-bosque dos pinheiros, portanto em condições de sombreamento, e na Área nº 2 foi avaliado o desenvolvimento destas mesmas forrageiras, mas a pleno sol (Figura 3). A adoção destas duas áreas como experimentos distintos se deve ao fato de que, do ponto de vista estatístico, para que as parcelas a pleno sol pudessem fazer parte da mesma análise estatística, elas deveriam ter todas as árvores originais cortadas e entrarem no

mesmo sorteio das parcelas e sub-parcelas. No entanto, como as árvores já eram adultas e possuíam em torno de 25 m de altura, com o movimento do sol as árvores das parcelas vizinhas acabariam por sombreá-las, interferindo nos seus resultados. Além do mais, a área reflorestada era relativamente pequena para acomodar parcelas maiores, que eliminassem esse problema. Assim, a apresentação dos resultados à sombra e a pleno sol (com análises estatísticas em separado) teve como objetivo permitir apenas que se façam comparações entre as duas situações (sombreada e a pleno sol).

### Área 1

30	36	42	48
29 B3	35 B3	41 B4	47 B4
28	34	40	46
27 D1	33 D2	39 D1	45 D2
26	32	38	44
25	31	37	43
24	18	12	6
23 B2	17 B2	11 B1	5 B1
22	16	10	4
21 D1	15 D2	9 D2	3 D1
20	14	8	2
19	13	7	1

### Área 2

60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49
72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61

**Figura 3:** Esquema da área experimental, com o talhão de Pinus (acima) dividido em quatro blocos (B1, B2, B3 e B4), cada um com duas densidades de árvores (D1 e D2) e seis sub-parcelas de capins. Abaixo se acham as parcelas a pleno sol, contando com quatro blocos e seis parcelas de capins cada.

Na Área nº 1 (Figura 3) os tratamentos constam de 2 densidades de árvores, D1 (200 árv./há) e D2 (400 árv./ha), e de 6 espécies de gramíneas: tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia), aruana (*P. maximum* cv. Aruana), green-panic (*P. maximum* var. *Trichoglume*), brizanta (*Brachiaria brizantha*), humidícola (*B. humidicola*) e tifton-85 (*Cynodon dactylon* cv. Tifton 85).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições por tratamento. As parcelas foram formadas pelas duas densidades de árvores e as sub-parcelas pelas seis espécies forrageiras estabelecidas no sub-bosque do pinus, resultando em  $6 \times 2 \times 4 = 48$  sub-parcelas.

Cada subparcela mede 44m x 12m e possui uma área total de 528 m<sup>2</sup>, sendo que a área útil para fins de coleta de dados foi de 288 m<sup>2</sup>, deixando-se 4 m de bordadura de cada lado visando eliminar interferências.

A Área nº 2 (Figura 3) foi implantada em área anexa ao talhão de pinus, a céu aberto, sendo que o preparo do solo, plantio, manejo e coleta de dados foram feitos de forma idêntica e simultânea à Área nº 1.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, ou seja, 6 forrageiras x 4 repetições = 24 parcelas. Cada parcela media 5m x 3m, deixando-se 1m entre elas para facilitar o trânsito. Os blocos foram localizados de forma que ficassem afastados no mínimo 30 m do talhão de pinus para evitar sombreamento pelas árvores.

As amostragens de solo e de forragens foram feitas na área central das parcelas, desprezando-se 1 m de cada lado como bordadura.

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o programa estatístico SANEST (ZONTA *et al.*, 1992), um programa nacional e de livre uso, similar ao SAS.

Foi feita também a análise das correlações entre a produção de biomassa pelos capins e pelas árvores e as variáveis ambientais, utilizando-se para tanto a análise de componentes principais (PCA) do software PC-ORD for Windows (MC CUNE & MEFFORD, 1997). As variáveis ambientais foram primeiramente transformadas pelo seu logaritmo natural, a fim de normalizar a distribuição de suas freqüência, para então proceder a análise.

Na PCA, todas as variáveis climáticas, edáficas, bromatológicas, fisiológicas e minerais foram utilizadas, numa primeira fase, a fim de selecionar aquelas com variações mais fortes. Desta maneira, as variáveis ambientais que apresentaram uma

baixa correlação ( $<0,5$ ) com os dois primeiros componentes ou com alta redundância entre si foram eliminadas.

### **3.3. Características dos capins utilizados:**

A escolha das espécies forrageiras baseou-se principalmente na arquitetura destas plantas, visando verificar qual delas era mais eficiente no aproveitamento da radiação solar, além é claro, de alguns indicativos da literatura de que estas espécies teriam uma certa tolerância ao sombreamento (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1999).

#### ***Panicum maximum* cv. Tanzânia**

Este capim é originário da África e foi introduzido no Brasil em 1983 pela Embrapa Gado de Corte. É cespitoso e atinge até 1,30 metro de altura e tem colmos levemente arroxeados. Rende 60% mais que o colonião comum e a distribuição de sua produção durante o ano é melhor. Apresenta maior teor de proteínas, uma vez que possui mais folhas, o que lhe confere melhor aproveitamento alimentar. É mais exigente em termos de fertilidade do solo do que as braquiárias.

#### ***Panicum maximum* cv. Aruana**

O capim Aruana foi lançado pelo Instituto de Zootecnia em 1989 mas é originário da África. É uma gramínea de hábito de crescimento semi-cespitoso, porte médio (70-90 cm de altura) e colmos finos. Esse cultivar apresenta um número de perfilhos superior aos outros cultivares de *P. maximum*, principalmente no período de inverno. Devido aos colmos serem finos e tenros, são bem consumidos pelos animais. Esse capim apresenta exigência média a alta de fertilidade.

Produz de 15 a 26 t MS/ha/ano, com uma distribuição de 30 a 40% no período seco do ano (abril a setembro) e teores de proteína bruta de 7,5 a 12% variando ao longo do ano, e digestibilidade da matéria seca em torno de 64%. É muito bem aceito por bovinos, eqüinos e ovinos.

***Panicum maximum* var. *trichoglume***

Conhecido como “green-panic”, este capim foi introduzido da Austrália em 1976. Possui raízes mais superficiais e é bastante resistente à seca, sendo indicado para precipitações anuais mínimas de 600 mm, mas não resiste a grandes precipitações (apodrece). É cespitoso e de porte médio (60 a 130 cm). Seu feno é de boa qualidade, é bem consumido pelos animais e apresenta alta digestibilidade, mas não suporta pastejo muito pesado.

***Brachiaria brizantha* cv. Marandú (Hochst ex A.Rich.) Stapf**

É originária de uma região vulcânica da África, onde os solos geralmente apresentam bons níveis de fertilidade. O cultivar Marandú é um ecótipo de *B. brizantha* que foi cultivado por vários anos no interior de São Paulo. Planta cespitosa, muito robusta, de 1,5 a 2,0 m de altura, e com intenso afilhamento nos nós superiores dos colmos floríferos; presença de pêlos na porção apical dos entre-nós; bainhas pilosas e lâminas largas e longas com pubescência apenas na face inferior, glabras na face superior e com margens não cortantes.

Apresenta ampla adaptação climática até 3.000 m acima do nível do mar, com precipitação pluvial anual ao redor de 700 mm e cerca de 5 meses de seca no inverno. Não tolera solos encharcados. Apresenta boa tolerância ao sombreamento e ao fogo. A temperatura ideal para o crescimento é 30-35 oC, e a temperatura mínima é de 15 oC. Apresenta boa tolerância ao frio, permanecendo verde no inverno. É recomendado para cerrados de média a boa fertilidade, tolerando condições de acidez no solo. Tem mostrado bom valor forrageiro, alta produção de massa verde e alta produção de sementes viáveis. É bem aceito também por eqüinos e nas fases de desmama e engorda de bovinos (SOARES FILHO, 1994).

***Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickerdt**

O capim humidícola ou capim quicuio da Amazônia é uma espécie indígena do leste e sudeste da África, onde ocorre em áreas relativamente úmidas. É uma espécie



perene, com hastes floríferas com mais de 500 mm e numerosos estolões, formando cobertura densa. Atinge normalmente 1 m de altura e os estolões são finos, de cor avermelhada, enraizando nos nós. Os rizomas apresentam-se em dois tipos: um em nódulos pequenos, compactos e outro em nódulos longos e finos, semelhantes aos estolões.

Apresenta ampla adaptação climática até 2.000 m acima do nível do mar. A temperatura ótima para crescimento é de 32-35 oC, mas resiste bem a geada. Desenvolve-se melhor em regiões tropicais úmidas (1.100 a 1.400 mm de chuva/ano), apesar de ter média tolerância à seca. Apresenta baixa tolerância ao fogo e boa tolerância a solos encharcados. É pouco exigente em fertilidade do solo, apresenta alta tolerância ao Al e baixo requerimento de fósforo. A propagação pode ser feita tanto por mudas (pedaços de estolões) como por sementes. A formação é bastante lenta, podendo demorar até 6 meses para a ocupação do terreno. É indicado para os sistemas de produção de cria e recria de bovinos e bubalinos. Não é indicado para equinos devido aos altos teores de oxalatos na forragem (SOARES FILHO, 1994).

#### *Cynodon dactylon* cv. Tifton-85

O capim bermuda Tifton-85 é uma planta perene, estolonífera e rizomatosa. Os estolões apresentam coloração verde e com pigmentação roxa pouco intensa. É um capim recomendado para fenação e para pastejo em decorrência da boa relação folha/colmo que possui, sendo aceito por equinos, bovinos, ovinos e caprinos. Apresenta muito bom fechamento do solo e muito boa resistência à geada, à doenças e ao déficit hídrico. Tem boa resistência ao fogo mas não tolera acidez elevada no solo. É moderadamente suscetível ao ataque da cigarrinha. Foi selecionado para produção de matéria seca e alta digestibilidade (VILELA & ALVIM, 1998).

### **3.4. Implantação do experimento**

Após o sorteio dos tratamentos, para a implantação das parcelas primeiramente foram feitos desbastes seletivos para as densidades de árvores propostas. Após o

desbaste, foi feita uma catação manual para eliminar o material mais volumoso (galhos, etc.) que havia ficado no local.

Em função da análise inicial do solo, foi feita a determinação da quantidade de calcário a ser aplicada, utilizando-se para tanto o método de saturação de bases, resultando em 6,2 t/ha para as parcelas sombreadas e em 3,2 t/ha para as parcelas a pleno sol. No entanto, como a quantidade de calcário a ser aplicada à sombra era superior ao que recomenda a literatura (máx. de 3 t/ha/ano), optou-se por aplicar apenas 3 t/ha na área toda. Não foi feita complementação posterior para não interferir nos demais dados que estavam sendo coletados. Foi utilizado o calcário dolomítico e sua distribuição foi feita a lanço com auxílio de um trator na superfície da área experimental e logo após incorporado ao solo com uma gradeação leve, visando causar o menor dano possível às raízes das árvores.

Antes do plantio foi feita nova gradeação leve e, em seguida, como as sub-parcelas eram relativamente pequenas para plantio mecanizado, as sementes foram espalhadas a lanço (manualmente) em cada parcela. O adubo foi aplicado com uma plantadeira/adubadeira de pastagens que possuía também um rolo compactador do solo para permitir o enterrio das sementes no solo. Foi feito o sulcamento do terreno apenas nas parcelas onde seria plantado o capim Tifton.

Empregou-se a seguinte adubação de plantio para as gramíneas: 20 kg N/ha (100 kg de sulfato de amônio/ha); 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (500 kg de superfosfato simples/ha) e 60 kg K<sub>2</sub>O/ha (100 kg de cloreto de potássio/ha).

A quantidade de sementes de gramíneas utilizadas dependeu do seu valor cultural. As sub-parcelas com Tifton foram estabelecidas através de estolões, plantados no espaçamento de 1 m x 1 m e a 10 cm de profundidade.

### **3.5. Variáveis avaliadas**

Em função do grande número de variáveis a serem avaliadas, este projeto foi dividido em duas fases, visando facilitar a sua realização. A primeira fase (Fase 1) foi dedicada à avaliação dos aspectos ecofisiológicos atuantes no sistema silvipastoril e a segunda fase (Fase 2), à avaliação do estoque de carbono presente no sistema.

### 3.5.1. Fase 1 – Avaliação do desempenho dos capins

Na Fase 1, para cada item foram feitas oito amostragens, uma a cada intervalo de 3 meses, procurando corresponder às quatro estações do ano: Inverno (julho a setembro), Primavera (outubro a dezembro), Verão (janeiro a março) e Outono (abril a junho). As avaliações tiveram início em julho/98 e terminaram em junho/2000. Os fatores avaliados foram os seguintes:

a) com relação à espécie florestal:

- altura (H) e diâmetro à altura do peito (DAP), medidos uma vez ao ano, nos meses de dezembro.

b) com relação às espécies forrageiras:

- produção de matéria seca (MS), teores de minerais (N, P, K, Ca, Mg e S), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), celulose (Cel), lignina (Lig) e digestibilidade “*in vitro*” da matéria seca (DIVMS), através de análises laboratoriais, uma vez por trimestre; determinação da taxa fotossintética por meio da medição da fluorescência da clorofila nas plantas, utilizando-se o aparelho EARS PPM, medida uma vez por mês; e o índice de área foliar (IAF) determinado com o SUNSCAN CANOPY ANALYSIS SYSTEM, também feito uma vez por mês.

Para se determinar a quantidade de matéria seca produzida por cada forrageira nas sub-parcelas foram tomadas 3 amostras ao acaso dentro de sua área útil, utilizado-se um quadrado de ferro (1,0 x 1,0 m = 1 m<sup>2</sup>). O corte da forragem foi feito manualmente com auxílio de uma foice, a uma altura aproximada de 15 cm da superfície do solo. Após a coleta e pesagem da forragem verde, ela foi picada e foram retiradas amostras de aproximadamente 500 gr por unidade experimental e submetidas inicialmente a um processo de pré-secagem a 65°C por 48 horas em estufa de ventilação forçada e posteriormente preparadas e enviadas para as análises laboratoriais (bromatológicas e de minerais), utilizando-se para tanto a metodologia estabelecida pela A.O.A.C. (1995).

c) com relação ao solo:

Foram determinados através de análises laboratoriais os teores de matéria orgânica (MO), pelo método colorimétrico, de minerais (P, K, Ca, Mg e S) e de atividade microbiana pelo método da respirometria (ANDERSON, 1982). Para tanto foram feitas amostragens de solo a cada trimestre, com trado na profundidade de 0 a 20 cm, coletando-se 3 amostras simples, nos mesmos locais de amostragem das forragens, para constituírem uma amostra composta por sub-parcela. De posse das concentrações de cada elemento e da densidade aparente do solo, foram estimadas as quantidades de elementos químicos contidos na camada 0-20 cm de profundidade do solo.

d) com relação ao microclima:

Através de equipamentos portáteis, foram medidos: temperatura e umidade do ar com o termohigrômetro OAKTON; e radiação solar fotossinteticamente ativa incidente (acima e abaixo do capim) com o ceptômetro SUNSCAN CANOPY ANALYSIS SYSTEM. Foram avaliados também a temperatura e o teor de umidade do solo através de medições com o aparelho AQUATERR - TEMP 200. Essas medições foram feitas uma vez por mês, visando estimar as condições microclimáticas que ocorreram em cada sub-parcela ao longo do período experimental, realizadas em dias de céu claro, entre as 10 e 14 hs, quando o sol se encontrava mais alto e próximo às temperaturas máximas do dia.

As análises laboratoriais foram feitas nos Laboratórios de Bromatologia (análises bromatológicas) e de Minerais (minerais nas plantas) do Instituto de Zootecnia e nos Laboratórios de Química (minerais nos solos) e de Solos (atividade microbiana) da ESALQ.

Após as amostragens e medições de cada período era feita uma roçada de uniformização das sub-parcelas, deixando-se no local o material cortado.

### 3.5.2. Fase 2 – Determinação da biomassa e estoque de carbono

A rigor, o termo “biomassa” engloba tanto material de origem vegetal (fitomassa), quanto de origem animal (zoomassa). No entanto, seguindo a terminologia utilizada em trabalhos internacionais, adotou-se aqui o termo genérico de “biomassa” em referência exclusiva à fitomassa.

Para que se possa determinar a quantidade de carbono estocado no sistema silvipastoril é necessário que se saiba a quantidade de biomassa que ele possui, tanto biomassa viva, acima do solo (árvores e capins) e abaixo (raízes), quanto biomassa morta (necromassa), acima (serapilheira) e abaixo do solo (matéria orgânica do solo), conforme metodologia sugerida por SATOO & MADGWICK (1982).

#### a) Biomassa das árvores

Tendo em conta que no presente experimento as parcelas são representadas pelas duas densidades de árvores, para a estimação de sua biomassa utilizaram-se duas repetições (blocos), totalizando assim quatro parcelas de 3168 m<sup>2</sup>. Primeiramente foram medidos os diâmetros (DAP) de todas as árvores presentes no talhão inteiro. Em seguida, foram definidas 3 classes de diâmetros e abatidas duas árvores de cada classe, em cada uma das parcelas, totalizando 24 árvores, com o objetivo de se determinar o peso de cada um de seus componentes, ou seja, folhas, galhos, tronco e raízes grossas. Após o corte, as árvores foram medidas quanto ao diâmetro (DAP) e altura comercial (diâmetro > 8 cm). Em seguida foram desgalhadas e os galhos separados das acículas (Figura 4). Após a separação, os galhos e acículas de cada árvore foram pesados separadamente no campo.

A estimativa do peso seco dos componentes das árvores foi feita através de amostragens. Cerca de 200 g das acículas por árvore, após homogeneização de toda copa, foram amostrados. Os galhos de cada árvore, incluindo a parte do caule com menos de oito centímetros de diâmetro, foram agrupados e deles retirada uma amostra (cerca de 500 g) representativa do conjunto. As amostras de acículas e galhos foram pesadas e colocadas para secar em estufa com ventilação forçada, à temperatura de 65 °C por 72 horas, até atingir peso constante, para determinação de seus pesos secos.



**Figura 4:** Separação das acículas dos galhos de pinheiros para determinação de sua biomassa.



**Figura 5:** Amostragem de discos de madeira ao longo do tronco de pinheiros para determinação de sua biomassa.

Conhecendo-se o peso fresco total dos componentes acículas e galhos e o teor de umidade nas respectivas amostras, foi possível estimar o peso total do material seco destes componentes para cada árvore abatida. As amostras secas foram picadas e moídas em moinho tipo Wiley e enviadas aos laboratórios para determinação dos teores de carbono e de minerais.

Com a finalidade de se determinar a biomassa contida no tronco, foram retirados 6 discos das árvores abatidas, na altura do DAP e a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore (altura em que o diâmetro  $\geq 8$  cm) e anotados os diâmetros (com e sem casca) e comprimentos de cada tolete (Figura 5). De posse destas medições, foi calculado o volume de cada tronco através de cubagem rigorosa, utilizando-se para tanto a fórmula de Smallian. Para determinação de sua matéria seca, cada disco foi separado nos componentes: casca e lenho. O anel de casca, após secagem, foi inteiramente fragmentado e moído. O disco do lenho, através de dois cortes perpendiculares e concentrados no ponto central da medula, foi dividido em quatro cunhas iguais. Duas cunhas de cada disco de madeira foram enviadas ao laboratório onde foi determinada a densidade básica da madeira pelo método da balança hidrostática. Tendo-se em conta que massa = volume x densidade, a biomassa de cada tronco foi obtida pela soma dos pesos de cada um de seus toletes, através da ponderação do volume entre as seções de onde foram retirados os discos pela média das densidades obtidas nestes mesmos discos. Uma cunha do disco na altura do DAP foi fragmentada e utilizada para as análises. O material foi moído separadamente em moinho tipo Wiley e enviado ao laboratório para determinação de carbono e minerais.

Para se fazer uma estimativa do peso seco e teores de carbono e minerais presentes nas raízes grossas (>5 mm de espessura) foram utilizadas as mesmas árvores-amostra mencionadas acima. O processo de remoção do sistema radicular das árvores foi a fase mais trabalhosa no presente estudo. Inicialmente tentou-se utilizar o sistema recomendado pela Universidad Austral de Chile (SCHLEGEL *et al.*, 2000), através da instalação de um tripé e remoção do conjunto (toco + raízes) com a utilização de correntes e uma talha (Figura 6). No nosso caso este sistema não funcionou, talvez pelo sub-dimensionamento do equipamento (talha e tripé). Em seguida, tentou-se utilizar jatos de água sob pressão para a exposição do sistema radicular (Figura 7). Uma vez que



**Figura 6:** Tentativa de remoção do sistema radicular das árvores por meio de talha.



**Figura 7:** Tentativa de escavação do sistema radicular de pinheiros pelo uso de jatos de água sob pressão.



o terreno no local do experimento era plano, este sistema mostrou-se ineficaz pois gastava-se muita água e a terra removida acabava ficando no local, não tendo para onde escorrer. Por fim, optou-se por um método mais drástico, a remoção mecânica por meio de uma retro-escavadeira (Figura 8). Para tanto, primeiramente foram escavadas trincheiras com a máquina ao redor das árvores, com 4m de comprimento, 1m de largura e 2m de profundidade. Em seguida, utilizando-se o braço da máquina, era feito o bambeamento do conjunto, visando soltar as raízes do solo em seu entorno. Por fim, com ajuda de um cabo de aço amarrado ao redor do toco da árvore, o sistema radicular era suspenso e removido do local. Depois de cuidadosa remoção do solo, foram cortadas as raízes menores e pesadas. O conjunto 'toco + adensamento de raízes' foi pesado em balança para caminhões. Foram retiradas amostras que foram secas a 65° C até peso constante e usadas para as estimativas de peso seco e determinação dos teores de carbono e minerais.



**Figura 8:** Remoção do sistema radicular de pinheiros por meio de alavancagem com retro-escavadeira.

Com o objetivo de estimar a biomassa das árvores de *Pinus elliottii* presentes no talhão, foram determinadas equações de regressão para cada um dos componentes: acículas, galhos, tronco e raízes grossas. Utilizando-se o processo “step-wise” foram escolhidas as melhores equações matemáticas utilizando-se como variável independente o diâmetro à altura do peito (DAP).

Aplicando-se as equações obtidas para os valores de DAP de cada uma das árvores medidas nas sub-parcelas e somando-se os valores individuais obtidos, foi possível se estimar a biomassa de cada componente em separado (acículas, galhos, tronco e raízes) e a biomassa total. Sabendo-se também a concentração média de cada nutriente em cada um dos componentes das árvores, foi estimada a quantidade de nutrientes existente na biomassa das árvores.

b) Determinação da biomassa de capins:

A produção de matéria seca na parte aérea destes capins foi determinada na Fase 1, já mencionada anteriormente.

c) Determinação da biomassa da serapilheira:

Foi utilizado um quadrado de 0,5 x 0,5 m, jogado ao acaso em dois pontos por parcela de capim, e após a remoção da parte aérea do capim presente no local, foi coletado todo o material morto depositado na superfície do solo, proveniente tanto das árvores como dos capins. Também foi feita a coleta da serapilheira presente nas parcelas a pleno sol. As amostras foram pesadas, secas em estufa, moídas e analisadas quanto ao seu teor de carbono, minerais, celulose e lignina.

d) Determinação da biomassa presente no solo:

Aproveitando-se as trincheiras abertas para a remoção do sistema radicular das árvores, no entanto, antes que isso fosse feito, efetuou-se a amostragem do solo para determinação da quantidade de raízes finas e do teor de matéria orgânica nele presente, bem como a densidade aparente do solo, nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm.

A amostragem de raízes finas foi feita com a remoção de monólitos do interior das trincheiras. Para tanto, utilizou-se uma forma de aço de bordas cortantes, nas

dimensões de 10 cm de altura, 10 cm de largura e 30 cm de comprimento, que foi introduzida nos perfis do solo por meio de marteladas (Figura 9). Para contemplar as profundidades acima mencionadas, foram removidos dois monólitos por camada. As amostras retiradas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório. Primeiramente, de cada amostra foi removida uma sub-amostra, peneirada, para se evitar a remoção de raízes finas, as quais foram devolvidas à amostra original, e acondicionada para envio ao laboratório para determinação do teor de carbono em cada camada do solo.

Em seguida, como as raízes finas (< 5 mm de espessura) das árvores e dos capins se encontravam entrelaçadas, ambas foram analisadas em conjunto. A lavagem das amostras para a remoção das partículas do solo foi realizada sobre um conjunto de peneiras com crivos de 2 e 0,5 mm (Figura 10). Após a lavagem, as raízes finas foram secas ao ar e pesadas para determinação do seu peso fresco e posteriormente colocadas em estufa a 65 °C para secar até peso constante, para determinação de seu peso seco. Depois de moídas, foram enviadas ao laboratório para determinação do seu teor de carbono e minerais.

O C total foi determinado por combustão a seco num analisador LECO CR-412, no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, no CENA.

A densidade aparente do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico. O anel foi cravado no solo a diferentes profundidades em cada uma das trincheiras e posteriormente removido, retirando-se o excesso de solo das laterais. As amostras foram colocadas em caixas de alumínio e secas em estufa a 105° C até peso constante. Uma vez retirada a água do solo, sabendo-se o volume da amostra indeformada e o seu peso seco, calculou-se a densidade aparente.



**Figura 9:** Amostragem do solo pela remoção de monólitos para quantificação de raízes finas em diferentes profundidades do solo.

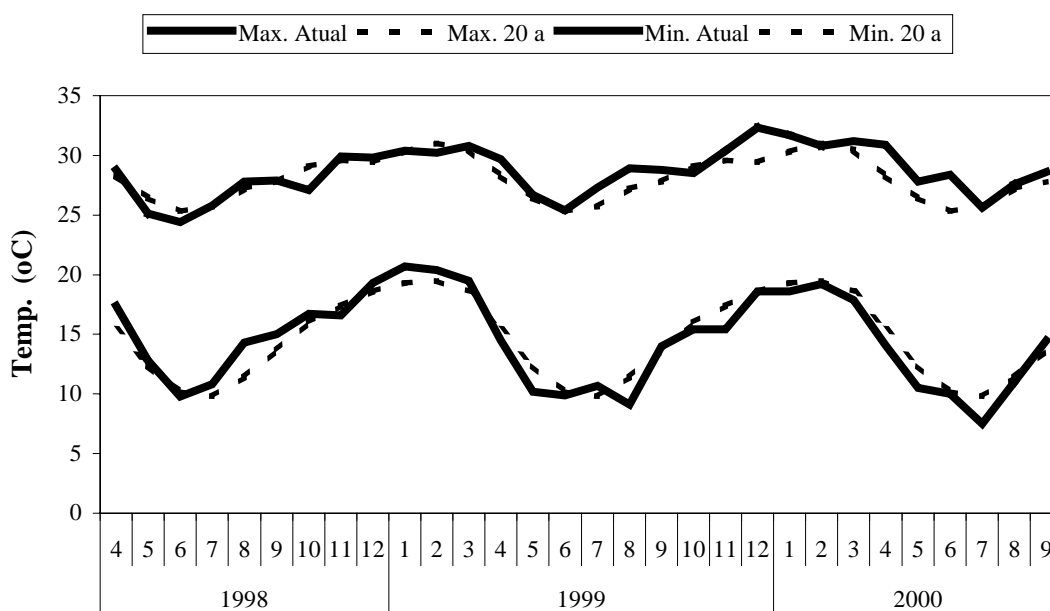


**Figura 10:** Separação de raízes finas por meio de lavagem do solo sobre peneiras.

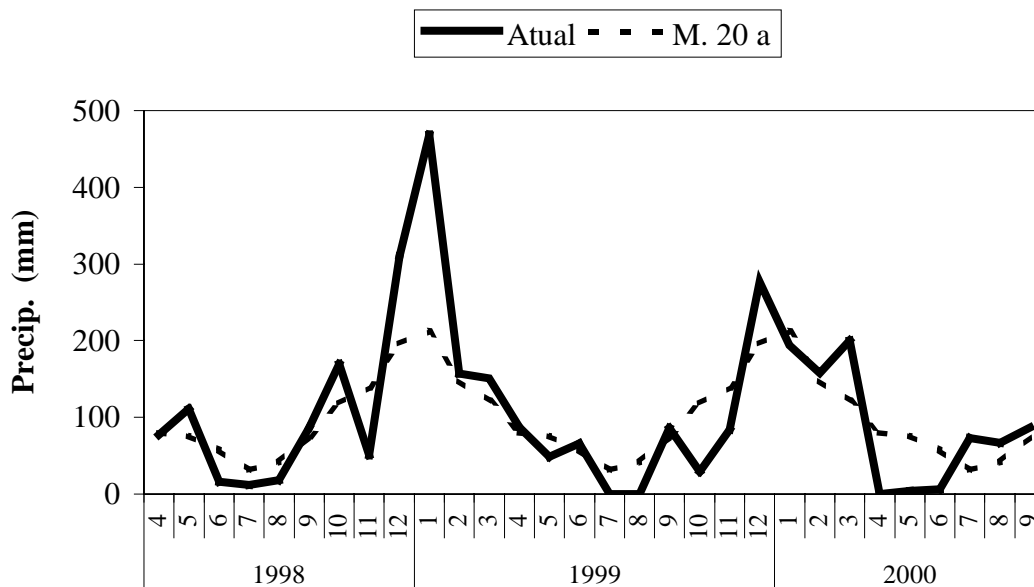
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Clima e microclima

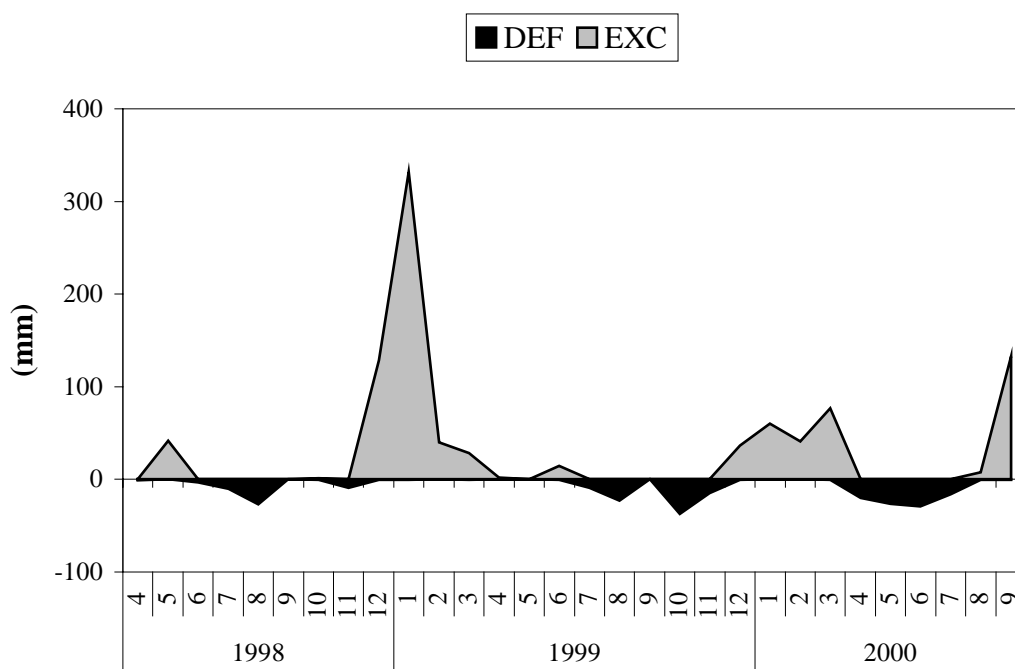
As Figuras 11, 12 e 13 mostram respectivamente as temperaturas, a precipitação e o balanço hídrico que ocorreram durante o período experimental no município de Nova Odessa – SP, comparadas às médias de 20 anos (CONSENTINO *et al.*, 1988).



**Figura 11:** Temperaturas máxima e mínima ao longo do período experimental, comparadas com as médias de 20 anos



**Figura 12:** Precipitação ao longo do período experimental, comparada com a média de 20 anos.



**Figura 13:** Balanço hídrico de Nova Odessa – SP, no período Abril/98 a Setembro/2000.

Verifica-se que não houve grandes alterações com relação às temperaturas. Por outro lado, a precipitação no período esteve bastante alterada, não só em quantidade mas também em sua distribuição, havendo uma concentração mais alta no período chuvoso (outubro a março) e uma redução acentuada no período seco (abril a setembro). Enquanto a pluviosidade anual média de 20 anos foi de 1.298 mm, a pluviosidade anual de 1998, 1999 e 2000 foi de 1.521, 1.455 e 1.356 mm, respectivamente. Nos períodos de primavera/98 e de verão/99 houve um aumento na precipitação de 372,2 mm, 40% acima da média de 20 anos, enquanto que no período da primavera/99 houve uma redução na precipitação, quando choveu apenas 593,3 mm, 19% abaixo da média de 20 anos.

Dentre os fatores ambientais que afetam a produção vegetal, as condições climáticas e suas oscilações, principalmente na precipitação e temperaturas máximas e mínimas, são de grande importância. As alterações climáticas ocorridas durante o período experimental poderiam ser explicadas em parte pelos reflexos do fenômeno do El Niño, que na passagem dos anos 97/98 foi o mais intenso já registrado, mas também poderiam ser um indicativo das mudanças climáticas que estão acontecendo em nosso planeta. Os fatos aqui observados (precipitação anual mais alta, mais concentrada na estação chuvosa e períodos secos mais drásticos) está de acordo com as observações e previsões feitas pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1997).

A Tabela 4 e a Figura 14 apresentam os dados microclimáticos observados durante a realização do projeto.

A temperatura do ar foi significativamente maior na densidade D1, com 200 árv/ha, do que na densidade D2, com 400 árv/ha, provavelmente devido à maior penetração de luz solar no seu interior. Entre os capins, houve diferença significativa apenas entre o aruana e o brizanta, não havendo diferença entre os demais capins. Este fato pode estar em parte relacionado com a arquitetura das plantas. Nas parcelas a pleno sol, as temperaturas do ar não diferiram entre os capins. Houve pouca diferença entre os três ambientes, sendo as temperaturas médias anuais do ar nas parcelas sombreadas 0,25 e 0,50 °C menores, respectivamente nas densidades D1 e D2, que nas parcelas a pleno sol.

A temperatura do solo foi significativamente maior na densidade D1, com menor número de árvores, do que na densidade D2, diferindo em média 0,35 °C. No entanto,

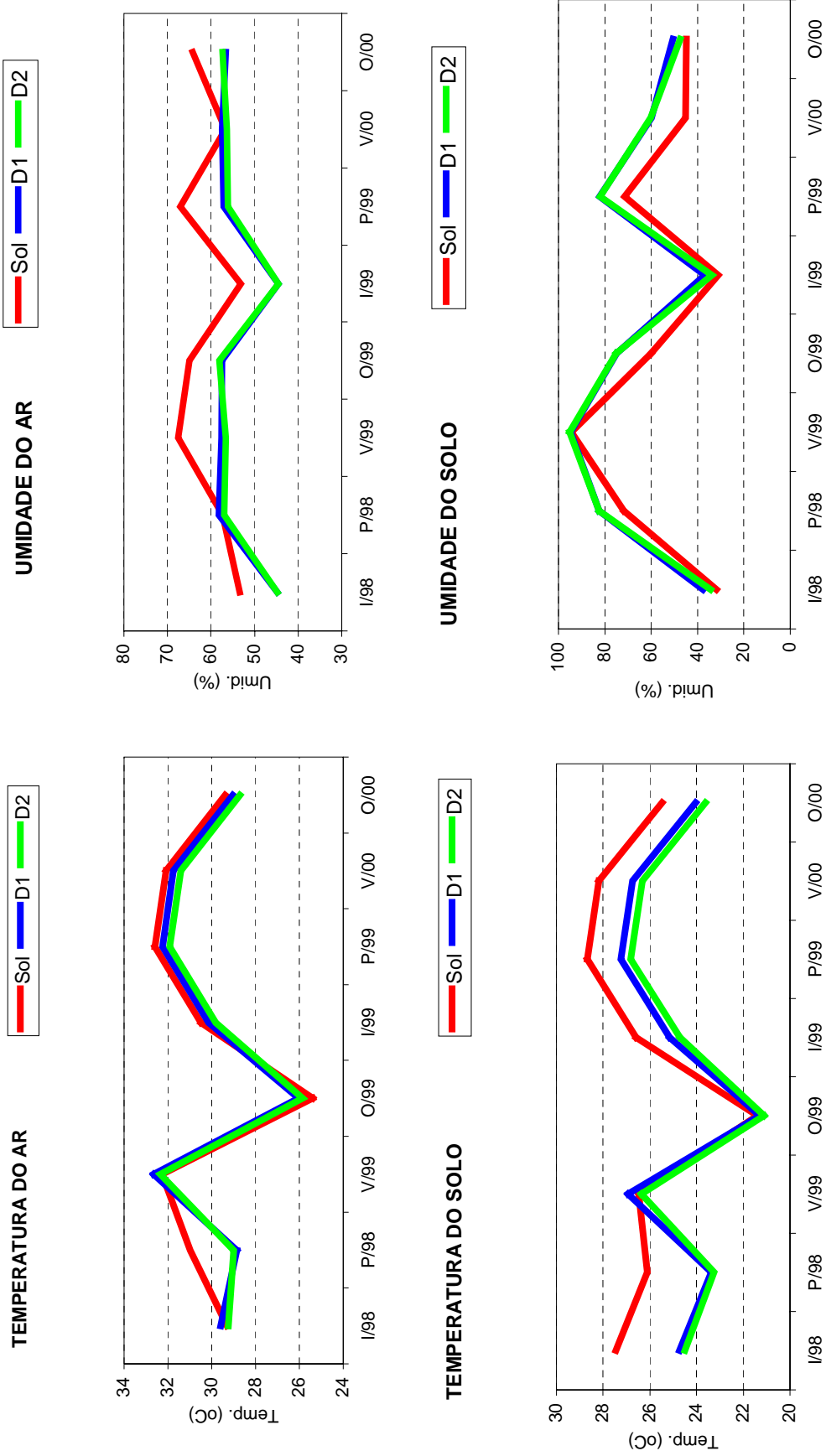
comparando-se com as parcelas a pleno sol, as temperaturas do solo foram em média 1,35 e 1,70 °C menores, respectivamente nas densidades de árvores D1 e D2. Não houve diferença significativa entre os capins, tanto nas parcelas sombreadas quanto nas a pleno sol.

**Tabela 4:** Temperaturas do ar e do solo e umidades do ar e do solo sob duas densidades de pinheiros, D1(200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), comparadas às condições a pleno sol.

SOMBRA	Temperatura	Temperatura	Umidade	Umidade
	do Ar (oC)	do Solo (oC)	do Ar (%)	do solo (%)
<b>CAPINS</b>				
Tanzania	29,88ab	24,77a	54,78a	64,51a
Aruana	30,05a	24,85a	53,75a	60,55a
Green Panic	30,00ab	24,76a	54,28a	64,90a
Brizanta	29,72b	24,46a	53,78a	66,23a
Humidicola	29,83ab	24,76a	53,66a	63,98a
Tifton 85	29,96ab	24,87a	53,76a	65,90a
CV (%)	0,74	1,28	3,31	3,74
Média	29,91	24,74	54,00	64,34
Δ	(-0,37)	(-1,53)	(-7,21)	(+8,03)
<b>DENSIDADES</b>				
D1	30,03a	24,92a	54,20a	64,87a
D2	29,78b	24,57b	53,80a	63,82a
CV%	0,71	1,14	1,85	6,12
SOL	Temperatura	Temperatura	Umidade	Umidade
	do Ar (oC)	do Solo (oC)	do Ar (%)	do solo (%)
<b>CAPINS</b>				
Tanzania	30,30a	26,10a	60,72a	57,27a
Aruana	30,32a	26,30a	61,55a	51,97a
Green Panic	30,32a	26,55a	61,10a	56,50a
Brizanta	30,05a	26,12a	61,50a	58,07a
Humidicola	30,32a	26,32a	61,47a	54,42a
Tifton 85	30,40a	26,27a	60,92a	59,65a
CV (%)	0,69	0,99	2,02	7,35
Média	30,28	26,27	61,21	56,31

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo o Teste de Tukey.





**Figura 14:** Evolução das temperaturas do ar e do solo e das umidades do ar e do solo ao longo do período experimental, a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

Com relação à umidade do ar, não houve diferenças significativas nem entre as densidades de árvores, nem entre os capins, tanto os sombreados, quanto os a pleno sol. No entanto, a umidade do ar a pleno sol foi maior em média 7,21 unidades percentuais que a na área sombreada.

De um modo geral, a umidade do solo não foi afetada pela presença dos capins no sub-bosque, nem pelas densidades de árvores. Comparando-se com as parcelas a pleno sol, a umidade do solo na área sombreada foi em média 8,03 pontos percentuais maior, sendo a da densidade D1 apenas 1,05 pontos percentuais superior que à da D2.

Os resultados das observações microclimáticas obtidas no presente experimento apresentaram uma tendência semelhante aos dados obtidos por WILSON & LUDLOW (1991). Eles observaram que a temperatura do ar ao meio-dia sobre o pasto plantado no sub-bosque de árvores foi aproximadamente 2-3 °C menor que a observada sobre pasto a pleno sol. Por outro lado, afirmaram que as temperaturas do solo podem variar muito mais, podendo chegar a 10 °C. A medida que aumentava a profundidade, as diferenças ficavam cada vez menores, em torno de 1-2 °C. A umidade relativa do ar no sub-bosque foi maior quando comparada com a ao ar livre ou acima das árvores. A disponibilidade de água no solo para o capim foi mantida a um nível mais alto que ao ar livre pelos efeitos combinados de menor evaporação do solo e menor taxa de transpiração do capim. No presente experimento apenas a umidade relativa do ar apresentou comportamento diferente ao esperado: nas duas densidades de sombreamento ela foi menor que a pleno sol, provavelmente porque a água estava retida no solo e nas plantas ao invés de perda para o ar pela evaporação e/ou transpiração. Outro fator que pode ter influenciado foi a direção predominante dos ventos, decorrente da posição topográfica da área em relação ao seu entorno.

SEQUEIRA & GHOLZ (1991), testando diferentes espaçamentos entre árvores de *Pinus elliottii* em sistema silvipastoril na Flórida, verificaram que a temperatura média anual do solo variou entre 20,6 °C a 21,4 °C. Apesar de não terem constatado diferença significativa entre os espaçamentos, a análise de regressão indicou que a quantidade de luz que penetrava no sistema e a temperatura do solo estavam positivamente correlacionadas e que plantios em filas duplas tenderam a apresentar temperaturas do solo ligeiramente mais altas que os plantios equivalentes em filas simples.

HAWKE & WEDDERBURN (1994) também avaliaram as condições microclimáticas em sistemas silvipastoris na Nova Zelândia, com *Pinus radiata*. Constataram que a temperatura máxima do ar teve pouca variação, em torno de 1,3 °C, entre densidades de árvores de 0 e 400 árv/ha, enquanto que a temperatura mínima do ar foi sempre maior na densidade de 200 árv/ha, o que esteve associado com a proteção contra ventos. Os autores ainda verificaram que a temperatura do solo com 100 árv/ha foi semelhante à a pleno sol, no entanto decrescia à medida que aumentava o número de árvores por área. A diminuição na temperatura do solo foi maior a 30 cm de profundidade, em torno de 0,7 a 1,5 °C, comparada com à 10 cm de profundidade, que foi em torno de 0,5 a 0,8 °C. Os autores acreditam que a menor temperatura do solo teve efeito negativo sobre o crescimento sazonal do capim e que fatores tais como sombreamento, competição entre árvores, acúmulo de acículas na serapilheira e espécies de capins também estejam envolvidos, uma vez que eles aumentam com a idade e densidade de árvores.

YUNUSA *et al.* (1995) mediram a umidade do solo, a evapotranspiração (ET) e a interceptação de luz em sistema silvipastoril na Austrália, com *Pinus radiata* e diferentes espécies no sub-bosque, e observaram que no período de maior precipitação a ET e a umidade do solo não foram afetados pelo tipo de cobertura do solo. No entanto, no período mais seco, mas ainda com água prontamente disponível no perfil do solo, a ET esteve associada com o tipo de cobertura do solo, sendo significativamente maior onde havia pastagens quando comparado com o solo nu. Verificaram também que a ET foi dominada pela transpiração das pastagens durante a maior parte do crescimento sazonal dos capins e pela transpiração pelas árvores no inverno, quando a maior parte das pastagens está sombreada, em função da inclinação do sol.

WILSON (1996) defende a hipótese de que o sombreamento favorece a degradação da matéria orgânica e a ciclagem de nitrogênio por dar melhores condições microclimáticas à atividade microbiana e à fauna do solo, principalmente minhocas. Verificou que o sombreamento não influenciou as temperaturas máxima e mínima acima dos capins, no entanto causou uma redução significativa de 7-11 °C na temperatura máxima ao nível da serapilheira e efeito semelhante mas progressivamente menor nas profundidades de 2 e 5 cm do solo. Ao contrário do verificado em nosso experimento, esse autor constatou uma tendência a que parcelas com capins mais altos

apresentassem temperaturas menores que capins de porte mais baixo, apesar destas diferenças não terem sido significativas. Também constatou que a umidade do solo foi maior na área sombreada. A proporção de dias em que as plantas estiveram em stress por água foi reduzido substancialmente pela sombra: enquanto a pleno sol as plantas estiveram 40-50% do tempo em stress por água, nas parcelas sombreadas isso só ocorreu em 20-40% do tempo.

#### 4.2. Biomassa arbórea

Na Tabela 5 são apresentados os dados dendrométricos médios em função das densidades de pinheiros e dos diferentes capins cultivados no seu sub-bosque.

**Tabela 5:** Dados dendrométricos médios observados em duas densidades de *Pinus elliottii*, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), com seis capins plantados no seu sub-bosque. DAP = diâmetro à altura do peito; H = altura; VOL = volume de madeira por árvore; e AB = área basal.

<b>SOMBRA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>H (m)</b>	<b>VOL (m<sup>3</sup>/árv)</b>	<b>AB (m<sup>2</sup>/ha)</b>
<b>CAPINS</b>				
Tanzânia	29,78 a	24,87 a	0,877 a	20,94 a
Aruana	29,93 a	24,49 a	0,865 a	20,80 a
Green Panic	29,53 a	23,59 a	0,851 a	20,66 a
Brizanta	28,84 a	24,13 a	0,799 a	19,75 a
Humidícola	29,96 a	24,20 a	0,858 a	20,84 a
Tifton 85	28,97 a	24,43 a	0,825 a	20,12 a
CV%	2,58	2,05	7,87	4,25
Médias	29,50	24,45	0,846	20,52
<b>DENSIDADES</b>				
D1	30,35 a	24,37 a	0,897 a	14,69 b
D2	28,65 b	24,54 a	0,794 b	26,34 a
CV%	4,56	2,64	10,58	8,75

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, determinado pelo Teste de Tukey.

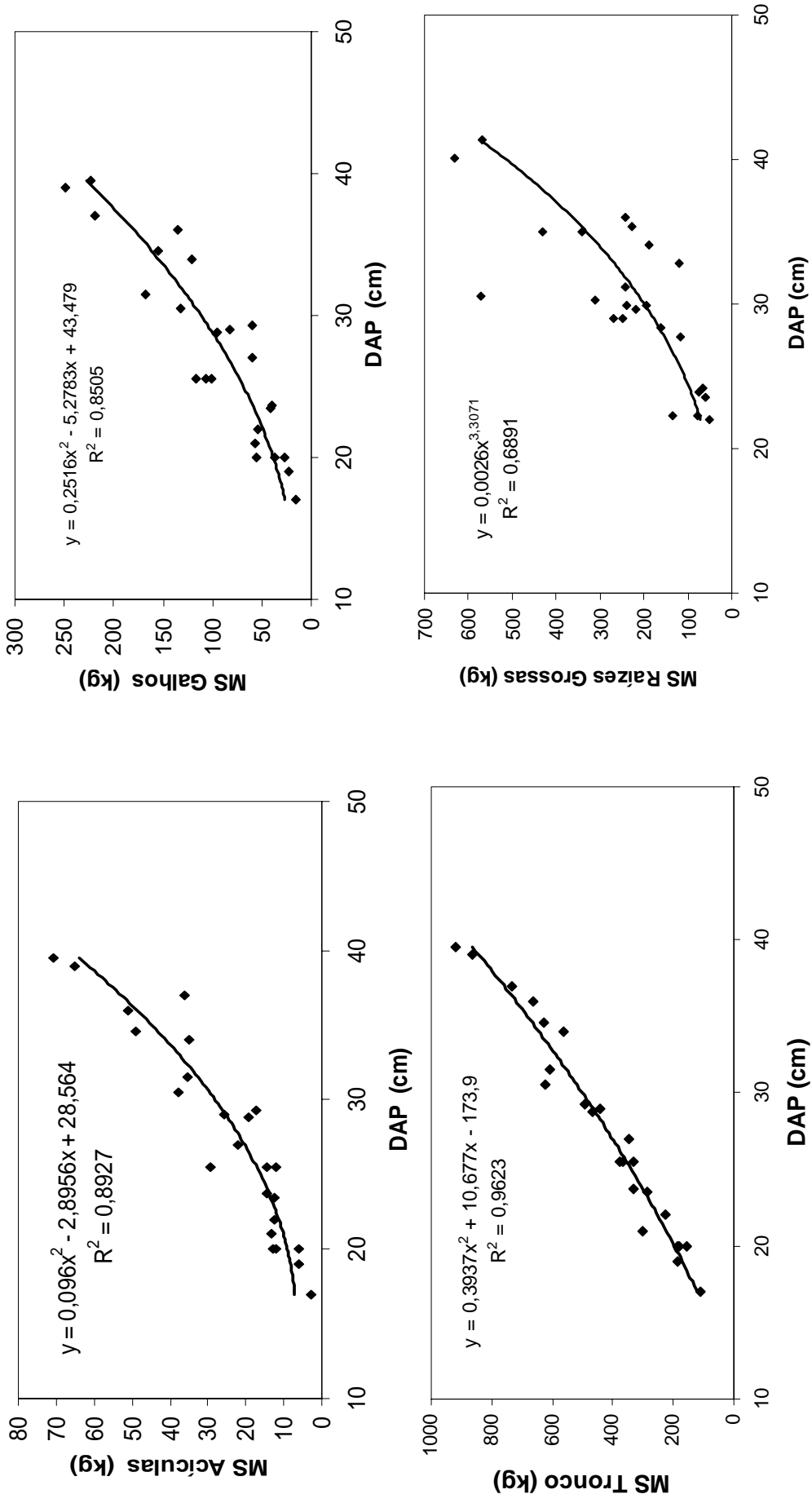
Os capins não afetaram o desenvolvimento das árvores, não apresentando diferenças significativas para diâmetro à altura do peito, altura, volume e área basal em função das espécies de capins. Por outro lado, houve efeito da densidade de árvores sobre o diâmetro, volume e área basal dos pinheiros. A menor densidade de árvores

permitiu que os pinheiros crescessem mais em diâmetro, resultando conseqüentemente também em maior volume de madeira por árvore. A maior ou menor densidade de árvores não afetou o crescimento em altura das árvores. No entanto, considerando-se a área basal, a densidade D2 apresentou um valor significativamente superior, como era de se esperar, uma vez que ela possui o dobro de árvores (400 árv/ha) que a densidade D1 (200 árv/ha).

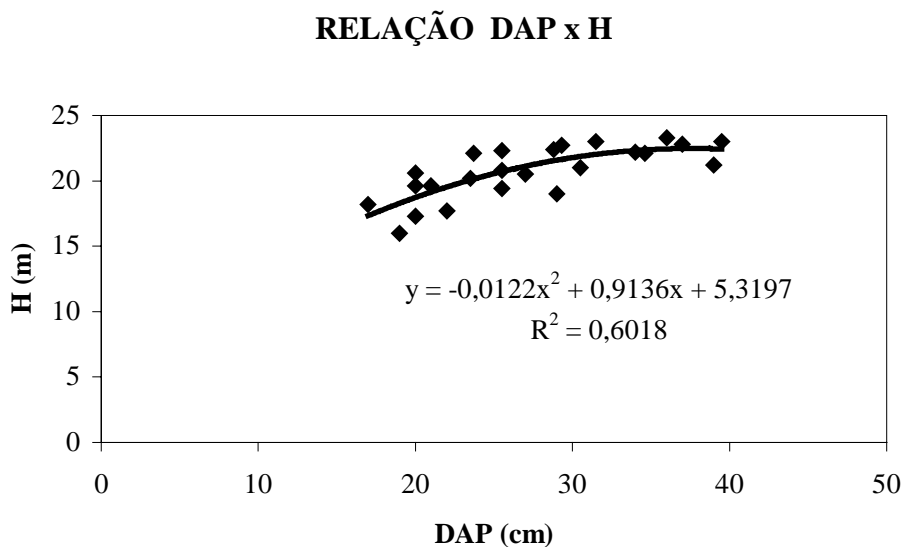
Uma vez que os pinheiros já estavam com 30 anos de idade ao final do experimento e provavelmente já tinham alcançado sua maturidade, não se esperava observar seu maior crescimento. Mesmo assim, houve um aumento no DAP e conseqüentemente no volume individual de madeira com o desbaste e redução na densidade de árvores. Estas observações conferem com os resultados obtidos por BARBOSA & GARRIDO (1990), que verificaram que o crescimento em diâmetro é inversamente proporcional à densidade de árvores enquanto que a altura das árvores não é afetada por ela. Também constataram que o crescimento volumétrico total é diretamente proporcional à densidade. Ressaltaram ainda que, embora os tratamentos mais densos apresentem maior volume total, os tratamentos com menor número de árvores fornecem madeira de maiores dimensões.

A partir dos dados individuais obtidos no levantamento dendrométrico das parcelas e após a derrubada das árvores amostras, com a pesagem dos seus componentes (acículas, galhos, troncos e raízes grossas) e determinação de sua matéria seca, foram obtidas as equações de regressão para a estimativa da biomassa em função dos DAPs, cujas fórmulas e representações gráficas são apresentadas na Figura 15.

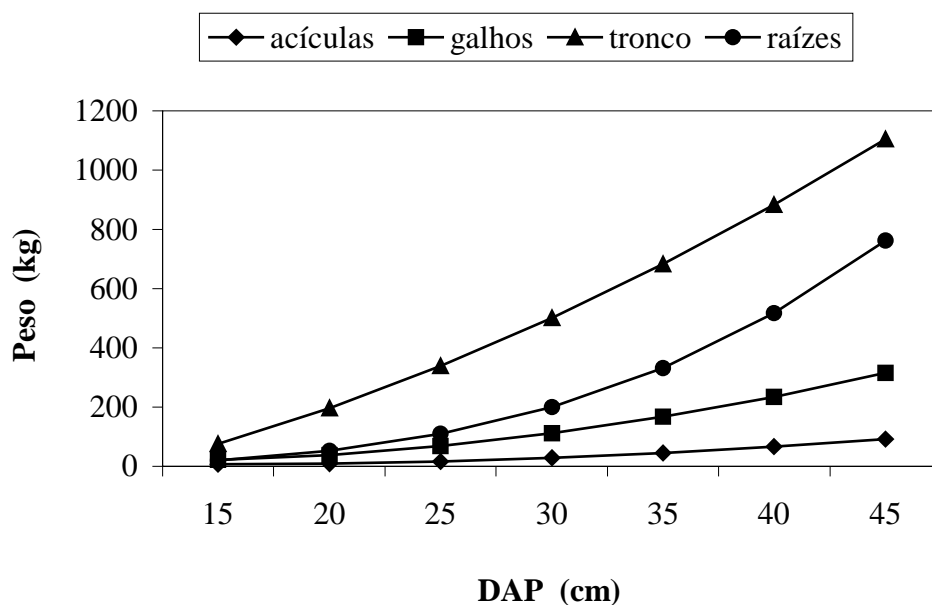
Observa-se que o maior valor de  $R^2$  foi obtido para a correlação relativa ao peso do tronco ( $R^2 = 0,9623$ ), enquanto que os coeficientes de correlação para os componentes da copa foram um pouco menores, em função da variação que se observa na distribuição e quantidade dos galhos ( $R^2 = 0,8505$ ) e acículas ( $R^2 = 0,8927$ ). O coeficiente de correlação para raízes grossas ( $R^2 = 0,6891$ ) foi menor que para os demais componentes da árvore, provavelmente em função da dificuldade de se realizar uma amostragem e mensuração precisa do sistema radicular destas árvores. Foi estabelecida ainda a equação de correlação entre DAP e a altura total das árvores. O resultado é apresentado na Figura 16 e mostra que o coeficiente de correlação entre diâmetro e altura também foi relativamente baixo ( $R^2 = 0,6018$ ).



**Figura 15:** Representação gráfica das regressões correlacionando o peso da matéria seca dos componentes das árvores de *Pinus elliotii* com o diâmetro à altura do peito (DAP).



**Figura 16:** Representação gráfica da relação entre a altura (H) com o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores de *Pinus elliottii*.



**Figura 17:** Representação gráfica das correlações entre diâmetro à altura do peito (DAP) e o peso seco dos componentes das árvores de *Pinus elliottii*.

**Tabela 6:** Biomassa individual e biomassa total de *Pinus elliottii*, para cada um de seus compartimentos, observado por capim cultivado em seu sub-bosque e por densidade de árvores: D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

SOMBRA	Biomassa Individual (kg/árv)				Biomassa Total (kg/ha)					
	acículas	galhos	tronco	raízes gros.	total	acículas	galhos	tronco	raízes gros.	total
<b>CAPINS</b>										
Tanzânia	30,06 a	116,3 a	504,0 a	217,6 a	868,0 a	8,848 a	34,267 a	148,970 a	63,919 a	256.006 a
Aruana	30,31 a	117,2 a	508,3 a	219,5 a	875,4 a	8,723 a	33,872 a	147,809 a	62,968 a	253.373 a
Green Panic	29,75 a	114,3 a	496,9 a	216,4 a	857,9 a	8,766 a	33,884 a	147,003 a	63,637 a	253.291 a
Marandú	28,40 a	112,2 a	475,9 a	206,1 a	820,1 a	8,379 a	32,370 a	140,531 a	60,678 a	241.960 a
Humidicola	30,54 a	117,9 a	509,9 a	221,7 a	880,1 a	8,794 a	34,067 a	148,183 a	63,656 a	254.701 a
Tifton 85	28,25 a	109,6 a	478,3 a	204,0 a	820,1 a	8,517 a	32,950 a	143,233 a	61,679 a	246.381 a
CV%	5,47	5,31	4,80	5,83	5,14	4,78	4,65	4,36	5,19	4,61
Médias	29,55	114,6	495,6	214,2	853,6	8,671	33,568	145,955	62,756	250.952
(%)	(3,46)	(13,42)	(58,06)	(25,09)	(100)	(3,46)	(13,38)	(58,16)	(25,00)	(100)
<b>DENSIDADES</b>										
D1	31,50 a	121,3 a	522,7 a	229,3 a	904,8 a	6,301 b	24,264 b	104,531 b	45,856 b	180.954 b
D2	27,60 b	107,9 b	468,4 b	199,1 b	802,4 b	11,042 a	42,873 a	187,379 a	79,656 a	320.950 a
CV%	14,73	12,22	9,64	16,57	11,90	13,77	11,80	9,05	15,52	11,12

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.



A Figura 17 mostra as correlações entre os diâmetros das árvores e os respectivos pesos das matérias secas de acículas, galhos, troncos e raízes grossas.

Aplicando-se as equações obtidas aos valores individuais de DAP mensurados em cada tratamento, estimou-se a biomassa média de cada componente arbóreo e a biomassa total, tanto por árvore individual, quanto por área, conforme apresentado na Tabela 6.

A presença dos diferentes capins cultivados no sub-bosque das árvores não afetou a produção de biomassa pelas árvores, no entanto, houve diferenças significativas entre as duas densidades de árvores testadas. A menor densidade de árvores (D1) permitiu maior produção de biomassa individual, de 102,4 kg MS/árv. a mais que na densidade D2, provavelmente pela maior disponibilidade de luz, água e nutrientes, reduzindo a competição por estes fatores de crescimento. Na densidade D2 a biomassa individual das árvores foi em média 11,66% menor que na D1. Por outro lado, quando se considera a biomassa total por área, como na densidade D2 havia o dobro de árvores, ela foi 43,62% superior à da densidade D1.

A distribuição percentual da biomassa média individual nos diferentes componentes foi a seguinte: acículas (3,46%), galhos (13,42%), troncos (58,06%) e raízes grossas (25,09%). Na Tabela 3 da Revisão de Literatura foram apresentados os dados de produção de biomassa arbórea observados por diferentes autores para várias espécies de *Pinus* e em diferentes condições de crescimento, no entanto, todos provenientes de plantios tradicionais, sem consórcio com pastagens. Somente os dados apresentados por SOAVE (1990) permitem fazer algumas comparações com os dados obtidos neste trabalho, uma vez que a espécie é a mesma, assim como a idade das árvores bem próxima. Como a autora trabalhou com uma densidade de árvores três vezes maior (1.250 árv/ha) que a aqui utilizada (400 árv/ha), o diâmetro e a altura de suas árvores foi menor que o verificado nesse experimento. A distribuição da biomassa nas diferentes partes das árvores também apresentou algumas diferenças, sendo que no presente experimento houve uma quantidade menor de acículas e maior de galhos e troncos, resultando numa biomassa total da parte aérea de 35 t/ha maior que a constatada pela referida autora.

O que a princípio pode parecer interessante, ainda mais em se tratando de sistemas silvipastoris, de que quanto menor a densidade de árvores, melhor, uma vez

que permitiria uma maior entrada de luz para o crescimento das pastagens, além do maior crescimento em diâmetro dos troncos, na verdade não é tão simples assim. Com a maior disponibilidade de luz, nutrientes e água, em vez da árvore só aumentar seu tronco, o que seria desejável comercialmente, ela direciona parte destes recursos à produção maior de outros componentes, principalmente galhos mais grossos, o que, além de representar um “desperdício” de energia, prejudica a qualidade da madeira.

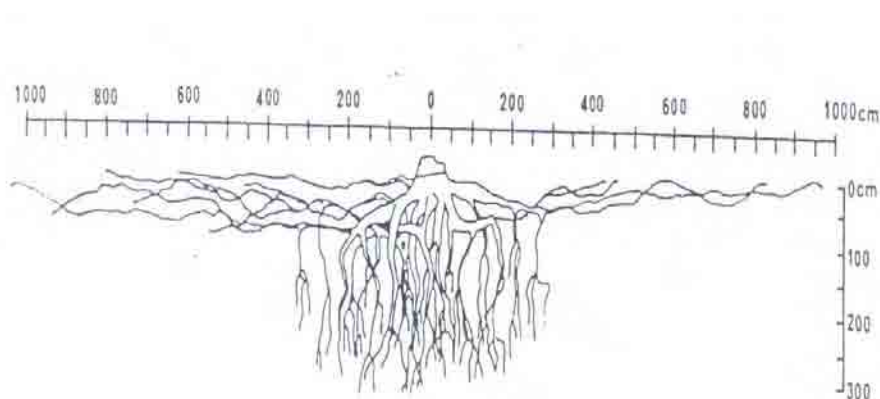
Pensando nisso, SNOWDON & BENSON (1992), trabalhando com *P. radiata*, constataram que a adubação estimulou a alocação maior de biomassa para os galhos do que para o tronco, enquanto que a irrigação favoreceu mais o crescimento dos troncos do que dos galhos. Esse fato resultou em alterações marcantes no índice de colheita, ou seja, na proporção de madeira dos troncos que é comercializada em relação à biomassa acima do solo remanescente no local após a colheita.

BIRK (1992) também avaliou a produção de biomassa em talhões de *Pinus radiata*, com 21 anos de idade, contendo entre 804 e 1438 árv/ha, para verificar a alocação de biomassa para partes não comerciáveis em função do uso prévio do solo. Constatou que talhões estabelecidos em áreas onde antes haviam pastagens cultivadas acumularam 363 t/ha de biomassa acima do solo, 40% e 13% a mais que os talhões onde antes havia floresta nativa (259 t/ha) ou pastagem nativa (320 t/ha), respectivamente. No entanto, as árvores onde haviam pastagens cultivadas alocaram uma proporção maior da biomassa total para os galhos (17%) comparado às das outras áreas (11%). A autora atribui este resultado em parte à uma menor densidade de árvores mas também à um solo mais rico em nutrientes remanescentes do uso prévio do solo. Constatou também uma alta frequência de árvores com ponteiros múltiplos na área anteriormente usada com pastagem cultivada, o que aumentou a quantidade de biomassa não comerciável em 26,7%.

SEQUEIRA & GHOLZ (1991), avaliando diferentes arranjos espaciais de plantios de *P. elliottii*, em sistema silvipastoril na Flórida, com 1122 árv/ha e 18 anos de idade, verificaram que a área da copa das árvores e o volume de madeira nos troncos estavam altamente correlacionados, e ambos também significativamente relacionados com a quantidade de luz disponível ao sistema (relação PAR abaixo da copa: PAR acima da copa). Mostraram ainda que a estrutura da copa das árvores era determinada

basicamente pelo espaçamento dentro da linha de plantio, enquanto que a quantidade de luz que penetra no sistema, pelo espaçamento entre as linhas.

A maior dificuldade encontrada na determinação da biomassa das árvores foi a remoção e quantificação do seu do sistema radicular. E talvez por isso mesmo foram poucos os trabalhos encontrados de outros autores que tenham efetivamente removido as raízes do solo, sendo que os demais, quando fazem menção à biomassa das raízes, usam fórmulas estimativas desenvolvidas por outros colegas. O trabalho de WATSON & O'LOUGHLIN (1990) ilustra bem o crescimento do sistema radicular de *Pinus radiata* (Figura 18). Aos 25 anos de idade, numa densidade de 253 árv/ha, constaram que as raízes laterais podiam chegar a 10 m de comprimento e as raízes verticais, a 3 m de profundidade. As raízes próximas ao toco tinham até 26 cm de diâmetro. As raízes laterais ocupavam a camada superficial do solo até 1 m de profundidade, a maioria se concentrando nos primeiros 50 cm. A quantidade de biomassa de raízes foi de 151 t/ha. Esse valor está bem acima do encontrado no presente experimento (63 t/ha), no entanto, deve-se levar em conta que o *P. radiata* é de porte muito maior que o *P. elliottii*, apesar de ambos apresentarem um sistema radicular muito semelhante, o último talvez até mais profundo que o anterior, conforme pode ser verificado na Figura 8, em Materiais e Métodos.

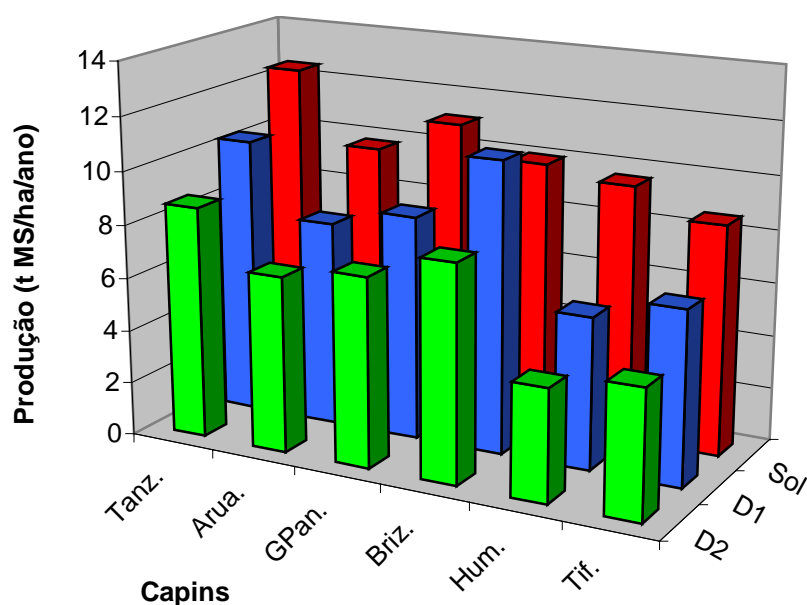


**Figura 18:** Esquema do sistema radicular de *Pinus radiata*, com 25 anos de idade, DAP de 60 cm e peso total de 584 kg. Fonte: WATSON & O'LOUGHLIN, 1990.

GONÇALVES & MELLO (2000) descreveram as características e os fatores determinantes do desenvolvimento do sistema radicular das árvores. Afirmaram que a distribuição de raízes no perfil do solo é muito variável entre as espécies vegetais, sendo que as gramíneas apresentam maior densidade de raízes nas camadas superficiais do solo do que o eucalipto, e este, muito maior do que espécies de *Pinus*. Mostraram também que, quando a disponibilidade de água e nutrientes é baixa, as árvores alocam maior quantidade de fotoassimilados para as raízes, reduzindo a relação parte aérea/sistema radicular. Este maior dispêndio de energia para a produção de raízes reduz a produtividade de madeira e outros produtos florestais.

### 4.3. Biomassa de Forragens

A Figura 19 e Tabela 7 mostram a produção média anual dos capins avaliados sob dois níveis de sombreamento, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.



**Figura 19:** Produção média anual (t MS/ha) de seis capins cultivados a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

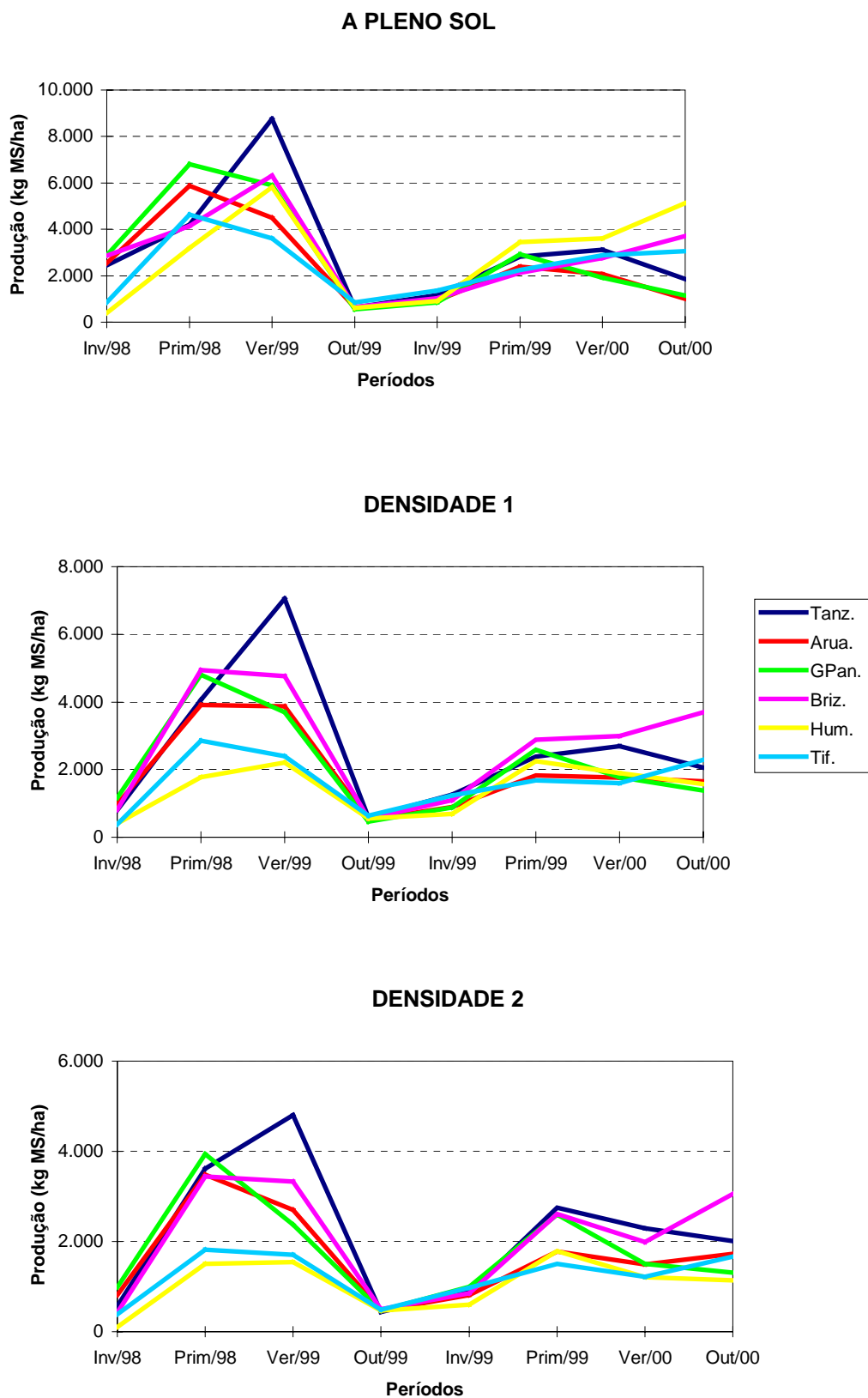
**Tabela 7:** Produção média anual de capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), comparada à produção a pleno sol, e serapilheira acumulada ao fim de dois anos, nos mesmos locais.

<b>SOMBRA</b>	<b>Capins</b>	<b>Serapilheira</b>
	<b>(kg MS/ha)</b>	
<b>CAPINS</b>		
Tanzania	9.565 a	11.912 a
Aruana	7.175 bc	10.454 a
Green Panic	7.726 b	9.851 a
Brizanta	9.483 a	12.709 a
Humidicola	4.919 d	12.143 a
Tifton 85	5.657 cd	9.670 a
CV (%)	10,37	15,06
Média	7.421	11.123
$\Delta$ (%)	(-27,69)	(+315,34)
<b>DENSIDADES</b>		
D1	8.266 a	9.540 b
D2	6.575 b	12.707 a
CV (%)	13,59	20,63
<b>SOL</b>	<b>Capins</b>	<b>Serapilheira</b>
	<b>(kg MS/ha)</b>	
<b>CAPINS</b>		
Tanzania	12.504 a	3.261 a
Aruana	9.840 ab	1.944 a
Green Panic	11.054 ab	2.350 a
Brizanta	9.954 ab	4.282 a
Humidicola	9.639 ab	1.969 a
Tifton 85	8.594 b	2.261 a
CV (%)	14,03	39,27
Média	10.264	2.678

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, determinado pelo Teste de Tukey.

Percebe-se que o capim tanzânia foi o que apresentou a maior produção de matéria seca nos três ambientes. Outro capim que mostrou boa tolerância à sombra foi o capim brizanta, cuja produção na densidade D1 foi até superior à pleno sol, mostrando sua boa adaptação às condições de médio sombreamento.

A produção destes capins ao longo do período experimental é apresentada na Figura 20. Quando se comparam estas curvas com as de precipitação, observa-se uma certa semelhança entre elas, indicando que provavelmente a pouca chuva, principalmente nos períodos de primavera/99 e verão/00, afetou o seu crescimento,



**Figura 20:** Produção de seis capins a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), ao longo do período experimental.

aliado ao declínio no teor de nutrientes no solo, uma vez que não foi feita nenhuma adubação complementar, posterior à do plantio.

Os capins apresentam normalmente crescimento estacional, ou seja, sua produção de biomassa varia ao longo do ano em função de alguns fatores de crescimento, tais como luminosidade, temperatura e principalmente, disponibilidade de água nos solos. Esta estacionalidade ficou evidenciada nos gráficos da Figura 20.

Analisando-se os resultados relativos à produção média anual de forragem, apresentados na Tabela 7, tanto em condições de sombreamento, quanto a pleno sol, verifica-se que, de um modo geral, a produção total de biomassa pelos capins em condições de sombreamento foi 19,47 % inferior na densidade D1 e 35,94% inferior na densidade D2, quando comparada com à pleno sol.

A produção dos capins em condições de sombreamento foi significativamente superior na menor densidade de árvores (D1), uma vez que nela havia uma disponibilidade maior de luz solar, resultando numa diferença média de 1,7 t MS/ha/ano entre as duas densidades de árvores. O crescimento dos capins é maior nas épocas de primavera e verão e menor nas épocas de outono e inverno, e quando se leva em conta situações de sombreamento, estas diferenças se amenizam um pouco.

Os capins que apresentaram as maiores produções em condições de sombreamento foram os capins tanzânia (9,6 t MS/ha/ano) e o brizanta (9,5 t MS/ha/ano), significativamente superiores aos demais capins. As produções intermediárias ficaram a cargo dos capins green panic (7,7 t MS/ha/ano) e aruana (7,2 t MS/ha/ano), sendo que os capins tifton 85 (5,7 t MS/ha/ano) e humidícola (4,9 t MS/ha/ano) tiveram os piores desempenhos.

As maiores produções anuais a pleno sol foram obtidas com os capins tanzânia (12,5 t MS/ha/ano) e green panic (11 t MS/ha/ano), sendo que houve diferença significativa apenas entre as produções dos capins tanzânia e o tifton 85, não havendo diferença entre os demais capins.

Uma maior produção de capins a pleno sol também foi obtida por ERIKSEN E WHITNEY (1981), por KNOWLES *et al.* (1994) e por CARVALHO *et al.* (1997), embora esta não seja a tendência observada por outros autores (WILSON *et al.*, 1986; WILSON *et al.*, 1990; SAMARAKOON *et al.*, 1990b; e WILSON, 1996).

Em condições de sombreamento, a produção de forragem no presente experimento foi semelhante ou até mesmo mais alta que a obtida por alguns pesquisadores (ERIKSEN E WHITNEY, 1981; CARVALHO *et al.*, 1997).

ERIKSEN & WHITNEY (1981) avaliaram o crescimento de seis gramíneas tropicais sob quatro intensidades de luz (100, 70, 45 e 27% da luz solar), utilizando sombreamento artificial (sombrite), e dois níveis adubação nitrogenada (com e sem N). Constataram que nas parcelas sem adição de nitrogênio, a maioria dos dados de produção e qualidade das forragens aumentou sob sombreamento moderado. Por outro lado, os capins testados só responderam à adubação nitrogenada sob condições de luminosidade moderada a alta. A produção de matéria seca nas parcelas com-N (365 kg N/ha/ano) foi maior com 100 e 70% de luminosidade (16 a 40 t MS/ha/ano), sendo o *Panicum maximum* um dos mais produtivos. Sob 27% de luminosidade, a produção ficou entre 8 e 15 toneladas, sendo o *P. maximum* e a *Brachiaria brizantha* os melhores. Nas parcelas sem-N, as maiores produções foram obtidas com os capins *P. maximum* e *B. brizantha*, de 13,5 a 15 t MS/ha/ano, com 45% da luminosidade.

REYNOLDS (1978) avaliou a produção de 16 gramíneas sob plantio de coqueiros, com 50% de transmissão de luz, identificando quatro classes de produtividade. Dentre as espécies também utilizadas no Brasil, identificou como as mais adaptadas: vários cultivares de *Panicum maximum* (de 10 a 15 t MS/ha), *B. humidicola* (10,5 t MS/ha), *B. brizantha* (8,9 t MS/ha) e *P. maximum* var. *trichoglume* (8,5 t MS/ha). Trabalho semelhante foi realizado por SMITH & WHITEMAN (1983), no entanto verificaram que as braquiárias foram mais produtivas em densidades menos sombreadas (>70% de luz transmitida). O capim humidícola produziu 22,8; 13,6; 11,1; 4,7 e 2,6 t MS/ha, respectivamente com 100, 70, 50, 40 e 20% de transmissão de luz. SHELTON *et al.* (1987), analisando vários trabalhos, consideraram as braquiárias e o *P. maximum* como medianamente tolerantes ao sombreamento.

No Brasil, SANTOS & COUTO (1990) avaliaram o comportamento de algumas forrageiras cultivadas no sub-bosque de eucalipto, sozinhas ou consorciadas com leguminosas, e verificaram que o melhor resultado foi obtido na associação de eucalipto + capim guiné (*P. maximum*) + guandu (*Cajanus cajan*), produzindo 14 t MS/ha. O *P. maximum* solteiro produziu 8,2 t MS/ha e a *B. brizantha*, 7,7 t MS/ha, ambos em associação com o eucalipto.



CARVALHO *et al.* (1997), também no Brasil, testaram seis gramíneas tropicais no sub-bosque de angico-vermelho, permitindo a passagem de 38% da luz solar. Constataram que a *B. brizantha* cv. Marandú e o *P. maximum* cv. Vencedor foram as gramíneas mais tolerantes ao sombreamento, alcançando 98% e 77%, respectivamente, da produção obtida na área não sombreada. Enquanto o capim marandú produziu 7,0 t MS/ha a pleno sol e 6,9 t MS/ha à sombra, o capim vencedor produziu 8,2 t MS/ha no sol e 6,3 t MS/ha sob as árvores, valores menores que os obtidos no presente experimento.

Uma vez que a produção de biomassa não ocorre apenas acima do solo mas também abaixo do solo, através das raízes, nas Figuras 21 e 22 pode ser visto o desenvolvimento do sistema radicular dos seis capins avaliados, a pleno sol e nas densidades D1 e D2, com 200 e 400 árv/ha, respectivamente.

Verificou-se na maioria deles uma clara diferença entre as raízes das parcelas a pleno sol e das sombreadas, sendo mais curtas e mais emaranhadas nas a pleno sol, provavelmente por ser área de pastagem antiga e ter sofrido algum grau de compactação do solo por pisoteio do gado. Observou-se também que as raízes dos capins do gênero *Panicum* (tanzânia, aruana e green panic) eram mais compridas e finas em condições de sombreamento, enquanto que as raízes dos capins brizanta, humidícola e tifton 85 eram mais curtas e densas. O único capim que teve um sistema radicular mais desenvolvido em condições de pleno sol foi o humidícola, indicando a sua preferência pelo ambiente a pleno sol. O capim tifton 85 apresentou raízes bem mais grossas e lignificadas que os demais capins, quase semelhantes às raízes finas dos pinheiros, o que dificultou um pouco a sua remoção do solo.

A Tabela 8 mostra a quantidade de biomassa de raízes finas observadas em função das densidades de árvores e dos capins cultivados no sub-bosque dos pinheiros.



**Figura 21:** Comparação entre os sistemas radiculares dos capins tanzânia (à esquerda), aruana (ao centro) e green panic (à direita), cultivados à pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).



**Figura 22:** Comparação entre os sistemas radiculares dos capins brizanta (à esquerda), humidicola (ao centro) e tifton-85 (à direita), cultivados à pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

**Tabela 8:** Quantidade de biomassa de raízes finas, em quatro profundidades do solo em função dos capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

SOMBRA	Raízes Finas (kg/ha)				Total
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	
<b>CAPINS</b>					
Tanzânia	898,9 a	578,0 a	181,0 a	131,9 a	1.789,9 a
Aruana	505,3 a	167,7 a	53,0 a	25,6 a	751,7 a
Green Panic	379,0 a	110,8 a	74,0 a	36,6 a	600,4 a
Brizanta	1.152,4 a	443,2 a	312,3 a	154,8 a	2.062,9 a
Humidícola	804,4 a	323,6 a	183,6 a	96,0 a	1.407,8 a
Tifton 85	1.471,2 a	697,1 a	489,6 a	249,3 a	2.850,0 a
CV%	23,25	44,71	57,51	48,23	33,96
Médias	868,5	386,8	215,6	115,8	1.577,1
(%)	(55,06)	(24,52)	(13,67)	(7,34)	(100)
<b>DENSIDADES</b>					
D1	901,8 a	365,3 a	238,6 a	110,7 a	1.616,6 a
D2	835,2 a	408,2 a	192,6 a	120,7 a	1.537,7 a
CV%	62,88	66,01	94,56	77,11	61,13

\* Valores seguidos pelas mesmas letras não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

Verifica-se que não houve diferenças significativas nem entre densidades, nem entre capins, no entanto percebe-se que houve uma grande variação entre os valores obtidos, não permitindo estabelecer uma tendência. Entretanto, verifica-se que a maior concentração de raízes finas foi nos primeiros 20 cm superficiais do solo (55%), decrescendo para 25, 14 e 7% nas camadas de 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade, respectivamente. Provavelmente esta grande variabilidade se deva à metodologia adotada, uma vez que, ao retirar as amostras no perfil do solo, nelas estavam contidas tanto raízes dos capins quanto raízes finas das árvores, e sua separação durante a lavagem do solo sobre a peneira foi bastante difícil. Há também uma certa variabilidade natural na distribuição espacial das raízes, tanto horizontal, quanto verticalmente, principalmente quando se trata de capins com hábito de crescimento cespitoso. Há também o crescimento lateral das raízes das árvores, invadindo áreas anexas, sem falar na própria variabilidade do solo em si, permitindo um maior

desenvolvimento dos sistemas radiculares em determinados locais e menor em outros (MELLO, 1997; BRASIL, 2000).

Apesar de no presente experimento não se ter quantificado as raízes dos capins a pleno sol, as imagens apresentadas nas Figuras 21 e 22 mostram resultados diferentes dos obtidos por outros autores, que constataram uma diminuição na quantidade de raízes a medida que aumentava o sombreamento. Este resultado provavelmente se deva ao fato do solo na área com pinheiros oferecer melhores condições de desenvolvimento do que o a pleno sol, principalmente por possuir maior teor de matéria orgânica, em parte oriunda da incorporação da serapilheira por ocasião do preparo do solo antes do plantio dos capins, enquanto o solo a pleno sol sempre se mostrou mais duro e seco.

WILSON (1996) também verificou grande variabilidade na quantidade de biomassa de raízes entre espécies de capins, entre locais e entre épocas de amostragem, e observou que o capim green panic produzia, na profundidade de 0-30 cm do solo, 10,7 t MS/ha de raízes na sombra e 12,5 t MS/ha a pleno sol. Esses valores parecem ser bastante elevados e talvez se devam ao fato do experimento ter se realizado em condições de sombreamento artificial, sem competição com as árvores.

WILSON & LUDLOW (1991) chamam atenção para o fato de que em capins sombreados há um aumento substancial da parte aérea em relação às raízes e que seleção de plantas considerando apenas a parte aérea pode levar a dificuldades quando ocorrerem períodos de seca ou quando a pressão de pastejo for alta. O menor desenvolvimento do sistema radicular pode tornar as plantas susceptíveis a serem arrancadas do solo pela boca do animal e a sua rebrota pode ficar limitada devido à redução das reservas de carboidratos e de minerais na sua base e nas raízes. Recomendam ainda que se deva dar maior atenção àqueles capins que apresentem maior produção de biomassa nas raízes e/ou rizomas e estolões, estes provavelmente mais tolerantes a alta pressão de pastejo e mais persistentes em maiores intensidades de sombreamento do que espécies de capins eretos que maximizam a produção de área foliar.

#### 4.4. Biomassa de Serapilheira

Considerando-se que todo o material depositado sobre o solo antes do início do experimento foi incorporado ao solo por ocasião do seu preparo para o plantio dos capins, a serapilheira quantificada ao final do período de avaliação (2 anos) é a resultante do material depositado, seja proveniente das árvores (acículas), seja proveniente dos capins, menos aquele que já se decompôs neste intervalo de tempo. Assim, na Tabela 7, apresentada anteriormente na seção 4.3., são mostradas as quantidades de serapilheira acumulada sobre o solo, tanto nas parcelas sombreadas, quanto nas a pleno sol. Os diferentes capins não afetaram significativamente a quantidade de serapilheira produzida, tanto na sombra quanto a pleno sol. No entanto, houve diferença significativa entre as duas densidades de árvores testadas, havendo 3,2 t/ha de serapilheira a mais na densidade D2, proveniente principalmente das acículas depositadas pelo maior número de árvores. Comparando-se estes valores com a quantidade de serapilheira acumulada nas parcelas a pleno sol, proveniente apenas de capins, que foi quatro vezes menor, poder-se-ia estimar, a grosso modo, que a participação das acículas foi de aproximadamente 7 t/ha na densidade D1 e de 11 t/ha na densidade D2.

Vários fatores podem determinar o acúmulo de serapilheira sobre o solo de uma floresta e dentre eles destacam-se os que influenciam os processos de decomposição, tais como o tipo de material vegetal depositado sobre o solo, as condições de temperatura e a umidade relativa do ar (POGGIANI, 1985).

HAYNES & GOWER (1995) verificaram que havia uma deposição anual maior de folheto em talhões adubados de *Pinus resinosa* do que nos não adubados, variando entre 1,5 a 3,9 t/ha. RAWAT & TANDON (1993) observaram que *Pinus roxburghii* produzia anualmente 2,4; 3,1; 3,6 e 5,0 t/ha de serapilheira, respectivamente nas idades de 6, 10, 14 e 16 anos. BIRK (1992), trabalhando com *Pinus radiata*, observou um acúmulo sobre o solo de 11,7; 13,9 e 20,9 t/ha de serapilheira, respectivamente nos talhões onde anteriormente havia floresta nativa, pasto nativo e pastagem cultivada.

No Brasil, POGGIANI (1985) observou um acúmulo de folheto de 20,2 t/ha e 19,4 t/ha, respectivamente para *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*, ambos com 14 anos de idade. Também calculou sua taxa de decomposição (K), que foi de 0,41 para

o *P. caribaea* var. *hondurensis* e 0,37 para o *P. oocarpa*, o que significa que, para que haja a decomposição de 50% das acículas acumuladas na serapilheira, seriam necessários 1,7 e 1,9 anos, respectivamente. O desaparecimento de 95% do folheto só aconteceria com aproximadamente 7,3 e 8,1 anos, respectivamente para as acículas de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*.

Uma vez que no presente estudo não se avaliou a deposição anual de acículas e tendo em conta que a serapilheira na sombra é composta de material proveniente de acículas e capins, com tempos diferentes de decomposição, não foi possível estimar sua taxa de decomposição. No entanto, uma vez que toda a produção de capins era cortada e deixada no local, transformando-se assim em serapilheira, foi possível estimar-se a taxa instantânea de decomposição ( $K = \frac{1}{t}$  a relação entre a quantidade de folheto depositado anualmente, em kg/ha/ano, e o folheto acumulado sobre o solo, em kg/ha), e o tempo necessário para a sua renovação ( $1/K$  anos) nas parcelas a pleno sol, com material proveniente exclusivamente de capins, em função da deposição anual de material senescente (produção de capins) e do seu acúmulo sobre o solo (serapilheira), cujos resultados são apresentados na Tabela 9. O coeficiente médio de decomposição ( $K$ ) dos capins a pleno sol foi estimado em 3,81 e o tempo médio de renovação em 0,26 anos, ou seja, de 3 meses.

**Tabela 9:** Estimativa do coeficiente de decomposição e tempo médio de renovação da biomassa de capins acumulada na serapilheira a pleno sol.

SOL	Deposição	Serapilheira	Coeficiente de	Tempo médio
	anual de capins	acumulada	decomposição	de renovação
	(kg/ha/ano)	(kg/ha)	(K)	(1/K) anos
Tanzânia	12.504	3.261	3,78	0,26
Aruana	9.840	1.944	5,16	0,19
Green Panic	11.054	2.350	4,83	0,21
Brizanta	9.954	4.282	2,33	0,43
Humidícola	9.639	1.969	4,80	0,21
Tifton-85	8.594	2.261	3,74	0,27
<b>Médias</b>	<b>10.264</b>	<b>2.678</b>	<b>3,81</b>	<b>0,26</b>

Os valores de K aqui estimados foram inferiores aos obtidos por REZENDE *et al.* (1998), que observaram uma deposição anual entre 15 e 18 t MS/ha de material senescente de *Brachiaria humidicola*, no entanto, a existência de quantidades relativamente baixas de material morto sobre o solo (médias anuais de 0,8 a 1,5 t MS/ha) indicou que sua decomposição era bastante rápida, com meia vida entre 9 e 20 dias. Assim, estimaram a produtividade primária líquida da parte aérea destas pastagens como sendo de 28 a 34 t MS/ha/ano. Os autores ainda acreditam que esses valores foram subestimados em função da técnica de uso de saquinhos de decomposição, uma vez que na realidade, material novo é constantemente acrescentado ao já em decomposição. Tendo em vista que esse material consiste de frações tanto facilmente degradáveis quanto de recalcitrantes, a fração facilmente degradável alimenta uma biomassa microbiana ativa que continuamente degrada o material menos decomponível. Este aspecto seria altamente interessante para sistemas silvipastoris, onde a mais fácil decomposição de capins alimentaria a atividade microbiana para a decomposição das acículas e folhas de maior resistência.

WILD (1995), testando o comportamento da grama batatais (*Paspalum notatum*) em condições de sombreamento artificial (sombrite) e de sombreamento por eucaliptos, comparados ao a pleno sol, verificou que a quantidade de serapilheira produzida foi reduzida em 54% sob sombreamento artificial, apesar da produção de MS da parte aérea ter sido maior. Sob as árvores o efeito foi intermediário. O capim sob sombreamento artificial teve uma maior taxa de crescimento foliar e pequena diferença na taxa de senescência foliar comparado com o capim a pleno sol, sugerindo que a menor quantidade de serapilheira nas áreas sombreadas foi mais devida à uma taxa de decomposição mais rápida do que a uma taxa de senescência mais lenta em condições de sombreamento.

#### **4.5. Características dos solos e atividade microbiana**

Na Tabela 10 são apresentadas as principais características dos solos antes do início do presente experimento, referentes à área com pinheiros (sombra) e à pleno sol. Verifica-se que eram solos argilosos, muito ácidos e com teor médio de matéria orgânica.



**Tabela 10:** Principais características dos solos antes do início do experimento.

<b>Local</b>	<b>pH</b>	<b>V%</b>	<b>MO g/dm<sup>3</sup></b>	<b>D.A. g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Areia %</b>	<b>Silte %</b>	<b>Argila %</b>	<b>Classe Textura</b>
<b>Sombra</b>	3,9	9	20	1,20	39	12	49	Arg.
<b>Sol</b>	3,7	21	20	1,28	39	14	47	Arg.

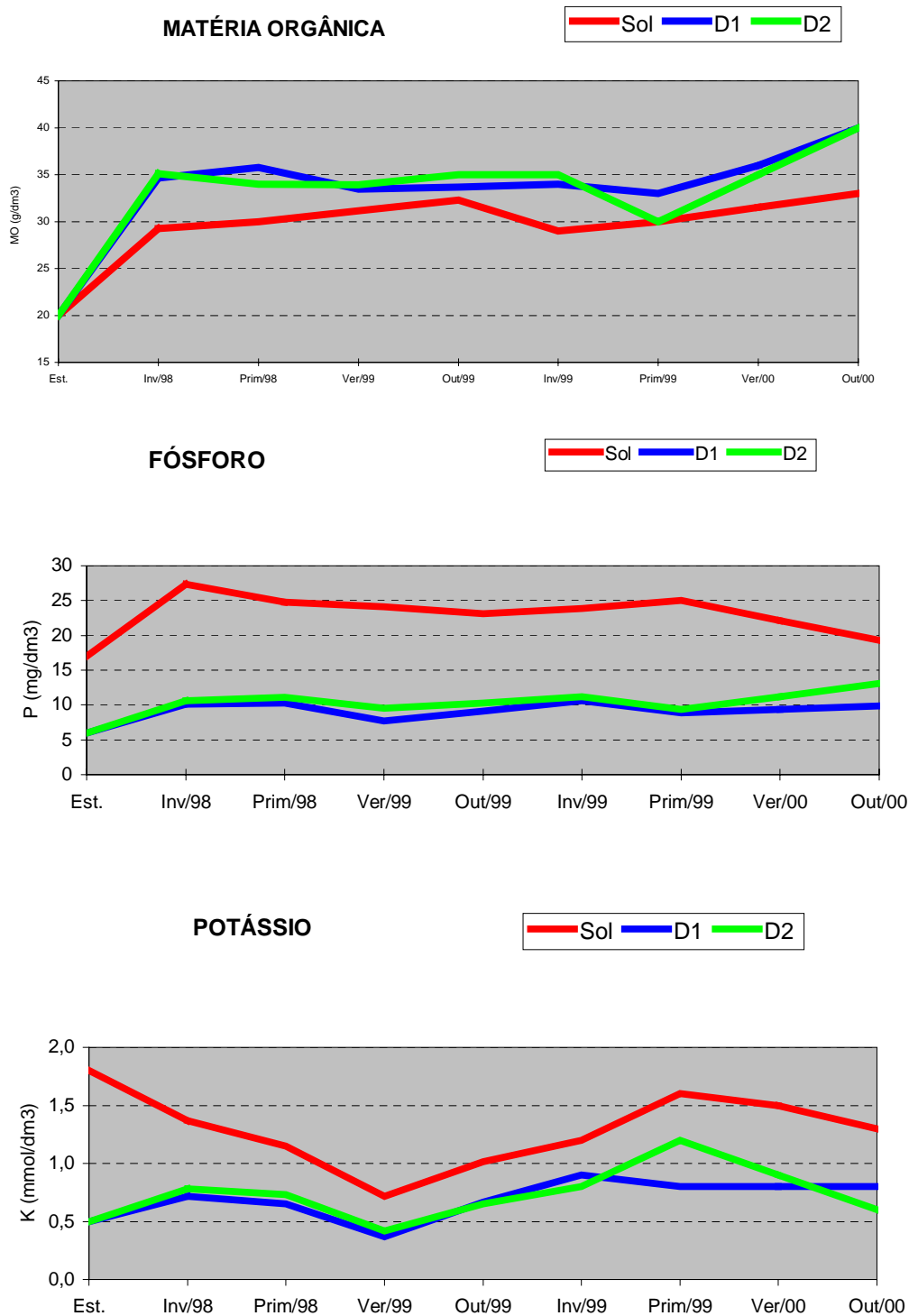
Na Tabela 11 e Figuras 23 e 24 são apresentados os teores médios observados ao longo do período experimental de matéria orgânica, minerais, acidez e atividade microbiana nos solos, referentes aos diferentes tratamentos. Comparando-se as duas tabelas, verifica-se que a calagem feita não foi suficiente para elevar o pH e o V% do solo a níveis razoáveis ( $V\% \geq 40$ ), o que provavelmente foi devido à incorporação da serapilheira existente (constituída basicamente de acículas) ao solo por ocasião do seu preparo para o plantio dos capins. Entretanto, essa quantidade não foi tão grande assim, estimada em 1.770 kg/ha (Figura 25). A quantidade de adubo aplicada foi intencionalmente baixa visando permitir a detecção de quaisquer alterações nas concentrações de minerais em função da intensidade de sombreamento, principalmente no que diz respeito aos teores de nitrogênio.

De uma forma geral, não houve diferenças significativas quanto aos teores de nutrientes no solo em função das densidades de árvores ou dos capins cultivados no seu sub-bosque, com exceção do nitrogênio e do fósforo. O teor de nitrogênio foi significativamente maior na parcela de aruana do que nas de tanzânia e de humidícola, não diferindo dos demais capins, talvez por serem estes dois mais exigentes em nitrogênio no solo. Houve também diferença significativa entre as duas densidades de árvores com relação ao teor de fósforo no solo, tendo sido maior na maior densidade (D2). O pH e o V% do solo não apresentaram diferenças significativas, nem entre capins, nem entre densidades de árvores. Nas parcelas a pleno sol não houve diferenças significativas entre os capins para nenhum dos itens.

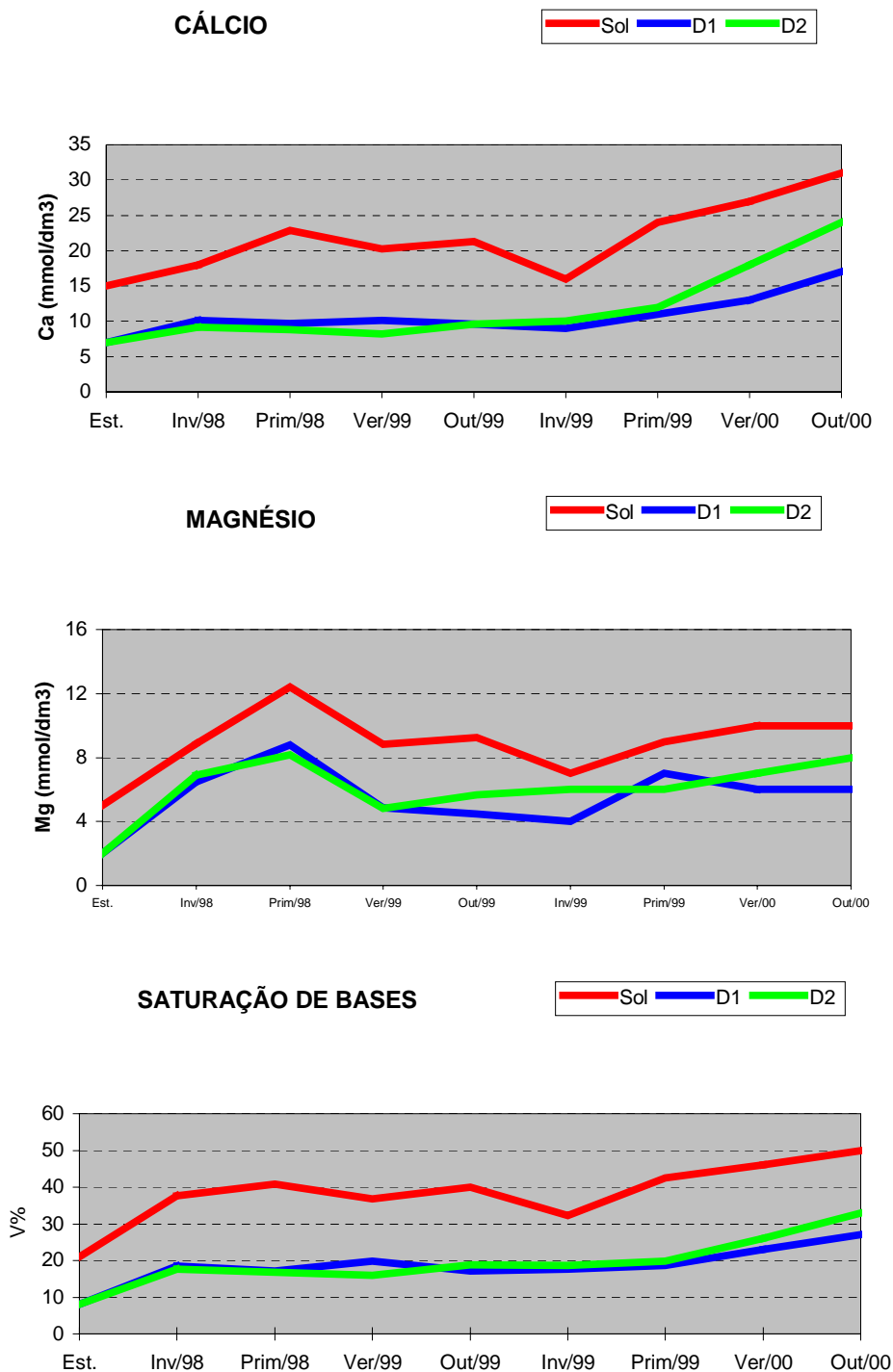
**Tabela 11:** Teores médios de nutrientes nos solos e atividade microbiana, na camada de 0-20 cm de profundidade, em parcelas cultivadas com diferentes capins, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

SOMBRA	C		N		P (mg/dm <sup>3</sup> )	K		Ca		Mg (mmol/dm <sup>3</sup> )	pH	V %	Ativ. Microb. mg CO <sub>2</sub> /g
	(%)	(%)	(%)	(%)		(mmol/dm <sup>3</sup> )	(mmol/dm <sup>3</sup> )						
<b>CAPINS</b>													
Tanzânia	1,97 a	0,16 b	10,63 a	0,63 a	12,66 a	6,45 a	4,31 a	21,40 a	1,84 a				
Aruana	2,09 a	0,18 a	9,32 a	0,75 a	11,02 a	5,63 a	4,27 a	18,79 a	1,66 a				
Green Panic	2,04 a	0,17 ab	11,02 a	0,80 a	13,41 a	7,28 a	4,38 a	24,44 a	1,87 a				
Brizanta	2,03 a	0,17 ab	9,73 a	0,58 a	11,75 a	6,02 a	4,26 a	19,35 a	1,55 a				
Humidicola	1,97 a	0,16 b	10,06 a	0,73 a	9,92 a	5,87 a	4,24 a	17,88 a	1,55 a				
Tifton 85	1,98 a	0,17 ab	10,14 a	0,76 a	10,44 a	5,68 a	4,22 a	18,49 a	1,57 a				
CV%	2,63	2,79	15,32	16,35	15,73	10,74	2,22	15,51	14,70				
Médias	2,02	0,17	10,15	0,71	11,53	6,15	4,28	20,06	1,67				
<b>DENSIDADES</b>													
D1	2,01 a	0,17 a	9,53 b	0,69 a	10,87 a	5,88 a	4,28 a	19,57 a	1,78 a				
D2	2,02 a	0,17 a	10,77 a	0,73 a	12,20 a	6,42 a	4,29 a	20,55 a	1,57 a				
CV%	5,49	5,13	19,71	22,58	24,41	26,66	4,04	28,15	27,80				
<b>SOL</b>													
CAPINS	C		N		P (mg/dm <sup>3</sup> )	K		Ca		Mg (mmol/dm <sup>3</sup> )	pH	V %	Ativ. Microb. mg CO <sub>2</sub> /g
	(%)	(%)	(%)	(%)		(mmol/dm <sup>3</sup> )	(mmol/dm <sup>3</sup> )						
Tanzânia	1,73 a	0,15 a	22,71 a	1,40 a	20,92 a	8,21 a	4,63 a	35,86 a	1,79 a				
Aruana	1,76 a	0,15 a	21,54 a	1,43 a	22,17 a	9,62 a	4,65 a	40,37 a	2,77 a				
Green Panic	1,74 a	0,15 a	23,99 a	1,15 a	19,99 a	8,03 a	4,69 a	36,61 a	1,82 a				
Brizanta	1,87 a	0,16 a	22,72 a	0,94 a	21,96 a	8,87 a	4,78 a	39,70 a	3,06 a				
Humidicola	1,78 a	0,15 a	25,55 a	1,20 a	24,21 a	9,63 a	4,86 a	42,44 a	2,44 a				
Tifton 85	1,78 a	0,15 a	26,07 a	1,10 a	25,57 a	11,03 a	4,91 a	45,49 a	2,00 a				
CV%	4,70	5,99	25,70	28,25	26,74	24,65	4,13	21,39	30,08				
Médias	1,78	0,15	23,76	1,20	22,47	9,23	4,75	40,08	2,31				

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.



**Figura 23:** Evolução dos teores médios de matéria orgânica, fósforo e potássio nos solos, nas parcelas a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).



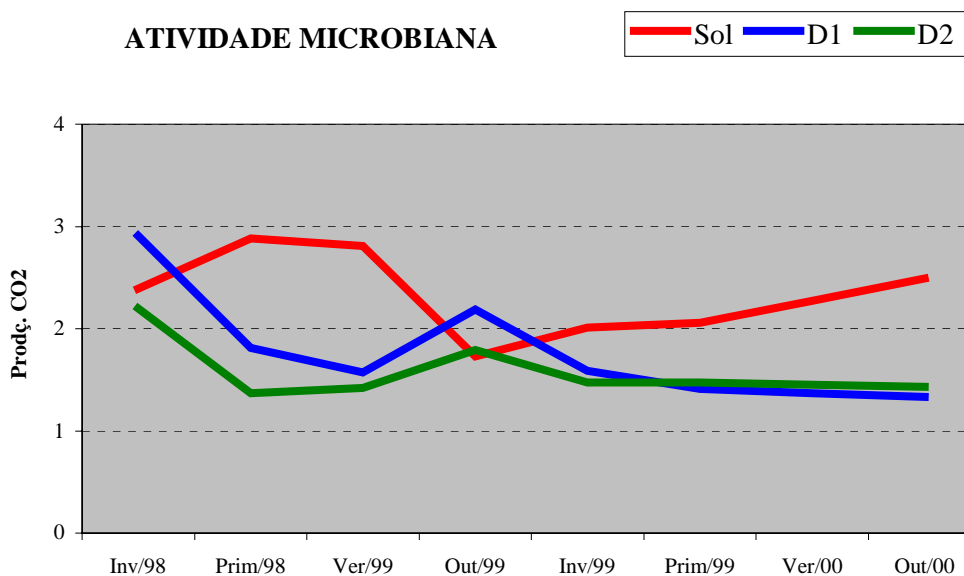
**Figura 24:** Evolução dos teores médios de cálcio, magnésio e saturação de bases nos solos, nas parcelas a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).



**Figura 25:** Quantidade de serapilheira no talhão de *Pinus elliottii* antes do início do experimento.

Quando comparados com os teores médios das parcelas a pleno sol, os teores à sombra foram 13% superiores para C e N, enquanto que os teores de P, K, Ca e Mg tiveram uma redução de 57, 41, 49 e 33%, respectivamente. Nas parcelas à sombra, a acidez do solo (pH) e a saturação de bases (V) foram 10% e 50% menores, respectivamente, do que as a pleno sol.

Os resultados relativos à atividade microbiana no solo, estimada pela somatória da produção diária de CO<sub>2</sub> pelas amostras de solos (em mg/g de resíduo seco), que no presente experimento foi medido durante 8 dias a cada amostragem, também podem ser observados na Tabela 11, retro apresentada. Não houveram diferenças significativas nem entre capins nem entre densidades de árvores, no entanto, a atividade microbiana média à sombra foi 28% menor que a pleno sol. Ao se observar a Figura 26, percebe-se que talvez as condições a pleno sol foram mais favoráveis do que as à sombra para a atividade microbiana ao longo do período experimental, com exceção dos períodos de inverno/98 e do outono/99.



**Figura 26:** Atividade microbiana média (mg CO<sub>2</sub>/g de resíduo seco, em 8 dias) nos solos a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), ao longo do período experimental.

Os resultados aqui obtidos, com exceção da MO, são contrários aos obtidos por outros autores. BELSKY *et al.* (1989) e BELSKY *et al.* (1993) avaliaram como as árvores podem afetar o ambiente físico, químico e biológico à sua volta, e constataram que os teores de matéria orgânica, N total, P, K e Ca foram significativamente maiores sob a copa das árvores do que em áreas abertas, enquanto que o teor de Mg, a relação C/N e a densidade do solo foram significativamente menores.

CARVALHO *et al.* (1997), testando o desempenho de alguns capins tropicais no sub-bosque de angico-vermelho, também verificaram que os teores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg no solo foram significativamente mais altos sob as árvores do que na área a pleno sol, o que se refletiu na maior concentração de nutrientes nas folhas dos capins.

MARTINS (1987), estudando o efeito do desmatamento e do cultivo sobre as propriedades do solo na Amazônia Oriental, verificou que a falta da vegetação nativa que forneça adições constantes de resíduos acarretou mudanças na quantidade e qualidade da matéria orgânica, afetando a organização estrutural do solo. No entanto, quando o cultivo é interrompido devido a baixa produtividade, o desenvolvimento da

vegetação natural favorece o acúmulo de resíduos que, aliados a forte atividade da fauna, revertem o processo de alteração, favorecendo a reorganização do solo.

CAMPOS (1998) avaliou como a substituição da vegetação nativa por culturas altera as propriedades do solo no Estado de São Paulo. Observou que com a substituição da vegetação nativa por pastagem, ocorre aumento na densidade do solo e diminuição da estabilidade dos agregados e da acidez, principalmente nas camadas mais superficiais. Os teores de matéria orgânica do solo e biomassa microbiana diminuem e aumenta a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Por outro lado, convertendo-se parte da área de pastagem em área com eucaliptos, a densidade do solo, o pH, o grau de agregação e o teor de matéria orgânica voltam a assumir valores próximos aos da mata. Entretanto, a biomassa microbiana é menor, provavelmente devido ao poder alelopático dos exudados radiculares. Neste caso, a emissão de CO<sub>2</sub> é muito pequena.

HAWKE & O'CONNOR (1993) analisaram as condições do solo em sistema silvipastoril com *Pinus radiata*. Constataram uma queda significativa do pH do solo a medida que aumentava a idade das árvores e sua densidade por área. Também ficou evidente o aumento dos teores de fósforo e enxofre sob as árvores e o aumento do teor de Mg na pastagem a pleno sol. Os autores verificaram que as acículas senescentes tinham pH de 4,4 e que o material orgânico em decomposição pH 4,8. Isso sugere que as acículas dos pinheiros poderiam estar afetando o pH do solo, ainda mais tendo em vista que a queda de acículas foi de 4.000 e de 6.300 kg MS/ha/ano, respectivamente para áreas com 100 e 200 árv/ha, aos 15 anos de idade. Lembram ainda que outros trabalhos realizados na mesma área indicaram alterações na atividade microbiana e declínio no número de minhocas no solo associados com a diminuição do pH no solo. Ainda na mesma área, KNOWLES *et al.* (1994) verificaram que o fungo micorrízico geralmente associado com áreas florestais, *Rhizopogon rubescens*, foi substituído nas áreas silvipastoris por duas outras espécies menos comuns: *Tuber* e *Scleroderma* spp.

Apesar do provável problema de acidificação do solo causado pelas acículas, não se encontrou na literatura alguma menção especial quanto à sua incorporação ou não ao solo. SILVA *et al.* (1986) testaram diferentes preparos do solo para plantio de gramíneas sob *Pinus elliottii*: envaletamento, enleiramento e queima das acículas, e constataram que os três tratamentos se equivaliam, sendo superiores à testemunha, sem tratamento algum. No entanto, seus dados só dizem respeito ao crescimento dos capins,

sem que tenham avaliado as condições do solo. Em outro trabalho, MULLEN (1994) apresenta diversas formas de se estabelecer pastagens no sub-bosque de plantios arbóreos (coqueiros, seringueiras, pinheiros, etc.), a depender do nível tecnológico e da disponibilidade de recursos na propriedade, entre elas: plantio direto, semeadura em linhas de dissipação, tração animal, pisoteio do solo por excesso de animais e plantio nas fezes dos animais. No entanto, como primeira opção ainda recomenda o preparo do solo e plantio na forma tradicional, ou seja, com uso de grade-aradora, plantadeira e rolo compactador, como sendo os mais eficientes.

WILSON (1996) defende a hipótese de que o sombreamento favorece a degradação da matéria orgânica por oferecer melhores condições microclimáticas à atividade microbiana no solo, aumentando a ciclagem de nutrientes. A análise da atividade microbiana e da mineralização do N em função da temperatura sugeriu que temperaturas extremas na superfície do solo à pleno sol ( $>35^{\circ}\text{C}$ ) certamente excederiam o ótimo para a atividade microbiana em solos de regiões temperadas. No entanto, o autor admite que em solos tropicais a situação não é tão clara. Considerando dados de outros autores que sugerem que a atividade microbiana não é reduzida por temperaturas do solo de até  $40\text{-}50^{\circ}\text{C}$ , pensa que talvez temperaturas mais amenas no solo e na serapilheira por si só em ambientes subtropicais não sejam suficientes para alterar significativamente a atividade microbiana e favorecer o crescimento do capim em condições de sombra. Entretanto, acredita que o sombreamento deve favorecer a fauna do solo, como por exemplo as minhocas, que possuem papel importante na ciclagem de nutrientes e cuja temperatura letal varia entre  $25\text{-}35^{\circ}\text{C}$ . As minhocas também seriam beneficiadas pelo maior teor de umidade no solo nas áreas sombreadas.

Na verdade, existem vários fatores que podem afetar a atividade microbiana. A quantidade de microorganismos, sua composição e sua atividade refletem a flutuação de fatores bióticos e abióticos tais como a presença de oxigênio, água, nutrientes, substâncias orgânicas e inorgânicas, fontes de energia, teor de argila, condições de óxido-redução ou de adsorção e relações mutualistas positivas ou negativas entre organismos (microorganismos, plantas e animais) (KUNC, 1994).

PAUL & CLARK (1989) descreveram como as condições do solo afetam a atividade microbiana. A umidade do solo afeta não apenas a quantidade de água disponível aos organismos mas também a aeração do solo, a natureza e quantidade de



compostos solúveis, a pressão osmótica e o pH da solução do solo. A fixação biológica de nitrogênio também gera acidez uma vez que  $H^+$  é produzido durante o processo de fixação. A transformação biológica de  $NH_4^+$  em  $NO_3^-$  (nitrificação) é uma das reações do solo mais sensíveis ao pH. Enquanto a nitrificação pode ocorrer em solos florestais com valores de pH abaixo de 4, a nitrificação em meio de cultura não ocorre com pH abaixo de 6. Isso se deve à existência de microsítios no solo onde ocorre a decomposição do material nitrogenado e a conseqüente liberação de amônia resulta em pH maior no microsítio do que na solução do solo. Outra possibilidade é a ação de nitrificadores heterotróficos mais tolerantes às condições de elevada acidez. A interação da temperatura do solo com o pH explica porque *Nitrobacter*, que oxida  $NO_2^-$ , é muito mais sensível às condições do ambiente do que *Nitrosomonas*, que oxida  $NH_4^+$ .

#### 4.6. Concentração e estoque de carbono nos diferentes compartimentos

A concentração de carbono nos diferentes compartimentos avaliados é apresentada na Tabela 12. Verifica-se que, de uma forma geral, a maior concentração de carbono está nas árvores, principalmente nas acículas (50,15% MS), e a menor, nos capins sombreados (40,42% MS). A pleno sol a serapilheira apresentou teores ainda menores (38,86% MS). Não houve diferença significativa nos teores de carbono dos componentes das árvores, tanto em função dos capins cultivados no seu sub-bosque, quanto em função das densidades de árvores. Já para as raízes finas, capins e serapilheira, houve diferenças significativas nesse teor entre as duas densidades de árvores, sendo maior na densidade D2.

As Tabelas 13 e 14 mostram o conteúdo de carbono nos diversos compartimentos e em cada ambiente avaliado. Verifica-se que não houve diferenças significativas na quantidade de carbono presente nas árvores em função dos capins cultivados no seu sub-bosque, no entanto houve diferença quanto à densidade de árvores, sendo maior na densidade D2 (159 t C/ha) do que na densidade D1 (88 t C/ha), uma vez que a primeira possui o dobro de árvores que a segunda. O maior conteúdo de carbono foi observado nos troncos (71,1 t C/ha), seguido pelas raízes (30,6 t C/ha), galhos (17,4 t C/ha) e acículas (4,3 t C/ha).

**Tabela 12:** Teor de carbono nos diversos compartimentos, em % MS, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

SOMBRA	Árvores			Raízes Finas	Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos				
<b>CAPINS</b>							
Tanzânia	50,24 a	47,58 a	48,11 a	50,35 a	39,48 c	43,83 a	1,97 a
Aruana	49,71 a	47,66 a	49,17 a	48,53 a	40,56 abc	46,03 a	2,09 a
Green Panic	50,78 a	47,81 a	49,15 a	47,95 a	39,61 c	45,51 a	2,04 a
Brizanta	50,40 a	48,44 a	47,50 a	47,85 a	39,78 bc	43,50 a	2,03 a
Humidicola	50,11 a	47,72 a	48,00 a	48,23 a	41,35 ab	46,13 a	1,97 a
Tifton 85	49,64 a	47,99 a	50,59 a	48,22 a	41,73 a	44,31 a	1,98 a
CV%	1,64	1,82	0,78	0,30	1,78	1,67	2,63
Médias	50,15	47,87	48,75	48,52	40,42	44,88	2,02
<b>DENSIDADES</b>							
D1	50,48 a	47,99 a	48,97 a	47,87 a	40,04 b	44,06 b	2,01 a
D2	49,82 a	47,75 a	48,54 a	49,17 a	40,80 a	45,72 a	2,02 a
CV%	2,27	2,98	2,21	3,02	2,68	4,32	5,49
<b>SOL</b>							
CAPINS	Árvores			Raízes Finas	Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos				
Tanzânia	--	--	--	--	41,77 a	37,94 ab	1,73 a
Aruana	--	--	--	--	41,80 a	38,30 ab	1,76 a
Green Panic	--	--	--	--	42,01 a	36,41 b	1,74 a
Brizanta	--	--	--	--	41,97 a	37,65 ab	1,87 a
Humidicola	--	--	--	--	42,02 a	41,13 ab	1,78 a
Tifton 85	--	--	--	--	42,74 a	41,75 a	1,78 a
CV%	--	--	--	--	1,61	5,77	4,70
Médias	--	--	--	--	42,05	38,86	1,78

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

**Tabela 13:** Conteúdo de carbono nas árvores, capins e serapilheira, em kg/ha, tanto em condições de sombreamento por duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), quanto à pleno sol.

SOMBRA	Árvores						total	Capins	Serapilheira
	acículas	galhos	troncos	raízes	total				
<b>CAPINS</b>									
Tanzânia	4.430 a	17.800 a	72.536 a	31.165 a	125.931 a	3.777 a	5.234 a		
Aruana	4.369 a	18.604 a	71.985 a	30.672 a	125.630 a	2.913 bc	4.821 a		
Green Panic	4.388 a	16.875 a	71.577 a	31.029 a	123.871 a	3.055 b	4.480 a		
Brizanta	4.195 a	17.110 a	68.428 a	29.587 a	119.321 a	3.765 a	5.529 a		
Humidicola	4.404 a	18.544 a	72.168 a	31.009 a	126.125 a	2.031 d	5.619 a		
Tifton 85	4.262 a	15.749 a	69.732 a	30.106 a	119.850 a	2.361 cd	4.299 a		
CV%	4,79	5,86	4,36	5,19	4,71	10,69	13,48		
Médias	4.341	17.447	71.071	30.594	123.455	2.984	4.997		
<b>DENSIDADES</b>									
D1	3.181 b	11.644 b	51.189 b	21.951 b	87.966 b	3.293 a	4.188 b		
D2	5.501 a	23.250 a	90.953 a	39.238 a	158.943 a	2.674 b	5.806 a		
CV%	13,77	12,80	9,05	15,52	10,27	13,47	21,74		
<b>SOL</b>									
CAPINS	Árvores						total	Capins	Serapilheira
	acículas	galhos	troncos	raízes	total				
Tanzânia	--	--	--	--	--	5.230 a	1.239 a		
Aruana	--	--	--	--	--	4.113 ab	739 a		
Green Panic	--	--	--	--	--	4.643 ab	857 a		
Brizanta	--	--	--	--	--	4.175 ab	1.613 a		
Humidicola	--	--	--	--	--	4.053 ab	812 a		
Tifton 85	--	--	--	--	--	3.671 b	941 a		
CV%	--	--	--	--	--	13,98	38,97		
Médias	--	--	--	--	--	4.314	1.033		

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

**Tabela 14:** Conteúdo de carbono nos solos, à diferentes profundidades, e nas raízes finas, em kg/ha, tanto em condições de sombreamento por duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), quanto à pleno sol.

SOMBRA	Solos					Total	Raízes Finas 0-80 cm
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm			
<b>CAPINS</b>							
Tanzânia	40.918 a	20.489 a	16.716 a	15.664 a	93.788 a	1.790 a	
Aruana	43.639 a	21.120 a	17.612 a	15.995 a	98.367 a	752 a	
Green Panic	42.657 a	16.540 a	14.890 a	13.782 a	87.871 a	600 a	
Brizanta	42.496 a	19.083 a	16.042 a	14.066 a	91.688 a	2.063 a	
Humidicola	41.107 a	19.487 a	16.748 a	15.995 a	93.337 a	1.408 a	
Tifton 85	41.240 a	20.433 a	17.388 a	15.712 a	94.773 a	2.850 a	
CV%	2,72	0,44	5,54	3,42	1,63	33,96	
Médias	42.009	19.525	16.566	15.202	93.304	1.577	
<b>DENSIDADES</b>							
D1	45.637 a	19.075 a	17.192 a	15.335 a	97.239 a	1.617 a	
D2	38.382 b	19.975 a	15.940 a	15.070 a	89.369 b	1.538 a	
CV%	5,56	18,65	16,90	10,79	7,56	61,13	
<b>SOL</b>							
Solos							
0-20 cm							
<b>CAPINS</b>							
Tanzânia	44.449 a	--	--	--	--	--	
Aruana	45.023 a	--	--	--	--	--	
Green Panic	44.682 a	--	--	--	--	--	
Brizanta	48.015 a	--	--	--	--	--	
Humidicola	45.503 a	--	--	--	--	--	
Tifton 85	45.798 a	--	--	--	--	--	
CV%	4,73	--	--	--	--	--	
Médias	45.578	--	--	--	--	--	

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

Os capins, em função do seu potencial de produção de biomassa, também diferiram entre si quanto ao conteúdo de carbono. Os maiores valores à sombra foram apresentados pelos capins tanzânia e brizanta (3,8 t C/ha/ano cada), seguidos pelos capins green panic (3,1 t C/ha/ano), aruana (2,9 t C/ha/ano), tifton 85 (2,4 t C/ha/ano) e humidícola (2,0 t C/ha/ano). Nas parcelas a pleno sol, o capim tanzânia também foi o responsável pela maior quantidade de carbono (5,2 t C/ha/ano), significativamente superior ao capim tifton 85 (3,7 t C/ha/ano), não havendo diferenças entre os demais capins, que apresentaram valores intermediários aos dois. Comparando-se os ambientes sombreados e a pleno sol, verifica-se que o conteúdo de carbono nos capins sombreados foi em média 31% menor que a pleno sol.

O conteúdo de carbono na serapilheira não diferiu entre as parcelas de capins cultivados sob os pinheiros, mas sim entre as duas densidades de árvores testadas, tendo sido maior na densidade D2 (5,8 t C/ha) do que na densidade D1 (4,2 t C/ha). A serapilheira à sombra conteve 4 vezes mais carbono que a serapilheira a pleno sol. Não houve diferença entre capins no conteúdo de carbono da serapilheira a pleno sol, sendo em média de 1 t C/ha.

O conteúdo de carbono no solo nas diferentes profundidades avaliadas à sombra não diferiu entre os capins, no entanto houve diferença significativa entre as duas densidades de árvores na camada mais superficial (0-20 cm) e no perfil total do solo (0-80 cm), sendo que o conteúdo de carbono foi maior na densidade D1, com menor número de árvores. As quantidades de carbono nas profundidades do solo de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm corresponderam respectivamente a 45%, 21%, 18% e 16% do total encontrado no perfil de 0-80 cm. O conteúdo de carbono no solo nas parcelas a pleno sol só foi avaliado na camada 0-20 cm, não apresentando diferenças significativas entre as parcelas de capins, no entanto elas tiveram em média 3,5 t C/ha a mais que as parcelas sombreadas.

O conteúdo de carbono nas raízes finas não apresentou diferenças significativas nem entre capins, nem entre densidades de árvores.

Considerando que o conteúdo total de carbono nas árvores corresponde ao acumulado em sua biomassa ao longo de 30 anos (sua idade) e o da serapilheira ao acumulado durante dois anos, uma vez que o que havia anteriormente foi incorporado ao solo antes do início do presente experimento, dividindo-se estes conteúdos pelo

tempo de acúmulo, obtém-se a quantidade de carbono estocada anualmente, lembrando-se que o conteúdo de carbono nos capins já corresponde à sua produção anual.

A Tabela 15 apresenta a estimativa do estoque médio anual de carbono na biomassa acima do solo em cada um dos sistemas avaliados. Os estoques médios de carbono nas densidades D1 (7,6 t C/ha/ano) e D2 (9,6 t C/ha/ano) foram superiores em 57 e 98% do observado a pleno sol (4,8 t C/ha/ano). Enquanto na densidade D1 (200 árv/ha) a biomassa arbórea contribuiu em média com 29% do estoque total de carbono no sistema, na densidade D2 (400 árv/ha) ela foi em média de 42% do total. Por outro lado, os capins contribuíram em média com 43% do estoque de carbono na densidade D1 e com 28% na densidade D2. Já o estoque médio de carbono na serapilheira correspondeu a 28% do total na densidade D1 e a 30% do total na densidade D2.

**Tabela 15:** Estimativa do estoque médio anual de carbono na biomassa acima do solo em sistemas com diferentes capins, em condições a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

Dens.	Compart.	Tanzânia	Aruana	Green Panic	Brizanta	Humidícola	Tifton-85	Médias
		kg C/ha/ano						
<b>Sol</b>	capins	5.230	4.113	4.643	4.174	4.050	3.671	4.313
	serapilheira	620	370	429	807	406	471	517
	<b>Total</b>	<b>5.850</b>	<b>4.483</b>	<b>5.072</b>	<b>4.981</b>	<b>4.456</b>	<b>4.142</b>	<b>4.830</b>
<b>D1</b>	árvores	2.217	2.343	2.181	2.095	2.354	2.012	2.200
	capins	4.075	3.115	3.257	4.258	2.340	2.712	3.293
	serapilheira	2.280	2.040	1.842	2.444	2.187	1.774	2.094
	<b>Total</b>	<b>8.572</b>	<b>7.498</b>	<b>7.280</b>	<b>8.797</b>	<b>6.881</b>	<b>6.498</b>	<b>7.587</b>
<b>D2</b>	árvores	4.101	3.987	4.009	3.887	3.987	3.971	3.990
	capins	3.480	2.710	2.853	3.273	1.722	2.009	2.675
	serapilheira	2.955	2.782	2.639	3.086	3.433	2.526	2.903
	<b>Total</b>	<b>10.536</b>	<b>9.479</b>	<b>9.501</b>	<b>10.246</b>	<b>9.142</b>	<b>8.506</b>	<b>9.568</b>

Verifica-se assim que os capins estocaram uma quantia até maior de carbono por ano do que as árvores na densidade D1. E mesmo na densidade D2, a participação dos capins no estoque total de carbono não foi desprezível. Considerando os três compartimentos acima do solo, as melhores composições em termos de estoque de carbono na densidade D1 foram as com os capins brizanta (8,8 t C/ha/ano) e tanzânia

(8,6 t C/ha/ano). Na densidade D2 as melhores composições foram com os capins tanzânia (10,5 t C/ha/ano) e brizanta (10,2 t C/ha/ano). O solo é inegavelmente um grande depósito de carbono, no entanto, ele é relativamente estável e, mesmo utilizando-se de técnicas adequadas de manejo, o aumento no seu conteúdo de carbono é limitado. Assim sendo, visando encontrar soluções para os problemas ambientais, os dados obtidos neste trabalho mostram a importante contribuição tanto das florestas plantadas quanto dos capins tropicais no seqüestro de carbono da atmosfera.

Tendo em vista que as preocupações com mudanças climáticas e seqüestro de carbono são relativamente recentes, foram encontrados poucos trabalhos de campo abordando especificamente este aspecto, no entanto, já a algum tempo são pesquisadas as alterações na matéria orgânica no solo e na produção de biomassa em florestas em função de diferentes manejos.

MARTINS (1987), avaliando as conseqüências do desmatamento e do cultivo do solo na região Amazônica, constatou que a quantidade de carbono em ecossistema natural era de 27,4; 18,1 e 20,2 t/ha, totalizando 65,7 t/ha, respectivamente nas profundidades de 0-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm do solo. Por outro lado, em solo cultivado por 5 anos, as quantidades de carbono foram de 22,0; 16,3 e 18,2 t/ha, totalizando 56,5 t/ha, para as mesmas profundidades de solo, respectivamente. O autor também constatou que, enquanto na serapilheira de mata nativa havia em média 6,1 t C/ha, na área cultivada havia uma quantidade bem menor, de apenas 0,5 t C/ha. Entretanto, quando a área era deixada em pousio, os valores tendiam a se aproximar aos da mata nativa.

Em outro trabalho semelhante realizado na Amazônia, CERRI (1989) encontrou 90,0 t C/ha nos 20 cm superficiais do solo sob mata natural. Na área com dois anos de pastagem (*Brachiaria humidicola*, sem calagem ou fertilizante), o conteúdo de carbono foi de 68,8 t C/ha na mesma faixa de solo. Após oito anos de pastagem, esse valor passou para 96,0 t C/ha na camada 0-20 cm. A relação C/N dos vinte primeiros centímetros do solo foi de 13,8; 14,3 e 13,3 respectivamente nas áreas sob mata natural, pastagem de dois e oito anos, indicando que a relação C/N não é significativamente alterada com a implantação da pastagem. O autor concluiu que após o desmatamento e uso do solo com pastagem há um declínio de 25% do conteúdo original de carbono mas

que em seguida ele volta a se restabelecer devido à entrada de carbono proveniente da pastagem, retornando aos níveis originais após oito anos.

Já no Estado de São Paulo, CAMPOS (1998) observou que em área de mata natural o conteúdo de carbono no solo nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade era de 68,65 e 40,95 t/ha, respectivamente, totalizando 109,60 t C/ha, correspondendo aos teores de 3,60 e 1,63% C nas mesmas camadas. Quando parte da área era convertida para pastagens, observou que o conteúdo de carbono diminuiu em sessenta por cento, baixando para 39,4 t C/ha, sendo que 22,97 t C/ha se achavam na camada 0-20 cm e 16,43 t C/ha, na camada 20-40 cm de profundidade, correspondendo às concentrações de 0,94 e 0,64% de C, respectivamente. Com a conversão de parte da pastagem para a cultura do eucalipto havia uma recuperação do estoque de carbono, com um aumento da ordem de 50% em relação ao encontrado na pastagem, alcançando a quantia de 59,6 t C/ha. Verificou-se que 38,76 t C/ha estavam na camada de 0-20 cm de profundidade e 20,85 t C/ha, na camada 20-40 cm, apresentando concentrações de 1,92 e de 0,84% de C, respectivamente nas mesmas camadas. Esses valores estão próximos aos observados no presente experimento.

LITTLE *et al.* (1992) avaliaram uma área com *P. contorta* nos EUA e observaram que as concentrações de carbono nos diferentes componentes das árvores variavam muito pouco, ficando em torno de 50% da MS. Já a concentração de carbono na serapilheira foi menor, de 40% da MS. Nos solos, o teor de carbono foi de 3,34% no horizonte 1 e de 0,59% no horizonte 2. Na biomassa das árvores (151,0 t MS/ha) foi estimada a quantia de 75,3 t C/ha e na biomassa da serapilheira (20,1 t MS/ha), 7,6 t C/ha. No solo, o conteúdo de carbono foi estimado em 40,5 t C/ha no horizonte 1 e em 12,4 t C/ha no horizonte 2.

Em outro trabalho, LITTLE *et al.* (1995), avaliando áreas com *P. ponderosa*, verificaram que as concentrações de carbono nos componentes das árvores variaram entre 50-54% da MS, na serapilheira ficou em torno de 49% da MS e no solo foi em média de 3,6% no horizonte 1 e de 0,9% no horizonte 2. Na biomassa das árvores (111,6 t MS/ha) foi estimada a quantia de 57,4 t C/ha e na biomassa da serapilheira (16,1 t MS/ha), 8,0 t C/ha. No solo, o conteúdo de carbono foi estimado em 23,4 t C/ha no horizonte 1 e em 15,8 t C/ha no horizonte 2.



LEE & DODSON (1996) calcularam o potencial de seqüestro de carbono se áreas marginais de pastagens fossem reflorestadas com pinheiros. Compararam duas situações: a) se a área de pastagem fosse mantida como está por 50 anos, e b) se a área fosse reflorestada por 50 anos, permitindo dois cortes da madeira, um a cada 25 anos. Constataram que o seqüestro líquido de carbono seria de 40 e 18 t C/ha para o primeiro e segundo período de 25 anos, respectivamente. Por outro lado, o seqüestro seria de 8 t C/ha na forma de C orgânico no solo se a área fosse deixada como pastagem por 50 anos, ou de apenas 3 t C/ha após descontar o C que é liberado na fabricação de fertilizantes nitrogenados, caso o pasto fosse adubado no período.

#### 4.7. Concentração de nutrientes nos diferentes compartimentos

Nos pinheiros (Tabela 16), a maior concentração de minerais foi nas acículas, local onde acontece a maior atividade metabólica da árvore.

**Tabela 16:** Teor de minerais nos diferentes componentes de *Pinus elliottii*, nas duas densidades, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

Densi- dades	Componentes	N	P	K	Ca	Mg	S
		(% MS)					
<b>D1</b>	Acículas	1,16	0,07	0,42	0,44	0,12	0,03
	Galhos	0,20	0,04	0,10	0,34	0,03	0,00
	Troncos	0,09	0,04	0,05	0,09	0,02	0,00
	Raízes	0,20	0,03	0,13	0,08	0,02	0,00
	<b>Média</b>	<b>0,41</b>	<b>0,04</b>	<b>0,17</b>	<b>0,24</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>
<b>D2</b>	Acículas	1,24	0,07	0,46	0,37	0,12	0,05
	Galhos	0,21	0,03	0,10	0,31	0,03	0,00
	Troncos	0,08	0,05	0,05	0,10	0,02	0,00
	Raízes	0,22	0,03	0,10	0,10	0,03	0,00
	<b>Média</b>	<b>0,44</b>	<b>0,04</b>	<b>0,18</b>	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>

O teor de cálcio foi elevado tanto nas acículas quanto nos galhos, sendo que o enxofre só foi detectado nas acículas. A concentração média de minerais, em ordem decrescente, foi: nitrogênio (0,42%), cálcio (0,23%), potássio (0,17%), magnésio (0,05%), fósforo (0,04%) e enxofre (0,01%).

Os capins sombreados (Tabela 17 e Figuras 27 e 28) apresentaram teores diferenciados para todos os minerais. Em média, o potássio foi o elemento de maior concentração nos capins sombreados (1,96%), seguido pelo nitrogênio (1,73%), cálcio (0,59%), magnésio (0,36%), enxofre (0,22%) e fósforo (0,20%). Além das diferenças intrínsecas aos capins, os teores de nitrogênio e magnésio também foram afetados pelas densidades de árvores, tendo sido significativamente maiores na maior densidade de árvores (D2).

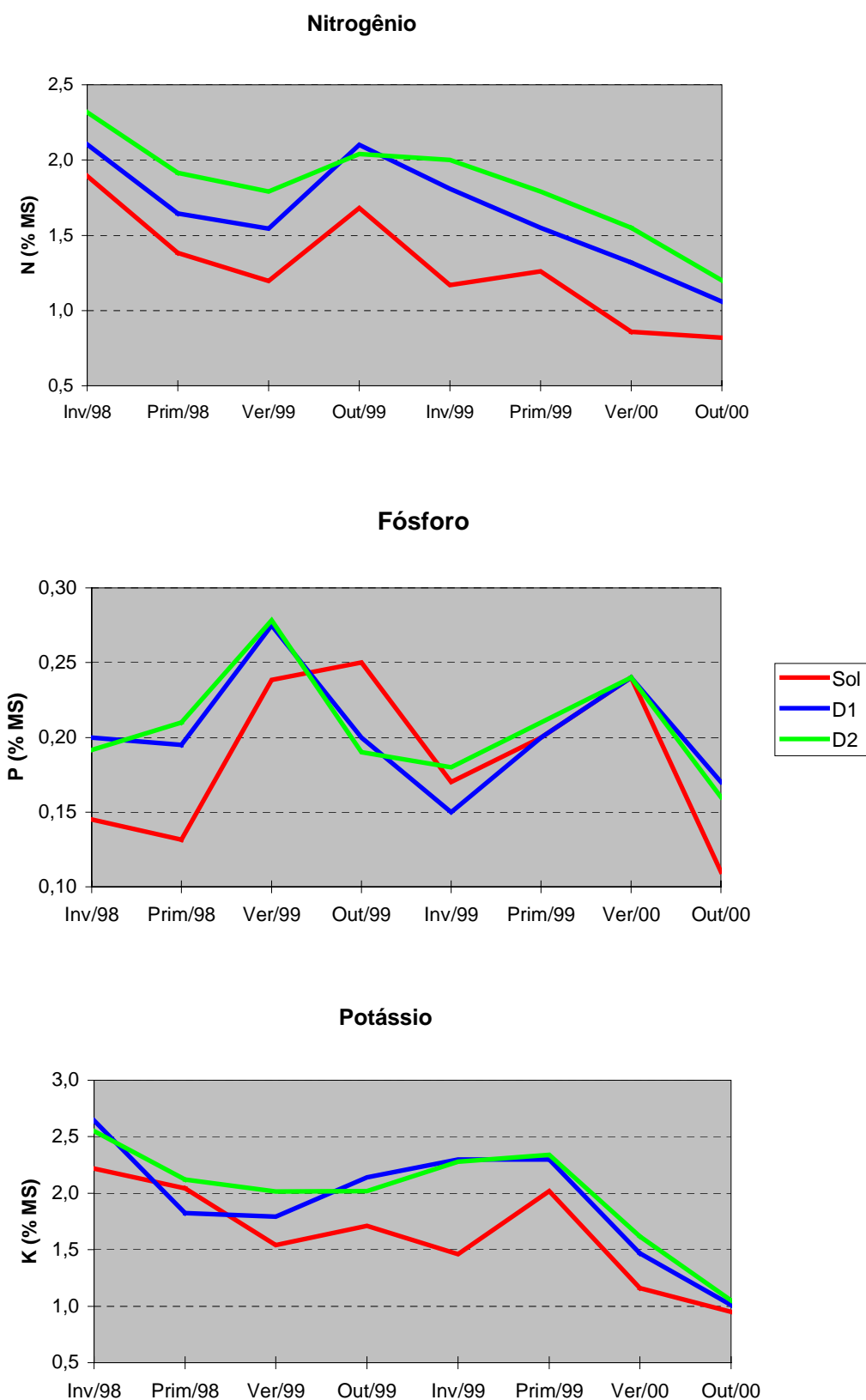
Nas parcelas a pleno sol, a concentração de minerais nos capins foi mais homogênea, diferindo apenas nos teores de cálcio, magnésio e enxofre. Da mesma forma que nos capins sombreados, o elemento de maior concentração foi o potássio (1,68%), seguido pelo nitrogênio (1,30%), cálcio (0,66%), magnésio (0,29%) e enxofre (0,17%).

Comparando-se as concentrações médias de nutrientes, verifica-se que os capins sombreados apresentaram concentrações maiores de N, S, Mg, K e P, respectivamente de 33, 29, 24, 17 e 11%, e menores de Ca e C, respectivamente de 11 e 4%, em relação aos a pleno sol.

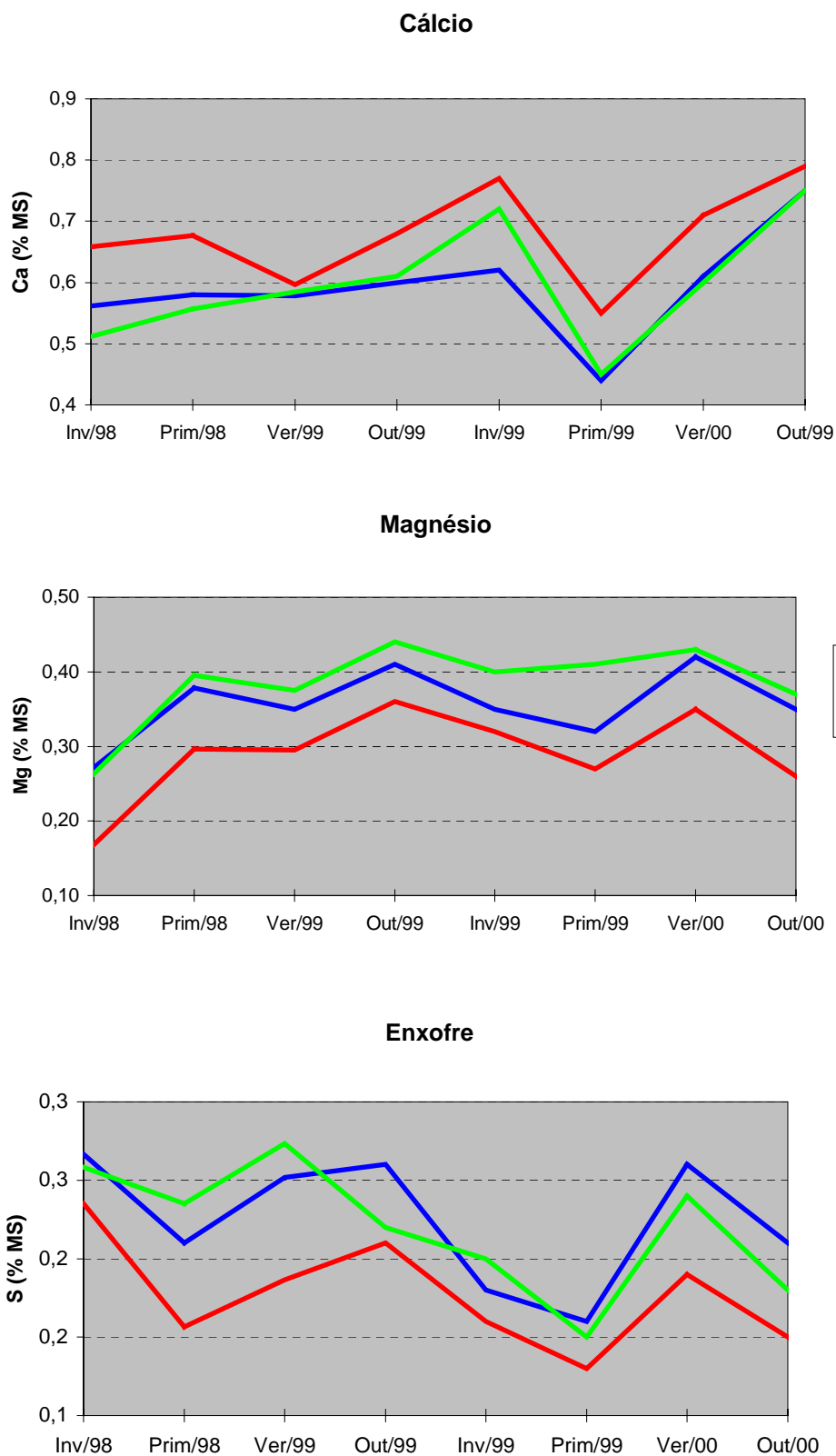
**Tabela 17:** Teor de minerais nos capins cultivados em condições de sombreamento, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e nos cultivados a pleno sol.

SOMBRA	N		P		K		Ca		Mg		S	
	(% MS)											
<b>CAPINS</b>												
Tanzânia	1,78	ab	0,19	bc	2,21	a	0,69	a	0,37	ab	0,17	c
Aruana	1,75	ab	0,22	a	1,93	bc	0,69	a	0,35	bc	0,22	b
Green Panic	1,86	a	0,22	a	2,07	ab	0,72	a	0,37	ab	0,21	b
Brizanta	1,61	b	0,21	ab	1,97	abc	0,52	b	0,42	a	0,19	bc
Humidícola	1,61	b	0,17	c	1,84	bc	0,37	c	0,37	ab	0,17	c
Tifton 85	1,77	ab	0,19	bc	1,76	c	0,55	b	0,30	c	0,34	a
CV%	5,83		7,07		5,69		4,05		3,05		1,32	
Médias	1,73		0,20		1,96		0,59		0,36		0,22	
$\Delta$ (%)	(+33)		(+11)		(+17)		(-11)		(+24)		(+29)	
<b>DENSIDADES</b>												
D1	1,64	b	0,20	a	1,93	a	0,59	a	0,35	b	0,22	a
D2	1,82	a	0,20	a	1,99	a	0,59	a	0,38	a	0,22	a
CV%	7,33		10,48		8,45		6,91		10,58		9,87	
SOL	N		P		K		Ca		Mg		S	
	(% MS)											
<b>CAPINS</b>												
Tanzânia	1,37	a	0,18	a	1,75	a	0,71	ab	0,28	b	0,13	d
Aruana	1,31	a	0,19	a	1,82	a	0,72	ab	0,28	b	0,20	b
Green Panic	1,47	a	0,22	a	1,65	a	0,76	a	0,28	b	0,17	c
Brizanta	1,14	a	0,18	a	1,60	a	0,63	b	0,36	a	0,15	cd
Humidícola	1,30	a	0,16	a	1,79	a	0,50	c	0,30	ab	0,12	d
Tifton 85	1,23	a	0,18	a	1,45	a	0,65	ab	0,23	b	0,27	a
CV%	11,14		14,63		10,03		8,05		10,32		6,91	
Médias	1,30		0,18		1,68		0,66		0,29		0,17	

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, determinado pelo Teste de Tukey.



**Figura 27:** Evolução dos teores médios de nitrogênio, fósforo e potássio na matéria seca de capins, cultivados a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).



**Figura 28:** Evolução dos teores médios de cálcio, magnésio e enxofre na matéria seca de capins, cultivados a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

Os diferentes capins afetaram significativamente os teores de nitrogênio, cálcio e magnésio na serapilheira (Tabela 18) sob as árvores, sendo que houve também efeito da densidade de árvores, onde a maior densidade (D2) aumentou os teores de cálcio e diminuiu os teores de fósforo. Tendo em vista que a serapilheira é composta por materiais novos que são acrescidos constantemente e por materiais em permanente processo de decomposição, a concentração maior ou menor de determinados nutrientes é o resultado da maior ou menor mobilidade dos mesmos no ambiente e da velocidade de decomposição desse material. A composição mineral da serapilheira à sombra, constituída basicamente de acículas e capins, apresentou teores 11 e 9% maiores de N e Ca, respectivamente, e 64, 50, 21 e 21% menores de P, S, K e Mg, respectivamente, que os verificados na serapilheira a pleno sol, constituída exclusivamente de capins.

Comparando-se os teores de minerais nas árvores, nos capins e na serapilheira, percebe-se que a concentração deles é em geral bem maior nos capins, intermediária na serapilheira e menor nas árvores, com exceção do K, cujo teor nas árvores se situa entre os capins e a serapilheira.

Os teores de minerais nos vários componentes da parte aérea das árvores foram bem próximos aos obtidos por SOAVE (1990) para *P. elliottii* e os das raízes grossas próximos aos obtidos por TIMONI (1990) para *P. kesiya*. Os teores de minerais na serapilheira foram intermediários aos obtidos por TIMONI (1990) e por VALERI (1988) para *P. taeda* (vide Tabela 2 na Revisão de Literatura).

Conforme esperado, a concentração de N nos capins aumentou com o aumento do sombreamento e está de acordo com as observações feitas por outros autores (ERIKSEN & WHITNEY, 1981; WILSON *et al.*, 1986; CARVALHO *et al.*, 1997). WILSON (1996) declarou que isto se deve ao efeito da sombra que favorece a degradação da matéria orgânica e ciclagem de N.

Outros autores também observaram uma concentração mais alta de P, K, Ca, Mg e S nas áreas sombreadas, embora WILSON (1996) tenha observado maior teor de P e KNOWLES *et al.* (1994) de Ca nas áreas a pleno sol.

Em geral, todos os minerais nos capins estiveram em níveis adequados, conforme recomendações do Boletim Técnico n. 100 do IAC (1996), com exceção do teor mais alto de Mg no capim brizanta sombreado, do maior teor de Ca no capim brizanta a pleno sol, e do tifton-85 que apresentou um menor teor de N e maior de S,

tanto na sombra quanto a pleno sol, provavelmente porque este capim é mais exigente em N no solo.

**Tabela 18:** Teor de minerais na serapilheira acumulada sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), comparados aos a pleno sol.

SOMBRA	N P K Ca Mg S											
	(% MS)											
<b>CAPINS</b>												
Tanzânia	0,67	ab	0,04	a	0,14	a	0,47	ab	0,17	b	0,12	a
Aruana	0,68	ab	0,04	a	0,16	a	0,52	a	0,14	bc	0,09	a
Green Panic	0,68	ab	0,05	a	0,13	a	0,50	ab	0,14	bc	0,09	a
Brizanta	0,75	a	0,06	a	0,21	a	0,49	ab	0,22	a	0,13	a
Humidícola	0,65	b	0,03	a	0,12	a	0,45	b	0,13	bc	0,12	a
Tifton 85	0,75	a	0,03	a	0,13	a	0,46	ab	0,11	c	0,14	a
CV%	6,27		17,97		14,85		3,53		5,70		9,17	
Médias	0,70		0,04		0,15		0,48		0,15		0,11	
Δ (%)	(+11)		(-64)		(-21)		(+9)		(-21)		(-50)	
<b>DENSIDADES</b>												
D1	0,69	a	0,05	a	0,16	a	0,47	b	0,16	a	0,12	a
D2	0,71	a	0,04	b	0,14	a	0,50	a	0,15	a	0,11	a
CV%	8,07		47,59		42,71		9,42		19,03		32,21	
SOL	N P K Ca Mg S											
	(% MS)											
<b>CAPINS</b>												
Tanzânia	0,67	a	0,11	a	0,17	b	0,53	ab	0,21	ab	0,32	a
Aruana	0,63	a	0,11	a	0,15	b	0,38	ab	0,18	abc	0,26	ab
Green Panic	0,75	a	0,13	a	0,17	b	0,51	ab	0,20	ab	0,28	ab
Brizanta	0,60	a	0,10	a	0,19	ab	0,55	a	0,23	a	0,22	abc
Humidícola	0,40	b	0,12	a	0,18	ab	0,28	b	0,17	bc	0,09	c
Tifton 85	0,73	a	0,12	a	0,30	a	0,40	ab	0,13	c	0,15	bc
CV%	11,76		28,39		27,11		25,35		12,75		31,61	
Médias	0,63		0,11		0,19		0,44		0,19		0,22	

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, determinado pelo Teste de Tukey.

#### 4.8. Conteúdo de minerais nos diferentes compartimentos

Nas Tabelas 19, 20, 21, 22, 23 e 24 são apresentados os dados referentes ao conteúdo de minerais (N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente) nos diferentes compartimentos de cada sistema avaliado, ou seja, em função dos ambientes (duas densidades de árvores e a pleno sol) e dos capins.

O nitrogênio foi o mineral que participou com a maior quantidade do total de minerais no sistema, seguido pelo cálcio, ambos provenientes do solo. Nas parcelas a pleno sol, eles foram seguidos pelo magnésio, potássio, fósforo e enxofre, enquanto que nas parcelas sombreadas a seqüência se alterou um pouco: potássio, magnésio, fósforo e enxofre.

Não houve diferenças significativas no conteúdo dos vários minerais nos componentes das árvores em função dos capins plantados no seu sub-bosque, no entanto houve diferenças entre as densidades de árvores. Uma vez que na densidade D2 havia o dobro de árvores (400 árv/ha) que na densidade D1 (200 árv/ha), nela também houve uma quantidade significativamente maior de minerais. Por outro lado, os capins apresentaram quantidades significativamente maiores para todos os minerais na densidade D1 (200 árv/ha), uma vez que foi nela que houve a maior produção de biomassa. Apresentaram também diferenças entre si, em função das características peculiares de cada capim, sendo que os mais produtivos, como o capim tanzânia e o brizanta, também foram os que apresentaram conteúdos de minerais significativamente maiores que os demais capins, a exceção do enxofre, onde a maior quantidade foi verificada no capim tifton. Na serapilheira, de uma forma geral, houve diferença apenas entre as densidades de árvores quanto ao conteúdo de nitrogênio, do cálcio e do magnésio, que foram maiores na densidade D2, refletindo não só o maior número de árvores, mas também a maior concentração destes elementos nas acículas. Os solos não apresentaram diferenças significativas nem entre capins, seja na sombra, seja no sol, e nem entre densidades de árvores, com exceção do nitrogênio cujo conteúdo foi significativamente maior na densidade D1, com menor número de árvores. Entretanto, pode-se verificar uma clara diferença entre o conteúdo de minerais nas parcelas a pleno sol e nas a sombra, sendo sempre menor nesta última, provavelmente devido a maior demanda por nutrientes pelas árvores.



**Tabela 19:** Conteúdo de Nitrogênio nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

SOMBRA	Árvores				Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)	
	acículas	galhos	troncos	raízes				total
<b>CAPINS</b>								
Tanzânia	107,2 a	76,9 a	124,4 a	136,0 a	444,6 a	172,1 a	80,32 ab	3.519 a
Aruana	105,5 a	80,4 a	123,8 a	133,6 a	443,2 a	126,0 bc	71,51 ab	3.753 a
Green Panic	106,2 a	72,9 a	122,8 a	135,4 a	437,3 a	143,7 ab	68,26 b	3.668 a
Brizanta	101,5 a	74,0 a	117,4 a	129,1 a	422,1 a	152,4 ab	97,05 a	3.654 a
Humidicola	106,3 a	80,1 a	124,1 a	135,0 a	445,6 a	78,7 d	78,90 ab	3.535 a
Tifton 85	103,4 a	68,1 a	119,4 a	131,7 a	422,6 a	100,1 cd	72,65 ab	3.546 a
CV%	4,75	5,91	4,42	5,18	4,90	17,61	18,37	2,72
Médias	105,0	75,4	122,0	133,5	435,9	128,8	78,11	3.612
<b>DENSIDADES</b>								
D1	73,1 b	48,5 b	94,1 b	91,7 b	307,4 b	136,4 a	65,71 b	3.924 a
D2	136,9 a	102,3 a	149,9 a	175,2 a	564,3 a	121,3 b	90,52 a	3.300 b
CV%	13,77	12,85	9,07	15,53	11,52	19,61	21,68	5,56
SOL	Árvores				Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)	
	acículas	galhos	troncos	raízes				total
<b>CAPINS</b>								
Tanzânia	--	--	--	--	--	181,5 a	21,40 ab	3.822 a
Aruana	--	--	--	--	--	131,5 a	12,32 ab	3.872 a
Green Panic	--	--	--	--	--	165,9 a	17,50 ab	3.842 a
Brizanta	--	--	--	--	--	114,4 a	25,45 a	4.129 a
Humidicola	--	--	--	--	--	127,5 a	8,20 b	3.913 a
Tifton 85	--	--	--	--	--	107,6 a	16,52 ab	3.938 a
CV%	--	--	--	--	--	24,58	36,13	4,73
Médias	--	--	--	--	--	138,0	16,90	3.919

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

**Tabela 20:** Conteúdo de Fósforo nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

SOMBRA	Árvores				total	Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes				
<b>CAPINS</b>								
Tanzânia	6,19 a	12,38 a	69,22 a	19,17 a	107,0 a	18,15 a	5,53 ab	21,87 a
Aruana	6,10 a	12,97 a	68,35 a	18,88 a	106,3 a	16,37 a	4,76 ab	19,48 a
Green Panic	6,13 a	11,78 a	68,32 a	19,09 a	105,3 a	17,32 a	5,21 ab	23,10 a
Brizanta	5,86 a	11,88 a	65,28 a	18,20 a	101,2 a	20,37 a	8,30 a	20,08 a
Humidicola	6,15 a	12,94 a	68,51 a	19,09 a	106,7 a	8,56 b	3,63 ab	20,65 a
Tifton 85	5,96 a	10,96 a	66,80 a	18,50 a	102,2 a	10,57 b	3,45 b	20,90 a
CV%	4,79	5,66	4,26	5,19	4,60	15,70	26,61	18,18
Médias	6,07	12,15	67,75	18,82	104,8	15,22	5,15	21,01
<b>DENSIDADES</b>								
D1	4,41 b	9,70 b	41,81 b	13,75 b	69,7 b	16,81 a	5,14 a	21,55 a
D2	7,72 a	14,60 a	93,68 a	23,89 a	139,9 a	13,64 b	5,15 a	20,47 a
CV%	13,78	12,15	9,09	15,52	10,05	17,39	61,89	19,56
<b>SOL</b>								
CAPINS	Árvores				total	Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes				
Tanzânia	--	--	--	--	--	21,20 ab	3,92 a	58,15 a
Aruana	--	--	--	--	--	18,85 ab	2,10 a	55,15 a
Green Panic	--	--	--	--	--	24,02 a	3,20 a	61,39 a
Brizanta	--	--	--	--	--	18,47 ab	4,42 a	58,17 a
Humidicola	--	--	--	--	--	16,12 b	2,05 a	65,42 a
Tifton 85	--	--	--	--	--	15,72 b	2,57 a	66,75 a
CV%	--	--	--	--	--	12,93	50,55	25,72
Médias	--	--	--	--	--	19,06	3,04	60,84

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

**Tabela 21:** Conteúdo de Potássio nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

SOMBRA	Árvores				Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes			
<b>CAPINS</b>							
Tanzânia	39,43 a	37,21 a	74,48 a	70,85 a	213,2 a	16,82 ab	51,12 a
Aruana	38,76 a	38,89 a	73,90 a	70,41 a	137,7 cd	17,60 ab	61,93 a
Green Panic	39,07 a	35,28 a	73,50 a	70,51 a	159,7 bc	13,46 ab	65,77 a
Brizanta	37,35 a	35,77 a	70,26 a	67,20 a	189,1 ab	28,01 a	48,05 a
Humidicola	39,08 a	38,77 a	74,09 a	71,16 a	90,0 e	14,65 ab	59,07 a
Tifton 85	38,07 a	32,92 a	71,61 a	67,65 a	99,2 de	12,63 b	62,02 a
CV%	4,74	5,87	4,36	5,33	17,25	23,41	15,64
Médias	38,63	36,47	72,97	69,63	148,2	17,19	57,99
<b>DENSIDADES</b>							
D1	26,46 b	24,26 b	52,26 b	59,61 b	163,9 a	16,28 a	61,59 a
D2	50,79 a	48,69 a	93,68 a	79,65 a	132,4 b	18,11 a	54,40 a
CV%	13,77	12,80	9,05	15,70	17,66	58,10	22,18
<b>SOL</b>							
	Árvores				Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes			
<b>CAPINS</b>							
Tanzânia	--	--	--	--	218,8 a	5,90 a	140,62 a
Aruana	--	--	--	--	180,7 ab	3,22 a	143,52 a
Green Panic	--	--	--	--	181,5 ab	4,07 a	115,30 a
Brizanta	--	--	--	--	160,9 ab	8,57 a	94,45 a
Humidicola	--	--	--	--	170,9 ab	3,92 a	120,60 a
Tifton 85	--	--	--	--	124,5 b	7,02 a	110,17 a
CV%	--	--	--	--	16,48	61,42	28,22
Médias	--	--	--	--	172,9	5,45	120,77

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

**Tabela 22:** Conteúdo de Cálcio nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

SOMBRA	Árvores				Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes			
<b>CAPINS</b>							
Tanzânia	34,96 a	119,0 a	143,6 a	59,29 a	357,0 a	66,26 a	521,7 a
Aruana	34,66 a	124,5 a	142,3 a	57,99 a	359,3 a	49,72 b	456,3 a
Green Panic	34,64 a	113,0 a	141,8 a	59,05 a	348,4 a	55,88 b	563,3 a
Brizanta	33,09 a	114,4 a	135,5 a	56,32 a	339,3 a	49,41 b	484,0 a
Humidicola	34,93 a	124,1 a	142,6 a	58,64 a	360,3 a	18,27 d	408,6 a
Tifton 85	33,46 a	105,3 a	138,4 a	57,69 a	334,9 a	31,40 c	437,1 a
CV%	4,88	5,79	4,30	5,18	4,90	8,33	14,44
Médias	34,29	116,7	140,7	58,17	349,9	45,16	478,5
<b>DENSIDADES</b>							
D1	27,73 b	82,5 b	94,1 b	36,68 b	240,9 b	49,82 a	492,6 a
D2	40,85 a	150,9 a	187,4 a	79,65 a	458,8 a	40,50 b	464,5 a
CV%	13,86	12,74	9,06	15,58	9,91	15,11	24,53
<b>SOL</b>							
CAPINS	Árvores				Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes			
Tanzânia	--	--	--	--	--	89,00 a	1.073,6 a
Aruana	--	--	--	--	--	71,57 abc	1.137,7 a
Green Panic	--	--	--	--	--	84,57 ab	1.025,5 a
Brizanta	--	--	--	--	--	63,40 bc	1.127,0 a
Humidicola	--	--	--	--	--	47,67 c	1.241,9 a
Tifton 85	--	--	--	--	--	56,05 c	1.311,9 a
CV%	--	--	--	--	--	15,57	26,74
Médias	--	--	--	--	--	68,71	1.152,9

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

**Tabela 23:** Conteúdo de Magnésio nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

SOMBRA	Árvores				total	Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes				
<b>CAPINS</b>								
Tanzânia	10,62 a	11,16 a	29,79 a	16,86 a	68,44 a	36,18 a	19,48 b	159,4 a
Aruana	10,46 a	11,67 a	29,56 a	16,40 a	68,10 a	25,56 b	15,06 bc	141,2 a
Green Panic	10,52 a	10,58 a	29,40 a	16,79 a	67,30 a	28,82 b	14,85 bc	185,7 a
Brizanta	10,05 a	10,73 a	28,10 a	16,02 a	64,92 a	40,63 a	29,33 a	150,6 a
Humidicola	10,55 a	11,63 a	29,63 a	16,59 a	68,41 a	17,71 c	15,81 bc	148,3 a
Tifton 85	10,22 a	9,87 a	28,64 a	16,51 a	65,25 a	17,00 c	11,01 c	144,6 a
CV%	4,78	5,88	4,36	5,23	4,78	11,70	19,51	9,87
Médias	10,4	10,94	29,19	16,53	67,07	27,65	17,59	155,0
<b>DENSIDADES</b>								
D1	7,56 b	7,27 b	20,90 b	9,16 b	44,91 b	29,97 a	15,66 b	161,6 a
D2	13,25 a	14,60 a	37,47 a	23,89 a	89,23 a	25,33 b	19,52 a	148,3 a
CV%	13,77	12,80	9,05	15,74	10,74	16,35	30,52	26,80
SOL	Árvores				total	Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes				
<b>CAPINS</b>								
Tanzânia	--	--	--	--	--	35,52 a	6,65 ab	255,2 a
Aruana	--	--	--	--	--	27,20 ab	3,52 b	299,3 a
Green Panic	--	--	--	--	--	31,95 a	4,77 b	249,8 a
Brizanta	--	--	--	--	--	35,72 a	10,22 a	276,0 a
Humidicola	--	--	--	--	--	29,42 ab	3,37 b	299,7 a
Tifton 85	--	--	--	--	--	20,65 b	3,05 b	343,0 a
CV%	--	--	--	--	--	14,83	41,29	24,64
Médias	--	--	--	--	--	30,07	5,26	287,2

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

**Tabela 24:** Conteúdo de Enxofre nos diversos compartimentos, em kg/ha, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

SOMBRA	Árvores				Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes			
<b>CAPINS</b>							
Tanzânia	3,78 a	--	--	--	15,98 b	14,68 a	--
Aruana	3,68 a	--	--	--	16,27 b	9,73 a	--
Green Panic	3,75 a	--	--	--	16,76 b	9,77 a	--
Brizanta	3,59 a	--	--	--	18,11 ab	16,53 a	--
Humidicola	3,71 a	--	--	--	8,53 c	14,60 a	--
Tifton 85	3,70 a	--	--	--	19,66 a	13,82 a	--
CV%	4,69	--	--	--	7,07	15,21	--
Médias	3,70	--	--	--	15,88	13,19	--
<b>DENSIDADES</b>							
D1	1,89 b	--	--	--	17,77 a	12,06 a	--
D2	5,52 a	--	--	--	14,00 b	14,32 a	--
CV%	14,03	--	--	--	11,35	41,46	--
SOL	Árvores				Capins	Serapilheira	Solos (0-20 cm)
	acículas	galhos	troncos	raízes			
<b>CAPINS</b>							
Tanzânia	--	--	--	--	16,67 bc	10,05 a	--
Aruana	--	--	--	--	19,92 ab	5,25 ab	--
Green Panic	--	--	--	--	18,85 ab	6,77 ab	--
Brizanta	--	--	--	--	14,77 bc	9,20 a	--
Humidicola	--	--	--	--	12,17 c	2,02 b	--
Tifton 85	--	--	--	--	23,97 a	3,45 ab	--
CV%	--	--	--	--	14,96	48,01	--
Médias	--	--	--	--	17,72	6,12	--

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

Comparando-se o conteúdo total de minerais (Tabela 25) nos vários sistemas verifica-se que, de um modo geral, seus valores foram muito semelhantes, em média de 6.037 kg/ha nas parcelas a pleno sol, de 6.064 kg/ha nas parcelas sob a densidade D1 e de 6.077 kg/ha nas parcelas sob a densidade D2. No entanto, o que varia de um para outro é a distribuição percentual dos nutrientes em cada compartimento. O solo participa em média com 92%, 77% e 66% dos nutrientes totais das parcelas a pleno sol, na densidade D1 e na densidade D2, respectivamente. Uma vez que na densidade D2 havia o dobro de árvores que na densidade D1, a contribuição das árvores no conteúdo total de minerais também foi proporcional, sendo de 14% na densidade D1 e de 25% na densidade D2. A retenção de minerais nos capins foi relativamente semelhante nos três ambientes, apesar de mostrar uma tendência geral de ser maior nas parcelas a pleno sol (7,4%), seguidas pelas na densidade D1 (6,8%) e por fim, na densidade D2 (5,7%).

Para se ter uma idéia da ciclagem de nutrientes nos diferentes tratamentos e considerando que o conteúdo total de minerais nas árvores corresponde ao acumulado em sua biomassa ao longo de 30 anos (sua idade) e o da serapilheira ao acumulado durante dois anos, uma vez que o que havia anteriormente foi incorporado ao solo antes do início do presente experimento, dividiu-se estes conteúdos pelo tempo de acúmulo e obteve-se a quantidade estimada de minerais estocada anualmente, lembrando-se que o conteúdo de minerais nos capins já correspondia à sua produção anual.

A Tabela 26 apresenta a estimativa do consumo médio anual de minerais pela biomassa acima do solo para cada um dos sistemas avaliados. Observa-se que as quantidades totais de minerais consumidas em cada ambiente foram em média 9,3% e 4,2% maiores, respectivamente nas densidades D1 (515 kg/ha/ano) e D2 (491 kg/ha/ano), do que a pleno sol (471 kg/ha/ano). Verifica-se também que, enquanto as árvores retêm apenas 4,0 e 7,8% do total de minerais retirados do solo, respectivamente na densidade D1 (21 kg/ha/ano) e D2 (38 kg/ha/ano), os capins retêm 94,8% a pleno sol (447 kg/ha/ano), 80,5% na densidade D1 (415 kg/ha/ano) e 70,7% na densidade D2 (347 kg/ha/ano). A serapilheira, por sua vez, devolve ao solo 5,2%, 15,5% e 21,5% do total de minerais consumidos, respectivamente a pleno sol e nas densidades D1 e D2.

**Tabela 25:** Contribuição de cada componente no conteúdo total de minerais em função dos capins e dos ambientes testados, sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), e a pleno sol.

Dens.	Componente	Tanzânia	Aruana	Gr. Panic	Brizanta	Humidicola	Tifton	Médias	%
kg/ha									
Sol	capim	562,8	449,7	506,8	407,8	403,8	348,6	446,6	7,4
	serapilheira	63,5	33,8	48,0	81,2	25,1	41,7	48,9	0,8
	solo 0-20	5.350,7	5.507,8	5.295,0	5.684,6	5.640,6	5.771,0	5.541,6	91,8
	<b>Total</b>	<b>5.977,0</b>	<b>5.991,3</b>	<b>5.849,8</b>	<b>6.173,6</b>	<b>6.069,5</b>	<b>6.161,3</b>	<b>6.037,1</b>	
D1	acículas	142,4	152,4	140,4	133,6	153,4	124,7	141,2	2,3
	galhos	173,7	184,9	171,0	163,5	185,9	154,7	172,3	2,8
	tronco	305,3	322,0	300,2	289,0	323,4	278,9	303,1	5,0
	raízes grossas	212,6	228,5	210,8	200,1	230,3	183,2	210,9	3,5
	<i>Total árvs.</i>	<b>834,1</b>	<b>887,8</b>	<b>822,5</b>	<b>786,3</b>	<b>893,0</b>	<b>741,4</b>	<b>827,5</b>	<b>13,6</b>
	capim	563,8	389,9	444,9	526,9	247,8	315,7	414,8	6,8
	serapilheira	172,9	147,5	141,8	212,6	147,6	133,0	159,2	2,6
<b>solo 0-20</b>	4.421,5	4.745,4	5.039,1	4.752,1	4.505,8	4.509,9	4.662,3	<b>76,9</b>	
<b>Total</b>	<b>5.992,3</b>	<b>6.170,6</b>	<b>6.448,3</b>	<b>6.277,8</b>	<b>5.794,2</b>	<b>5.700,0</b>	<b>6.063,9</b>		
D2	acículas	262,0	245,8	260,2	249,4	248,2	265,2	255,1	4,2
	galhos	339,8	351,9	316,0	330,0	349,3	299,7	331,1	5,4
	tronco	578,0	553,8	571,4	544,2	554,5	570,9	562,1	9,2
	raízes grossas	391,7	366,0	391,0	373,7	370,8	401,0	382,3	6,3
	<i>Total árvs.</i>	<b>1.571,4</b>	<b>1.517,6</b>	<b>1.538,6</b>	<b>1.497,2</b>	<b>1.522,7</b>	<b>1.536,7</b>	<b>1.530,7</b>	<b>25,2</b>
	capim	480,2	353,7	399,7	413,5	195,8	240,5	347,2	5,7
	serapilheira	214,0	198,3	179,8	271,1	217,3	184,8	210,9	3,5
<b>solo 0-20</b>	4.124,9	4.118,8	3.973,7	3.963,6	3.837,8	3.912,6	3.988,6	<b>65,6</b>	
<b>Total</b>	<b>6.390,6</b>	<b>6.188,4</b>	<b>6.091,8</b>	<b>6.145,5</b>	<b>5.773,6</b>	<b>5.874,6</b>	<b>6.077,4</b>		



**Tabela 26:** Estimativa da quantidade de minerais retidos na parte aérea das árvores e nos capins, dos devolvidos ao solo na serapilheira e do total retirado do solo (kg/ha/ano) em sistemas com diferentes capins, em condições a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

Dens. Compartim.		Tanzânia	Aruana	Green Panic	Brizanta	Humidícola	Tifton-85	Médias
		kg/ha/ano						
<b>Sol</b>	capins	562,8	449,7	506,8	407,8	403,8	348,6	446,6
	serapilheira	31,8	16,9	24,0	40,6	12,6	20,9	24,4
	<b>Total</b>	<b>594,6</b>	<b>466,6</b>	<b>530,8</b>	<b>448,4</b>	<b>416,4</b>	<b>369,5</b>	<b>471,0</b>
<b>D1</b>	árvores	20,7	22,0	20,4	19,5	22,1	18,6	20,6
	capins	563,8	389,9	444,9	526,9	247,8	315,7	414,8
	serapilheira	86,5	73,8	70,9	106,3	73,8	66,5	79,6
	<b>Total</b>	<b>671,0</b>	<b>485,7</b>	<b>536,2</b>	<b>652,7</b>	<b>343,7</b>	<b>400,8</b>	<b>515,0</b>
<b>D2</b>	árvores	39,3	38,4	38,3	37,5	38,4	37,9	38,3
	capins	480,2	353,7	399,7	413,5	195,8	240,5	347,2
	serapilheira	107,0	99,2	89,9	135,6	108,7	92,4	105,4
	<b>Total</b>	<b>626,5</b>	<b>491,3</b>	<b>527,9</b>	<b>586,6</b>	<b>342,9</b>	<b>370,8</b>	<b>490,9</b>

As composições com o capim Tanzânia foram as que apresentaram a maior ciclagem de nutrientes, sendo o consumo total de minerais de 595 kg/ha/ano a pleno sol, de 671 kg/ha/ano na densidade D1 e de 626 kg/ha/ano na densidade D2. As composições com o capim brizanta também apresentaram boa ciclagem de nutrientes à sombra, cujo consumo total foi de 653 e 587 kg/ha/ano, respectivamente nas densidades D1 e D2, só perdendo a pleno sol para o capim green panic, que consumiu 531 kg/ha/ano. Os capins que apresentaram a menor ciclagem de nutrientes foram o capim tifton a pleno sol, com 369 kg/ha/ano, e o capim humidícola à sombra, com 351 kg/ha/ano na densidade D1 e 355 kg/ha/ano na densidade D2.

Verifica-se, portanto, a grande importância dos capins na ciclagem de minerais no sistema. Entretanto, deve-se atentar para o fato de que, caso o capim seja removido do local, por exemplo, como volumoso a ser fornecido no cocho para os animais, será necessário repor esses nutrientes na forma de adubação complementar, para que não haja exaustão dos nutrientes no solo. Caso o consumo da forragem seja feito por animais pastejando no local, parte destes nutrientes será repostos através das fezes e da

urina dos mesmos. Por outro lado, os capins poderiam ser utilizados em áreas de reflorestamento, sem a presença de animais, meramente como recicladores de nutrientes e aceleradores do processo de decomposição da serapilheira, sem falar da produção de biomassa que será incorporada ao solo como matéria orgânica.

Enquanto as acículas na serapilheira levam em torno de 2,4 anos para se decompor (POGGIANI, 1985; TIMONI, 1990), o ciclo vegetativo dos capins é de cerca 60 dias e o tempo necessário para a decomposição de 50% do material senescente é de até 20 dias (REZENDE *et al.*, 1998). No presente estudo, conforme já mencionado anteriormente, estimou-se que o coeficiente médio de decomposição (K) dos capins a pleno sol era de 3,81 e que o tempo médio de renovação era de 0,26 anos, ou seja, de 3 meses.

Na Tabela 3 da Revisão de Literatura são apresentados os conteúdos de minerais observados por outros autores em *Pinus* spp. e comparando-os com os resultados obtidos no presente experimento, verifica-se que o presente acúmulo médio anual de minerais (total de minerais/idade da árvore) está bem próximo aos obtidos por SOAVE (1990) e TIMONI (1990), com a ressalva de que, em ambos os casos, a densidade de árvores nos respectivos experimentos foi de 1250 árv/ha e de 1537 árv/ha, muito superior aos aqui avaliados (200 e 400 árv/ha). Os valores observados pelos demais autores foram superiores aos nossos, no entanto, são referentes a plantios mais jovens.

DAS & RAMAKRISHNAN (1987), estudando a produção de biomassa e seu conteúdo de minerais em diferentes idades de *Pinus kesiya*, verificaram que, com o aumento da idade, a maior produção de matéria seca é direcionada para o tronco e conseqüentemente, menor para as acículas. Observaram também que a concentração de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) decresceu na seguinte ordem: acículas > galhos > troncos > cones e que o conteúdo de nutrientes no talhão seguiu predominantemente a seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > P. As concentrações tenderam a diminuir com o aumento da idade, exceto o cálcio que mostrou uma tendência contrária.

Em estudo semelhante, KABEDA (1991) detectou uma produtividade média anual de biomassa de 10,75 t/ha para *P. caribaea* aos 15 anos de idade. Verificou também que o acúmulo maior de biomassa ocorria entre os 5 e 7 anos. O conteúdo de nutrientes na biomassa também aumentou com a idade e basicamente seguiu a seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > P. O autor constatou ainda que a taxa média de acúmulo de

nutrientes aumentava rápido nas fases iniciais de crescimento e que se estabilizava à medida que aumentava a idade do talhão. Com o aumento da idade, o aumento maior de biomassa era nos troncos, mas os nutrientes se acumulavam preferencialmente nas acículas, decrescendo na seguinte ordem: acículas > galhos > casca > lenho.

#### 4.9. Valor nutritivo da forragem

O valor nutritivo de um alimento para animais ruminantes (bovinos, bubalinos, ovinos e caprinos) se mede principalmente em termos de conteúdo de proteína bruta (PB) e de fibras, uma vez que são elas que vão alimentar os microorganismos no rúmen e liberar os compostos necessários aos processos metabólicos dos animais. No entanto, as fibras são formadas por diferentes componentes (celulose, hemicelulose e lignina) e apresentam graus diferenciados de aproveitamento. Assim sendo, a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) do alimento é um indicador do seu aproveitamento potencial, sendo o restante eliminado nas fezes. Desta forma, o que o animal vai efetivamente aproveitar para a sua manutenção e produção, seja de carne, leite, lã, gestação, etc, é a somatória do produto da PB e das fibras pela digestibilidade, que multiplicada pela quantidade de energia presente em cada componente, resulta na energia digestível disponível ao animal.

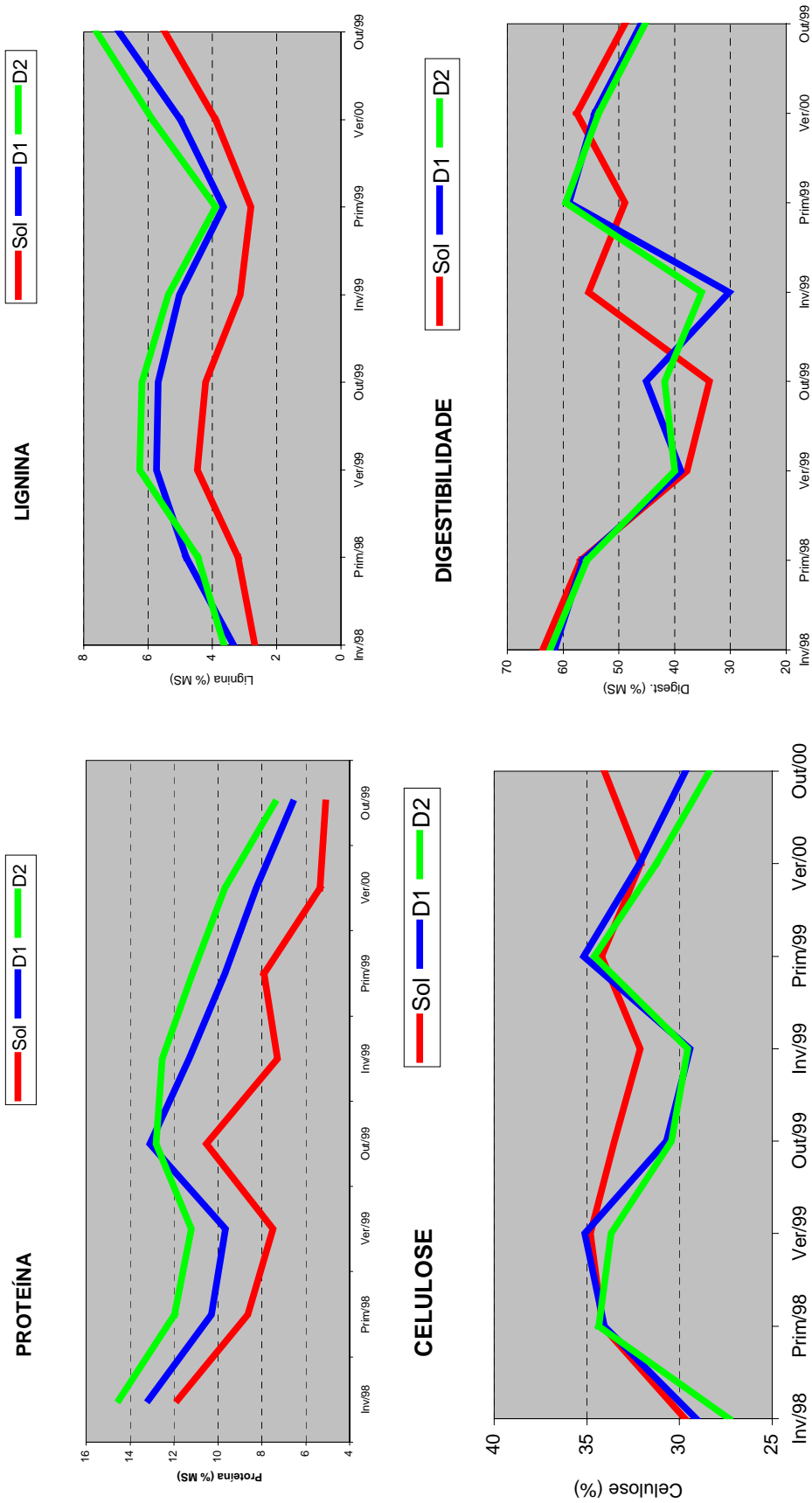
A Tabela 27 e Figura 29 apresentam o efeito das duas densidades de árvores (200 e 400 árv/ha) na composição bromatológica dos seis capins testados bem como os valores obtidos para os capins a pleno sol.

Comparando-se os valores médios obtidos em condições de sombreamento com os a pleno sol, observou-se um aumento nos teores de PB, lignina, FDA e cinzas, respectivamente de 1,87; 1,64; 0,87 e 0,79 unidades percentuais, e uma diminuição nos teores de hemicelulose, FDN, digestibilidade e celulose, respectivamente de 4,23; 3,34; 1,84 e 1,38 unidades percentuais. Desta forma, verifica-se que a sombra afetou o capim em seu crescimento, principalmente em seus tecidos estruturais (FDN, celulose, hemicelulose e lignina). Apesar do maior teor de PB na forragem produzida à sombra, o que é desejável, houve uma diminuição nos teores de hemicelulose e celulose e na sua

**Tabela 27:** Qualidade nutritiva média de seis capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1(200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha), comparada com os produzidos a pleno sol.

	SOMBRA											
	Capins (% MS)						Serapilheira (% MS)					
	PB	FDN	FDA	Celul.	Hemic.	Lign.	Cinzas	Digest.	Celul.	Lign.	Lign.	
<b>CAPINS</b>												
Tanzania	11,23ab	67,39c	41,47a	32,93a	25,92c	4,38d	11,12a	51,43a	30,58ab	27,81a		
Aruana	11,00abc	68,63b	41,16ab	32,09b	27,59b	5,13bc	10,29b	49,25ab	29,71ab	28,08a		
Green Panic	11,59a	66,81c	41,00ab	31,05cd	25,73c	5,23b	10,96a	49,72ab	28,57ab	27,92a		
Brizanta	10,00c	63,99d	38,53c	30,45d	25,45c	4,62cd	9,72c	50,79a	31,35a	25,66a		
Humidicola	10,00bc	67,05c	40,42ab	31,59bc	26,63bc	5,97a	7,17d	44,34c	28,01b	27,69a		
Tifton 85	11,06abc	73,12a	39,91bc	31,26c	33,20a	5,94a	7,51d	48,39b	28,67ab	26,22a		
CV %	5,84	1,03	0,90	0,39	1,72	0,60	1,20	2,72	0,66	7,66		
Médias	10,03	67,83	40,43	31,56	27,42	5,21	9,46	48,99	29,48	27,23		
Δ (unid. perc.)	(+1,9)	(-3,3)	(+0,9)	(-1,4)	(-4,2)	(+1,6)	(+0,8)	(-1,8)	(-4,7)	(+15,6)		
<b>DENSIDADES</b>												
D1	10,25b	68,36a	40,50a	31,92a	27,86a	5,02b	9,53a	48,79a	30,45a	25,52b		
D2	11,40a	67,30b	40,36a	31,20b	26,98b	5,40a	9,40a	49,19a	28,52b	28,94a		
CV %	7,33	1,08	2,25	1,63	3,37	7,07	3,75	3,13	7,18	17,75		
	SOL											
	Capins (% MS)						Serapilheira (% MS)					
	PB	FDN	FDA	Celul.	Hemic.	Lign.	Cinzas	Digest.	Celul.	Lign.	Lign.	
<b>CAPINS</b>												
Tanzania	8,60a	70,41b	41,56a	34,66a	28,84c	3,24b	9,08a	52,37ab	32,32ab	15,70a		
Aruana	8,18a	71,35b	40,62ab	34,06a	30,72bc	3,54ab	8,89a	51,90ab	35,25ab	14,02a		
Green Panic	9,19a	70,75b	40,61ab	33,19ab	30,14c	3,91a	9,63a	53,75a	34,17ab	12,90a		
Brizanta	7,14a	67,49c	37,38c	30,60c	30,10c	3,19b	9,57a	49,60ab	28,39b	7,32a		
Humidicola	8,17a	71,00b	38,13c	31,99bc	32,88b	3,59ab	7,58b	48,99ab	39,80a	9,78a		
Tifton 85	7,69a	76,04a	39,04bc	33,03ab	37,00a	3,96a	7,26b	48,34b	35,25ab	10,20a		
CV %	11,23	1,66	2,22	2,72	3,72	7,53	4,13	4,41	13,33	35,14		
Médias	8,16	71,17	39,56	32,94	31,61	3,57	8,67	50,83	34,20	11,65		

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.



**Figura 29:** Evolução dos teores de proteína bruta, celulose, lignina e DIVMS em capins cultivados a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

digestibilidade, refletindo num valor nutritivo mais baixo e conseqüentemente, em menor energia disponível para a alimentação animal.

O teor de proteína bruta foi significativamente maior na área mais sombreada (D2) do que na densidade D1 ou mesmo a pleno sol. Os colônias (tanzânia, aruana e green panic) e o tifton apresentaram teores significativamente superiores de proteína que as braquiárias (brizanta e humidícola), fato que não se repetiu a pleno sol, onde não houve diferença entre eles, sugerindo que as braquiárias talvez apresentem alguma dificuldade no processo de síntese de proteína em condições de sombreamento.

Tendo em vista que a celulose é totalmente digerível pelos microorganismos ruminais, a hemicelulose parcialmente e a lignina não é digerível, em termos de nutrição animal, o que se deseja são os maiores valores para celulose, intermediários de hemicelulose e os mínimos possíveis de lignina. No presente experimento, o capim tanzânia foi o que melhor atendeu a estes requisitos, por apresentar maior teor de celulose e menor de hemicelulose e lignina. Os capins aruana e green panic apresentaram composição intermediária ao tanzânia e ao brizanta. O capim brizanta, apesar de ter apresentado valores significativamente mais baixos de celulose e hemicelulose, apresentou também teores significativamente mais baixos de lignina, o que melhorou um pouco o seu valor nutritivo. Os capins humidícola e tifton, apesar de apresentarem teores médios de celulose e hemicelulose, apresentaram os mais altos teores de lignina, o que depreciou seu valor nutritivo. As duas densidades de árvores também afetaram significativamente esses teores, sendo que os teores de celulose e hemicelulose foram maiores e os de lignina menores na densidade D1 (200 árv/ha) do que na densidade D2, indicando que o maior sombreamento diminuiu a qualidade nutritiva pela alteração na composição dos tecidos da planta, principalmente devido ao estiolamento, para o qual é necessária uma maior concentração de lignina, responsável por sua sustentação.

Em condições de pleno sol, vários aspectos descritos para os capins sombreados se repetiram. Os capins tanzânia e aruana apresentaram teores significativamente maiores de celulose que os capins brizanta e humidícola, não havendo diferenças entre os demais. O teor de hemicelulose foi significativamente maior no capim tifton, diferindo de todos os demais, no entanto ele apresentou também o maior teor de lignina, diferindo apenas do humidícola, que apresentou o menor teor.

Como já mencionado anteriormente, a digestibilidade “*in vitro*” reflete o quanto de PB, celulose, hemicelulose e lignina serão potencialmente aproveitadas pelo animal. Os capins que apresentaram os maiores teores de digestibilidade foram os capins tanzânia e brizanta, significativamente superiores aos capins humidícola e tifton, entretanto não diferindo dos demais. As duas densidades de árvores não afetaram significativamente a digestibilidade dos capins. A pleno sol, o capim green panic apresentou digestibilidade significativamente superior ao capim tifton, não havendo diferenças entre os demais capins.

O teor de cinzas, em função da absorção de minerais pelas plantas, foi significativamente maior nos capins tanzânia e green panic do que nos demais. Os capins humidícola e tifton apresentaram os menores teores de cinzas enquanto que o aruana e o brizanta apresentaram valores intermediários. Não houve diferença entre as duas densidades de árvores quanto ao teor de cinzas. A pleno sol, os capins humidícola e tifton também apresentaram teores de cinzas significativamente menores que os demais capins.

Ao se pensar em termos de capacidade de suporte animal, o que interessa não é só a quantidade de matéria seca produzida por área, mas também a sua qualidade, principalmente quantidade de proteína bruta e de proteína digestível por área. A Tabela 28 mostra as quantidades estimadas de proteína bruta e de proteína digestível disponíveis aos animais nos três ambientes avaliados.

Os resultados obtidos mostram que, enquanto as quantidades médias de proteína bruta nas densidades D1 e D2 corresponderam respectivamente a 100% e 90% da obtida a pleno sol, as quantidades de proteína digestível caíram para 96% e 87% da a pleno sol, respectivamente. Verifica-se que o capim tanzânia é o que apresenta as maiores quantidades de proteína digestível, tanto a pleno sol quanto nas duas intensidades de sombreamento. Em segundo lugar estão os capins green panic a pleno sol e o brizanta nas duas densidades de árvores. Os capins com os menores teores de proteína digestível foram o tifton-85 a pleno sol e o humidícola nas áreas sombreadas.

**Tabela 28:** Estimativa da quantidade de proteína bruta e de proteína digestível (em kg/ha/ano) disponível à alimentação animal nos capins cultivados a pleno sol e sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

CAPINS	SOL		D1		D2	
	PB	PD	PB	PD	PB	PD
<b>Tanzânia</b>	1.075	563	1.085	551	1.049	547
<b>Aruana</b>	806	418	807	394	766	381
<b>Green Panic</b>	1.016	546	918	450	865	436
<b>Brizanta</b>	711	353	990	503	884	448
<b>Humidícola</b>	787	386	553	246	433	192
<b>Tifton-85</b>	661	320	706	345	542	260
<b>Médias</b>	<b>843</b>	<b>431</b>	<b>843</b>	<b>415</b>	<b>756</b>	<b>377</b>
	<b>(100%)</b>	<b>(100%)</b>	<b>(100%)</b>	<b>(96%)</b>	<b>(90%)</b>	<b>(87%)</b>

Apenas como ilustração, considerando as necessidades nutricionais diárias de novilhos de corte em fase de crescimento, com 300 kg de peso vivo e para que ganhem 0,5 kg/dia, eles deverão ingerir 7,70 kg de MS; 0,77 kg de PB e 0,47 kg de PD (NRC, 1997). Isso significa que em um ano deverão ingerir 2.810 kg de MS, 281 kg de PB e 172 kg de PD. Considerando a produção de forragem obtida neste experimento, estima-se que seja possível manter 3,4 novilhos/ha/ano em sistemas contendo capim Tanzânia ou brizanta. Apesar das necessidades de matéria seca (9.554 kg/ha/ano) e de PB (955 kg/ha/ano) serem praticamente atendidas, ao menos na densidade D1, a quantidade de PD (585 kg/ha/ano) já fica um pouco deficiente, o que irá resultar num ganho de peso um pouco menor. No entanto, existe a possibilidade de suplementação alimentar, visando corrigir deficiências, muito usada principalmente na época da seca, quando a qualidade e a quantidade de forragem caem bastante.

Um fato curioso observado durante o desenvolvimento da presente pesquisa foi o constante ataque de formigas ao capim humidícola. Verificou-se que elas passavam pelas parcelas de outros capins sem atacá-los e se dirigiam exclusivamente às parcelas do capim humidícola, cortando-o rente ao solo. Esse fato pode ter prejudicado o desempenho deste capim, principalmente tendo em conta que outros autores a



consideraram como “moderadamente adaptada” às condições de sombreamento (LUDLOW, 1980; SHELTON *et al.*, 1987), e pode estar relacionado com uma eventual maior concentração de açúcares nessa espécie.

Durante o processo de retirada das acículas dos galhos de pinheiros para determinação de sua biomassa, como o serviço era feito ocasionalmente em um galpão, em função das condições climáticas, observou-se que alguns caprinos que pastejavam a área próxima mostravam predileção pelas acículas verdes. Assim sendo, para fins de conhecimento, determinou-se sua composição bromatológica para verificar se há algum valor nutritivo de interesse para os animais, cujos resultados são apresentados na Tabela 29. Percebe-se que praticamente não houve diferença entre as duas densidades de árvores. Verificou-se que os teores de proteína bruta, celulose e hemicelulose são um pouco inferiores aos dos capins, mas não desprezíveis, no entanto os teores de lignina são bem maiores, o que prejudica a digestibilidade, que foi de apenas 24%, limitando o seu uso para animais.

**Tabela 29:** Composição bromatológica de acículas verdes de pinheiros, provenientes de duas densidades de árvores, D1 (200 árv/ha) e D2 (400 árv/ha).

Dens. Árv.	PB	FDN	FDA	Celul.	Hemicel.	Lignina	DIVMS
	(% MS)						
<b>D1</b>	7,24	54,10	42,18	22,04	11,92	19,89	24,62
<b>D2</b>	7,74	55,76	42,22	22,30	13,54	19,77	24,28

Foram determinados também os teores de celulose e de lignina presentes na serapilheira (Tabela 27, retro apresentada), como indicadores da facilidade ou não de sua decomposição no solo. Verificou-se que os teores de celulose foram maiores e de lignina menores na densidade D1 que na D2, provavelmente em função da maior produção de capins e menor de acículas na área menos sombreada. O teor de lignina na serapilheira (27,23%) foi cinco vezes maior que o observado nos capins (5,21%) e 1,9 vezes maior que o observado nas acículas verdes (19,8%). A serapilheira à sombra teve

uma concentração 4,7% menor de celulose e 15,6% maior de lignina do que a serapilheira a pleno sol.

Com certeza a qualidade nutritiva dos capins no presente experimento foi prejudicada em função do grande intervalo entre cortes (12 semanas), que foi escolhido justamente para permitir o máximo crescimento e manifestação das diferenças entre capins e condições de crescimento. WONG & WILSON (1980) observaram que o sombreamento teve efeito positivo na produção do capim green panic (*Panicum maximum*) quando cortado a cada 8 semanas, o que não acontecia quando era cortado a cada 4 semanas, e concluíram que isso se deve ao fato de que capins de porte ereto cultivados à sombra, quando cortados, necessitam de um tempo de descanso maior antes de iniciarem a produção de novos perfilhos e folhas para interceptar a radiação solar.

ERIKSEN & WHITNEY (1981) constataram que a produção e a qualidade da forragem em condições de deficiência de N eram melhores sob sombreamento moderado do que a pleno sol. Este fato é importante principalmente para áreas sombreadas por árvores e onde a adubação nitrogenada é impraticável. No entanto, os autores ressaltaram que pastagens sob estas condições devem ser manejadas com cuidado para evitar a exaustão das reservas de carboidratos nas raízes, seja dando maior intervalo de tempo para a sua recuperação, seja mantendo um índice de área foliar maior do que o normal.

Uma vez que a digestibilidade da forragem pode ser afetada por vários fatores, sejam ambientais, de fertilidade do solo ou até inerentes à própria espécie de capim, os resultados encontrados na literatura não são conclusivos. WILSON (1981) revisou os efeitos do grau de luminosidade sobre a qualidade nutritiva dos capins. Constatou que, apesar de alguns autores acharem que a alta insolação contribui para a lignificação e diminuição da digestibilidade da forragem, outros indicaram que a digestibilidade da matéria seca diminui (apesar de pouco, 1-5%) com o aumento do sombreamento. Verificou também que o teor de carboidratos solúveis diminuía e que o teor de parede celular aumentava, assim como o teor de lignina e de sílica. Observou ainda o acentuado alongamento dos caules e reduzido perfilhamento. Chamou atenção para o fato de que capins sombreados também apresentam maior teor de umidade, o que pode ter reflexos na ingestão voluntária por animais, apesar de apresentarem maior teor de proteína bruta. Em outro trabalho, WILSON & WONG (1982) observaram que havia uma diminuição

na relação haste/folhas e que uma menor digestibilidade da forragem indicava na verdade que o sombreamento teria reduzido a digestibilidade da parede celular.

KEPHART & BUXTON (1993) testaram gramíneas C3 e C4 sob diferentes intensidades de sombra e concluíram que o teor de FDN era maior 18% nas folhas dos capins C4 do que nos C3. Observaram também que, comparado às condições de pleno sol, no maior sombreamento o teor de FDN diminuiu em 2 a 3% enquanto que o teor de N aumentou 31%. A DIVMS aumentou em 3 a 5% na sombra. O conteúdo de N por unidade de área foliar não foi afetado pela sombra, sugerindo que os compostos nitrogenados foram concentrados pelo afinamento das folhas. Os autores concluíram que talvez condições de crescimento sob stress que limitem a produção de fotossintetatos, tais como o sombreamento, podem melhorar a qualidade da forragem.

Por outro lado, SAMARAKOON *et al.* (1990a) verificaram que o sombreamento teve pouco ou nenhum efeito sobre a DIVMS e que uma menor ingestão voluntária pelos animais pode estar mais relacionada com menores teores de carboidratos solúveis, afetando sua palatabilidade. Observaram ainda que com o sombreamento havia uma maior proporção de colmos (8% no sol v. 21% na sombra), menor proporção de folhas (54% v. 48%) e menor concentração de carboidratos não-estruturais totais (2,1% v. 0,9%). Os autores não constataram diferenças significativas nas proporções de celulose e hemicelulose, apesar de haver uma tendência da hemicelulose ser menor na sombra. Observaram também menor proporção de material morto em capins sombreados. O teor de umidade nos capins sombreados (76%) foi maior que nos a pleno sol (70%).

BELSKY (1992), trabalhando com savanas tropicais no Quênia, também observou que a concentração de fibras (FDN, FDA e celulose) e de SiO<sub>2</sub> diminuía e a de lignina aumentava, na direção do campo aberto para a copa das árvores, apesar da digestibilidade da matéria seca ter sido levemente menor sob a copa das árvores. O autor considera que o aumento no teor de lignina sob a copa das árvores se deva principalmente à maior fertilidade do solo neste local, com maior teor de N, e também à maior relação haste/folhas nos capins sombreados, já que os colmos apresentam maior concentração de lignina.

Com relação às árvores, BIRK & MATSON (1986) afirmaram que as coníferas acumulam carboidratos não-estruturais nas acículas antes da emissão de novas brotações e os mobiliza quando se inicia o seu crescimento. O amido, principal componente de

reserva de carbono nas árvores, se acumula quando a produção de carbono excede a demanda para o crescimento e é utilizado quando o consumo excede a produção corrente. Baseando-se nesse fato, as autoras avaliaram as concentrações de N, P e de carboidratos não-estruturais nas acículas de *Pinus taeda* em função da adição ou não ao solo de resíduos de estação de tratamento de esgoto. Observaram um aumento nos teores de N e P nas acículas das áreas adubadas, no entanto, as concentrações de açúcar e amido apresentaram efeito de sazonalidade. Houve correlação positiva entre as concentrações de amido e de N durante a estação de dormência e passou a ser negativa durante a estação de crescimento. As autoras acreditam que esse fato poderia ser usado como indicativo da limitação de nutrientes e do potencial de crescimento em função de adubações.

#### **4.10. Radiação solar e fotossíntese**

Na Tabela 30 são apresentados os dados relativos à radiação solar incidente, taxa fotossintética e índice de área foliar.

O índice de área foliar à sombra correspondeu em média a 76% do observado a pleno sol. Houve diferenças significativas entre densidades de árvores, sendo menor na maior densidade de árvores (D2), assim como entre capins. Em condições de sombreamento, o capim green panic apresentou IAF significativamente maior que os capins brizanta, humidícola e tifton-85, não diferindo dos demais. Já a pleno sol, os capins que apresentaram os maiores IAFs foram o brizanta e o tanzânia, significativamente superiores aos demais capins.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente sobre os capins à sombra correspondeu a 29% e 21%, respectivamente nas densidades D1 e D2, da radiação incidente sobre as parcelas a pleno sol. Houve diferença significativa entre a radiação incidente nas duas densidades de árvores.

**Tabela 30:** Índice de área foliar, radiação solar incidente, fração da radiação solar transmitida até o solo, potencial fotossintético e altura do meristema apical nos capins cultivados sob duas densidades de pinheiros, D1 (200 árv./ha) e D2 (400 árv./ha), e à pleno sol.

<b>SOMBRA</b>	<b>IAF</b>	<b>Rad. Inc.</b>	<b>Rad. Trans.</b>	<b>Pt. Fotos.</b>	<b>Alt. Merist</b>
		<b>(m mol/m<sup>2</sup>s)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(cm)</b>
<b>CAPINS</b>					
Tanzânia	5,6 ab	313,63 a	0,11 b	72,63 a	3,53 d
Aruana	5,5 ab	329,04 a	0,10 b	69,08 b	16,52 cd
Green Panic	6,0 a	307,60 a	0,09 b	71,18 ab	31,37 bc
Brizanta	4,6 b	332,28 a	0,15 b	72,68 a	20,03 cd
Humidicola	1,9 c	335,20 a	0,45 a	73,42 a	44,66 ab
Tifton 85	1,7 c	313,01 a	0,46 a	68,23 b	59,02 a
CV (%)	18,47	21,33	18,63	1,14	14,42
Média	4,2	321,79	0,23	71,21	29,19
Δ (%)					(-5,0)
<b>DENSIDADES</b>					
D1	4,7 a	368,40 a	0,19 b	70,05 b	32,40 a
D2	3,7 b	275,18 b	0,26 a	72,36 a	25,97 a
CV%	19,06	17,16	30,42	2,89	41,49
<b>SOL</b>	<b>IAF</b>	<b>Rad. Inc.</b>	<b>Rad. Trans.</b>	<b>Pt. Fotos.</b>	<b>Merist.</b>
		<b>(m mol/m<sup>2</sup>s)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(cm)</b>
<b>CAPINS</b>					
Tanzania	7,9 a	1.267,27 a	0,04 d	54,37 b	10,77 d
Aruana	5,8 b	1.262,32 a	0,07 cd	54,97 b	32,82 bc
Green Panic	5,0 b	1.327,95 a	0,14 bc	54,60 b	40,42 ab
Brizanta	8,0 a	1.297,37 a	0,03 d	57,34 ab	24,17 bcd
Humidicola	1,6 c	1.260,72 a	0,45 a	59,72 a	53,04 a
Tifton 85	4,4 b	1.312,22 a	0,18 b	55,52 b	23,10 cd
CV (%)	13,43	6,98	20,86	2,97	23,23
Média	5,5	1.287,97	0,15	56,09	30,72

\* Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de significância, de acordo com o Teste de Tukey.

A fração da radiação PAR transmitida representa a relação entre a quantidade de radiação PAR que chega até o solo e a quantidade de radiação incidente sobre o capim. Observa-se que houve diferença significativa entre as duas densidades de árvores, sendo que os capins nas densidades D1 e D2 permitiram a passagem de 4% e 11% mais radiação do que os capins a pleno sol, em função da menor biomassa e modo de crescimento diferenciado. A fração de radiação transmitida nas parcelas sombreadas pelos capins humidícola e tifton-85 foi significativamente maior que pelos demais capins. Os capins a pleno sol, pela maior produção de biomassa e crescimento mais denso, permitiram a passagem de uma fração menor de radiação solar, sendo que os

capins humidícola e tifton-85 foram novamente os que permitiram a passagem da maior fração.

O potencial fotossintético nas parcelas sombreadas foi 27% maior que nas parcelas a pleno sol. Houve diferença significativa entre as duas intensidades de sombreamento, sendo o potencial fotossintético maior com o maior sombreamento. Houve também diferença entre capins, sendo que os menores valores foram verificados nos capins aruana e tifton-85. Nas parcelas a pleno sol, o capim humidícola apresentou potencial fotossintético significativamente maior que os demais capins, sendo semelhante apenas ao capim brizanta. Estas diferenças se devem provavelmente às características específicas de cada capim (arquitetura e fisiologia) assim como à quantidade e qualidade da luz incidente, uma vez que, principalmente na área com pinheiros, há uma filtragem da radiação fotossinteticamente ativa que chega até os capins, assim como a refração da mesma em diferentes direções.

A altura do meristema apical não apresentou diferenças significativas entre densidades de árvores mas houve diferença entre capins, tanto à sombra quanto a pleno sol, em parte devido às características peculiares de cada capim. O único capim que apresentou altura do meristema apical maior à sombra que a pleno sol foi o capim tifton-85, sendo 36 cm maior. No entanto, é necessário se lembrar que este capim é estolonífero e que provavelmente esse maior crescimento à sombra seja uma estratégia para melhor captar a energia solar. Os demais capins apresentaram uma diminuição na altura do meristema apical em condições de sombreamento. Os capins com o meristema apical mais baixo foram o tanzânia, aruana e Brizanta, sendo que o green panic apresentou valor intermediário. Os capins tifton e humidícola foram os que apresentaram as maiores alturas de meristema apical em condições de sombreamento, diferindo significativamente dos demais capins. Apesar de seus valores terem sido elevados, deve-se ter em conta que a forma de crescimento destes capins é mais prostada, principalmente o tifton, que é estolonífero. No entanto, estes capins além de apresentarem as menores produções de biomassa também manifestaram o fenômeno da “plasticidade fenotípica”, ou seja, crescimento diferenciado das plantas em diferentes ambientes, sem que haja interferência genética (Figuras 30 e 31). Este fato deve estar relacionado com sua tentativa de adaptação às condições de sombreamento, uma vez

que as plantas procuram encontrar “alternativas” para compensar suas deficiências e para conseguir satisfazer suas necessidades de sobrevivência.



**Figura 30:** Plasticidade fenotípica verificada no capim *Brachiaria humidicola*. Acima, em condições de sombreamento, e abaixo, a pleno sol.



**Figura 31:** Plasticidade fenotípica verificada no capim *Cynodon dactylon* cv. Tifton-85. Acima, em condições de sombreamento, e abaixo, a pleno sol.



Uma vez que a fotossíntese, e conseqüentemente a produção de biomassa, está diretamente relacionada com a radiação solar incidente, SÁ (1994) analisa minuciosamente os vários aspectos relacionados à distribuição da energia radiante em sistemas agroflorestais (SAFs). Afirma que a quantidade, a qualidade espectral e, até certo ponto, a natureza (predominância dos componentes direto ou difuso) da energia solar que atinge os diferentes componentes do SAF estão associadas ao grau de fechamento das copas e à estrutura do dossel, do seu arranjo espacial (horizontal e vertical) e sua evolução temporal. A autora ainda afirma que a modificação na composição espectral através das diversas camadas da vegetação é decorrente do caráter seletivo da absorção de radiação pelos pigmentos encontrados nos elementos da vegetação, resultando em intensa absorção na faixa fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm) e, conseqüentemente, diminuição gradativa da energia nesta faixa até o solo. Já na faixa do infra-vermelho próximo (IVP) (700 a 1100 nm), a absorção através do dossel é baixa, resultando em valores percentuais relativamente elevados ao nível da superfície do solo. Assim sendo, há diferenças marcantes na composição espectral das réstias de luz ou “sunflecks” (reflexão ou transmissão de luz por folhas vizinhas) que permeiam os SAFs.

LUDLOW *et al.* (1974) avaliaram o efeito do sombreamento sobre o crescimento e a fotossíntese em capins tropicais e observaram que o sombreamento causou uma redução na proporção de raízes e um aumento na proporção da parte aérea. Constataram que essa alteração foi devida à uma diminuição na taxa líquida de assimilação e, em menor escala, de um crescimento compensatório menor na relação de área foliar. Os autores acreditam que a maior sensibilidade da taxa líquida de assimilação de capins ao sombreamento surgiu de uma dependência maior da taxa de fotossíntese pela luminosidade.

WILSON & LUDLOW (1991) desenvolveram um modelo para estimar a produção potencial de capim sob diferentes níveis de sombreamento, que, aliado aos requerimentos nutricionais dos animais, permitiria também estimar a produção animal esperada. Para tanto, utilizou um modelo simplificado de crescimento de capins:

$$G = E \cdot J$$

onde:  $G$  é a taxa de crescimento do capim em  $g\ MS/m^2/dia$ ,  $E$  é a eficiência na conversão do PAR incidente em forragem acima do solo em  $g/MJ$ , e  $J$  é a quantidade acumulada de PAR interceptada no intervalo de tempo de crescimento do capim em  $MJ/m^2/dia$ . Mais tarde, WILSON & SCHWENKE (1994) testaram o modelo e verificaram que as produções de forragens estimadas eram maiores que as reais obtidas, talvez em função do uso em parcelas recém estabelecidas. Recomendamos inclusive que outros testes sejam feitos em pastagens mais antigas. Também ressaltamos a necessidade de se determinar a quantidade realmente aproveitável de forragem para nutrição animal, uma vez que à sombra há uma produção maior de talos que nem sempre são ingeridos pelos animais.

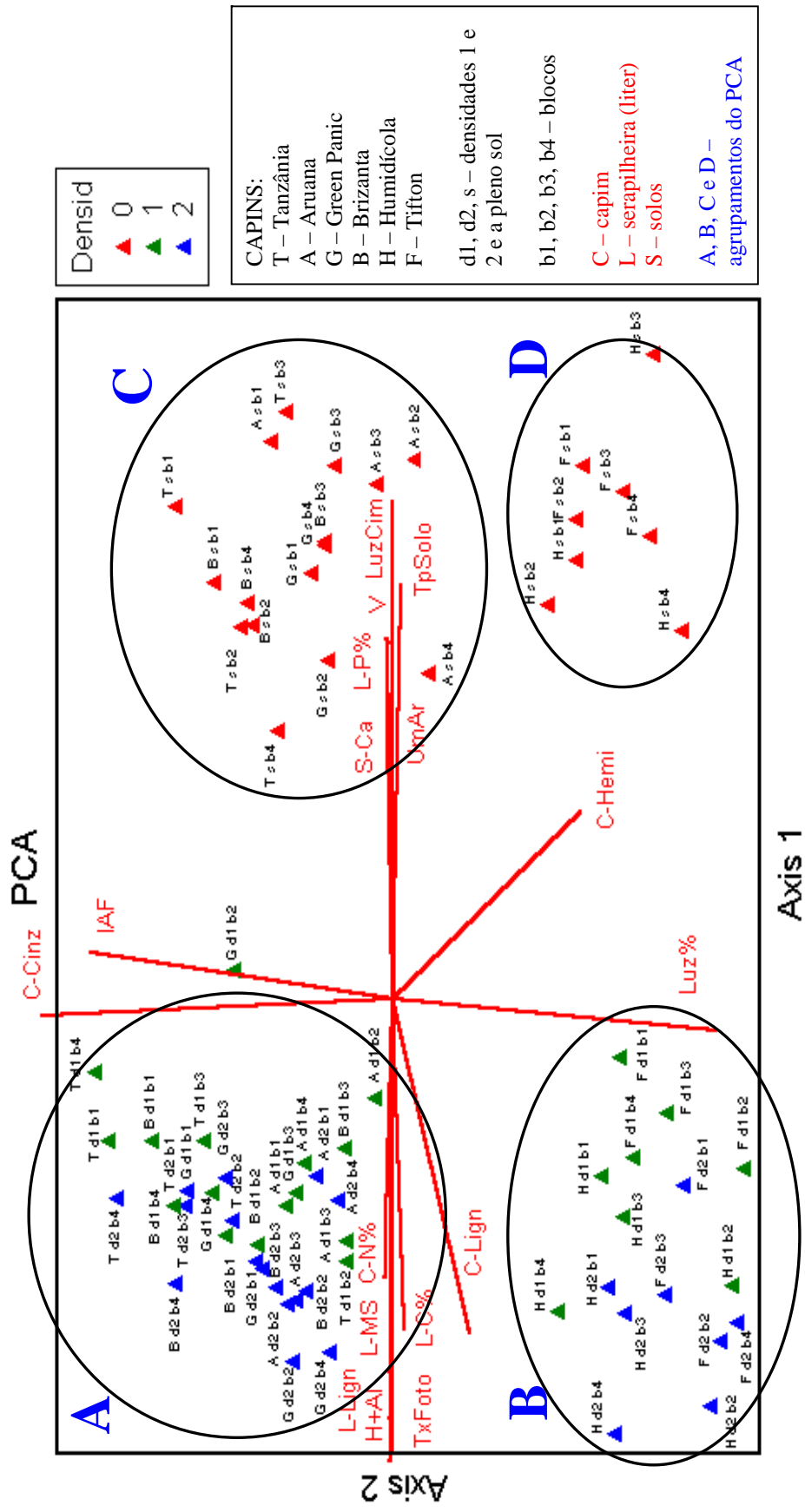
Infelizmente não foi possível testar este modelo no presente experimento, pois não dispúnhamos das medidas acumuladas de radiação PAR num determinado intervalo de tempo, uma vez que não foi previsto na metodologia a ser adotada.

#### **4.11. Correlação entre os fatores de produção**

Os diagramas de ordenação nas análises multivariadas representam as semelhanças e diferenças entre as amostras segundo seu conteúdo (espécies) e sua distribuição nas amostras (ambientes). Na análise de componentes principais (PCA) as variâncias explicadas dão o quanto da variância existente pode ser explicada pela combinação linear entre espécies e ambientes, sugerindo padrões.

Os resultados da análise PCA para as variáveis ambientais encontram-se no diagrama da Figura 32, que representa a distribuição das parcelas e das variáveis ambientais (setas) correlacionadas. Foram apresentadas apenas as variáveis que apresentaram índice de correlação  $r > 0,5$ . Observando-se a distribuição das parcelas verifica-se que se formaram quatro agrupamentos principais: A, B, C e D. Dois deles são referentes às parcelas com os capins humidícola e tifton-85, tanto à sombra (B) quanto a pleno sol (D). Os demais capins (tanzânia, aruana, green panic e brizanta) formaram os outros dois agrupamentos, um à sombra (A) e outro a pleno sol (B).

As variáveis que mais explicaram as diferenças entre as parcelas a pleno sol as à sombra foram a quantidade de luz incidente sobre os capins (LuzCim), temperatura do



**Figura 32:** Diagrama produzido pela análise dos componentes principais (PCA), com base nas variáveis ambientais obtidas para as 48 parcelas no talhão de *Pinus elliotii* e 24 a pleno sol. As linhas partindo do centro do diagrama representam as variáveis ambientais. Os símbolos representam as parcelas e seu subgrupo de intensidade de sombreamento: a pleno sol (0), densidade D1 (1) e densidade D2 (2).

solo (TpSolo), saturação de bases (V), teor de fósforo na serapilheira (L-P%), umidade do ar (UmAr) e teor de cálcio nos solos (S-Ca). O que diferenciou os capins humidícola e tifton dos demais, tanto a pleno sol quanto na sombra, foram os teores de hemicelulose (C-Hemi) e de lignina (C-Lign) nos capins, sendo a hemicelulose maior a pleno sol e a lignina maior à sombra, e a proporção de radiação PAR (Luz%) que chega até a superfície do solo, resultado da baixa produção de matéria seca destes capins.

Os fatores que mais influenciaram os resultados observados nas parcelas à sombra foram a acidez do solo (H+Al), a taxa de fotossíntese (TxFoto), o teor de lignina na serapilheira (L-Lign), a quantidade de biomassa acumulada na serapilheira (L-MS), o teor de carbono na serapilheira (L-C%) e o teor de nitrogênio nos capins (C-N%). Verifica-se também que na parte superior do diagrama se situaram os capins mais produtivos, ou seja, o tanzânia e o brizanta, tanto à sombra quanto a pleno sol, e as variáveis que melhor explicaram essa diferenciação foram o teor de cinzas nos capins (C-Cinz) e o índice de área foliar (IAF). Somente uma parcela do capim green panic, na densidade D1 e bloco 2, ficou fora dos agrupamentos, provavelmente devido à alguma variação local. Não houve separação clara entre densidades de árvores, indicando que não houve competição por fatores entre elas.

Considerando-se estes dados em conjunto, percebe-se que o desempenho dos capins foi mais determinado pela quantidade e qualidade da serapilheira proveniente das árvores e pela maior acidez do solo nessa área do que propriamente pelas condições microclimáticas (luz e água) ou competição por nutrientes no solo. Conforme já discutido anteriormente, a decomposição das acículas costuma liberar compostos que acidificam o solo e essa maior acidez também acaba tornando os minerais no solo indisponíveis às plantas, principalmente importantes para capins de rápido crescimento. Acreditamos que testes com diferentes dosagens de calcário sejam interessantes para avaliar seu efeito na produção quantitativa e qualitativa de capins. Devemos ressaltar que o presente projeto foi conduzido sem a presença de animais e que experimentos futuros devam ser realizados a fim de avaliar tanto a persistência dos capins nestas condições como o desempenho animal em sistema silvipastoril.

#### 4.12. Considerações Finais

Apesar da associação de pastagens com plantios florestais ser hoje uma prática amplamente aceita, HAWKE & MACLAREN (1990) questionaram o pouco uso, na época, de sistemas silvipastoris na Nova Zelândia, apesar da grande quantidade de dados disponíveis sobre a eficiência e rentabilidade do sistema. Citando um levantamento feito por Morey (1986) junto a proprietários rurais, verificou-se que eles consideravam o plantio de árvores importante como forma de proteção aos animais, à casa, e até por razões de estética, menos por razões econômicas. Eles não percebiam que 30-50 ha de árvores adultas de pinus poderiam valer mais de um milhão de dólares. Concluíram que a divulgação de informações científicas sobre sistemas silvipastoris deveria ser feita mais em revistas agropecuárias populares, uma vez que esta é a principal fonte de acesso às novas tecnologias pelos agricultores.

Posteriormente, KNOWLES *et al.* (1991), através de estudo de caso e de modelagem, fizeram a avaliação econômica de sistemas silvipastoris na Nova Zelândia, e verificaram que a conversão do terço menos produtivo de uma propriedade rural em sistema silvipastoril pode mais que dobrar a renda total da fazenda. Os autores recomendaram que os plantios deveriam ser escalonados para permitir cortes futuros de madeira também escalonados. Recomendaram ainda a densidade de 225 árv./ha como sendo a que produz a melhor qualidade de madeira para o mercado. Densidades menores de árvores produziram galhos mais grossos e conseqüentemente nós na madeira, o que a deprecia no mercado. Apesar de, com o tempo, haver uma redução do número de unidades animais por área, ao se iniciarem os cortes da madeira, a renda líquida da propriedade é bastante aumentada, compensando esta diferença.

O objetivo deste trabalho não foi o de apresentar os sistemas silvipastoris como uma panacéia para os problemas ambientais, mas sim o de ressaltar a importância tanto das árvores quanto dos capins como grandes colaboradores no seqüestro de carbono frente ao cenário de mudanças climáticas. Ao contrário do que popularmente é chamada de “agricultura do sujo”, a adoção de sistemas silvipastoris requer um domínio muito maior de conhecimentos técnicos, tanto agrônômicos quanto ecológicos, representando assim um degrau a mais na evolução tecnológica da propriedade rural. Além de ser uma atividade “ambientalmente correta” pode representar um ganho financeiro significativo.

Aliado a esses aspectos, técnicos e pecuaristas devem ficar atentos a uma nova frente potencialmente interessante que está se abrindo do ponto de vista econômico, que são os créditos de carbono ou MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo).

Esse mecanismo prevê que as atividades de Uso da Terra, Mudança de Uso da terra e Florestas (Land Use, Land Use Change and Forests – LULUCF) poderão captar o dióxido de carbono da atmosfera, reduzindo as emissões líquidas globais. Para serem válidas, as atividades dos projetos de MDL, devem atender a diversos critérios definidos no Acordo de Marraqueche. Entre eles destaca-se a Decisão 11/CP.7 (UNFCCC) que determina como elegíveis ao MDL – LULUCF no primeiro período de compromisso (2008-2012), somente as atividades de florestamento e reflorestamento. As modalidades e procedimentos para a implantação de tais projetos foram definidos durante a COP 9, realizada em Milão no ano de 2003 (Decisão 19/CP.9 - UNFCCC). Dentre eles, destacam-se os critérios de adicionalidade e permanência, além dos critérios de sustentabilidade adotados pelo país sede do projeto de MDL. No caso do Brasil, as chamadas Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL) são consideradas elegíveis ao MDL (MANFRINATO, 2005). Já para o segundo período de compromisso (a partir de 2012), o Protocolo de Quioto (Artigo 3, Parágrafo 4) prevê a possibilidade de inclusão de outras atividades agrícolas e usos do solo para a obtenção dos créditos de carbono, entretanto ainda sujeitos a normatização.

Assim, frente ao atual panorama econômico e ambiental, seria aconselhável aos técnicos e produtores rurais repensarem seus conceitos de eficiência. Se não for por razões ecológicas, que seja por razões econômicas, mas atualmente é imprescindível a adoção de conhecimentos multidisciplinares para uma maior produtividade em equilíbrio com o meio ambiente.

## 5. CONCLUSÕES

1) A depender da idade e da densidade de árvores, a quantidade de biomassa produzida pelos capins, e conseqüentemente de carbono estocado, pode ser até superior à produção média anual das árvores, contribuindo significativamente com o seqüestro de carbono. Os capins mais produtivos à sombra foram o tanzânia e o brizanta, produzindo respectivamente 10,5 e 10,9 t MS/ha/ano na densidade D1 e 8,7 e 8,1 t MS/ha/ano na densidade D2, enquanto a produtividade média anual das árvores foi de 6,0 t MS/ha/ano na densidade D1 e de 10,7 t MS/ha/ano na densidade D2. A produção média de capins, respectivamente nas densidades D1 e D2, correspondeu a 75% e 50% da obtida a pleno sol.

2) Os capins contribuíram em média com 43% do estoque total de carbono na densidade D1 e com 28% na densidade D2. Os capins que mais estocaram carbono foram o tanzânia e o brizanta, respectivamente 4,1 e 4,3 t C/ha/ano na densidade D1 e 3,5 e 3,3 t C/ha/ano na densidade D2.

3) Com relação à qualidade nutritiva dos capins, mesmo com o aumento no teor de PB na forragem produzida à sombra, o que é desejável, houve uma diminuição nos teores de hemicelulose e celulose e na sua digestibilidade, prejudicando um pouco seu valor nutritivo. Os capins com as melhores qualidades foram o tanzânia (551 kg PD/ha/ano) e o brizanta (503 kg PD/ha/ano) na densidade D1 e o tanzânia (547 kg PD/ha/ano) na densidade D2.

4) Os capins se mostraram grandes cicladores de nutrientes. Enquanto as árvores retêm apenas 4,0 e 7,8 % do total de minerais retirados do solo, respectivamente na densidade D1 (20,6 kg/ha/ano) e D2 (38,3 kg/ha/ano), os capins retêm em média 80,5% na densidade D1 e 70,7% na densidade D2, sendo que os capins tanzânia e brizanta foram os que mais contribuíram: 564 e 527 kg/ha/ano na densidade D1 e 480 e 413 kg/ha/ano na densidade D2.

5) As observações microclimáticas indicaram ambiente mais ameno na área sombreada. Quanto maior a densidade de árvores, menor a quantidade de radiação solar que chega até os capins (29% e 21% da radiação PAR incidente a pleno sol, respectivamente nas densidades D1 e D2) e conseqüentemente menores temperaturas do ar e do solo e maior umidade do solo. Não houve interferência dos capins no microclima, exceto pequenas variações na temperatura do ar.

6) Frente ao atual panorama de incentivos econômicos criados pelos créditos de carbono ou MDLs e frente ao cenário de mudanças climáticas, os sistemas silvipastoris se constituem em uma atividade ambientalmente correta e de incremento na rentabilidade da propriedade rural. Este conceito pode ser adotado tanto por pequenos produtores quanto por grandes empresas agro-florestais, permitindo o uso de diferentes espécies arbóreas (essências nativas e exóticas) e de diferentes espécies animais (bovinos, ovinos e caprinos), que sejam mais adequados à cada situação.



## 6. LITERATURA CITADA

ALCÂNTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. São Paulo: Ed. Nobel, 1999. 162p.

ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Eds.) *Methods of soil analysis*. Madison, Wis.: ASA/SSSA (Agronomy Monograph n.7), 1982. p. 837-871.

A.O.A.C. *Official methods of analysis of AOAC International*. Arlington, Va: Association of Official Analytical Chemists – AOAC, 1995. 2v.

BARBOSA, J.O.; GARRIDO, L.M.A.G. Consorciação de pastagens e povoamentos de Pinus. **Revista do Instituto Florestal**, 2: 171-184. 1990.

BAGGIO, A.J.; SCHREINER, H.G. Análise de um sistema silvipastoril com *Pinus elliottii* e gado de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 16:19-30. 1988.

BELSKY, A.J. Effects of trees on nutritional quality of understorey gramineous forage in tropical savannas. **Tropical Grasslands**, 26: 12-20. 1992.

- BELSKY, A.J.; AMUNDSON, R.G.; DUXBURY, J.M. *et al.* The effects of trees on their physical, chemical and biological environments in a semi-arid savana in Kenya. **Journal of Applied Ecology**, 26: 1005-1024. 1989.
- BELSKY, A.J.; MWONGA, S.M.; AMUNDSON, R.G. *et al.* Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high- and low-rainfall savannas. **Journal of Applied Ecology**, 30: 143-155. 1993.
- BIRK, E.M. Biomass and nutrient distribution in radiata pine in relation to previous land use. I. Biomass. **Australian Forestry**, 55: 118-125. 1992.
- BIRK, E.M. Biomass and nutrient distribution in radiata pine in relation to previous land use. II. Nutrient accumulation, distribution and removal. **Australian Forestry**, 56: 148-156. 1993.
- BIRK, E.M.; MATSON, P.A. Site fertility affects seasonal carbon reserves in loblolly pine. **Tree Physiology**, 2: 17-27. 1986.
- BRASIL, R.P.C. Influência das técnicas de coleta de amostras na determinação das propriedades físicas do solo. Piracicaba, 2000. Dissertação (M.S.) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BROWN, S. Mitigation potential of carbon dioxide emissions by management of forests in Asia. **Ambio**, 25: 273-278. 1996.
- CAMERON, D.M.; RANCE, S.J.; JONES, R.M. *et al.* Project STAG: an experimental study in agroforestry. **Australian Journal of Agricultural Research**, 40: 699-714. 1989.
- CAMPOS, D.C. Influência da mudança do uso da terra sobre a matéria orgânica do solo no município de São Pedro – SP. Piracicaba, 1998. 83p. Dissertação (M.S.) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- CANÇADO, P. Em defesa do verde e das verdinhas. **Forbes Brasil**, 28 (15 agosto): 33-37. 2001.
- CARVALHO, M. M. Utilização de sistemas silvipastoris. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3., Jaboticabal, 1997. Jaboticabal: FUNEP, 1997. p.164-207.
- CARVALHO, M.M.; SILVA, J.L.O.; CAMPOS JUNIOR, B.A. Produção de matéria seca e composição mineral da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em um sub-bosque de angico-vermelho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 26: 213-218. 1997.
- CASTRO, C.R.T.; CARVALHO, M.C.; GARCIA, R. Composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais cultivadas à sombra. In: REUNIÃO DA SBZ, 35. Botucatu, 1998. **Anais**. p.554-556. 1998.
- CERRI, C.C. Dinâmica da material orgânica em solos de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 1., Jaboticabal, 1989. **Anais**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. p.135-148.
- CONSENTINO, J.R.; ABRAMIDES, P.L.G.; MEIRELLES, N.M.F.; PEDREIRA, J.V.S. Vinte anos de observações meteorológicas em Nova Odessa – SP. **Zootecnia**, 26: 205-217. 1988.
- DAS, A.K.; RAMAKRISHNAN, P.S. Above-ground biomass and nutrient contents in an age series of khasi pine (*Pinus kesiya*). **Forest Ecology and Management**, 18: 61-72. 1987.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. 1. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. **Agronomy Journal**, 73: 427-433. 1981.

- FRANCO, M. Eucalipto e boi fazem boa dobradinha. **DBO Rural**, julho: 68-74. 1998.
- GARCIA, N.C.P.; REIS, G.G.; SALGADO, L.T. *et al.* Consórcio de *Eucalyptus grandis* com forrageiras em área de encosta na Zona da Mata de Minas Gerais. CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., Porto Velho, 1994. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v.2, p.113-120.
- GARCIA, R.; COUTO, L. Silvopastoral systems: emergent technology of sustainability. **International Symposium on Animal Production under Grazing**. p.281-302. 1997.
- GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p: 219-268.
- HAWKE, M.F. Pasture production and animal performance under pine agroforestry in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, 45: 109-118. 1991.
- HAWKE, M. F.; MACLAREN, J.P. Agroforestry - an opportunity overlooked? **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, 51: 55-58. 1990.
- HAWKE, M.F.; O'CONNOR, M.B. Soil pH and nutrient levels at Tikitere Agroforestry Research Area. **New Zealand Journal of Forestry Science**, 23: 40-48. 1993.
- HAWKE, M.F.; WEDDERBURN, M.E. Microclimate changes under *Pinus radiata* agroforestry regimes in New Zealand. **Agricultural and Forest Meteorology**, 71: 133-145. 1994.
- HAWKE, M.F.; RATTRAY, P.V. ; PERCIVAL, N.S. Liveweight changes of sheep grazing a range of herbage allowances under *Pinus radiata* agroforestry regimes. **Agroforestry Systems**, 23: 11-21. 1993.

- HAYNES, B.E.; GOWER, S.T. Belowground carbon allocation in unfertilized and fertilized red pine plantations in northern Wisconsin. **Tree Physiology**, 15: 317-325. 1995.
- IAC – Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim técnico n. 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Fundação IAC, 1996.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 1997: The science of climate change**, Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Callander, B.A.; Harris, N.; Kattenberg, A. e Maskell, K. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 879 p.
- KADEBA, O. Above-ground biomass production and nutrient accumulation in an age sequence of *Pinus caribaea* stands. **Forest Ecology and Management**, 41: 237-248. 1991.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality responses of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, 33: 831-837. 1993.
- KNOWLES, R. L.; BRANN, G.M.; BRANN, G.J. An evaluation of agroforestry on a Bay of Plenty hill country farm. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, 53: 161-168. 1991.
- KNOWLES, R.L.; HAWKE, M.F.; MACLAREN, J.P. Agroforestry research at Tikitere. **Research Report, Forest Research Institute**, NZ. 27p. 1994.
- KRONKA, F.J.N.; MATSUKUMA, C.K.; NALON, M.A. *et al.* **Inventário Florestal do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 1993. 199p.

- KUNC, K. Methods for the analysis of soil microbial communities. In: RITZ, K.; DIGHTON, J. E GILLER, K.E. **Beyond the Biomass**. Willey-Sayce Publ. 1994. p.23-27.
- LEE, J.J.; DODSON, R. Potencial carbon sequestration by afforestation of pasture in the south-central United States. **Agronomy Journal**, 88: 381. 1996.
- LITTLE, S.N.; SHAINSKY, L.J. Distribution of biomass and nutrients in lodgepole pine/ bitterbrush ecosystems in Central Oregon. **USDA/FS/ Research Paper PNW-RP-454**, 1992. 22p.
- LITTLE, S.N.; SHAINSKY, L.J. Biomass and nutrient distributions in central Oregon second-growth ponderosa pine ecosystems. **USDA/FS/ Research Paper PNW-RP-481**, 1995. 17p.
- LUDLOW, M.M. Stress physiology of tropical pasture plants. **Tropical Grasslands**, 14: 136-145. 1980.
- LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L. ; HESLEHURST, M.R. Studies on the productivity of tropical pasture plants. V. Effect of shading on growth, photosynthesis and respiration in two grasses and two legumes. **Australian Journal of Agricultural Research**, 25: 425-433. 1974.
- LUDLOW, M.M.; SAMARAKOON, S.P.; WILSON, J.R. Influence of light regime and leaf nitrogen concentration on 77K fluorescence in leaves of four tropical grasses: no evidence for photoinhibition. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15: 669-676. 1988.
- MANFRINATO, W. **Áreas de preservação permanente e reserva legal no contexto da mitigação de mudanças climáticas: mudanças climáticas, o Código Florestal, o Protocolo de Quioto e o mecanismo de desenvolvimento limpo**. Rio de Janeiro: The Nature Conservancy, 2005. 65 p.

- MARTINS, P.F.S. Propriedades de solos sob floresta natural e sua alteração em consequência do desmatamento e cultivo, na Amazônia Oriental. Piracicaba, 1987. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MC CUNE, B.; MEFFORD, M.J. **PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data.** Gleneden Beach: MJM Software Design, 1997. 237 p.
- MEAD, D.J. The role of agroforestry in industrialized nations: the southern hemisphere perspective with special emphasis on Australia and new Zealand. **Agroforestry Systems**, 31: 143-156. 1995.
- MEAD, D. J.; LUCAS, R.J.; MASON, E.G. Studying interactions between pastures and *Pinus radiata* in Canterbury's subhumid temperate environment - the first two years. **New Zealand Forestry**, 38: 26-31. 1993.
- MELLO, S.L.M. Características do sistema radicular de povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. Piracicaba, 1997. 79p. Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MULLEN, B.F. Practical pasture establishment under plantation crops. In: MULLEN, B.F.; SHELTON, H.M. **Integration of ruminants into plantation systems in Southeast Asia.** ACIAR Proceedings, n. 64, 1995. p.28-31.
- NOVAES, E.S.; ROVERE, E.L.; OLIVEIRA, A.S. et al. Critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para avaliação de projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas e para a promoção do desenvolvimento sustentável. Ministério do Meio Ambiente, Brasil. **Site na Internet:** <http://www.centroclima.org.br/> . 2002.
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirement of beef cattle.** National Academy of Sciences. Washington, D.C. 1984. 90 p.

- PAUL, E.A. ; CLARK, F.E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego: Academic Press, 273p.
- POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus: implicações silviculturais. Piracicaba, 1985. 229p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- POTT, A. O papel da pastagem na modificação da vegetação clímax. SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 1., Jaboticabal, 1989. Jaboticabal: FUNEP, 1989. p.43-67
- POTT, A. Árvores no sistema pastoril. SIMPÓSIO SOBRE USOS MÚLTIPLOS DE LEGUMINOSAS ARBUSTIVAS E ARBÓREAS, Nova Odessa, 1993. p.95-129.
- PROTOCOLO DE QUIOTO À CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. Ministério de Ciência e Tecnologia (Ed. E trad.) **Site na Internet:** <http://www.mct.gov.br/clima> . 1997.
- RAWAT, J.K.; TANDON, V.N. Biomass production and mineral cycling in Young chir pine plantations in Himachal Pradesh. **Indian Forester**, December, 1993. p: 977-985.
- REISSMANN, C.B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.136-165.
- REYNOLDS, S.G. Evaluation of pasture grasses under coconuts in Western Samoa. **Tropical Grasslands**, 12: 146-151. 1978.



- REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M. et al. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 00: 1-14. 1998.
- RHOADES, C. C. Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. **Agroforestry Systems**, 35: 71-94. 1997.
- SÁ, T.D.A. Aspectos climáticos associados a sistemas agroflorestais: implicação, planejamento e manejo em regiões tropicais. CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., Porto Velho, 1994. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v.1, p.391-432
- SALATI, E.; SANTOS, A.A.; LOVEJOY, T.E. *et al.* **Porque salvar a Floresta Amazônica**. Manaus: INPA, 1998. 114p.
- SALATI, E.; AMARAL, W.; SANTOS, A.A. Investing in carbon storage: a review of Brazilian forest projects. In: GOLDENBERG, J. ; REID, W. **Promoting development while limiting greenhouse gas emissions: Trends ; Baselines**, UNDP, 1999. p.101-114.
- SAMARAKOON, S.P.; SHELTON, H.M.; WILSON, J.R. Voluntary feed intake by sheep and digestibility of shaded *Stenotaphrum secundatum* and *Pennisetum clandestinum* herbage. **Journal of Agricultural Science**, 114: 143-150. 1990a.
- SAMARAKOON, S.P.; WILSON, J.R.; SHELTON, H.M. Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. **Journal of Agricultural Science**, 114: 161-169. 1990b.
- SANTOS, F.L.C.; COUTO, L. Comportamento de eucalipto e forrageiras em plantio consorciado na região do cerrado. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais**. p.395-403.

- SATOO, T.; MADGWICK, H.A.I. **Forest biomass**. Ed. The Hague. 1982. 155 p.
- SCHLEGEL, B.; GAYOSO, J.; GUERRA, J. **Manual de procedimientos de muestreos de biomasa forestal**. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 2000. 24p.
- SCHREINER, H.G. Tolerância de quatro gramíneas forrageiras a diferentes graus de sombreamento. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 15: 61-72. 1987.
- SCHREINER, H.G. Associação de leguminosas com plantios florestais para cobertura e melhoramento do solo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 17: 1-12. 1988.
- SEQUEIRA, W. ; GHOLZ, H.L. Canopy structure, light penetration and tree growth in a slash pine (*Pinus elliottii*) silvo-pastoral system at different stand configurations in Florida. **The Forestry Chronicle**, 67: 263-267. 1991.
- SHELTON, H.M.; HUMPHREYS, L.R.; BATELLO, C. Pastures in the plantations of Asia and The Pacific: performance and prospect. **Tropical Grasslands**, 21: 159-168. 1987.
- SILVA, H.M.; GARRIDO, L.M.A.G.; GARRIDO, M.A.O. Desenvolvimento de gramíneas com diferentes preparos de solo sob povoamento de *Pinus elliottii*. **Boletim Técnico do I.F.**, 40-A: 142-152. 1986.
- SMITH, M.A. ; WHITEMAN, P.C. Evaluation of tropical grasses in increasing shade under coconut canopies. **Expl. Agric.**, 19: 153-161. 1983.
- SNOWDON, P. ; BENSON, M.L. Effects of combinations of irrigation and fertilization on the growth and above-ground biomass production of *Pinus radiata*. **Forest Ecology and Management**, 52: 87-116. 1992.

SOARES FILHO, C.V. Recomendações de espécies e variedades de *Brachiaria* para diferentes condições. In: **Simpósio sobre Manejo da Pastagem** (11.) Anais. Piracicaba: FEALQ, 1994. p.25-48.

SOAVE, R.C.F. Influência de diferentes tipos de extração de resina na ciclagem de nutrientes e no crescimento de indivíduos de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* (Mogi Guaçú – SP). Rio Claro, 1990. Dissertação (M.S.) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.

SWITZER, G.L.; NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Plantation ecosystems: the first twenty years. **Soil Science Society An. Proc.**, 36: 143-147. 1972.

TIMONI, J.L. Ciclagem de nutrientes em talhão de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon, com e sem desbaste no município de Itirapina, SP. Rio Claro, 1990. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Documents.**  
<http://unfccc.int>

VALERI, S.V. Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* desbastados em diferentes idades. Curitiba, 1988. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.

VEIGA, J. B.; SERRÃO, E.A.S. Sistemas silvipastoris e produção animal nos trópicos úmidos: a experiência da Amazônia brasileira. In: **Novas tecnologias de produção animal.** Piracicaba: FEALQ, 1990. p.145-176.

VILELA, D.; ALVIM, M.J. Manejo de pastagens do gênero *Cynodon*: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil. In: **Simpósio sobre Manejo da Pastagem** (15.) Anais. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.23-54.

- WATSON, A.; O'LOUGHLIN, C. Structural root morphology and biomass of three age-classes of *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, 20: 97-110. 1990.
- WILD, D.W.M. The nitrogen economy of tropical pasture grasses under shade. Melbourne, 1995. 253p. Thesis (Ph.D.) University of Queensland.
- WILSON, J.R. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. In: Hacker, J.B. **Nutritional limits to animal production from pastures**. Proceedings of an International Symposium held in Australia, p.111-131. 1981.
- WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, 47: 1075-1093. 1996.
- WILSON, J.R.; WONG, C.C. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of green panic and siratro pastures. **Australian Journal of Agricultural Research**, 33: 937-949. 1982.
- WILSON, J.R. ; LUDLOW, M.M. The environment and potential growth of herbage under plantations. In: SHELTON, H.M. ; STUR, W.W. **Forages for plantations crops**, ACIAR Proceedings, n. 32. Canberra: ACIAR, 1991. p.10-24.
- WILSON, J.R.; SCHWENKE, T. Estimating potential yield of forage under plantations. In: MULLEN, B.F.; SHELTON, H.M. **Integration of ruminants into plantation systems in Southeast Asia**. ACIAR Proceedings, n. 64. Canberra: ACIAR, 1995. p.32-36.
- WILSON, J.R.; CATCHPOOLE, V.R.; WEIER, K.L. Stimulation of growth and nitrogen uptake by shading a rundown green panic pasture on brigalow clay soil. **Tropical Grassland**, 20: 134-143. 1986.

- WILSON, J.R.; HILL, K.; CAMERON, D.M. *et al.* The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. **Tropical Grasslands**, 24: 24-28. 1990.
- WONG, C.C.; WILSON, J.R. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. **Australian Journal of Agricultural Research**, 31: 269-285. 1980.
- YUNUSA, A.M.; MEAD, D.J.; LUCAS, R.J. *et al.* Process studies in a subhumid temperate environment. II. Analysis of dry matter yields in the third year. **Agroforestry Systems**, 32: 185-204. 1995.
- ZINKHAN, F.C.; MERCER, D.E. An assessment of agroforestry systems in the southern USA. **Agroforestry Systems**, 35: 303-321. 1997.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A.; SILVEIRA JÚNIOR, P. **SANEST – Sistema de análise estatística para computadores**. 1992. 92 p.