

CARLOS MAURICIO SOARES DE ANDRADE

**ESTUDO DE UM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL, CONSTITUÍDO POR
Eucalyptus urophylla S.T. BLAKE E *Panicum maximum* JACQ. CV.
TANZÂNIA-1, NA REGIÃO DOS CERRADOS DE MINAS GERAIS, BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
JULHO – 2000

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

A553e
2000

Andrade, Carlos Mauricio Soares de, 1972-

Estudo de um sistema agrossilvipastoril, constituído por
Eucalyptus urophylla S.T. Blake e *Panicum maximum*
Jacq. cv. Tanzânia-1, na região dos Cerrados de Minas
Gerais, Brasil / Carlos Mauricio Soares de Andrade. – Vi-
çosa : UFV, 2000.

102p. : il.

Orientador: Rasmô Garcia

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de

Viçosa

1. Capim-tanzânia consórcio com *Eucalyptus urophylla*.
2. *Eucalyptus urophylla* consórcio com capim-tanzânia.
3. Sistemas silvipastoris – Minas Gerais. 4. Agrossilvicultura – Minas Gerais. I. Universidade Federal de Viçosa. II.

Título.

CDD 19.ed. 633.2

CDD 20.ed. 633.2

CARLOS MAURICIO SOARES DE ANDRADE

**ESTUDO DE UM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL, CONSTITUÍDO POR
Eucalyptus urophylla S.T. BLAKE E *Panicum maximum* JACQ. CV.
TANZÂNIA-1, NA REGIÃO DOS CERRADOS DE MINAS GERAIS, BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA: 04 de fevereiro de 2000.

Prof. Laércio Couto
(Conselheiro)

Prof. Odilon Gomes Pereira
(Conselheiro)

Prof. Domicio do Nascimento Júnior

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti

Prof. Rasmô Garcia
(Orientador)

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

À Companhia Mineira de Metais (CMM), pela disponibilização da área experimental e pelo apoio financeiro, em especial ao Chefe Geral da Unidade Agroflorestal, Luciano Lage de Magalhães, e ao Gerente de Processos Pecuários, Arnaldo Geraldo Cardoso.

Ao professor Rasmão Garcia, pela orientação, amizade e confiança.

Aos professores Domicio do Nascimento Júnior, Júlio César Lima Neves, Laércio Couto, Odilon Gomes Pereira e Reinaldo Bertola Cantarutti, pelas valiosas sugestões.

Ao pesquisador da EMBRAPA-Acre, Judson Ferreira Valentim, pela amizade e incentivo à realização deste curso.

Aos funcionários dos Laboratórios de Nutrição Animal e de Fertilidade do Solo da UFV, pelo auxílio durante a realização das análises.

Aos colegas de república Rodrigo, Moisés, Douglas, João, Walquíria, Gláucun, Adalberto, Rivelino, Adrian, Aderbal, Cacá e Marcus, pela amizade.

Aos amigos Luciano e Roberto, pela amizade e pelo auxílio na coleta de dados no campo.

A todos os meus familiares, pelo eterno apoio.

BIOGRAFIA

CARLOS MAURICIO SOARES DE ANDRADE, filho de Zady Mendes Andrade Filho e Lêda Maria Soares de Andrade, nasceu em Salvador, Bahia, em 1º de fevereiro de 1972.

Na cidade de Vitória da Conquista, Bahia, concluiu o Curso Técnico em Agropecuária, na Escola Agrotécnica Sérgio de Carvalho, em dezembro de 1989.

Em março de 1991, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal do Acre. Foi bolsista de Iniciação Científica do CNPq, no período de agosto de 1994 a julho de 1995, e estagiário da EMBRAPA-Acre, no período de julho de 1995 a março de 1996. Graduiu-se em março de 1996.

De março de 1997 a fevereiro de 1998, trabalhou na EMBRAPA-Acre como bolsista do CNPq, atuando nas áreas de Forragicultura e Sistemas Agroflorestais.

Em março de 1998, ingressou no Curso de Mestrado em Zootecnia (área de concentração em Forragicultura e Pastagens), na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2000.

CONTEÚDO

| | Página |
|--|--------|
| EXTRATO..... | vii |
| ABSTRACT..... | ix |
| INTRODUÇÃO..... | 1 |
| CAPÍTULO 1..... | 4 |
| CONDIÇÕES EDÁFICAS, LUMÍNICAS E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM UM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM EUCALIPTO, NA REGIÃO DOS CERRADOS DE MINAS GERAIS..... | 4 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 4 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 7 |
| 2.1. Localização do experimento..... | 7 |
| 2.2. Área experimental..... | 7 |
| 2.3. Avaliações..... | 10 |
| 2.3.1. Condições edáficas..... | 10 |
| 2.3.2. Distribuição do sistema radicular..... | 10 |
| 2.3.3. Biomassa e nutrientes na parte aérea do <i>E. urophylla</i> | 11 |
| 2.3.4. Ciclagem de nutrientes..... | 12 |
| 2.3.5. Luz no sub-bosque..... | 12 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 14 |
| 3.1. Condições edáficas..... | 14 |
| 3.2. Distribuição do sistema radicular..... | 19 |

| | |
|---|----|
| 3.3. Biomassa e nutrientes na parte aérea do <i>E. urophylla</i> | 19 |
| 3.4. Ciclagem de nutrientes..... | 22 |
| 3.5. Luz no sub-bosque..... | 28 |
| 4. RESUMO E CONCLUSÕES..... | 33 |
| CAPÍTULO 2..... | 35 |
| FATORES LIMITANTES AO CRESCIMENTO DO CAPIM-TANZÂNIA EM UM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM EUCALIPTO, NA REGIÃO DOS CERRADOS DE MINAS GERAIS..... | 35 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 35 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS..... | 37 |
| 2.1. Implantação do experimento..... | 37 |
| 2.2. Avaliações..... | 39 |
| 2.2.1. Escores..... | 39 |
| 2.2.2. Taxa de acumulação de MS e composição química da forragem..... | 39 |
| 2.3. Análise de solo..... | 40 |
| 2.4. Tratamento estatístico dos dados..... | 41 |
| 3. RESULTADOS..... | 43 |
| 3.1. Precipitação pluviométrica e teor de água no solo..... | 43 |
| 3.2. Taxa de acumulação de MS do capim-tanzânia..... | 45 |
| 3.3. Composição química da forragem..... | 45 |
| 3.3.1. Teor de N..... | 45 |
| 3.3.2. Teor de P..... | 46 |
| 3.3.3. Teor de K..... | 46 |
| 3.3.4. Teor de Ca..... | 48 |
| 3.3.5. Teor de Mg..... | 49 |
| 3.4. Conteúdo de nutrientes na forragem do capim-tanzânia..... | 50 |
| 3.4.1. Conteúdo de N..... | 50 |
| 3.4.2. Conteúdo de P..... | 50 |
| 3.4.3. Conteúdo de K..... | 52 |
| 3.4.4. Conteúdo de Ca e de Mg..... | 52 |
| 3.5. Disponibilidade de nutrientes no solo..... | 55 |
| 4. DISCUSSÃO..... | 56 |
| 4.1. Resposta à adubação NPK..... | 56 |

| | |
|--|----|
| 4.1.1. Resposta ao nitrogênio..... | 56 |
| 4.1.2. Resposta ao fósforo..... | 58 |
| 4.1.3. Resposta ao potássio..... | 59 |
| 4.2. Disponibilidade de nutrientes no solo..... | 60 |
| 4.2.1. Nitrogênio..... | 61 |
| 4.2.2. Fósforo..... | 68 |
| 4.2.3. Potássio..... | 70 |
| 4.3. Efeito da disponibilidade de água no crescimento do capim- tanzânia..... | 71 |
| 4.4. Capacidade de suporte do sistema agrossilvipastoril..... | 72 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÕES..... | 75 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 77 |
| APÊNDICE..... | 86 |

EXTRATO

ANDRADE, Carlos Mauricio Soares de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2000. **Estudo de um sistema agrossilvipastoril, constituído por *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1, na região dos Cerrados de Minas Gerais, Brasil.** Orientador: Rasmão Garcia. Conselheiros: Laércio Couto e Odilon Gomes Pereira.

Foi realizado um estudo em um sistema agrossilvipastoril, constituído por *Eucalyptus urophylla* e *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1, implantado há cinco anos na Fazenda Riacho, pertencente à Companhia Mineira de Metais (CMM), localizada no município de Paracatu, MG. Os objetivos deste estudo foram: a) caracterizar as condições edáficas, a distribuição das raízes da gramínea no perfil do solo, a produção de biomassa e a acumulação de nutrientes pelo eucalipto, a ciclagem de nutrientes e a transmissão de luz ao sub-bosque do sistema; e b) identificar os principais fatores limitando o crescimento do capim-tanzânia, quatro anos após sua introdução no sistema. O sistema agrossilvipastoril está implantado sobre um Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso, com propriedades químicas típicas dos solos distróficos e álicos desta classe, que ocorrem na região dos Cerrados. A maior parte das raízes do capim-tanzânia estava concentrada nos primeiros 15 cm do solo, sendo constatada a sua presença, em pequena quantidade, até os 60 cm (maior profundidade investigada). Apesar da baixa densidade de plantio do

eucalipto (250 árvores/ha), em comparação a plantios convencionais, o sistema agrossilvipastoril apresentou boa produtividade de madeira, com incremento médio anual de biomassa do tronco igual a 9,6 t/ha.ano. O *litter* produzido pelo eucalipto apresentou baixa qualidade e deve resultar em lenta decomposição e liberação de nutrientes, principalmente de N e P. Em maio de 1999, a transmissão de luz ao sub-bosque do sistema foi de 32,2%. É provável que durante o verão, quando ocorre menor interceptação de luz pela copa das árvores, devido à menor inclinação solar, a transmissão de luz estivesse próxima a 50%. Para identificar os principais fatores limitando o crescimento da gramínea, foi conduzido um ensaio NPK a campo, com os tratamentos arranjados no esquema fatorial 2³, com dois níveis de N (0 e 100 kg/ha de N), P (0 e 70 kg/ha de P₂O₅) e K (0 e 100 kg/ha de K₂O). A gramínea não respondeu ao P nem ao K, apesar dos baixos teores de P e K disponíveis no solo. A adubação nitrogenada dobrou a taxa de acumulação de matéria seca do pasto, mostrando que o crescimento da gramínea estava sendo restringido pela baixa disponibilidade de N no solo. Estes resultados também evidenciaram que: a) o sombreamento não era o único fator limitando a produtividade do sub-bosque; e b) não havia efeito alelopático do eucalipto sobre a gramínea, que recuperou o seu vigor normal com a adubação nitrogenada.

ABSTRACT

ANDRADE, Carlos Mauricio Soares de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July of 2000. **Study of an agrosilvopastoral system, constituted by *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake and *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzania-1, in the Brazilian Cerrados.** Adviser: Rasmio Garcia. Committee Members: Laércio Couto and Odilon Gomes Pereira.

A study was conducted in an agrosilvopastoral system, constituted by *Eucalyptus urophylla* and *Panicum maximum* cv. Tanzania-1, established five years ago in the Riacho farm, located in the region of Paracatu (Minas Gerais), Brazil. The objectives of this study were: a) to characterize the soil conditions, the distribution of grass roots in the soil profile, the biomass yield and nutrient accumulation by the eucalypts trees, the nutrient cycling and the light transmission to the system understorey; and b) to identify the main factors limiting the grass growth, four years after its introduction in the system. The agrosilvopastoral system is implanted on a very clayey Dark Red Latosol, with low fertility and high Al saturation, typical of the soils of this class in the Cerrados region. Most of the grass roots was concentrated in the first 15 cm of the soil, being verified its presence, in small amount, up to 60 cm deep. In spite of the low planting density of the eucalypts (250 trees/ha), in comparison with conventional plantations, the system presented good wood productivity, with annual medium increment of stem biomass of 9.6 t/ha.yr. The *E. urophylla* litter

presented low quality and it should result in slow decomposition and nutrient release, mainly of N and P. In May of 1999, the light transmission to the system understorey was of 32.2%. It is probable that during the summer, when the solar inclination and the light interception by the tree canopy are smallest, the light transmission was close to 50%. To identify the main factors limiting the grass growth, a NPK field trial was carry out, with the treatments arranged in the 2³ factorial outline, with two levels of N (0 and 100 kg/ha of N), P (0 and 70 kg/ha of P₂O₅) and K (0 and 100 kg/ha of K₂O). The grass didn't response to P nor K, in spite of the low P and K availability in the soil. However, with the application of N the rate of herbage accumulation was twice superior compared to control, showing that the grass growth was being restricted by the low N availability in the soil. These results also evidenced that: a) the shading was not the only factor limiting the understorey productivity; and b) there was not allelopathic effect of the *Eucalyptus urophylla* on the tanzânia-grass, since it recovered its normal vigor in response to the N fertilization.

INTRODUÇÃO

Os sistemas silvipastoris (SSP's), modalidade dos sistemas agroflorestais (SAF's), referem-se às técnicas de produção nas quais se integram animais, plantas forrageiras e árvores na mesma área. Tais sistemas representam uma forma de uso da terra, onde as atividades silviculturais e pecuárias são combinadas para gerar produção de forma complementar pela interação dos seus componentes (GARCIA e COUTO, 1997). Quando se acrescenta, além dos componentes anteriores, o cultivo de lavouras anuais, mesmo que apenas na fase de implantação do sistema, estes passam a ser chamados de sistemas agrossilvipastoris.

A principal vantagem destes sistemas, em comparação aos convencionais, é o aproveitamento mais eficiente dos recursos naturais, principalmente pela otimização do uso da energia solar, por meio da multiestratificação de espécies, pela reciclagem de nutrientes, pela manutenção da umidade do solo e pela proteção do solo contra a erosão e a lixiviação, resultando em sistemas potencialmente mais produtivos e sustentáveis (PEREIRA e REZENDE, 1997). Além disso, estes sistemas permitem maior diversificação da produção, com conseqüente diminuição dos riscos de perda da produção (VEIGA e SERRÃO, 1994).

A divulgação dos benefícios ecológicos, sociais e econômicos, possíveis de serem obtidos com a utilização dos sistemas silvipastoris, tem despertado grande interesse por essa modalidade de uso da terra em diversas

partes do mundo. No Brasil, o interesse pelo estabelecimento de tais sistemas vem aumentando com grande rapidez. A baixa sustentabilidade dos sistemas convencionais de uso da terra, demonstrada pela elevada ocorrência de pastagens degradadas e pela freqüente constatação de redução da produtividade das florestas plantadas de ciclo curto, com poucas rotações, é certamente um dos fatores que tem impulsionado o interesse pelo uso de sistemas silvipastoris.

A obtenção de sistemas silvipastoris sustentáveis depende do nível de conhecimento das interações existentes entre seus componentes, principalmente no que diz respeito aos diferentes níveis de requerimento e utilização dos fatores naturais de produção, destacando-se luz, água e nutrientes (PEREIRA e REZENDE, 1997). Embora a utilização de diversas modalidades de sistemas agroflorestais não seja uma prática recente, os estudos a respeito do seu funcionamento são, de modo que o conhecimento sobre os processos que ocorrem nestes sistemas ainda é restrito. Além disso, estes sistemas apresentam inúmeras possibilidades de utilização de diferentes espécies e arranjos, cada um resultando em um conjunto diferente de interações entre seus componentes. Essas interações são também fortemente influenciadas pelas condições ambientais do local (clima e solo). De acordo com NAIR (1993), a complexidade e a longa duração dos sistemas agroflorestais tornam difíceis as investigações dos mecanismos e processos, sendo que, sem o conhecimento a respeito desses mecanismos, é impossível generalizar e extrapolar os resultados de um estudo para diferentes condições.

Em sistemas agroflorestais, os processos são dinâmicos e se modificam com o tempo, fazendo com que os experimentos de curta duração sejam pouco eficazes para o completo entendimento desses processos. De acordo com MACEDO (1995), uma forma de ganhar tempo e obter estimativas de sustentabilidade de sistemas produtivos seria por meio de estudos de levantamentos de propriedades de produtores com bom histórico de atividades, comparando áreas de diferentes idades e formas de manejo, associados com variáveis de clima, solo e planta que possam representar indicadores de sustentabilidade. Isso ajudaria o entendimento sobre o problema em diferentes agroecossistemas e facilitaria o planejamento de projetos de pesquisa setoriais no sentido clássico da experimentação. De acordo com NAIR (1993), a

experimentação em propriedades rurais constitui-se em estratégia poderosa e apropriada para a pesquisa em sistemas agroflorestais, especialmente para a pesquisa aplicada.

A Companhia Mineira de Metais (CMM), por meio de sua divisão Agroflorestal, vem realizando, desde 1993, algumas experiências com a utilização de sistemas agroflorestais, do tipo agrossilvipastoril rotativo, em suas fazendas localizadas no noroeste do Estado de Minas Gerais, região dos Cerrados. Estes sistemas consistem no consórcio de eucalipto com culturas anuais e forrageiras. No ano de implantação do sistema, planta-se o eucalipto, no espaçamento de 10 x 4 m, e o arroz, nas suas entrelinhas. No ano seguinte, cultiva-se soja e, aos dois anos, é feito o plantio das gramíneas no sub-bosque do eucalipto. Do terceiro ao décimo primeiro ano, o sistema será utilizado para a engorda de bovinos por pastejo direto. O eucalipto será colhido aos 11 anos de idade, quando se encerrará o ciclo do sistema, destinando-se a sua madeira à serraria.

DUBÉ (1999) realizou um estudo técnico-econômico dos sistemas agrossilvipastoris da CMM, por meio de simulações, e concluiu que tais sistemas são economicamente mais vantajosos que a monocultura de eucalipto.

Neste trabalho, fez-se um estudo de um sistema agrossilvipastoril, já implantado há cinco anos em uma das fazendas da CMM, com o objetivo de melhorar a compreensão a respeito de seu funcionamento, de modo que se possa aperfeiçoá-lo, aumentando sua rentabilidade e sustentabilidade. Espera-se, também, que este estudo possa fornecer alguns subsídios para a implantação de novos sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris, nesta e em outras regiões do país.

CAPÍTULO 1

CONDIÇÕES EDÁFICAS, LUMÍNICAS E CICLAGEM DE NUTRIENTES EM UM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM EUCALIPTO, NA REGIÃO DOS CERRADOS DE MINAS GERAIS

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas silvipastoris podem ser classificados em dois grupos: eventuais e verdadeiros. Os eventuais são sistemas em que a associação árvore-pasto-animal se estabelece em determinado momento de uma exploração arbórea ou pecuária convencional. Correspondem aos plantios comerciais de espécies arbóreas, cujo estrato herbáceo, formado de leguminosas de cobertura, gramíneas ou vegetação espontânea rasteira, é utilizado pelo gado até o ponto permitido pela competição imposta pelas árvores. Nesse caso, os componentes pasto e animais, subprodutos da exploração, são manejados de modo leniente, para não prejudicar o cultivo arbóreo, considerado de interesse principal. Incluem também os sistemas silvipastoris que evoluíram de pastagens convencionais, com a regeneração natural das árvores úteis ou com o plantio de mudas de espécies arbóreas. Já nos sistemas silvipastoris classificados como verdadeiros, o componente

arbóreo, o pasto e os animais são considerados integrantes do sistema desde o planejamento do empreendimento, coexistindo na associação dentro de determinado nível de participação. São plantios regulares feitos nos espaçamentos ou nas densidades próprias, em que a possibilidade de supressão de um componente por outro é deliberadamente reduzida. Esses sistemas, quando bem delineados, dão possibilidade, na fase de estabelecimento, de utilização da área destinada ao pasto com cultivos pioneiros anuais, até que as árvores atinjam altura compatível com a introdução dos animais no sistema (VEIGA e SERRÃO, 1994).

No Brasil, os estudos sobre a utilização de sistemas silvipastoris com eucalipto começaram no final da década de 80, intensificando-se até o presente momento. Neste trabalho, não será apresentada uma revisão de literatura a respeito das pesquisas já realizadas com sistemas silvipastoris no Brasil, o que se tornaria muito repetitivo, já que, nos últimos anos, várias revisões desta natureza foram publicadas (VEIGA e SERRÃO, 1994; CASTRO, 1996; CARVALHO, 1997; GARCIA e COUTO, 1997; PEREIRA e REZENDE, 1997; COUTO et al., 1998; SILVA, 1998; e DUBÉ, 1999). Entretanto, pode-se afirmar que a maioria dos estudos já realizados foram conduzidos em sistemas silvipastoris do tipo eventual, em que o principal componente produtivo era o eucalipto, com o objetivo principal de avaliar os possíveis benefícios resultantes da introdução de animais e forrageiras em florestas plantadas convencionais de eucalipto. Entre os fatores mais investigados, destacam-se: a) efeito das forrageiras sobre o crescimento do eucalipto; b) danos provocados pelos animais às árvores; c) efeito dos animais na compactação do solo; e d) efeito do pastejo no controle do sub-bosque, em comparação à utilização de herbicidas e capinas manuais. Portanto, dada a natureza dos sistemas estudados, pode-se verificar que pouca atenção foi dispensada às interações que poderiam prejudicar a produção de forragem e animal nestes sistemas.

No caso dos sistemas silvipastoris verdadeiros, o sucesso da exploração depende da manutenção do equilíbrio entre os seus componentes (PEREIRA e REZENDE, 1997). Estudos com sistemas silvipastoris deste tipo, em que o eucalipto foi plantado em espaçamentos largos, para permitir que o pasto associado pudesse se desenvolver satisfatoriamente, durante todo o período da associação, são escassos no Brasil. Estudo detalhado sobre o

efeito do espaçamento em sistemas silvipastoris com eucalipto foi realizado por CAMERON et al. (1991), na Austrália, utilizando a metodologia do anel de competição de Nelder, obtendo-se densidades variando de 42 a 3.580 árvores/ha. Os autores concluíram que, quatro anos após o plantio do eucalipto, a melhor densidade de árvores para alcançar produções adequadas de forragem e madeira foi de 300 árvores/ha.

Um dos poucos exemplos de sistemas deste tipo, no Brasil, são os sistemas agrossilvipastoris rotativos que vêm sendo implementados pela Companhia Mineira de Metais (CMM), em suas fazendas localizadas no noroeste do Estado de Minas Gerais. Nestes sistemas, o eucalipto está sendo plantado na densidade de 250 árvores/ha, para permitir que o sub-bosque, estabelecido a partir do segundo ano, possa se desenvolver satisfatoriamente até o final da rotação (11^o ano). Estes sistemas oferecem oportunidade ímpar para a realização de estudos dos mais variados tipos, permitindo aumentar o volume de conhecimentos sobre o seu funcionamento.

Este trabalho foi realizado em um dos sistemas agrossilvipastoris da CMM, implantado há cinco anos, com o objetivo de avaliar as condições edáficas, a distribuição das raízes da gramínea no perfil do solo, a produção de biomassa e a acumulação de nutrientes pelo eucalipto, a ciclagem de nutrientes e a transmissão de luz ao sub-bosque do sistema, melhorando a compreensão de seu funcionamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do experimento

O estudo foi realizado na Fazenda Riacho, pertencente à CMM, localizada no município de Paracatu, Minas Gerais. A região apresenta vegetação natural de cerrado, e está situada à latitude 17°13'S, longitude 46°52'W e altitude de 650 m. Na Figura 1, são apresentadas as principais características climáticas do local.

2.2. Área experimental

A área experimental foi uma das subdivisões (2,0 ha) de um sistema agrossilvipastoril da Fazenda Riacho, cuja área total é de 50 ha. O sistema estudado foi implantado em novembro de 1993, tendo como componente arbóreo o *Eucalyptus urophylla*, plantado no espaçamento 10 x 4 m, com as linhas de plantio orientadas no sentido leste-oeste. Junto com o plantio do eucalipto, foi realizado o cultivo de arroz de sequeiro em suas entrelinhas. A adubação do eucalipto constou da aplicação, nas linhas de plantio, de 240 kg/ha de fosfato natural de Araxá, 120 kg/ha de gesso agrícola e 48 kg/ha de óxido de magnésio, e ainda de 100 g/cova da fórmula NPK 10-28-6. Para o arroz, foi realizada uma calagem, para elevar a saturação de bases para 50%, e aplicados 150 kg/ha da fórmula NPK 4-30-16.

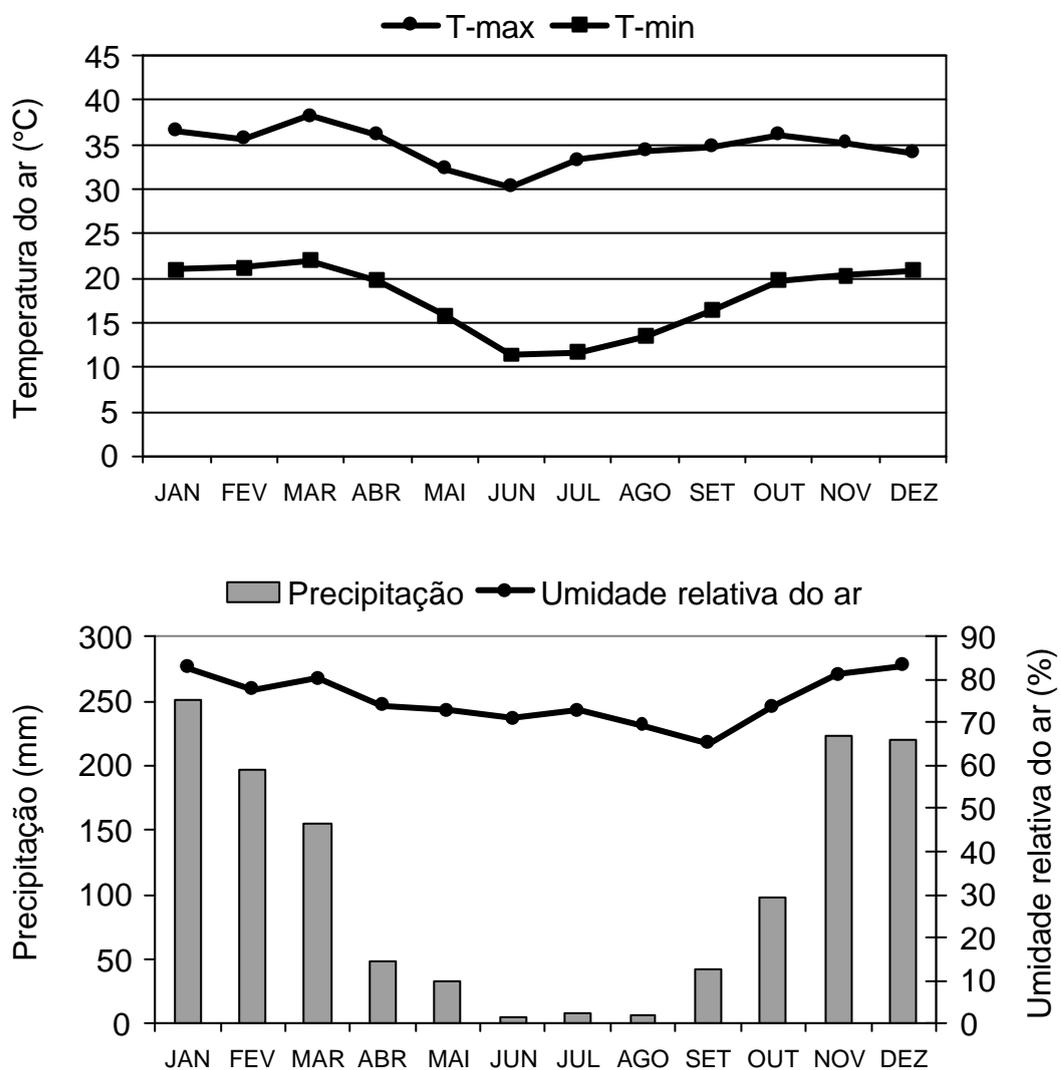


Figura 1 - Características climáticas da Fazenda Riacho, localizada no município de Paracatu-MG (média referente ao período de 1988 a 1997).

O sub-bosque, constituído pelo capim-tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia-1), foi estabelecido no ano seguinte à implantação do sistema (novembro de 1994), não havendo o cultivo da soja. O preparo da área para o plantio da gramínea consistiu de uma gradagem na área correspondente às entrelinhas do eucalipto. A adubação constou de 400 kg/ha de fosfato natural de Araxá e 100 kg/ha de superfosfato simples, aplicados a lanço, antes da gradagem. A gramínea foi semeada a lanço, utilizando-se 10 kg de sementes por hectare.

O sistema tem sido utilizado para a engorda de novilhos desde 1996, principalmente durante o período chuvoso. A Figura 2 mostra o interior do sistema agrossilvipastoril, 66 meses após sua implantação.



Figura 2 - Vista do interior de um sistema agrossilvipastoril, constituído por *Eucalyptus urophylla* e *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1, implantado há 66 meses na Fazenda Riacho, localizada no município de Paracatu-MG.

2.3. Avaliações

2.3.1. Condições edáficas

A caracterização das condições edáficas do sistema foi realizada em maio de 1999 (66 meses após sua implantação). Para isso, fez-se uma amostragem de solo nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, em dez pontos da área experimental, de modo a se obter uma amostra composta de solo para cada profundidade. Logo após a coleta e homogeneização, cada amostra composta foi separada em duas subamostras: uma foi imediatamente congelada para posterior análise dos teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , de acordo com recomendações de TEDESCO et al. (1985), e a outra foi colocada para secar à sombra e passada em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Nesta, foram feitas as seguintes análises: pH em água, na relação 1:2,5; P e K disponíveis, obtidos pelo extrator Mehlich-1; Al, Ca e Mg trocáveis, extraídos com $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$; H + Al, extraídos com acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, pH 7,0; carbono orgânico, obtido pelo método Walkley Black, todas de acordo com recomendações de DEFELIPO e RIBEIRO (1981); e nitrogênio total, obtido pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1985).

Para avaliação da densidade aparente (DA) do solo, foram coletadas, com um anel volumétrico, amostras de solo nas profundidades de 0 a 5 e 20 a 25 cm, em cinco locais escolhidos aleatoriamente no sub-bosque do sistema. Nestas amostras de solo, determinou-se, ainda, a densidade das partículas (DP), de acordo com recomendações da EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (1979). Calculou-se a porosidade total (PT) de acordo com a fórmula:

$$\text{PT (\%)} = 100 \times (1 - (\text{DA} / \text{DP}))$$

2.3.2. Distribuição do sistema radicular

Buscando conhecer melhor a distribuição do sistema radicular dos componentes deste sistema agrossilvipastoril, foram abertas três trincheiras,

com área de 1 m² e 60 cm de profundidade, a dois metros de distância da linha de plantio do eucalipto, em locais representativos do sub-bosque. Nos perfis destas trincheiras, foi realizada uma avaliação visual, observando-se a presença e densidade de raízes, tanto da gramínea como do eucalipto.

2.3.3. Biomassa e nutrientes na parte aérea do *E. urophylla*

Em maio de 1999, mediram-se a altura total e o diâmetro à altura do peito (DAP) de 30 árvores de eucalipto presentes na área experimental. De posse dessas medidas, e com uso das equações (Quadro 1) desenvolvidas por LADEIRA (1999), para o *E. urophylla*, estimou-se a biomassa dos componentes da parte aérea das árvores de eucalipto.

Quadro 1 - Equações utilizadas para estimar a biomassa dos componentes da parte aérea das árvores de *E. urophylla* (LADEIRA, 1999)

| Componente | Equação | R ² |
|------------|---|----------------|
| Madeira | $\text{Ln } Y = -4,2848 + 1,0054 * \text{Ln } (D^2H)$ | 0,924 |
| Casca | $\text{Ln } Y = -5,7651 + 0,9898 * \text{Ln } (D^2H)$ | 0,944 |
| Galhos | $\text{Ln } Y = -8,7294 + 4,0199 * \text{Ln } (D)$ | 0,916 |
| Folhas | $\text{Ln } Y = -9,5133 + 4,1365 * \text{Ln } (D)$ | 0,956 |

Y = matéria seca por árvore (kg).

D = diâmetro à altura do peito (cm).

H = altura total (m).

Para determinação do estoque de nutrientes na biomassa aérea das árvores de eucalipto, foram coletadas amostras das frações folha, galho, madeira e casca, em maio de 1999. As amostras das frações folha e galho foram obtidas de cinco árvores, escolhidas ao acaso, sendo retiradas quatro amostras da porção mediana de cada árvore (uma em cada ponto cardeal), totalizando 20 amostras simples de cada fração. As amostras das frações casca e madeira foram obtidas de dez árvores, retirando-se uma amostra

simples por árvore. As amostras da fração madeira foram obtidas com o auxílio de um perfurador de madeira. As amostras compostas de cada fração foram congeladas, para serem transportadas ao Laboratório de Nutrição Animal do DZO/UFV, onde foram analisadas quanto aos teores de N, P, K, Ca e Mg, de acordo com recomendações de SILVA (1990).

2.3.4. Ciclagem de nutrientes

Para avaliação da produção de *litter*, em janeiro de 1999, foram distribuídos cinco coletores de madeira (60 x 60 cm), com tela plástica no fundo, no sub-bosque do sistema. Foram realizadas duas coletas, com intervalo de 60 dias, sendo pesado todo o material acumulado nos coletores.

A determinação da quantidade de manta orgânica acumulada foi realizada em maio de 1999, utilizando-se um quadrado de madeira de 50 x 50 cm, lançado aleatoriamente por cinco vezes no sub-bosque do sistema, coletando-se o material orgânico existente sobre o solo.

As coletas, tanto de *litter* como da manta orgânica, foram realizadas na faixa de 2 a 5 m a partir da linha de plantio do eucalipto.

As amostras de *litter* e de manta orgânica foram pesadas, submetidas à secagem em estufa a 60°C, por 72 horas, e moídas em moinho tipo “Willey” com peneira de 1 mm. Foram, então, analisadas quanto aos teores de MS, N, P, K, Ca, Mg, lignina e celulose, de acordo com recomendações de SILVA (1990), e carbono orgânico, de acordo com metodologia apresentada por TEDESCO et al. (1985).

2.3.5. Luz no sub-bosque

A transmissão de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ao sub-bosque do sistema agrossilvipastoril foi determinada no dia 20 de maio de 1999, que se apresentava praticamente sem nebulosidade, entre 11 e 13 h. As medições da densidade do fluxo de fótons (DFF; $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) foram realizadas de metro em metro, ao longo de dez transectos de 10 m de comprimento, transversais às linhas de plantio do eucalipto. As leituras foram feitas utilizando-se um sensor linear LI-191SA (*line quantum sensor*), de um

metro de comprimento, acoplado a um medidor de luz LI-250, ambos da marca LI-COR. Cada leitura representou o valor médio da DFF, incidente no sensor, medida durante 15 segundos. Determinou-se também a DFF a pleno sol.

Na época desta avaliação (maio de 1999), foi verificado que o sol se encontrava inclinado para o norte. Para saber qual a época em que a altitude solar no local seria de 90°, quando haveria maior transmissão de luz solar direta ao sub-bosque, calculou-se a declinação solar (\ddot{a}) ao longo do ano de 1999, de acordo com a equação proposta por Cooper (1969), citado por VIANELLO e ALVES (1991):

$$\ddot{a} = 23,45 \times \text{sen} \{360/365 \times (284 + n)\}$$

em que \ddot{a} é a declinação solar e n , o número do dia do ano, variando de 1 a 365, para o período de 1^o de janeiro a 31 de dezembro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Condições edáficas

Procuraram-se caracterizar as propriedades físicas e químicas do solo do sistema agrossilvipastoril em estudo, 66 meses após sua implantação. Como não havia nenhuma área de cerrado nativo próxima ao local, nem resultados de análise de solo por ocasião da implantação do sistema, não foi possível avaliar as mudanças ocorridas nas propriedades físico-químicas do solo desde a sua implantação. Assim, a discussão das condições edáficas sob este sistema será feita dando ênfase aos fatores que podem afetar a produtividade do sistema, principalmente com relação à produção da gramínea.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho-Escuro (LE), com textura muito argilosa. A camada de 0 a 20 cm de profundidade é composta por 64% de argila, 19% de silte e 17% de areia, enquanto a camada de 20 a 40 cm contém 70% de argila, 12% de silte e 18% de areia.

A densidade das partículas foi ligeiramente superior na camada subsuperficial do solo (20 a 25 cm), provavelmente devido aos menores teores de matéria orgânica nesta camada, enquanto a densidade aparente foi maior na camada superficial (0 a 5 cm) (Quadro 2). Com isso, a porosidade total deste solo foi maior na camada inferior. A menor porosidade total na camada superficial deste solo, apesar do maior teor de MO, pode ser resultante de maior compactação provocada pelo pisoteio dos animais.

Quadro 2 - Valores de densidade aparente, densidade das partículas e porosidade total do solo sob o sistema agrossilvipastoril, 66 meses após sua implantação (média de cinco amostras \pm desvio-padrão)

| Profundidade (cm) | Densidade aparente | Densidade das partículas | Porosidade total |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------|
| | ----- (g/cm ³) ----- | | (%) |
| 0 a 5 | 1,10 \pm 0,07 | 2,71 \pm 0,05 | 59,3 \pm 2,9 |
| 20 a 25 | 1,04 \pm 0,08 | 2,75 \pm 0,05 | 62,2 \pm 2,8 |

O Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso, sobre o qual está implantado o sistema agrossilvipastoril, possui propriedades químicas (Quadro 3) típicas dos solos distróficos e álicos desta classe, que ocorrem na região dos Cerrados, conforme descrição feita por MACEDO (1996). Essas propriedades, caracterizadas por baixos teores de P e K disponíveis, baixos teores de bases trocáveis (Ca e Mg) e elevada saturação de alumínio, principalmente nas camadas subsuperficiais (>20 cm de profundidade), são desfavoráveis ao bom desenvolvimento das forrageiras mais exigentes em fertilidade do solo, como são, de modo geral, as gramíneas do gênero *Panicum*.

Os baixos teores de bases trocáveis e a elevada saturação de alumínio, verificados nas camadas inferiores deste solo, são particularmente importantes, pois podem restringir o crescimento do sistema radicular das gramíneas mais sensíveis, reduzindo sua capacidade de absorção de água e nutrientes, devido à redução do volume de solo explorado. Essa situação fica ainda mais grave, quando essas gramíneas estão sujeitas à competição por plantas que apresentam alta tolerância ao alumínio (NEVES, 1983) e são muito eficientes na absorção de nutrientes e água, como são, de modo geral, as espécies de *Eucalyptus* (GROVE et al., 1996). Além disso, vários trabalhos têm mostrado que gramíneas crescendo em ambiente sombreado apresentam maior relação biomassa aérea/biomassa subterrânea (LUDLOW et al., 1974; WONG e WILSON, 1980; e SAMARAKOON et al., 1990), resultante da menor

Quadro 3 - Propriedades químicas do solo sob o sistema agrossilvipastoril em estudo, 66 meses após a sua implantação

| Profundidade (cm) | pH H ₂ O | P (mg/dm ³) | K | Ca | Mg | Al | H + Al (cmol _c /dm ³) | SB | CTC (t) | CTC (T) |
|----------------------|------------------------|----------------------------|------|------|------|------|---|------|---------|---------|
| 0 – 10 | 5,2 | 1,94 | 34,0 | 1,21 | 1,08 | 0,57 | 7,16 | 2,40 | 2,97 | 9,56 |
| 10 – 20 | 5,0 | 0,34 | 25,7 | 0,40 | 0,39 | 1,04 | 6,74 | 0,85 | 1,89 | 7,59 |
| 20 – 40 | 4,9 | 0,19 | 21,5 | 0,12 | 0,13 | 1,10 | 6,11 | 0,31 | 1,42 | 6,42 |
| 40 – 60 | 5,1 | 0,10 | 20,0 | 0,05 | 0,06 | 1,00 | 5,54 | 0,16 | 1,16 | 5,71 |

| Profundidade (cm) | V ---- (%) ---- | m | C. org. ---- (dag/kg) ---- | N total | Relação C/N | N-NH ₄ ⁺ ---- (mg/kg) ---- | N-NO ₃ ⁻ |
|----------------------|--------------------|------|-------------------------------|---------|----------------|---|--------------------------------|
| 0 – 10 | 25,1 | 19,2 | 2,34 | 0,137 | 17,1 | 9,56 | 1,23 |
| 10 – 20 | 11,2 | 55,0 | 1,95 | 0,114 | 17,1 | 7,67 | 0,64 |
| 20 – 40 | 4,8 | 77,5 | 1,53 | 0,099 | 15,5 | 7,42 | 0,97 |
| 40 – 60 | 2,8 | 86,2 | 1,37 | 0,085 | 16,0 | - | - |

alocação de assimilados para o sistema radicular (HUMPHREYS, 1994), fato que pode agravar ainda mais a situação.

ALMEIDA e MONTEIRO (1998), avaliando a tolerância de 30 genótipos de *Panicum maximum* Jacq. ao alumínio, classificaram a cultivar Tanzânia-1 como sendo de tolerância intermediária em relação às cultivares Colômbio e Tobiata (mais sensíveis ao Al) e T-21 e Centenário (mais tolerantes ao Al).

Portanto, na implantação de sistemas agrossilvipastoris em áreas que apresentam subsolos com baixos teores de Ca e Mg trocáveis e elevada saturação de Al, situação comum na região dos Cerrados, devem ser consideradas duas opções para obtenção de boa produtividade forrageira: a) utilização de espécies adaptadas a esta condição, ou b) correção do solo com calagem/gessagem, para permitir a utilização de espécies mais exigentes.

De acordo com RESENDE et al. (1996), o armazenamento e a disponibilidade de água no solo variam com as suas características físico-hídricas. Nesse sentido, os latossolos muito argilosos, como o do presente estudo, normalmente apresentam alta retenção e baixa disponibilidade de água, comportando-se como solos arenosos (LOPES, 1984; LUCHIARI JR. et al., 1985). Assim, é de se esperar que, durante a estação seca, e também com a ocorrência de veranicos, comuns na região dos Cerrados, o crescimento do capim-tanzânia seja bastante reduzido, já que, além da baixa disponibilidade de água, há também o problema da acidez no subsolo e a competição pelas árvores de eucalipto.

A matéria orgânica (MO) do solo é considerada a principal responsável pela sustentabilidade dos agroecossistemas das regiões tropicais. Sua presença e atividade têm sido associadas com alterações nas propriedades físicas (porosidade, retenção de água e estabilidade estrutural), químicas (pH, CTC, teores de N, P, S e micronutrientes) e biológicas (biomassa microbiana, consumo de O₂) do solo (SILVA e RESCK, 1997).

O teor de carbono orgânico na camada superficial deste solo (2,34 dag/kg) é considerado bom pela classificação da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG (1999). Para as demais camadas avaliadas, os teores são médios e diminuem com o aumento da profundidade (Quadro 3). Os teores de nitrogênio total também diminuíram com a profundidade. Entretanto, a relação C/N foi maior na camada

superficial do solo (0 a 20 cm de profundidade), indicando que houve deposição de resíduos, com relação C/N mais elevada, nesta camada. SILVA e RESCK (1997) verificaram grande variabilidade na relação C/N da camada superficial dos solos de Cerrado, não havendo nenhum padrão estabelecido. O valor médio encontrado por esses autores situou-se em torno de 13.

As formas disponíveis mais importantes de nitrogênio no solo são os íons amônio e nitrato (RAIJ, 1991), que fazem parte do estoque de N inorgânico do solo. Os teores de nitrogênio inorgânico no solo deste sistema agrossilvipastoril, em maio de 1999, representaram de 0,73 a 0,85% do nitrogênio total do solo, de acordo com a profundidade (Quadro 3). Segundo RUSSELLE (1996), o N inorgânico normalmente representa de 0,01 a 1% do N total do solo. Embora os teores de N inorgânico estejam, aparentemente, dentro de padrões normais, não se podem fazer maiores inferências a respeito da disponibilidade deste nutriente ao longo do ano, devido ao caráter dinâmico do nitrogênio no solo e ao fato desta avaliação ter sido feita em uma única época.

O nitrogênio amoniacal representou a maior porção (88,4 a 92,3%) do estoque de nitrogênio inorgânico do solo (Quadro 3). De acordo com BINKLEY e VITOUSEK (1989), o predomínio de NH_4^+ pode indicar baixa taxa de nitrificação, alta taxa de absorção de nitrato pelas plantas, ou rápida denitrificação. É provável que a primeira opção seja a mais importante, neste caso, devido à ocorrência de condições desfavoráveis ao processo, como alta relação C/N (ATTIWILL et al., 1996), acidez elevada e baixo teor de umidade no solo (RAIJ, 1991), na época desta avaliação (maio). Outro fator que pode inibir a nitrificação é a possibilidade de ocorrência de efeitos alelopáticos do eucalipto sobre as bactérias do solo, fato constatado por DELA BRUNA (1985).

Os estoques de carbono e nitrogênio, na camada de 0 a 60 cm deste solo, considerando densidade média de $1,07 \text{ g/cm}^3$, foram estimados em 108,0 e 6,6 t/ha, respectivamente. Isto significa que este solo possui reserva substancial de MO. Entretanto, a metodologia adotada neste trabalho traz pouca informação a respeito da qualidade desta MO, fator importante para se conhecer a sua dinâmica.

3.2. Distribuição do sistema radicular

A avaliação do sistema radicular das plantas é um fator importante para a compreensão das relações solo-planta. Entretanto, são poucos os experimentos que realizam este tipo de avaliação, principalmente em condições de campo, devido às dificuldades metodológicas apresentadas. Em sistemas agrossilvipastoris, estas dificuldades são ainda maiores, em virtude da necessidade de separação das raízes dos diferentes componentes (árvores e forrageiras), principalmente em solos muito argilosos como o do presente estudo.

Neste estudo, foi feita apenas uma avaliação visual, observando-se a presença e densidade de raízes no perfil do solo. Verificou-se que a maior parte das raízes da gramínea estava concentrada nos primeiros 15 cm de solo, sendo constatada a sua presença, em pequena quantidade, até os 60 cm (maior profundidade investigada). Também foi constatada a existência de grande variabilidade quanto ao crescimento do sistema radicular da mesma. As touceiras com maior crescimento da parte aérea também apresentaram sistema radicular mais vigoroso.

Foi observado que as raízes de eucalipto, que apresentavam diâmetro variando de 1 a 5 mm, se distribuía mais uniformemente no perfil do solo que as raízes da gramínea. Para a faixa de dois a três metros distante das árvores de eucalipto, pode-se inferir que havia predominância de raízes do capim-tanzânia na camada superficial do solo, enquanto nas camadas inferiores, maior presença de raízes de eucalipto.

3.3. Biomassa e nutrientes na parte aérea do *E. urophylla*

As árvores de *Eucalyptus urophylla* apresentaram, em média, aos 66 meses de idade, as seguintes dimensões: altura total de 23,6 m e diâmetro à altura do peito (DAP) de 22,7 cm. O Quadro 4 apresenta os valores estimados para biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea destas árvores. A contribuição relativa dos diferentes componentes, para a biomassa total da parte aérea, decresceu da seguinte forma: madeira (61,5%) > galhos (15,9%) > casca (12,1) > folhas (10,5). A contribuição da copa (folhas + galhos) para a

biomassa aérea total destas árvores foi maior que a normalmente verificada em monoculturas desta espécie (LADEIRA, 1999) e se deve ao amplo espaçamento utilizado.

Quadro 4 - Biomassa e conteúdo de nutrientes nos componentes da parte aérea das árvores de *E. urophylla*, aos 66 meses de idade

| Componente | Biomassa | | N | P | K | Ca | Mg |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| | (kg/árvore) | (t/ha) | | | | | |
| Copa | 75,4 | 18,8 | 140,0 | 13,0 | 120,8 | 98,2 | 52,1 |
| Folhas | 29,9 | 7,5 | 107,7 | 7,5 | 75,4 | 70,8 | 35,0 |
| Galhos | 45,5 | 11,3 | 32,3 | 5,5 | 45,4 | 27,4 | 17,1 |
| Tronco | 210,7 | 52,7 | 67,6 | 7,8 | 96,9 | 98,6 | 26,0 |
| Casca | 34,6 | 8,7 | 22,7 | 1,6 | 25,2 | 43,6 | 20,3 |
| Madeira | 176,1 | 44,0 | 44,9 | 6,2 | 71,7 | 55,0 | 5,7 |
| Parte aérea | 286,1 | 71,5 | 207,6 | 20,8 | 217,7 | 196,8 | 78,1 |

LADEIRA (1999) verificou, para três espécies de *Eucalyptus*, que o aumento do espaçamento ocasionou maior produção de biomassa aérea por árvore, e menor por área. O incremento médio anual de biomassa do tronco, verificado por este autor para o *E. urophylla*, na região de Três Marias-MG, aos 84 meses de idade e no maior espaçamento testado (4 x 3 m), foi de 7,2 t/ha.ano, valor este inferior às 9,6 t/ha.ano, verificadas no presente trabalho. Considerando o espaçamento utilizado, pode-se dizer que este sistema agrossilvipastoril apresenta boa produtividade de madeira. Além disso, várias espécies e clones de *Eucalyptus*, utilizados pela CMM em seus sistemas agrossilvipastoris, têm apresentado maior produtividade que a espécie estudada neste trabalho.

Um aspecto importante para o entendimento da ciclagem de nutrientes em sistemas agrossilvipastoris é a quantificação dos nutrientes acumulados

pelas árvores. De acordo com GAMA-RODRIGUES (1997), o eucalipto possui elevada capacidade de conservação dos nutrientes imobilizados em sua biomassa, devido à sua eficiente ciclagem bioquímica. Também é importante o conhecimento da distribuição destes nutrientes nos diferentes componentes da biomassa dessas árvores, pois permite saber qual será a exportação de nutrientes, quando estas forem exploradas, ao final do ciclo. Neste trabalho, foram obtidas apenas estimativas com relação à parte aérea das árvores de *E. urophylla*. Apesar da baixa densidade de plantio (250 árvores/ha), em comparação a plantios convencionais, o conteúdo de nutrientes em sua parte aérea foi substancial, principalmente para K, N e Ca (Quadro 4). Verificou-se que a fração folha foi aquela que apresentou o maior conteúdo de nutrientes, apesar de ser o componente menos representativo da biomassa aérea das árvores. A casca foi o componente com menor conteúdo de nutrientes - exceto Ca e Mg, para os quais a contribuição deste componente para o total da parte aérea foi de 22,1 e 26,0%, respectivamente. A madeira foi o segundo componente que mais contribuiu para o estoque total de nutrientes acumulados na parte aérea das árvores - exceto para Mg, cuja contribuição foi pequena. Isso se deve à maior contribuição deste componente para a biomassa total da parte aérea das árvores (61,5%).

No sistema agrossilvipastoril estudado, a madeira produzida será explorada ao final do ciclo, previsto para o 11^o ano. Se a colheita das árvores fosse feita na ocasião deste estudo, quando estavam com 5,5 anos, estima-se que haveria exportação de 98,6 kg de Ca, 96,9 kg de K, 67,6 kg de N, 26,0 kg de Mg e 7,8 kg de P, considerando-se a remoção apenas do tronco das árvores. Portanto, pode-se prever que a exploração destas árvores, ao final do ciclo, ocasionará retirada substancial de nutrientes desta área. O conhecimento dessa exportação de nutrientes é importante para que se possa restitui-los, evitando o empobrecimento do ecossistema como um todo.

O Quadro 5 apresenta a composição mineral dos diferentes componentes da biomassa aérea das árvores de *E. urophylla*. Os valores obtidos para todos os componentes e nutrientes analisados estão dentro da faixa de variação normalmente verificada para várias espécies do gênero *Eucalyptus* (JUDD et al., 1996).

Quadro 5 - Composição mineral dos diferentes componentes da biomassa aérea das árvores de *E. urophylla*, aos 66 meses de idade

| Componente | N | P | K | Ca | Mg |
|------------|--------|------|-------|------|------|
| | (g/kg) | | | | |
| Folhas | 14,42 | 1,00 | 10,09 | 9,48 | 4,69 |
| Galhos | 2,84 | 0,48 | 3,99 | 2,41 | 1,50 |
| Casca | 2,62 | 0,19 | 2,91 | 5,04 | 2,35 |
| Madeira | 1,02 | 0,14 | 1,63 | 1,25 | 0,13 |

3.4. Ciclagem de nutrientes

Em ecossistemas florestais, o processo de ciclagem de nutrientes pode ser caracterizado, de acordo com SWITZER e NELSON (1972), pela ocorrência de três ciclos: a) **ciclo geoquímico**, que envolve os processos de entrada e saída de nutrientes no ecossistema; b) **ciclo biogeoquímico**, que consiste nos processos de transferência de nutrientes no sistema solo-planta; e c) **ciclo bioquímico**, que considera os processos de translocação de nutrientes dentro da planta. Conforme O'CONNELL e SANKARAN (1997), em florestas naturais e plantadas, a ciclagem biogeoquímica é dominada pela produção e decomposição do *litter*, sendo que tanto o *litter* produzido pela parte aérea quanto aquele originário do sistema radicular das árvores são importantes nesse processo. Esse também é considerado o principal processo pelo qual carbono e nutrientes são transferidos da vegetação para o solo, em sistemas agroflorestais (SZOTT et al., 1991). Em sistemas agrossilvipastoris, também devem ser consideradas as influências trazidas pela presença do componente animal.

A metodologia utilizada neste trabalho não permite análise mais aprofundada sobre toda a ciclagem de nutrientes deste ecossistema, mas traz informações sobre: a) conteúdo de nutrientes na manta orgânica; b) deposição de nutrientes no *litter* do eucalipto; c) composição química da manta orgânica e

do *litter* do eucalipto; e d) retranslocação de nutrientes antes da queda das folhas do eucalipto.

A manta orgânica, também conhecida por serapilheira ou liteira, é a camada de material orgânico existente sobre o solo, formada com a deposição de *litter* pelas plantas e, também, pelos restos de animais mortos. A quantidade de manta orgânica acumulada é determinada pelo balanço entre a taxa de deposição de resíduos e a taxa de decomposição desses resíduos.

Nesse sistema agrossilvipastoril, a quantidade de manta orgânica acumulada (MS) foi de, aproximadamente, 6,0 t/ha, enquanto a deposição anual de *litter* do eucalipto, estimada a partir de duas avaliações realizadas entre janeiro e maio de 1999 (120 dias), foi de, aproximadamente, 2,5 t/ha (Quadro 6). Essas quantidades são inferiores às normalmente encontradas em monoculturas de eucalipto, mas parecem condizentes com a densidade de plantio do eucalipto no sistema estudado. Vale lembrar que as amostragens, tanto para avaliação da manta orgânica quanto para a coleta de *litter*, foram realizadas na faixa de 2 a 5 m, a partir da linha de plantio do eucalipto, de modo que os valores obtidos devem estar ligeiramente subestimados em relação à área total do sub-bosque, já que é próximo à linha de plantio onde deve ocorrer a maior deposição de *litter*.

Quadro 6 - Quantidade de MS e de nutrientes contidos na manta orgânica e depositados anualmente pela queda de *litter* de *E. urophylla*

| Parâmetro | MS | N | P | K | Ca | Mg |
|-------------------------------|---------|------|------|-------------------|-------|------|
| | (kg/ha) | | | | | |
| Manta orgânica | | | | | | |
| acumulada | 6.052,7 | 40,8 | 2,30 | 8,2 | 101,7 | 20,9 |
| Deposição anual | | | | | | |
| de <i>litter</i> ¹ | 2.545,6 | 15,9 | 0,97 | 10,8 [#] | 44,9 | 9,5 |

¹ Valores estimados com base em duas coletas realizadas de janeiro a maio de 1999.

[#] Valor estimado com base no teor do *litter* coletado em maio de 1999.

Embora não tenha sido feita a separação das frações que constituíam a manta orgânica e o *litter*, foi observado que ambos eram compostos principalmente por folhas e galhos finos de eucalipto, sendo que a contribuição do *litter* do capim-tanzânia, na manta orgânica, foi muito pequena. Na manta, havia maior participação de componentes lenhosos que no *litter*, o qual era constituído basicamente por folhas de eucalipto.

A quantidade de nutrientes acumulados na manta orgânica apresentou a seguinte ordem decrescente: Ca > N > Mg > K > P (Quadro 6). Já para a quantidade de nutrientes depositados anualmente pela queda de *litter*, a ordem decrescente foi a seguinte: Ca > N > K > Mg > P.

O Quadro 7 mostra a composição química do *litter* do eucalipto e da manta orgânica deste sistema agrossilvipastoril. Com exceção do K, os teores dos demais nutrientes são praticamente iguais nos dois materiais. Os maiores teores de lignina e celulose na manta orgânica confirmam a natureza recalcitrante destes constituintes da parede celular.

A diferença mais marcante foi para o teor de K, confirmando sua rápida liberação. Foi verificado que o teor deste nutriente foi bem maior no *litter* coletado em maio (5,43 g/kg) do que naquele coletado em março (1,0 g/kg). É possível que este menor teor de K, no *litter* coletado em março, seja atribuído à maior lixiviação deste elemento durante o período em que permaneceu no coletor, em função da maior quantidade de chuva ocorrida durante o período desta coleta. Assim, pode-se considerar que o valor obtido na coleta de maio esteja mais próximo do teor de K no momento em que houve a deposição do *litter*, já que durante o período desta coleta praticamente não choveu na área.

Como o *litter* era composto essencialmente por folhas, foi possível calcular a retranslocação de nutrientes (ciclagem bioquímica) ocorrida antes da queda das folhas, pela comparação do teor de nutrientes no *litter* com o teor de nutrientes nas folhas verdes do *E. urophylla*. Os nutrientes P, N e K foram aqueles retranslocados em maior proporção (60,0; 56,2; e 46,2%, respectivamente), ao passo que para Mg a retranslocação foi menor (17,3%), e para o Ca não houve retranslocação, e sim acumulação do nutriente cujo teor no *litter* foi 84,6% superior aos das folhas verdes do *E. urophylla*. As diferenças entre os nutrientes refletem sua mobilidade na planta. Estes resultados estão

Quadro 7 - Composição química e índices de qualidade da manta orgânica e do *litter* de *E. urophylla*, em um sistema agrossilvipastoril

| Característica | Manta orgânica | <i>Litter</i> ¹ |
|-------------------|----------------|----------------------------|
| N (g/kg) | 6,76 | 6,31 |
| P (g/kg) | 0,38 | 0,40 |
| K (g/kg) | 1,36 | 5,43 [#] |
| Ca (g/kg) | 16,8 | 17,5 |
| Mg (g/kg) | 3,45 | 3,88 |
| Carbono (dag/kg) | 50,9 | 54,5 |
| Lignina (dag/kg) | 13,2 | 11,2 |
| Celulose (dag/kg) | 30,9 | 23,2 |
| Relações | | |
| C/N | 75,4 | 86,4 |
| C/P | 1.339,5 | 1.362,5 |
| Lignina/N | 19,5 | 17,7 |
| Celulose/N | 45,7 | 36,8 |

¹ Média de duas avaliações.

[#] Valor referente ao *litter* coletado em maio de 1999.

de acordo com os relatos existentes na literatura para o eucalipto (REIS e BARROS, 1990) confirmando sua elevada eficiência de utilização para os nutrientes móveis. A consequência dessa elevada eficiência de utilização de nutrientes é a produção de *litter* de baixa qualidade (O'CONNELL e SANKARAN, 1997).

A taxa de decomposição e o padrão de liberação de nutrientes dos resíduos orgânicos são determinados, em grande parte, pela sua composição química, ou qualidade (PALM, 1995). Segundo CONSTANTINIDES e FOWNES (1994), vários índices têm sido propostos para prever a capacidade de decomposição e liberação de nutrientes, principalmente de N, dos resíduos orgânicos. Entretanto, tem havido muita divergência entre os pesquisadores sobre quais os índices mais adequados para esta finalidade. De acordo com esses autores, isto se deve às diferenças entre espécies, ao tipo de material e às metodologias utilizadas nos diferentes estudos. WEDDERBURN e CARTER (1999) afirmaram que o teor de lignina e a relação lignina/N constituem-se em bons índices para prever as habilidades de diferentes espécies arbóreas na contribuição com nutrientes para as forrageiras associadas, em sistemas silvipastoris. No presente estudo, a qualidade do *litter* foi analisada com base nos seguintes índices: teores de N, P, lignina e celulose, e relações C/N, C/P, lignina/N e celulose/N.

De acordo com PALM (1995), se o teor de N do *litter* for menor que 1,74%, haverá imobilização líquida de N por um período relativamente longo. Em termos de relação C/N, BARGALI et al. (1993) verificaram que o valor crítico para haver mineralização líquida de N, no *litter* de *Eucalyptus tereticornis*, variou de 23,9 a 26,8. Para o fósforo, a concentração crítica é de 0,2%. Acima desta concentração, predomina a mineralização e, abaixo, a imobilização. Em termos de relação C/P, abaixo de 200, predomina a mineralização e acima de 300, a imobilização (DALAL, 1977). Para as concentrações de lignina e celulose, e também para suas relações com N, parece que ainda não existem níveis críticos estabelecidos, mas sabe-se que, quanto maiores forem estes valores, menor será a qualidade do resíduo. Assim, as elevadas relações C/N, C/P, lignina/N e celulose/N obtidas, aliadas aos baixos teores de nutrientes encontrados, tanto na manta orgânica quanto no *litter*, mostram que estes materiais possuem baixa qualidade (Quadro 7).

Conseqüentemente, pode-se esperar baixa taxa de decomposição da manta orgânica, além da possibilidade de ocorrer imobilização de N e P, nesse processo.

De acordo com REIS e BARROS (1990), o melhor método para se avaliar a taxa de decomposição é aquele em que uma amostra de *litter*, de peso e composição química conhecidos, é colocada no campo para decompor, por períodos de tempo definidos. PEREIRA (1990), avaliando a decomposição e a liberação de nutrientes do *litter* de *E. urophylla*, verificou que, após 24 meses, a perda de peso do *litter* tinha sido somente de 30%. A liberação de nutrientes ocorreu da seguinte maneira: K, 80%; Mg, 69%; Ca, 62%; P, 30%; e N, 21%. O potássio foi o nutriente liberado mais rapidamente, sendo que aos seis meses já havia ocorrido a liberação de, aproximadamente, 75% deste nutriente. Esses resultados mostram que a decomposição e a liberação de N e P do *litter* desta espécie são muito lentas, estando de acordo com sua baixa qualidade.

De acordo com VEIGA e SERRÃO (1994), uma das maiores expectativas dos sistemas agroflorestais é que o componente arbóreo seja eficiente na translocação de nutrientes das camadas mais profundas do solo à superfície, onde podem ficar disponíveis às plantas herbáceas de raízes superficiais. A pequena deposição anual de nutrientes no *litter* produzido pelo eucalipto, com exceção para Ca, aliada à baixa qualidade deste *litter*, indica que o eucalipto contribuiu pouco para a melhoria da fertilidade da camada superficial do solo deste sistema agrossilvipastoril. SZOTT et al. (1991) comentaram que, exceto para o nitrogênio fixado biologicamente, o potencial dos sistemas agroflorestais em aumentar o estoque de nutrientes, nos solos distróficos e álicos dos trópicos, parece limitado. Pode-se acrescentar que, quando a espécie arbórea utilizada possui elevada eficiência de utilização de nutrientes, como é o caso do eucalipto, a limitação será ainda maior.

De acordo com GROVE et al. (1996), o bom desenvolvimento apresentado pelas espécies de *Eucalyptus*, em locais com solos de baixa fertilidade, deve-se ao efeito combinado de vários mecanismos adaptativos, os quais aumentam sua capacidade de aquisição e conservação de nutrientes. Entre estes mecanismos, destacam-se: a) simbiose eficiente de suas raízes finas com fungos ectomicorrízicos, aumentando sua capacidade de absorção

de N e P; b) eficiente utilização de nutrientes dentro da planta, pela ciclagem bioquímica; e c) capacidade de reter os nutrientes na árvore.

Estas características tornam esta planta muito eficiente na competição por nutrientes com as forrageiras associadas. Além de adquirir e conservar os nutrientes eficientemente em sua biomassa, principalmente N e P, a pequena quantidade destes nutrientes devolvida ao solo estará indisponível por bom período, devido à baixa qualidade de seu *litter*. Assim, do ponto de vista ecológico, essas características são consideradas indesejáveis em uma espécie arbórea, para uso em sistemas agroflorestais. Entretanto, do ponto de vista econômico, o eucalipto talvez represente uma das principais opções de componente arbóreo para estes sistemas, devido à sua elevada produtividade de madeira.

3.5. Luz no sub-bosque

A determinação da transmissão de luz ao sub-bosque de um sistema agrossilvipastoril é de grande importância, por ser um fator que determina o potencial de produção das forrageiras que crescem nessas condições. Também é importante para que se possam entender as relações entre os componentes do sistema e intervir, por meio do manejo destes componentes, de modo a maximizar a produtividade do sistema como um todo.

A avaliação realizada no sistema agrossilvipastoril estudado mostrou que a densidade do fluxo de fótons (DFF), considerando a média de toda a área do sub-bosque, foi igual a $586 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$. Este valor correspondeu a 32,2% da DFF medida a pleno sol, no mesmo horário ($1.817 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$).

A Figura 3 mostra a variação espacial da transmissão de luz no sub-bosque do sistema estudado. Nesta avaliação, realizada em maio de 1999, a transmissão de luz variou de 16,3 a 43,0% da DFF medida a pleno sol, de acordo com a posição na entrelinha do eucalipto. Essa variação foi menor que a normalmente esperada, quando as linhas de plantio da espécie arbórea são orientadas no sentido leste-oeste, e o dossel formado ainda não está fechado – como era o caso do sistema em estudo. Nessas condições, esperar-se-iam menores níveis de transmissão de luz sob as linhas de plantio, aumentando gradualmente até atingir o valor máximo no centro da entrelinha.

As diferenças na altitude solar entre as estações do ano explicam a variação espacial da transmissão de luz ao sub-bosque do sistema agrossilvipastoril estudado. Aquele padrão de transmissão de luz “normalmente esperado”, com forma semelhante à da distribuição normal, só ocorre na época em que o sol se encontra perpendicular (90°) à superfície terrestre, no local avaliado. De acordo com ROSENBERG (1974), altitude solar de 90° somente ocorre quando a declinação solar se encontra em perfeita correspondência com a latitude do local. Portanto, aquele padrão de transmissão de luz somente ocorrerá neste sistema agrossilvipastoril, localizado na latitude $17^\circ 13'S$, na época em que a declinação solar estiver próxima a $17^\circ 13'S$. Este não era o caso na ocasião desta avaliação (20 de maio de 1999), quando a declinação solar era de $19^\circ 42'N$ (Quadro 8).

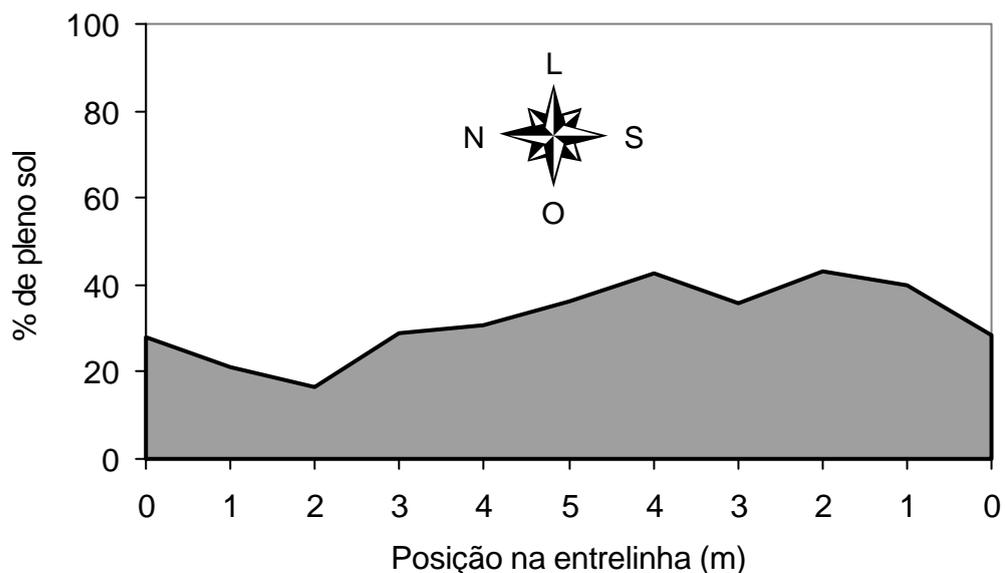


Figura 3 - Variação espacial da transmissão de luz no sub-bosque do sistema agrossilvipastoril, no dia 20 de maio de 1999, em horário próximo ao meio-dia.

A Figura 4 ilustra melhor esta situação. Na época desta avaliação, quando o sol se encontrava inclinado para o Norte (Figura 4a), grande parte da luz solar direta era interceptada pela copa das árvores de eucalipto, fazendo

com que a radiação transmitida se distribuisse mais uniformemente pelo sub-bosque. Esta situação seria bem diferente, se a avaliação tivesse sido realizada na época em que o sol estivesse perpendicular à superfície do local (Figura 4b), quando boa parte da luz solar atingiria diretamente o sub-bosque, principalmente em sua porção central.

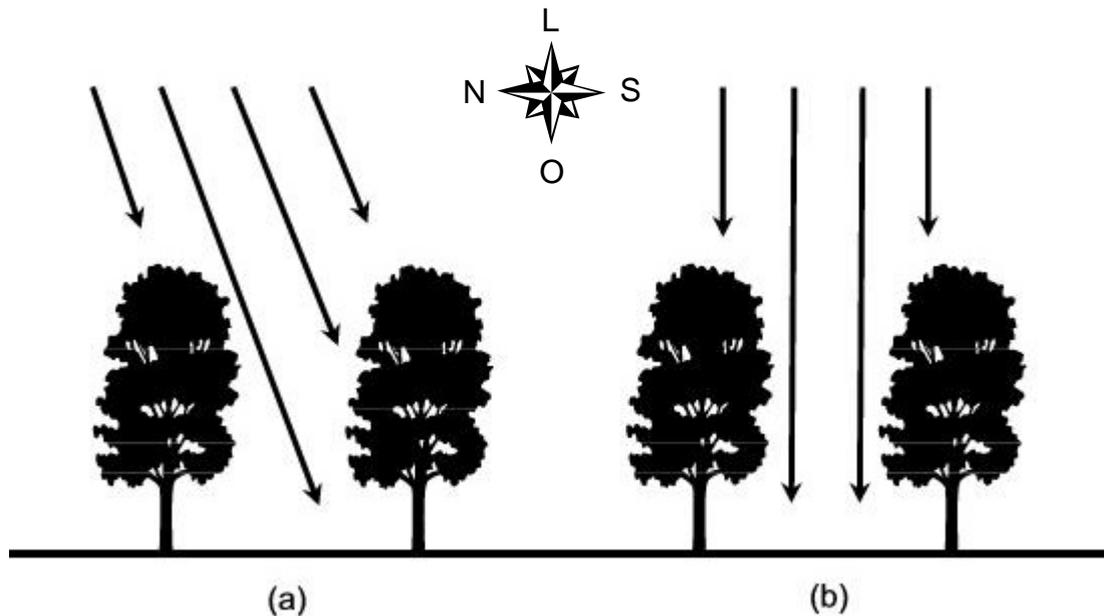


Figura 4 - Penetração da radiação solar direta em um sistema silvipastoril, com as árvores plantadas no sentido leste-oeste, de acordo com o ângulo de inclinação solar: (a) sol inclinado para o Norte e (b) altitude solar de 90°.

No Quadro 8, são apresentados os valores da declinação solar, ao longo do ano de 1999 (válidos para qualquer ano). É interessante notar que a época em que os valores da declinação solar estão mais próximos da latitude do local deste experimento ($17^{\circ}13'S$), quando ocorrerá maior transmissão de luz direta ao sub-bosque, coincide com o período de maior pluviosidade do local (novembro a fevereiro). Este fato demonstra que o arranjo das árvores de eucalipto, adotado neste sistema agrossilvipastoril, pode ser considerado adequado, pois permite associar maior disponibilidade de luz e água, fatores extremamente importantes para o crescimento das plantas forrageiras. Já para

a região Sul do Brasil, SILVA (1998) afirmou que a orientação das linhas de plantio das árvores no sentido norte-sul permite maior transmissão de luz para o sub-bosque, ao longo do ano.

Quadro 8 - Variação da declinação solar no decorrer do ano

| Data | Declinação solar¹ | Observação |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 23/12/1998 | 23°27'S | Solstício de verão |
| 02/02/1999 | 17°40'S | Declinação solar = latitude do local |
| 01/03/1999 | 08°17'S | |
| 23/03/1999 | 00°00' | Equinócio de outono |
| 20/04/1999 | 10°52'N | |
| 20/05/1999 | 19°42'N | Data da avaliação realizada |
| 23/06/1999 | 23°27'N | Solstício de inverno |
| 23/07/1999 | 20°14'N | |
| 23/08/1999 | 11°24'N | |
| 23/09/1999 | 00°00' | Equinócio de primavera |
| 23/10/1999 | 12°06'S | |
| 09/11/1999 | 17°22'S | Declinação solar = latitude do local |
| 23/12/1999 | 23°27'S | Solstício de verão |

¹ Calculada com base na equação proposta por Cooper, em 1969, e apresentada por VIANELLO e ALVES (1991).

Com base no que foi discutido anteriormente, pode-se afirmar que a transmissão de luz obtida nesta avaliação, equivalente a 32% da DFF medida a pleno sol, subestima a transmissão de luz ao sub-bosque deste sistema agrossilvipastoril durante o verão. É provável que, nesta época, a transmissão de luz estivesse próxima a 50%. Além disso, existem diferenças marcantes dentro do gênero *Eucalyptus* com relação à transmissão de luz por sua copa, pois algumas espécies possuem copas mais densas que outras (GARCIA e COUTO, 1997). Entre as várias espécies e clones de *Eucalyptus* utilizados na Fazenda Riacho, o *E. urophylla* está entre aqueles que apresentam copa mais

densa e, conseqüentemente, menor transmissão de luz ao sub-bosque. Esse foi um dos motivos que levaram à escolha desta espécie, para este estudo.

A transmissão de luz ao sub-bosque também depende da proporção de luz direta em relação à difusa. Assim, medições feitas em dias com céu claro subestimam a transmissão de luz ao sub-bosque em dias nublados, em que há maior relação luz difusa/luz direta; o motivo é que a luz difusa, por emanar de todo o céu, e não apenas de um único ponto (sol), tem melhor penetração no dossel que a luz direta. Isso é especialmente importante para as regiões tropicais mais úmidas, que apresentam alta incidência de dias nublados (WILSON e LUDLOW, 1991).

Outro fator importante, com relação à incidência de luz no sub-bosque deste sistema agrossilvipastoril, foi a grande variação verificada entre as leituras quanto à transmissão de luz. Como dito anteriormente, a transmissão de luz ao sub-bosque variou de 16,3 a 43,0% da DFF medida a pleno sol, de acordo com a posição na entrelinha do eucalipto. Estes valores representam a média de 10 leituras, em cada posição, e cada leitura representa a média da DFF incidente no sensor durante 15 segundos; vale lembrar que foi utilizado um sensor linear de um metro de comprimento, que integra a radiação incidindo ao longo de toda a sua extensão. Apesar de todos estes procedimentos, ocorreu grande variação entre as leituras, em todas as posições avaliadas, sendo registrados valores de transmissão de luz tão baixos quanto 6,5% e tão altos quanto 82,0% da DFF medida a pleno sol. Isto reflete a variação na distribuição dos *sunflecks* (flash de luz solar direta que atravessa o dossel) no sub-bosque, podendo ter conseqüências sobre a atividade fotossintética das forrageiras.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Realizou-se um estudo procurando caracterizar as condições edáficas, a distribuição das raízes da gramínea no perfil do solo, a produção de biomassa e a acumulação de nutrientes pelo eucalipto, a ciclagem de nutrientes e a transmissão de luz ao sub-bosque de um sistema agrossilvipastoril, implantado há cinco anos na Fazenda Riacho, localizada no município de Paracatu, MG.

Verificou-se que o Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso, sobre o qual está implantado o sistema agrossilvipastoril, possui propriedades químicas típicas dos solos distróficos e álicos desta classe, que ocorrem na região dos Cerrados. Essas características são desfavoráveis ao bom desenvolvimento das forrageiras mais exigentes em termos de fertilidade do solo, como são, de modo geral, as gramíneas do gênero *Panicum*.

A maior parte das raízes do capim-tanzânia estava concentrada nos primeiros 15 cm do solo, sendo constatada a sua presença, em pequena quantidade, até os 60 cm (maior profundidade investigada). Também foi observado que as raízes do eucalipto se distribuíram mais uniformemente no perfil do solo estudado.

Apesar da baixa densidade de plantio do eucalipto (250 árvores/ha), quando comparada a plantios convencionais, o sistema agrossilvipastoril apresentou boa produtividade de madeira, com incremento médio anual de biomassa do tronco igual a 9,6 t/ha.ano. As árvores de eucalipto acumularam

quantidades substanciais de nutrientes na biomassa aérea, principalmente potássio, nitrogênio e cálcio.

As quantidades de manta orgânica acumulada e de *litter* depositada anualmente pelas árvores de eucalipto foram inferiores às normalmente encontradas em plantações convencionais de eucalipto, porém condizentes com a densidade de plantio utilizada no sistema agrossilvipastoril estudado. A composição química e os índices de qualidade mostraram que tanto a manta orgânica quanto o *litter* produzido pelo eucalipto são materiais de baixa qualidade e devem apresentar baixa taxa de decomposição e de liberação de nutrientes, principalmente N e P, pouco contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo do sistema.

Constatou-se que a transmissão de luz ao sub-bosque do sistema, medida no dia 20 de maio de 1999, em horário próximo ao meio-dia, foi equivalente a 32,2% da DFF medida a pleno sol. Se esta avaliação tivesse sido realizada durante o verão, quando haveria menor interceptação de luz pela copa das árvores, devido à menor inclinação solar, é provável que a transmissão de luz ao sub-bosque deste sistema estivesse próxima a 50%.

CAPÍTULO 2

FATORES LIMITANTES AO CRESCIMENTO DO CAPIM-TANZÂNIA EM UM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM EUCALIPTO, NA REGIÃO DOS CERRADOS DE MINAS GERAIS

1. INTRODUÇÃO

Entre os aspectos relacionados à produção de forragem em sistemas silvipastoris, a tolerância das forrageiras ao sombreamento é o que tem recebido maior atenção por parte da pesquisa, pois acredita-se que a redução da disponibilidade de luz ao sub-bosque é a principal limitação à produção de forragem nestes sistemas.

No Brasil, já foram realizados vários estudos para avaliação da tolerância de forrageiras ao sombreamento, tanto sob sombreamento artificial (SCHREINER, 1987; CASTRO, 1996; e ANDRADE e VALENTIM, 1999), como sob sombreamento natural (CARVALHO et al., 1997, 1998; COSTA et al., 1998a, b). As gramíneas que têm apresentado os melhores resultados são o *Panicum maximum*, a *Brachiaria decumbens* e a *B. brizantha*.

Um requisito de grande importância, quando da elaboração de sistemas silvipastoris, é a escolha de espécies bem adaptadas ao ecossistema

da região onde será implantado. De acordo com STÜR (1991), espécies forrageiras bem sucedidas em sistemas silvipastoris devem ser adaptadas não apenas a baixos níveis de luz, mas também ao clima (chuva, temperatura e fotoperíodo), solo (pH, fertilidade, textura e drenagem) e ao manejo (regime de corte ou pastejo, fertilização). Isto é particularmente importante quando se trata do ecossistema de Cerrado, com suas características peculiares de solos pobres e ácidos e uma estação seca prolongada e bem definida.

A Companhia Mineira de Metais (CMM), por meio de sua Unidade Agroflorestal, vem realizando, desde 1993, algumas experiências com a utilização de sistemas agroflorestais, do tipo agrossilvipastoril rotativo, em suas fazendas localizadas no noroeste do Estado de Minas Gerais, região dos Cerrados. Uma das espécies utilizadas nas primeiras experiências foi o *Panicum maximum* cv. Tanzânia-1. De acordo com o relato dos técnicos da CMM, o capim-tanzânia apresentou boa produtividade nos primeiros dois anos após sua introdução no sistema agrossilvipastoril. Desde então, a sua produtividade diminuiu progressivamente, passando a apresentar baixa capacidade de recuperação após o pastejo, cobertura do solo deficiente e plantas pouco vigorosas, levando-os a crer que o principal fator responsável por isso seria a redução da transmissão de luz ao sub-bosque do sistema, em função do crescimento das árvores de eucalipto. Entretanto, existe também a possibilidade de outros fatores estarem envolvidos neste acontecimento, como deficiência nutricional e efeitos alelopáticos do eucalipto.

Com o objetivo de identificar os principais fatores limitando o crescimento do capim-tanzânia, foi conduzido um ensaio NPK em um dos sistemas agrossilvipastoris da CMM, em que a gramínea tinha sido implantada há quatro anos. A hipótese deste estudo baseou-se na “lei do mínimo”: caso o principal fator limitante ao crescimento da gramínea, neste sistema, fosse a baixa disponibilidade de luz ou efeitos alelopáticos do eucalipto, não haveria resposta da gramínea à fertilização NPK, ou essa resposta seria muito pequena.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A descrição da localização do experimento e da área experimental foi apresentada no Capítulo 1.

2.1. Implantação do experimento

O experimento foi implantado no dia 9 de janeiro de 1999, em uma área localizada 40 metros a partir da borda do sistema agrossilvipastoril. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos no esquema fatorial 2^3 , sendo constituídos por níveis de nitrogênio (0 e 100 kg/ha de N), fósforo (0 e 70 kg/ha de P_2O_5) e potássio (0 e 100 kg/ha de K_2O). As fontes de nitrogênio, fósforo e potássio foram, respectivamente, sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio.

As unidades experimentais foram constituídas por parcelas de 4,0 m², localizadas a 2,0 m da linha de eucalipto (Figura 1). A demarcação das parcelas no campo foi realizada procurando-se obter o máximo de uniformidade entre as mesmas, pois o sub-bosque apresentava-se irregular quanto à cobertura do solo. Também se procurou evitar locais com presença de cupinzeiros, relativamente abundantes na área. Somente após a demarcação das parcelas no campo é que se realizou o sorteio dos tratamentos nas parcelas, dentro de cada bloco.

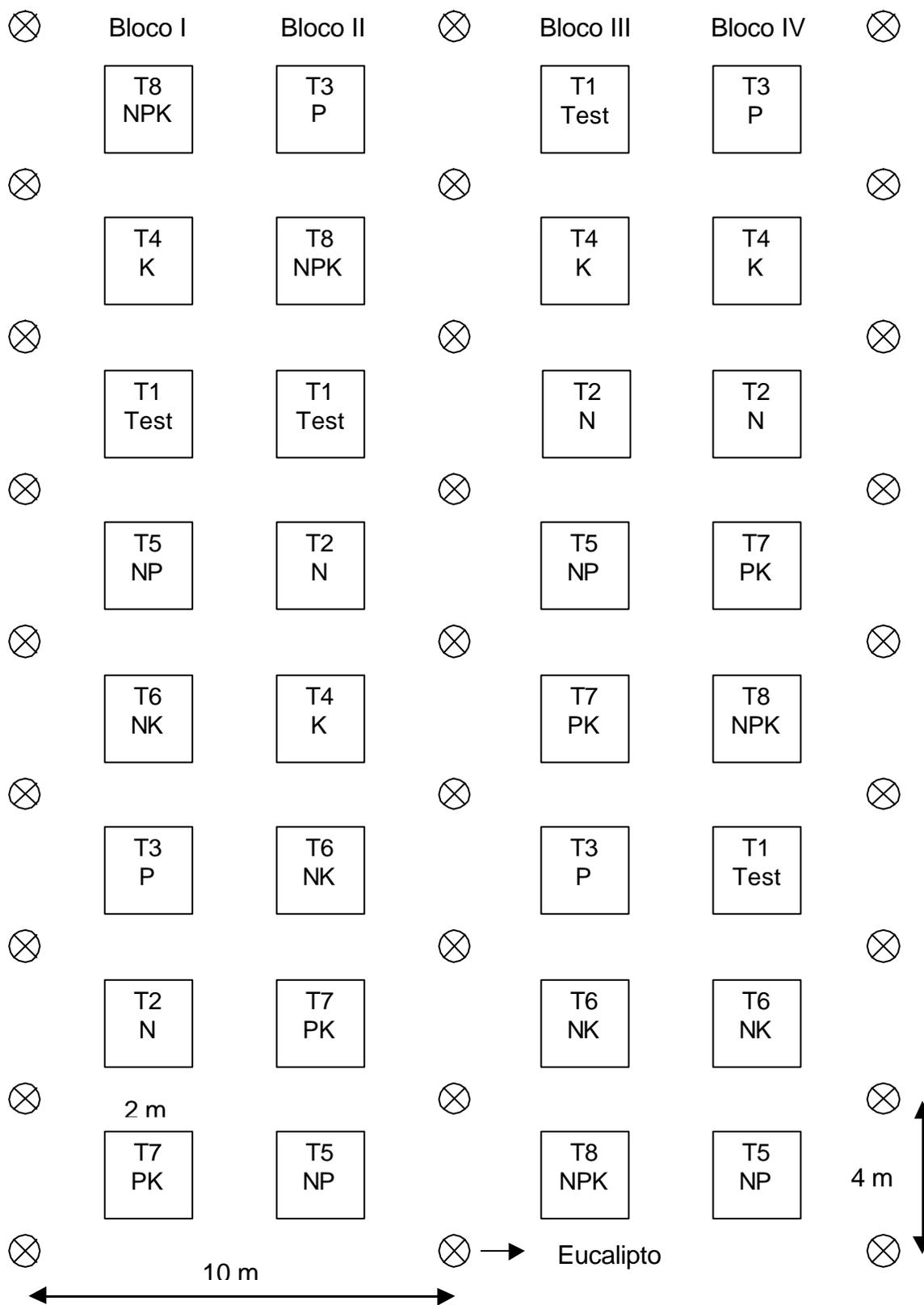


Figura 1 - Croqui do experimento no campo.

O sub-bosque de toda a área experimental foi rebaixado a 15 cm de altura, com a utilização de uma roçadeira costal motorizada. O material cortado foi retirado de dentro das parcelas, para facilitar a distribuição dos adubos e também para não interferir na rebrota da gramínea. Os adubos foram aplicados a lanço, logo após o rebaixamento do sub-bosque.

2.2. Avaliações

2.2.1. Escores

Logo após a demarcação das parcelas no campo, foi realizada uma avaliação visual de cada parcela, atribuindo-se escores com base na seguinte escala: **1** - péssimo; **2** - ruim; **3** - regular; **4** - bom; e **5** - excelente. O critério utilizado para a atribuição dos escores foi a situação da parcela quanto à cobertura do solo e ao vigor das plantas. Os resultados desta avaliação encontram-se no Quadro 1. Estes escores foram utilizados como covariável, de modo a aumentar o controle local e melhorar a precisão do experimento, devido à redução do erro experimental.

2.2.2. Taxa de acumulação de MS e composição química da forragem

Foram realizados dois cortes para avaliação da resposta da gramínea aos tratamentos aplicados. O primeiro corte foi realizado em 16 de março de 1999, 66 dias após a aplicação dos tratamentos, e o segundo em 15 de maio de 1999, 60 dias após o primeiro corte. Em cada avaliação, coletou-se a forragem contida em uma área de 1 m², no centro de cada parcela, a 15 cm de altura. O material coletado foi pesado e subamostras de, aproximadamente, 300 g, retiradas e congeladas para serem transportadas ao Laboratório de Nutrição Animal do DZO/UFV, onde foram colocadas para secar por 72 horas em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, moídas com peneira de 1 mm e submetidas às seguintes análises: MS, por secagem a 105°C; N, pelo método semi-micro Kjeldahl; e K (fotometria de chama), P (colorimetria), Ca e Mg (espectrofotometria de absorção atômica), após digestão nítrico-perclórica (SILVA, 1990).

Quadro 1 - Escores¹ atribuídos às parcelas experimentais no momento da implantação do experimento

| Tratamentos | Bloco I | Bloco II | Bloco III | Bloco IV | Média |
|-------------|---------|----------|-----------|----------|-------|
| N0 P0 K0 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,12 |
| N1 P0 K0 | 3,1 | 3,3 | 3,5 | 2,8 | 3,17 |
| N0 P1 K0 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 2,7 | 3,17 |
| N0 P0 K1 | 3,2 | 3,5 | 3,1 | 3,5 | 3,32 |
| N1 P1 K0 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,0 | 3,15 |
| N1 P0 K1 | 2,9 | 3,5 | 3,3 | 3,2 | 3,22 |
| N0 P1 K1 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,20 |
| N1 P1 K1 | 2,8 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,32 |
| Média | 3,09 | 3,29 | 3,34 | 3,14 | 3,21 |

¹ 1 – péssimo; 2 – ruim; 3 – regular; 4 – bom; e 5 – excelente.

2.3. Análise de solo

Ao término do período experimental, coletou-se uma amostra de solo na profundidade de 0 a 10 cm, em cada parcela experimental, de modo a se obter uma amostra composta para cada tratamento.

Cada amostra composta foi separada em duas subamostras: uma foi imediatamente congelada para posterior análise dos teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ , de acordo com metodologia descrita por TEDESCO et al. (1985), e a outra foi colocada à sombra para secar e passada em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Nesta, foram determinados os teores de P e K disponíveis, obtidos pelo extrator Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

O teor de água no solo foi determinado em maio de 1999, de acordo com metodologia descrita pela EMBRAPA (1979), em amostras de solo coletadas nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm.

2.4. Tratamento estatístico dos dados

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente de duas formas: a) aqueles referentes a valores quantitativos (taxa de acumulação de MS e conteúdo de nutrientes), para os quais o efeito da covariável escore foi significativo ($P < 0,05$), foram submetidos à análise de covariância; b) os dados qualitativos (teor de nutrientes), e também aqueles quantitativos para os quais o efeito da covariável escore não foi significativo ($P > 0,05$), foram submetidos à análise de variância. As análises de variância e covariância foram realizadas utilizando-se o procedimento GLM do SAS (LITTELL et al., 1991). As médias dos dados analisados por covariância foram ajustadas utilizando-se o comando *lsmeans*, também do procedimento GLM do SAS. Como todos os tratamentos possuíam apenas um grau de liberdade, as médias foram comparadas pelo teste F.

A análise de covariância obedeceu ao seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = m + b_i + N_j + P_k + K_l + (NP)_{jk} + (NK)_{jl} + (PK)_{kl} + (NPK)_{jkl} + \hat{a}(\text{esc}_{ijkl} - \overline{\text{esc}}) + e_{ijkl}$$

Já a análise de variância obedeceu ao seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = m + b_i + N_j + P_k + K_l + (NP)_{jk} + (NK)_{jl} + (PK)_{kl} + (NPK)_{jkl} + e_{ijkl}$$

em que

Y_{ijkl} = valor observado na parcela do bloco i que recebeu o tratamento composto pelo nível j do fator N, pelo nível k do fator P e pelo nível l do fator K;

m = média geral;

b_i = efeito do bloco i;

N_j = efeito do nível j do fator N;

P_k = efeito do nível k do fator P;

K_l = efeito do nível l do fator K;

$(NP)_{jk}$ = efeito da interação do nível j do fator N com o nível k do fator P;

$(NK)_{jl}$ = efeito da interação do nível j do fator N com o nível l do fator K;

$(PK)_{kl}$ = efeito da interação do nível k do fator P com o nível l do fator K;

$(NPK)_{jkl}$ = efeito da interação entre os níveis j k l dos fatores N P K;

\hat{a} = coeficiente de regressão linear;

esc_{ijkl} = valor observado da covariável score na parcela do bloco i que recebeu o tratamento composto pelo nível j do fator N , pelo nível k do fator P e pelo nível l do fator K ;

\bar{esc} = média geral da covariável score; e

e_{ijkl} = efeito dos fatores não controlados (aleatórios).

3. RESULTADOS

3.1. Precipitação pluviométrica e teor de água no solo

Na Figura 2, estão registradas todas as precipitações pluviométricas ocorridas no local, durante o período experimental. Observa-se que a distribuição das chuvas no período foi muito irregular. Durante o primeiro período de crescimento (9 de janeiro a 16 de março de 1999), a precipitação acumulada foi de 442 mm, sendo que a maior parte (350 mm) ocorreu nos últimos 25 dias do período. Já no segundo período de crescimento (16 de março a 15 de maio de 1999), a precipitação acumulada foi de apenas 103 mm, dos quais 90 mm ocorreram nos primeiros dois dias.

A avaliação dos teores de água no solo, realizada no dia 15 de maio de 1999, aproximadamente 60 dias após o encerramento do período chuvoso, mostrou que a camada superficial foi a que apresentou menor umidade, havendo aumento gradual dos teores de água até a maior profundidade avaliada (Figura 3).

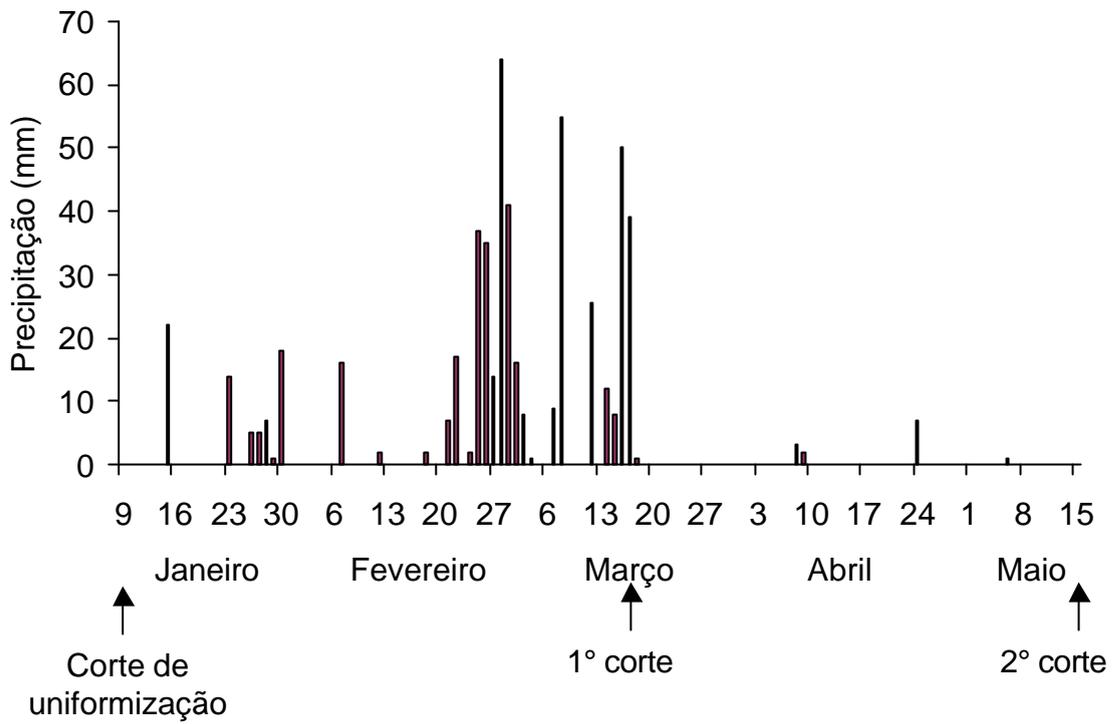


Figura 2 - Precipitações pluviométricas registradas durante o período experimental.

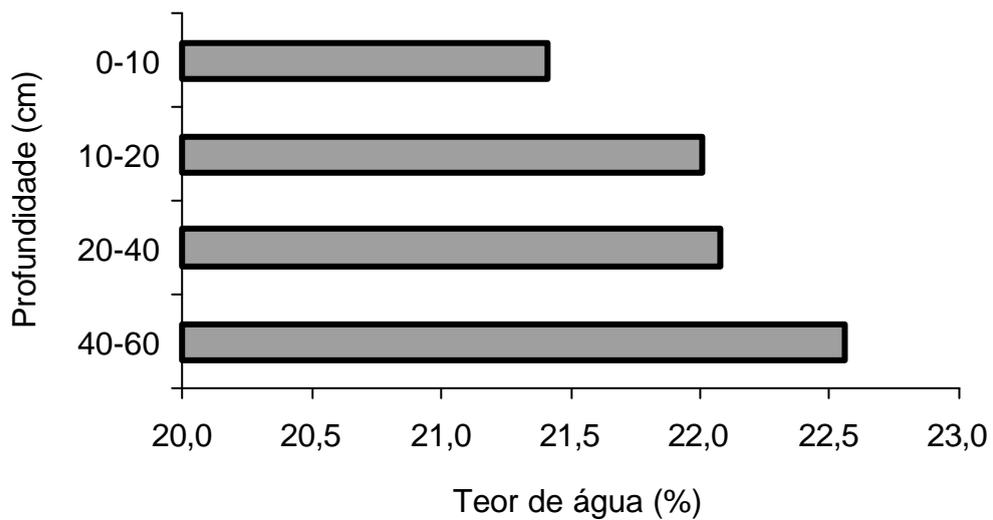


Figura 3 - Teor de água no solo do sistema agrossilvipastoril, em maio de 1999.

3.2. Taxa de acumulação de MS do capim-tanzânia

A taxa de acumulação de MS do capim-tanzânia, no primeiro corte, foi influenciada apenas pelo nitrogênio ($P < 0,001$), enquanto, no segundo corte, houve efeito tanto do nitrogênio ($P < 0,01$) quanto do potássio ($P < 0,05$) (Quadro 2).

No primeiro corte, a resposta da gramínea à aplicação de 100 kg/ha de N foi expressiva, havendo incremento de 84% na taxa de acumulação de MS, em relação aos tratamentos não-adubados com N (Quadro 2). No segundo corte, a resposta ao nitrogênio foi menos acentuada, havendo incremento de apenas 20%. O potássio proporcionou aumento de 12% na taxa de acumulação de MS do pasto, nesse período.

De modo geral, as taxas de acumulação de MS obtidas no segundo corte foram bem inferiores às do primeiro (Quadro 2). Isto ocorreu porque as chuvas praticamente cessaram após o primeiro corte (Figura 2).

3.3. Composição química da forragem

3.3.1. Teor de N

A análise de variância da adubação NPK para o teor de N na forragem do capim-tanzânia revelou que, no primeiro corte, houve efeito tanto da adubação nitrogenada ($P < 0,01$) como da fosfatada e da potássica ($P < 0,05$). Já no segundo corte, não houve efeito ($P > 0,05$) de nenhum dos fertilizantes aplicados, nem interação entre eles (Quadro 3).

Os resultados do primeiro corte mostraram que a forragem do capim-tanzânia adubado com nitrogênio apresentou maior teor de N, em relação às plantas não-adubadas. O inverso ocorreu com a aplicação tanto de P quanto de K, que resultaram em ligeira diminuição dos teores de N na forragem do capim-tanzânia (Quadro 3).

Quadro 2 - Efeito da adubação NPK sobre a taxa de acumulação de MS do capim-tanzânia, em um sistema agrossilvipastoril

| Adubação | Taxa de acumulação de MS (kg/ha.dia) | | | | | |
|----------|--------------------------------------|-------|-------|----------|------|------|
| | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N *** | P ns | K ns | N ** | P ns | K * |
| Com | 25,83 | 19,90 | 20,52 | 6,95 | 6,18 | 6,82 |
| Sem | 14,02 | 19,95 | 19,33 | 5,78 | 6,55 | 5,91 |

ns, *, **, *** - não-significativo, ($P < 0,05$), ($P < 0,01$) e ($P < 0,001$), pelo teste F, respectivamente.

3.3.2. Teor de P

O resultado da análise de variância para teor de P evidenciou que, no primeiro corte, houve efeito do nitrogênio, do fósforo ($P < 0,001$) e, também, do potássio ($P < 0,05$). Já no segundo corte, apenas o nitrogênio ($P < 0,01$) e o fósforo ($P < 0,001$) afetaram o teor de P na forragem do capim-tanzânia (Quadro 3).

A aplicação de nitrogênio resultou em redução do teor de P na forragem da gramínea, nos dois cortes, devido ao efeito de diluição. A adubação potássica também resultou em diminuição do teor de P, embora em menor intensidade que a adubação nitrogenada. Já a aplicação de adubo fosfatado elevou em, aproximadamente, 20% o teor de P na forragem do capim-tanzânia, em ambos os cortes (Quadro 3).

3.3.3. Teor de K

A análise de variância da adubação NPK, para o teor de K na forragem do capim-tanzânia, revelou que, no primeiro corte, houve interação N x K ($P < 0,001$), não se constatando efeito da adubação fosfatada ($P > 0,05$), ao passo que no segundo corte houve efeito da adubação nitrogenada ($P < 0,01$) e da potássica ($P < 0,001$) (Quadro 3).

Quadro 3 - Efeito da adubação NPK sobre o teor de nutrientes na forragem do capim-tanzânia, em um sistema agrossilvipastoril

| Teor de N (g/kg) | | | | | | |
|-------------------------|-------------|------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N ** | P * | K * | N ^{ns} | P ^{ns} | K ^{ns} |
| Com | 13,33 | 12,51 | 12,48 | 13,4 | 14,1 | 13,9 |
| Sem | 12,31 | 13,13 | 13,16 | 14,1 | 13,4 | 13,6 |

| Teor de P (g/kg) | | | | | | |
|-------------------------|--------------|--------------|------------|-------------|--------------|------------------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N *** | P *** | K * | N ** | P *** | K ^{ns} |
| Com | 1,44 | 1,86 | 1,65 | 1,74 | 2,01 | 1,81 |
| Sem | 1,95 | 1,54 | 1,75 | 1,92 | 1,65 | 1,85 |

| Teor de K (g/kg) | | | | | | |
|-------------------------|------------|------------------------|------------|-------------|------------------------|--------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N # | P ^{ns} | K # | N ** | P ^{ns} | K *** |
| Com | - | 21,6 | - | 21,3 | 22,7 | 25,3 |
| Sem | - | 21,7 | - | 23,5 | 22,1 | 19,5 |

| Teor de Ca (g/kg) | | | | | | |
|--------------------------|------------------------|-------------|--------------|------------------------|------------|------------------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N ^{ns} | P ** | K *** | N ^{ns} | P * | K ^{ns} |
| Com | 4,21 | 4,74 | 3,99 | 5,17 | 5,33 | 4,97 |
| Sem | 4,57 | 4,05 | 4,80 | 5,01 | 4,86 | 5,22 |

| Teor de Mg (g/kg) | | | | | | |
|--------------------------|------------|------------------------|------------|-------------|------------------------|--------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N # | P ^{ns} | K # | N ** | P ^{ns} | K *** |
| Com | - | 5,65 | - | 7,63 | 7,43 | 6,61 |
| Sem | - | 5,83 | - | 7,11 | 7,31 | 8,14 |

Houve interação significativa (P<0,05).

ns, *, **, *** - não-significativo, (P<0,05), (P<0,01) e (P<0,001), pelo teste F, respectivamente.

O desdobramento da interação N x K, ocorrida no primeiro corte, revelou as seguintes informações: a) a aplicação de nitrogênio reduziu o teor de K na forragem ($P < 0,001$), quando não se aplicou potássio, devido ao efeito de diluição, todavia, quando se aplicou N e K simultaneamente, houve ligeiro aumento no teor de K ($P = 0,0621$) (Figura 4a); b) a aplicação de potássio elevou os teores de K na forragem ($P < 0,01$), independentemente da adubação nitrogenada (Figura 4b).

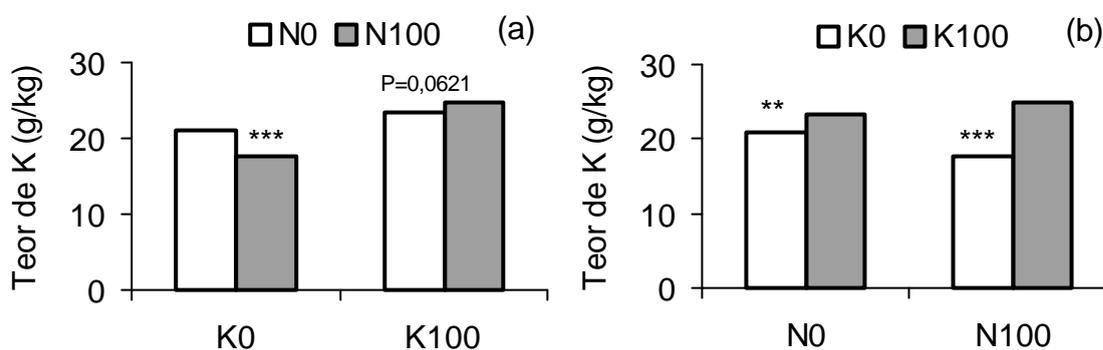


Figura 4 - Desdobramento da interação N x K sobre o teor de K na forragem do capim-tanzânia, no 1º corte – (a) efeito do nitrogênio com ou sem potássio; (b) efeito do potássio com ou sem nitrogênio.

No segundo corte, as parcelas que receberam adubo nitrogenado tiveram menor teor de K na forragem, ao passo que as que receberam potássio apresentaram maior teor de K na forragem, quando comparadas às não-adubadas (Quadro 3).

3.3.4. Teor de Ca

A análise de variância revelou que, no primeiro corte, houve efeito tanto do fósforo ($P < 0,01$) quanto do potássio ($P < 0,001$) sobre o teor de Ca na forragem da gramínea. No segundo corte, apenas a adubação fosfatada continuou afetando ($P < 0,05$) o teor de Ca (Quadro 3).

A adubação fosfatada elevou o teor de Ca na forragem do capim-tanzânia, nos dois cortes (Quadro 3). Isto ocorre porque o superfosfato simples,

além de ser fonte de fósforo e enxofre, apresenta em sua formulação, aproximadamente, 18% de cálcio. Já a aplicação de potássio teve efeito negativo sobre o teor de Ca na forragem, principalmente no primeiro corte.

3.3.5. Teor de Mg

O resultado da análise de variância, para efeito da adubação NPK sobre o teor de Mg na forragem do capim-tanzânia, revelou que houve interação N x K ($P < 0,01$) no primeiro corte, enquanto, no segundo corte, o teor de Mg foi afetado tanto pela adubação nitrogenada ($P < 0,01$), quanto pela potássica ($P < 0,001$), não existindo interação significativa entre os nutrientes aplicados (Quadro 3).

O desdobramento da interação N x K, ocorrida no primeiro corte, mostrou que a adubação nitrogenada só afetou o teor de Mg ($P < 0,01$), quando aplicada em conjunto com a potássica (Figura 5a), resultando, neste caso, em redução do teor de Mg na forragem da gramínea. Já a adubação potássica teve efeito negativo ($P < 0,001$) sobre o teor de Mg, independentemente da aplicação de nitrogênio (Figura 5b).

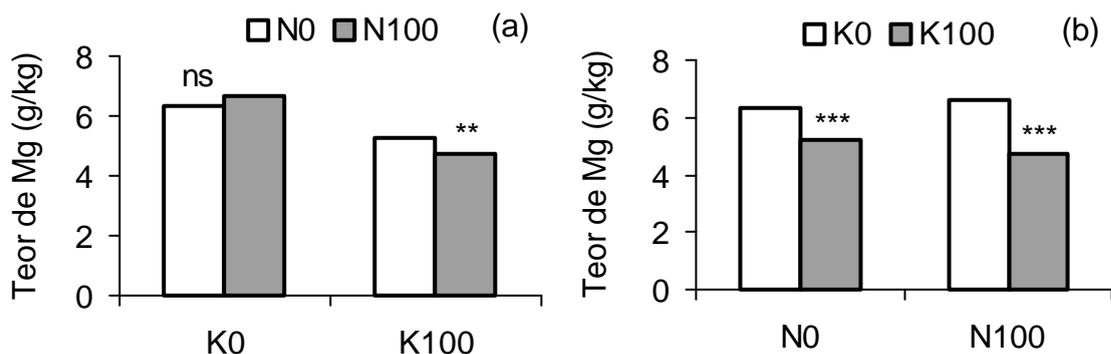


Figura 5 - Desdobramento da interação N x K sobre o teor de Mg na forragem do capim-tanzânia, no 1º corte – (a) efeito do nitrogênio com ou sem potássio; (b) efeito do potássio com ou sem nitrogênio.

No segundo corte, a adubação nitrogenada causou elevação do teor de Mg, ao passo que a aplicação de potássio reduziu o teor de Mg na forragem do capim-tanzânia, da mesma forma que no primeiro corte (Quadro 3).

3.4. Conteúdo de nutrientes na forragem do capim-tanzânia

3.4.1. Conteúdo de N

O efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de N na forragem do capim-tanzânia seguiu a mesma tendência verificada para a taxa de acumulação de MS. No primeiro corte, apenas a adubação nitrogenada teve efeito ($P < 0,001$) sobre o conteúdo de N, enquanto, no segundo corte, houve efeito ($P < 0,05$) tanto da adubação nitrogenada quanto da potássica (Quadro 4).

A aplicação de 100 kg/ha de N proporcionou incremento de 100% no conteúdo de N na forragem da gramínea, no primeiro corte, diminuindo para apenas 14% no segundo corte (Quadro 4). A aplicação de potássio também causou, no segundo corte, incremento de 14% no conteúdo de N na forragem do capim-tanzânia.

3.4.2. Conteúdo de P

No primeiro corte, o conteúdo de P na forragem da gramínea foi influenciado pela adubação nitrogenada ($P < 0,001$) e fosfatada ($P < 0,05$), não havendo efeito ($P > 0,05$) da aplicação de potássio. Já no segundo corte, houve efeito da adubação fosfatada ($P < 0,05$) e potássica ($P = 0,0614$), não havendo resposta significativa ao nitrogênio (Quadro 4).

É interessante notar que, no primeiro corte, o efeito da adubação nitrogenada sobre o conteúdo de P na forragem do capim-tanzânia foi superior ao da adubação fosfatada (70 kg/ha de P_2O_5). O incremento médio no conteúdo de P, em função da aplicação de nitrogênio, foi de 36%, contra incremento de 23% proporcionado pela adubação fosfatada.

Quadro 4 - Efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de nutrientes na forragem do capim-tanzânia, em um sistema agrossilvipastoril

| Conteúdo de N (kg/ha) | | | | | | |
|------------------------------|--------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------|------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N *** | P ^{ns} | K ^{ns} | N * | P ^{ns} | K * |
| Com | 22,6 | 16,5 | 16,9 | 5,58 | 5,23 | 5,59 |
| Sem | 11,4 | 17,5 | 17,1 | 4,89 | 5,24 | 4,88 |

| Conteúdo de P (kg/ha) | | | | | | |
|------------------------------|--------------|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N *** | P * | K ^{ns} | N ^{ns} | P * | K ^{P=0,0614} |
| Com | 2,45 | 2,35 | 2,13 | 0,721 | 0,743 | 0,735 |
| Sem | 1,80 | 1,91 | 2,12 | 0,663 | 0,642 | 0,643 |

| Conteúdo de K (kg/ha) | | | | | | |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------------------|------------------------|--------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N # | P # | K # | N ^{ns} | P ^{ns} | K *** |
| Com | - | - | - | 8,90 | 8,48 | 10,21 |
| Sem | - | - | - | 8,27 | 8,69 | 6,96 |

| Conteúdo de Ca (kg/ha) | | | | | | |
|-------------------------------|------------|------------------------|------------|-------------|------------------------|------------------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N # | P ^{ns} | K # | N ** | P ^{ns} | K ^{ns} |
| Com | - | 6,25 | - | 2,17 | 1,99 | 2,00 |
| Sem | - | 5,20 | - | 1,73 | 1,91 | 1,90 |

| Conteúdo de Mg (kg/ha) | | | | | | |
|-------------------------------|------------|------------------------|------------|--------------|------------------------|------------------------------|
| Adubação | 1º corte | | | 2º corte | | |
| | N # | P ^{ns} | K # | N *** | P ^{ns} | K ^{P=0,0574} |
| Com | - | 7,41 | - | 3,19 | 2,78 | 2,67 |
| Sem | - | 7,53 | - | 2,45 | 2,85 | 2,96 |

Houve interação significativa (P<0,05).

ns, *, **, *** - não-significativo, (P<0,05), (P<0,01) e (P<0,001), pelo teste F, respectivamente.

3.4.3. Conteúdo de K

Verificou-se interação N x P x K ($P < 0,05$) para o conteúdo de K na forragem, no primeiro corte, enquanto, no segundo corte, houve efeito ($P < 0,001$) apenas para a adubação potássica, não havendo qualquer tipo de interação entre os nutrientes aplicados (Quadro 4).

O desdobramento da interação entre os nutrientes, ocorrida no primeiro corte, revelou as seguintes informações: a) a adubação nitrogenada aumentou o conteúdo de K, sendo o efeito mais pronunciado quando aplicada em conjunto com a potássica ($P < 0,001$) (Figura 6a); b) a aplicação de fósforo só teve efeito sobre o conteúdo de K quando combinada com nitrogênio e potássio ($P = 0,01$), resultando em diminuição no conteúdo daquele nutriente (Figura 6b); e c) a adubação potássica só influenciou o conteúdo de K quando aplicada junto com a nitrogenada ($P < 0,001$), proporcionando, neste caso, incremento de 75% no conteúdo do referido nutriente (Figura 6c).

No segundo corte, a aplicação de 100 kg/ha de K_2O causou incremento de 47% no conteúdo de K, na forragem do capim-tanzânia (Quadro 4).

3.4.4. Conteúdo de Ca e Mg

A adubação NPK influenciou de forma semelhante o conteúdo de Ca e de Mg na forragem do capim-tanzânia. No primeiro corte, houve interação N x K tanto para Ca ($P = 0,0526$) quanto para Mg ($P < 0,05$), sendo que a aplicação de fósforo não teve efeito ($P > 0,05$) sobre o conteúdo de nenhum destes nutrientes. No segundo corte, o conteúdo de Ca foi influenciado apenas pelo nitrogênio ($P < 0,01$), enquanto, para o conteúdo de Mg, houve efeito tanto do nitrogênio ($P < 0,001$) quanto do potássio ($P = 0,0574$) (Quadro 4).

O desdobramento das interações N x K, ocorridas no primeiro corte, revelou que o nitrogênio proporcionou aumento significativo nos conteúdos de Ca (Figura 7a) e Mg (Figura 7c), sendo o efeito mais acentuado na ausência de potássio. Já o efeito da aplicação de potássio só foi significativo quando associado ao nitrogênio, tanto para o conteúdo de Ca (Figura 7b) como para o de Mg (Figura 7d), resultando em diminuição no conteúdo destes nutrientes na forragem do capim-tanzânia.

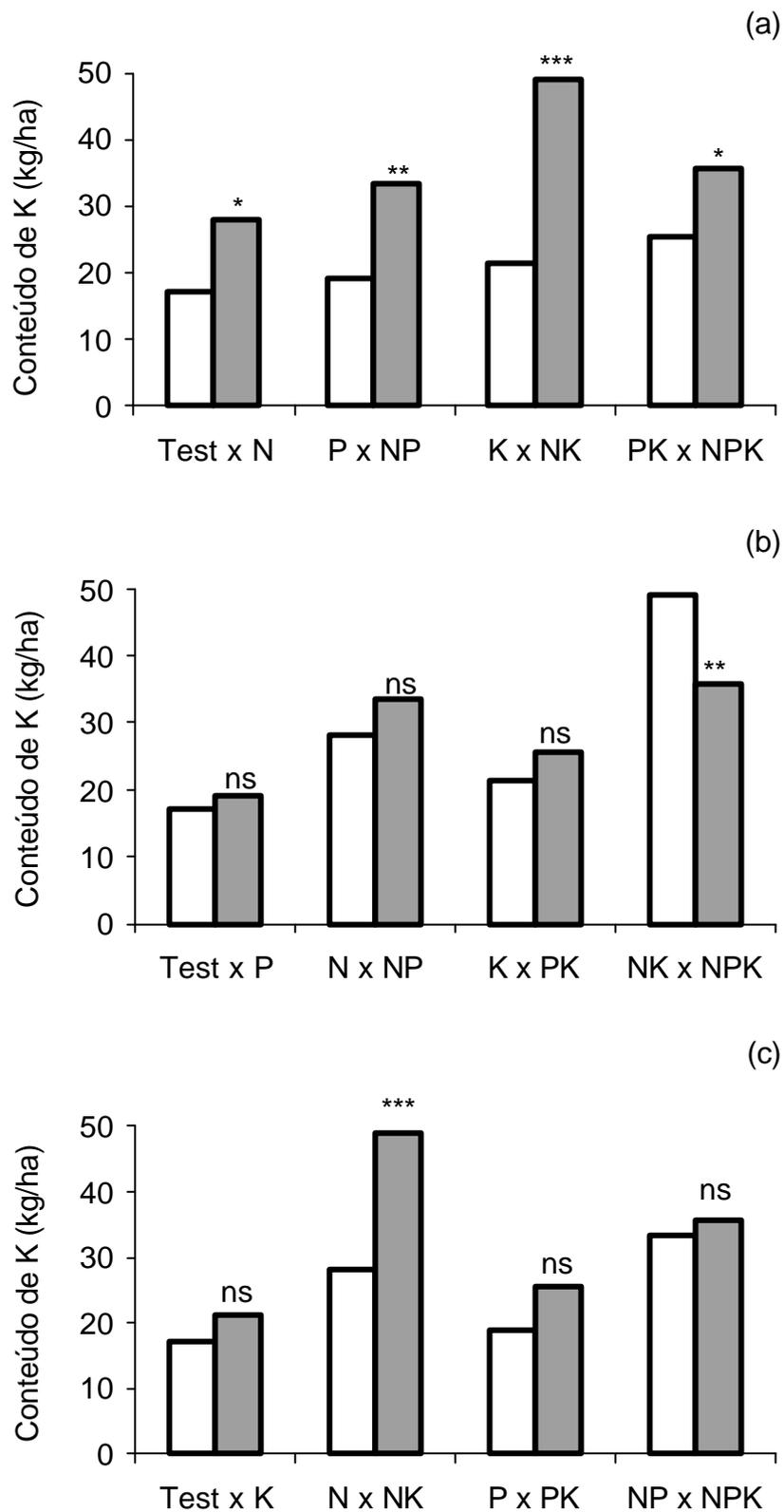


Figura 6 - Desdobramento da interação N x P x K sobre o conteúdo de potássio na forragem do capim-tanzânia – (a) efeito do nitrogênio; (b) efeito do fósforo; e (c) efeito do potássio.

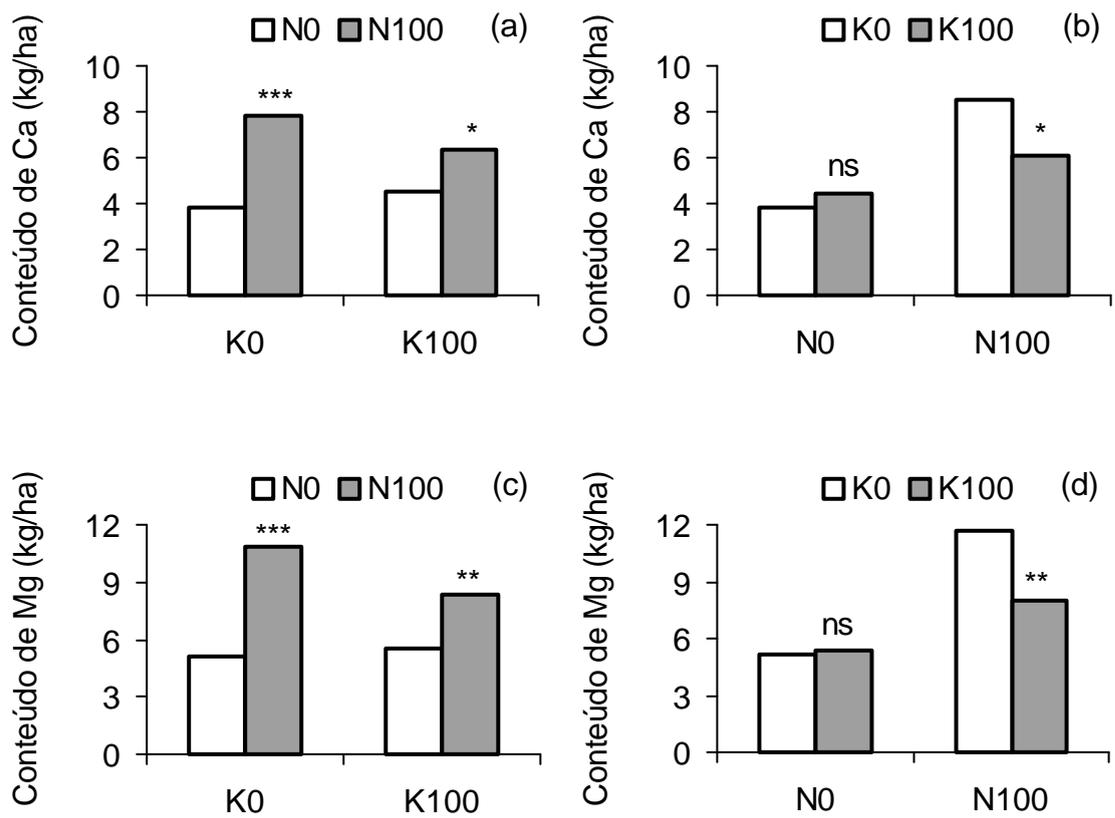


Figura 7 - Desdobramento da interação N x K sobre o conteúdo de Ca e Mg na forragem do capim-tanzânia, no 1^o corte – (a, c) efeito do nitrogênio com ou sem potássio; (b, d) efeito do potássio com ou sem nitrogênio.

No segundo corte, as parcelas que receberam adubação nitrogenada tiveram incremento de 25% no conteúdo de Ca e de 30% no de Mg, em relação às que não receberam este adubo (Quadro 4). Já a adubação potássica reduziu em 10% o conteúdo de Mg na forragem do capim-tanzânia, nesse período.

3.5. Disponibilidade de nutrientes no solo

Após o segundo corte, realizado no dia 15 de maio de 1999, os teores de N inorgânico no solo das parcelas que receberam adubação nitrogenada (9,0 mg/kg) foram praticamente iguais aos das parcelas não-adubadas (8,7 mg/kg), confirmando o pequeno efeito residual da adubação nitrogenada. O nitrogênio amoniacal representou a maior porção (87%) do N inorgânico do solo, em ambos os casos.

Os solos das parcelas que receberam adubação fosfatada apresentaram maiores teores de P disponível (2,7 mg/dm³) do que aqueles das parcelas não-adubadas (1,8 mg/dm³). Em ambos os casos, os teores são considerados muito baixos pela classificação da CFSEMG (1999).

Os teores de K disponível nos solos das parcelas que receberam adubação potássica (49,8 mg/dm³) foram superiores aos das parcelas não-adubadas (34,0 mg/dm³). De acordo com os critérios de interpretação para K disponível, adotados pela CFSEMG (1999), os teores verificados nas parcelas não-adubadas são baixos e, nas adubadas, médios.

4. DISCUSSÃO

4.1. Resposta à adubação NPK

A baixa incidência de chuvas durante o segundo período de rebrotação reduziu bastante o crescimento do capim-tanzânia, em relação ao primeiro, fazendo com que a resposta aos tratamentos aplicados praticamente desaparecesse. Em razão disso, a discussão da resposta da gramínea à adubação NPK será fundamentada, principalmente, nos resultados obtidos no primeiro corte.

4.1.1. Resposta ao nitrogênio

Os resultados deste experimento mostraram, de forma clara, que o crescimento do capim-tanzânia, neste sistema agrossilvipastoril, estava sendo bastante restringido pela deficiência de nitrogênio. A aplicação de 100 kg/ha de N proporcionou elevado incremento não somente na taxa de acumulação de MS do sub-bosque, como também no conteúdo de todos os nutrientes avaliados. Em média, os tratamentos que receberam N apresentaram aumentos de 84, 98, 36, 76, 72 e 82%, respectivamente, para taxa de acumulação de MS e conteúdos de N, P, K, Ca e Mg na forragem do capim-tanzânia, em relação aos tratamentos não-adubados com nitrogênio. Além

disso, as plantas recuperaram sua coloração verde normal e apresentaram-se mais vigorosas, com folhas maiores e mais largas e colmos mais grossos.

De acordo com NELSON (1995), o nitrogênio pode aumentar a taxa de crescimento das gramíneas por meio de dois mecanismos: a) aumento da área foliar e b) aumento da taxa fotossintética por unidade de área foliar. Ainda segundo esse autor, os aumentos na área foliar e nas taxas de crescimento são bem superiores àqueles verificados na taxa de fotossíntese por unidade de área foliar.

Como o índice de área foliar (IAF) é o fator que regula a interceptação de luz pelo pasto, pode-se afirmar que o efeito da adubação nitrogenada, aumentando a taxa de acumulação de MS do capim-tanzânia e, conseqüentemente, sua área foliar, permitiu maior interceptação da radiação disponível ao sub-bosque do sistema, resultando, em última análise, em maior eficiência no aproveitamento desta radiação.

O teor médio de N na forragem das plantas que receberam adubo nitrogenado (1,33%) foi superior ao verificado na forragem das plantas não-adubadas (1,23%), indicando que a aplicação de nitrogênio também aumentou a eficiência fotossintética das folhas da gramínea, já que, de acordo com STULEN (1990), a taxa fotossintética das folhas está relacionada com seu teor de nitrogênio, em particular com a concentração das enzimas envolvidas no processo de fotossíntese, Rubisco e PEP-carboxilase, para as gramíneas C₄.

Outra constatação importante referente ao efeito da adubação nitrogenada sobre o crescimento do capim-tanzânia, neste sistema agrossilvipastoril, foi com relação ao crescimento do sistema radicular desta gramínea. Observou-se que os perfilhos da gramínea, nos tratamentos que não receberam adubação nitrogenada, foram arrancados com muita facilidade, por ocasião do corte. Isto também tinha sido observado quando os animais pastejavam no sistema. Entretanto, este fato não ocorreu nos tratamentos adubados com N, em que os perfilhos da gramínea se mostraram mais vigorosos. Isto se constitui em forte indicação de que a adubação nitrogenada melhorou não apenas o crescimento da parte aérea, mas também do sistema radicular da gramínea.

Outro fator que reforça esta hipótese é o aumento verificado no conteúdo de todos os nutrientes avaliados na forragem do capim-tanzânia, em

resposta à adubação nitrogenada, indicando que houve maior capacidade de absorção destes nutrientes do solo. Essa constatação mostra que o pequeno crescimento do sistema radicular do capim-tanzânia, além de estar sendo afetado pelo impedimento químico no subsolo (Capítulo 1), também era reflexo da deficiência de nitrogênio no solo.

A quantidade de luz disponível ao sub-bosque é, certamente, um dos principais fatores que determinam o potencial de produção de forragem de um sistema silvipastoril. Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho deixaram claro que a baixa produtividade de forragem, quatro anos após a introdução da gramínea no sistema, não se deveu apenas à redução da transmissão de luz ao sub-bosque, mas também à baixa disponibilidade de N no solo.

A elevada resposta à adubação nitrogenada também mostrou que não havia efeito alelopático do eucalipto sobre as plantas já estabelecidas do capim-tanzânia, pois estas recuperaram seu vigor e coloração normais. Entretanto, a metodologia utilizada neste trabalho não permitiu maiores esclarecimentos quanto à existência de efeitos alelopáticos sobre a germinação e o crescimento das plântulas desta gramínea. PAULINO et al. (1987), avaliando o efeito alelopático do eucalipto sobre o crescimento de forrageiras, também não encontraram efeitos alelopáticos do eucalipto sobre o capim-colonião, mas constataram interferência negativa, devido à imobilização de N no processo de mineralização da matéria orgânica, refletindo-se sobre os rendimentos da gramínea.

4.1.2. Resposta ao fósforo

O fósforo é importante componente da produção de plantas forrageiras. Sem adequado suprimento de P, o crescimento das plantas é restringido, as produções são menores e a eficiência de utilização de outros nutrientes, inclusive de N, é diminuída (GRIFFITH e MURPHY, 1996).

A adubação fosfatada proporcionou incremento de 21% no teor e de 23% no conteúdo de P, na forragem do capim-tanzânia, mas não teve efeito sobre a taxa de acumulação de MS do sub-bosque. Estes resultados demonstram que a disponibilidade de fósforo no solo não estava sendo limitante ao crescimento do capim-tanzânia, neste sistema agrossilvipastoril,

apesar da provável competição das árvores de eucalipto por este nutriente e dos teores muito baixos de P disponível no solo, obtidos com o extrator Mehlich-1.

Isso parece se confirmar pelo fato de que o tratamento que recebeu apenas nitrogênio proporcionou maior conteúdo de P na forragem (2,25 kg/ha) que o tratamento adubado com fósforo (1,89 kg/ha), embora ambos tenham apresentado maior conteúdo deste nutriente em relação ao tratamento testemunha (1,45 kg/ha). Este efeito positivo da fertilização nitrogenada, estimulando a absorção de P pelas plantas, não é uma constatação incomum; segundo Miller (1974), citado por KAMPRATH (1996), este fato tem sido associado com a) maior crescimento radicular, explorando maior volume de solo e, ou, b) aumento da capacidade fisiológica das raízes para absorver P.

O fato de a fertilização fosfatada ter aumentado o conteúdo de P, sem, no entanto, ter afetado a taxa de acumulação de MS do sub-bosque, resultou em redução da eficiência de utilização de P pela gramínea (massa de forragem acumulada/conteúdo de P na forragem), que foi, em média, de 560 para os tratamentos que receberam adubação fosfatada contra 690 para os que não receberam este fertilizante. Isto significa que as plantas não utilizaram o “P extra”, fornecido pela adubação fosfatada, para aumento de crescimento. Provavelmente, este “P extra” foi acumulado como reserva na forma de Pi (fósforo inorgânico).

4.1.3. Resposta ao potássio

A adubação potássica elevou o teor e o conteúdo de K na forragem do capim-tanzânia. O aumento no conteúdo de K foi particularmente acentuado, quando se aplicaram N e K, simultaneamente. Entretanto, assim como verificado para o fósforo, a fertilização potássica não trouxe nenhum benefício significativo para a taxa de acumulação de MS do capim-tanzânia, no primeiro corte. Apenas no segundo corte, houve efeito significativo e positivo da fertilização potássica sobre a taxa de acumulação de MS do sub-bosque, provavelmente devido à sua importância para o ajuste osmótico das plantas, já que as plantas do capim-tanzânia sofreram restrição hídrica nesse segundo período de rebrotação.

Duas observações parecem confirmar que a disponibilidade de K para o capim-tanzânia, neste sistema agrossilvipastoril, era suficiente para suprir a demanda para crescimento dessa gramínea, mesmo com a aplicação de nitrogênio. A primeira foi o maior conteúdo deste nutriente, na forragem do capim-tanzânia, no tratamento adubado apenas com nitrogênio (28,0 kg/ha de K) que naquele que recebeu adubo potássico (21,3 kg/ha de K), sendo ambos superiores ao tratamento testemunha (17,2 kg/ha de K). A segunda foi a redução da eficiência de utilização de K pela gramínea (massa de forragem acumulada/conteúdo de K na forragem). Por exemplo, a eficiência de utilização de K pelas plantas do tratamento N foi de 58,8 contra eficiência de 38,5 das plantas do tratamento NK, embora ambos tenham apresentado taxas de acumulação de MS estatisticamente iguais. Este fato demonstra que a adubação potássica resultou em “consumo de luxo” de K.

A fertilização potássica proporcionou reduções significativas nos teores de P e, principalmente, de Ca e Mg, na forragem do capim-tanzânia. Também, interagiu significativamente com a adubação nitrogenada, reduzindo o conteúdo de Ca e Mg na forragem desta gramínea. ANDRADE (1997) também verificou efeito negativo da adubação potássica sobre os teores de Ca e Mg na forragem do capim-elefante. MESA et al. (1989) sugeriram a existência de absorção competitiva entre esses cátions, com o íon K^+ interferindo na absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Entretanto, mesmos nos tratamentos adubados com potássio, os teores de Ca (4,0 g/kg) e Mg (5,0 g/kg) verificados na forragem do capim-tanzânia são considerados adequados, sendo superiores, por exemplo, aos verificados por Euclides et al. (1995b), citados por EUCLIDES (1995), na folha índice dessa gramínea, em condições de pleno sol (2,63 e 2,38 g/kg, respectivamente).

4.2. Disponibilidade de nutrientes no solo

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que o crescimento do capim-tanzânia, neste sistema agrossilvipastoril, estava sendo restringido pela baixa disponibilidade de N no solo. Constatou-se, também, que a gramínea foi adequadamente suprida de P e K, apesar dos baixos teores disponíveis destes nutrientes, revelados pela análise de solo.

A metodologia utilizada neste trabalho não permite identificar quais os fatores responsáveis por essa “suficiência” de P e K e pela baixa disponibilidade de N no solo. Entretanto, como forma de incentivo à realização de novas pesquisas nesta área, serão discutidos os fatores e processos mais prováveis de estarem influenciando a disponibilidade destes nutrientes, no solo deste sistema agrossilvipastoril.

4.2.1. Nitrogênio

De acordo com o relato dos técnicos da Fazenda Riacho, o capim-tanzânia apresentou excelente produtividade nos primeiros dois anos após sua introdução no sistema agrossilvipastoril, diminuindo progressivamente a partir de então. Pode-se afirmar que as principais causas desta queda acentuada na produtividade do sub-bosque foram o aumento do nível de sombreamento e, principalmente, a redução da disponibilidade de N no solo.

Em pastagens exclusivas de gramíneas tropicais, não-fertilizadas com nitrogênio, também ocorre redução da disponibilidade de N, alguns anos após sua implantação, conforme demonstrado nos trabalhos de ROBBINS et al. (1989) e ROBERTSON et al. (1993), na Austrália, e de PICCOLO et al. (1994) e NEILL et al. (1995), no Brasil. De acordo com BODDEY et al. (1997), este processo é também o principal responsável pela degradação das pastagens de *Brachiaria* spp., *Andropogon gayanus* e *Panicum maximum*, estabelecidas nos Cerrados do Brasil e em outras áreas tropicais da América do Sul.

A elevada produtividade verificada nos primeiros anos após a implantação de pastagens exclusivas de gramíneas, o que também ocorreu neste sistema agrossilvipastoril, deve-se ao efeito do cultivo do solo para o estabelecimento das pastagens, o qual libera N do reservatório passivo para o ativo, pela ruptura das partículas do solo que o protegiam anteriormente (FISHER et al., 1996). O cultivo também estimula a reciclagem (*turnover*) do N contido nos resíduos das plantas, tanto com a incorporação ao solo dos resíduos superficiais (biomassa aérea e manta orgânica), como também pela morte das raízes das plantas (MYERS e ROBBINS, 1991).

A redução gradual da disponibilidade de N, ou da taxa de mineralização líquida de N, diminuindo a produtividade destas pastagens com o

passar do tempo, tem sido atribuída à interação entre a composição química do *litter* e a mineralização de N (WEDIN, 1996). Segundo esse autor, não é sensato considerar a disponibilidade de N no solo como uma propriedade inerente ao solo, desconsiderando as características das vegetações atual e passada. Padrões de eficiência de utilização de N, produção primária e composição química das plantas não são apenas resposta à disponibilidade de N no solo, mas, principalmente, a causa da disponibilidade de N no solo. Mudança na natureza da matéria orgânica que entra no solo pode causar alterações relativamente rápidas nas taxas de mineralização de N e nas taxas de reciclagem (*turnover*) do carbono do solo.

As gramíneas tropicais, assim como o eucalipto, são plantas perenes que possuem elevada eficiência de utilização de nutrientes e, portanto, produzem *litter* com baixos teores de nutrientes, principalmente daqueles mais móveis (N, P e K). Desse modo, não é de causar surpresa que, em sistemas agrossilvipastoris, nos quais as gramíneas tropicais e as árvores de eucalipto são os componentes principais, os processos decorrentes da adição de resíduos de baixa qualidade sejam muito parecidos com aqueles verificados em pastagens exclusivas de gramíneas tropicais.

Nas pastagens exclusivas de gramíneas, vários mecanismos têm sido apontados como responsáveis pela redução da disponibilidade de N com o passar do tempo: a) competição pelo N disponível entre as gramíneas e os microrganismos do solo (ROBBINS et al., 1989; ROBERTSON et al., 1993; e URQUIAGA et al., 1998); b) imobilização de N na manta orgânica (ROBBINS et al., 1989; ROBERTSON et al., 1993); e c) incorporação de N em formas estáveis na matéria orgânica do solo (MYERS e ROBBINS, 1991; URQUIAGA et al., 1998).

No Capítulo 1, estimou-se em 207,6 kg/ha a quantidade de N acumulada pelas árvores de eucalipto, somente na parte aérea. Pode-se inferir que o N imobilizado na biomassa do eucalipto é proveniente, em sua grande maioria, da mineralização das frações mais lábeis da matéria orgânica (MO) do solo, já que essa essência florestal não desenvolve associação com organismos fixadores de N atmosférico, nem recebeu fertilização nitrogenada. Portanto, a imobilização de N na biomassa do eucalipto reduz a quantidade de N reciclada no ecossistema. Isso é importante, pois, de acordo com WEDIN

(1996), vários métodos de fracionamento da MO do solo têm mostrado que, em solos de pastagens exclusivas de gramíneas, as taxas de respiração de C e de mineralização de N são dominadas por apenas uma pequena fração ativa da MO do solo.

A quantidade de manta orgânica acumulada neste sistema agrossilvipastoril, 66 meses após sua implantação, foi de 6,0 t/ha, conforme mostrado no Capítulo 1. A diferença com relação às pastagens exclusivas de gramíneas é que a manta orgânica deste sistema era constituída, quase totalmente, pelo *litter* depositado pelo eucalipto. Como resultado de sua eficiente ciclagem bioquímica, o *litter* produzido pelo eucalipto possui baixa qualidade (baixos teores de N e P e elevadas relações C/N, C/P, lignina/N e celulose/N), conforme mostrado no Capítulo 1. Assim, é provável que, à semelhança do que ocorre nas pastagens de gramíneas, essa grande quantidade de manta orgânica acumulada, de baixa qualidade, conduza à formação de grande biomassa microbiana que irá competir com as plantas pelo N disponível no solo.

Em plantios convencionais de eucalipto, este fato tem sido demonstrado. GAMA-RODRIGUES et al. (1997), comparando as quantidades de C e N na biomassa microbiana de solos sob diferentes coberturas florestais, verificaram que os solos sob eucalipto e pinheiro apresentaram menor potencial de decomposição da matéria orgânica e, ao mesmo tempo, maior imobilização de N na biomassa microbiana que os solos sob capoeira e angico (leguminosa arbórea). Os autores atribuíram este fato à maior quantidade, e menor qualidade, da manta orgânica acumulada sob as coberturas de eucalipto e pinheiro.

O N inorgânico no solo deste sistema agrossilvipastoril era composto predominantemente por NH_4^+ , o que está de acordo com as observações feitas em solos sob pastagens de gramíneas (PICCOLO et al., 1994; NEILL et al., 1995). Também, segundo ATTIWILL et al. (1996), em florestas de eucalipto, a forma de N inorgânico predominante é a amoniacal. Esses autores sugerem que, em solos com relação C/N > 30, na camada superficial, a mineralização de N é zero; com relação C/N > 20, a nitrificação é zero; com relação C/N entre 15 e 30, NH_4^+ predomina; e com relação C/N < 15, NO_3^- predomina. A relação C/N na camada superficial do solo deste sistema agrossilvipastoril foi de 17,1

(Capítulo 1). Portanto, isso poderia ser uma explicação para o predomínio do N amoniacal. Outra constatação interessante a respeito da disponibilidade de N inorgânico no solo, a qual também poderia se aplicar nesse sistema agrossilvipastoril, foi mostrada por WEDIN (1996). Esse autor encontrou alta correlação entre a concentração de NO_3^- no solo, em pastagens exclusivas de gramíneas, e a relação C/N das raízes das gramíneas. A mesma relação foi verificada para o *litter* da parte aérea dessas gramíneas. Quando o *litter* e as raízes apresentavam relação C/N maior que 35, as concentrações de NO_3^- no solo eram baixas ($< 1 \text{ mg/kg}$). Quando as relações C/N eram menores que 35, o dreno para NO_3^- e NH_4^+ , proporcionado pela imobilização, desapareceu, e os teores de nitrato no solo, e também suas perdas, aumentaram dramaticamente. Portanto, de acordo com o que foi discutido acima, o predomínio de nitrogênio amoniacal verificado no solo deste sistema agrossilvipastoril poderia ser mais uma indicação da existência de elevada imobilização deste nutriente pelos microrganismos do solo, reduzindo as taxas de nitrificação e mineralização líquida de N.

A quantidade de manta orgânica acumulada em plantações de eucalipto aumenta com a idade do povoamento, devido à sua baixa taxa de decomposição (REIS e BARROS, 1990). FERREIRA (1984), estudando a decomposição e liberação de nutrientes de folhas senescentes de *Eucalyptus grandis*, nas condições de Cerrado de Minas Gerais, verificou que a liberação de N foi muito lenta. Ao final de 18 meses de decomposição, a perda percentual de N das folhas foi de 15% em Bom Despacho (sítio de melhor qualidade) e de apenas 2,2% em Carbonita (sítio de menor qualidade). Isso mostra que a acumulação de N na manta orgânica também aumenta com a idade do povoamento. Portanto, da mesma forma que o N acumulado na biomassa das árvores, o N acumulado na manta orgânica representa uma forma de imobilização de N no sistema. No Capítulo 1, foi mostrado que havia 40,8 kg/ha de N acumulado na manta orgânica desse sistema agrossilvipastoril, 66 meses após sua implantação.

As pastagens cultivadas de gramíneas acumulam grandes quantidades de carbono no solo, devido, principalmente, à deposição de resíduos de raízes mortas (FISHER et al., 1994). URQUIAGA et al. (1998) mostraram que isto se deve à baixa taxa de reciclagem desse material, que apresenta elevadas

relações C/N e lignina/N. Esses autores sugerem que, embora isso possa promover a conservação ou acumulação de carbono no solo, a imobilização do N disponível no solo, causada pela decomposição das raízes, assim como o seqüestro do N em frações não-degradáveis deste material, pode resultar em concentrações extremamente pequenas de N disponível para as plantas. Informações a respeito da quantidade e qualidade do material depositado no solo pelo eucalipto, com a renovação de seu sistema radicular, são escassas. Entretanto, existem trabalhos mostrando que, em plantações de eucalipto, ocorre elevação da relação C/N do solo (BERNHARD-REVERSAT, 1996), o que pode ser resultante da incorporação de raízes mortas com elevada relação C/N. Esta poderia ser mais uma forma de interferência do eucalipto sobre a disponibilidade de N, no solo deste sistema agrossilvipastoril.

Outro fator que pode afetar as taxas de mineralização de N no solo deste sistema agrossilvipastoril é a sua textura muito argilosa (> 64% de argila). De acordo com SILVA e RESCK (1997), a textura do solo tem importante influência sobre a dinâmica da matéria orgânica (MO), produzindo efeitos no conteúdo total de C e nas taxas de mineralização de C e N do solo. HASSINK et al. (1993), avaliando o efeito da textura do solo sobre as taxas de mineralização de C e N, verificaram que a porcentagem de N orgânico mineralizável foi maior nos solos arenosos do que naqueles de textura média e argilosa. Os autores concluíram que, nos solos argilosos, maior porção da MO se encontra fisicamente protegida pelo sistema de microporos. Assim, embora os conteúdos de C orgânico e N total deste solo sejam consideráveis (108,0 e 6,6 t/ha, respectivamente, na camada de 0 a 60 cm), apenas pequena fração estaria passível de ser mineralizada.

Ao contrário do capim-tanzânia, as árvores de *E. urophylla* apresentaram bom crescimento e não mostraram nenhum sinal de estarem sofrendo deficiência de N, o que, provavelmente, se deve a dois fatores: a) diminuição da demanda de nutrientes pelas árvores, com o avanço da idade (MILLER, 1995) e b) elevada capacidade do eucalipto na aquisição de nutrientes (GROVE et al., 1996).

Nos primeiros anos após o plantio, as árvores apresentam elevada demanda por nutrientes do solo, devido ao maior investimento na formação da copa, que requer grandes quantidades de nutrientes. Com o passar do tempo,

as árvores passam a investir em maior proporção na formação de estruturas de sustentação, como tronco e raízes grossas, que apresentam baixa concentração de nutrientes, o que diminui sua demanda nutricional. Além disso, nessa fase, as árvores já possuem grande quantidade de nutrientes acumulados na sua biomassa e, portanto, a ciclagem bioquímica (retranslocação de nutrientes) supre boa parte da demanda (MILLER, 1995). Embora as árvores de eucalipto deste sistema agrossilvipastoril, na época da condução desse experimento, estivessem com apenas 5,5 anos de idade, não podendo ser consideradas adultas, é provável que uma fração razoável de sua demanda por N estivesse sendo suprida pela ciclagem bioquímica. No Capítulo 1, foi mostrado que a retranslocação de N, antes da queda de suas folhas, era de, aproximadamente, 56%.

Como discutido anteriormente, o eucalipto é uma planta eficiente na aquisição de nutrientes. Assim, a competição entre o eucalipto e o capim-tanzânia é, certamente, um fator que diminui ainda mais a disponibilidade de N para o crescimento da gramínea. Em sistemas agrossilvipastoris como este, o pastejo também pode favorecer o componente arbóreo na competição pelos nutrientes do solo, principalmente pelo N. O pastejo remove N dos tecidos das forrageiras, mas grande parte deste N retorna ao solo por meio das excreções dos animais (fezes e urina) e da forragem não-consumida. Entretanto, além das perdas induzidas pela irregularidade na distribuição dos excrementos, o N devolvido ao solo estará também à disposição das árvores de eucalipto, que poderão absorvê-lo. Isto significa que aquele N, antes acumulado na biomassa da gramínea, poderá ser imobilizado na biomassa do eucalipto. Estudos com N marcado serão necessários para confirmar esta hipótese.

Quando se considera a ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens, um dos fatores mais importantes é a transferência de nutrientes promovida pelos animais. Isto ocorre, principalmente, pela maior deposição de excreções em malhadouros e em locais próximos a aguadas e cochos de sal mineral (PETERSON e GERRISH, 1996). É provável que este fenômeno seja também importante neste sistema agrossilvipastoril, devido à existência de uma “área de descanso”, na qual os animais permanecem por determinado período do dia, para que possam satisfazer suas necessidades de consumo de água e

minerais. A deposição de excreções nesse local traz como consequência o empobrecimento das áreas destinadas ao pastejo.

Pelo exposto acima, pode-se inferir que o processo de redução da disponibilidade de N no solo, induzido principalmente pela baixa qualidade do *litter* produzido pelo eucalipto, parece não ser uma característica exclusiva do sistema estudado. É provável que este processo também ocorra em outros sistemas silvipastoris compostos por gramíneas e eucaliptos, ou outros componentes com características semelhantes, nos quais não existe fonte externa de N, principalmente quando implantados em solos distróficos e álicos, como o do sistema estudado. SZOTT et al. (1991), discutindo as relações solo-planta em sistemas agroflorestais, afirmaram que, geralmente, a qualidade do *litter* é maior e as taxas de decomposição, mais rápidas, em solos mais férteis. Segundo esses autores, exceto para o nitrogênio fixado biologicamente, o potencial dos sistemas agroflorestais para aumentar o estoque de nutrientes nos solos distróficos e álicos dos trópicos parece limitado.

Poder-se-ia pensar que o eucalipto não seria a melhor opção para compor um sistema agrossilvipastoril, já que não contribui para a melhoria da fertilidade do solo e, ainda, compete efetivamente com a gramínea associada pelo N disponível. Do ponto de vista ecológico, isso certamente seria verdadeiro. Entretanto, do ponto de vista econômico, o eucalipto constitui-se em uma das melhores opções existentes, devido à sua elevada capacidade de produção de madeira, mesmo em solos pobres. De acordo com PEREIRA e REZENDE (1997), o equilíbrio entre ecologia e economia parece ser o grande e difícil objetivo a ser alcançado em sistemas agroflorestais.

No caso do sistema estudado, pode-se aumentar sua rentabilidade e sustentabilidade, buscando alternativas para solucionar o problema da redução da disponibilidade de N para a gramínea associada. As alternativas existentes para a manutenção da disponibilidade de N em níveis adequados, nestes sistemas, parecem ser: a) aplicação anual de fertilizante nitrogenado ou b) incorporação de plantas leguminosas, de comprovada eficácia na fixação de N, ao sistema. Essas alternativas precisam ser avaliadas quanto às suas relações benefício/custo e à viabilidade técnica.

A utilização de leguminosas como componentes do sistema parece ser uma alternativa muito interessante, já que poderia incorporar N ao sistema,

acelerando a ciclagem de nutrientes, sem os custos da aquisição e aplicação do fertilizante nitrogenado. A incorporação de leguminosas em sistemas agrossilvipastoris poderia ser feita de três maneiras: a) cultivo de leguminosas herbáceas anuais na sua fase inicial – a CMM já está cultivando soja no segundo ano do sistema; b) consorciação de leguminosas herbáceas e, ou, arbustivas com as gramíneas, no sub-bosque do sistema; e c) consorciação de leguminosas arbóreas com o eucalipto.

4.2.2. Fósforo

As gramíneas do gênero *Panicum* são consideradas exigentes em termos de fertilidade do solo. A falta de resposta do capim-tanzânia à fertilização fosfatada, neste solo com “baixa” disponibilidade de P, é um fato que pode causar certo espanto em uma primeira análise.

De acordo com RAIJ (1991), é comum a obtenção de valores excessivamente baixos de P em certos solos argilosos que vêm sendo adubados com fósforo e nos quais as culturas produzem bem e pouco respondem à adubação fosfatada. Segundo o autor, isto se deve ao fato de os extratores ácidos, como o Mehlich-1, extraírem mais P ligado a cálcio e apenas pequena proporção do elemento ligado a alumínio e ferro, sendo que, na maioria dos solos brasileiros, os principais produtos de reação do fósforo são os fosfatos de ferro e alumínio. Conforme NOVAIS e SMYTH (1999), os valores subestimados de P disponível verificados para o extrator Mehlich-1 em solos argilosos e, de modo especial, para aqueles com pH mais elevado devem-se ao fato de seu poder de extração ser exaurido pelo próprio solo. Portanto, é provável que os teores muito baixos de “P disponível”, obtidos com o extrator Mehlich-1, para o Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso deste experimento, estejam subestimando a verdadeira disponibilidade de fósforo para as plantas deste sistema agrossilvipastoril.

O fósforo é um nutriente extremamente importante no estabelecimento inicial e na reforma do pasto, devido à sua grande influência no crescimento de raízes e no perfilhamento das gramíneas, diminuindo de importância após as plantas estarem completamente estabelecidas (WERNER, 1998). Isto se deve,

provavelmente, ao aumento da capacidade de aquisição de P pelo sistema radicular mais desenvolvido das plantas já estabelecidas.

As quantidades de P requeridas pelas plantas são relativamente baixas, quando comparadas àquelas relativas a N e K (NOVAIS e SMYTH, 1999), principalmente no caso das gramíneas C₄ africanas já estabelecidas, que são plantas com elevada eficiência de utilização de P (Rao et al., 1992, citados por FISHER et al., 1996). Além disso, o requerimento de nutrientes, normalmente, é função das taxas de crescimento das plantas, e as taxas de acumulação de MS obtidas neste experimento, mesmo nos tratamentos que receberam N, são relativamente baixas, quando comparadas àquelas obtidas em pastagens produtivas em pleno sol. No primeiro corte, o conteúdo médio de P na forragem do capim-tanzânia foi de 2,1 kg/ha, contra 16,6 kg/ha para o N e 28,0 kg/ha para o K.

Por ocasião da implantação da gramínea no sistema, quatro anos antes da condução do experimento, foi feita uma adubação fosfatada consistindo de 400 kg/ha de fosfato natural de Araxá e 100 kg/ha de superfosfato simples. Embora estas quantidades sejam pequenas (70 kg/ha de P), ainda pode estar havendo algum efeito residual do fosfato natural.

Existe também a possibilidade de as plantas estarem aproveitando fontes orgânicas de P, que, de acordo com SILVA e RESCK (1997), representam de 20 a 75% do fósforo total do solo. LILIENTEIN et al. (1996) verificaram que as frações orgânicas de fósforo representam as principais formas disponíveis deste nutriente nos solos de cerrado nativo e pastagem, diminuindo de importância nos solos cultivados e fertilizados regularmente (culturas anuais). Em sistemas agrossilvipastoris, é provável que a contribuição destas formas orgânicas de P seja também de grande valor para a nutrição de seus componentes. De grande importância para o aproveitamento do P orgânico são as reações catalisadas por fosfatases, que são enzimas produzidas pelas raízes das plantas e por microrganismos, que propiciam a liberação do P de compostos orgânicos (NOVAIS e SMITH, 1999). De acordo com Tarafdar e Claassen (1988), citados por NOVAIS e SMYTH (1999), as plantas utilizam P de fontes orgânicas quase tão eficientemente quanto de fontes minerais, sendo que o fator limitante à hidrólise de P orgânico, no suprimento de P inorgânico para as plantas, não é a disponibilidade de

fosfatases, mas de P orgânico hidrolisável. Esses autores observaram, ainda, que a atividade de fosfatases é capaz de suprir 20 vezes mais P que a quantidade que pode ser absorvida pelas plantas. Plantas associadas a fungos micorrízicos possuem, freqüentemente, maior atividade de fosfatases, principalmente em condições de baixa disponibilidade de fósforo. Outra forma importante de aproveitamento das formas orgânicas de P, pelas plantas, se dá pela mineralização da biomassa de microrganismos. BROOKES et al. (1984) encontraram valores da ordem de 7,0 kg/ha.ano, como média de seis solos cultivados, e de 23,0 kg/ha.ano, em oito solos de pastagens. Esses autores observaram, ainda, que o P contido na biomassa microbiana representava cerca de 3% do P orgânico total, em solos aráveis, e de 5 a 24%, em solos de pastagens. Esses resultados demonstram a maior importância desta fonte de P em ecossistemas menos perturbados, como os sistemas agrossilvipastoris.

4.2.3. Potássio

Da mesma forma ocorrida para o fósforo, o crescimento do capim-tanzânia não foi afetado pela adubação potássica, apesar dos baixos teores disponíveis do nutriente no solo. Dois fatores podem estar contribuindo para a falta de resposta ao potássio. O primeiro é a possibilidade de as plantas estarem aproveitando formas não-trocáveis deste nutriente no solo. BINKLEY e VITOUSEK (1989) citam um exemplo de um solo no Havaí, que, com, aproximadamente, 500 kg/ha de K trocável, supriu 15 cortes sucessivos de capim-elefante, com um total de 4.000 kg/ha de K, sem apresentar declínio substancial no estoque de K trocável. Segundo RAIJ (1991), mesmo nos solos muito intemperizados existentes nas nossas condições, existe certa contribuição do K não-trocável na nutrição das plantas. O segundo fator seria a rápida reciclagem desse nutriente. De acordo com MATHEWS et al. (1996), o potássio removido pelo pastejo é rapidamente devolvido ao solo em formas prontamente disponíveis às plantas. A maioria retorna na urina, mas o K contido nas fezes é também rapidamente liberado. MAHESWARAN e ATTIWILL (1987) verificaram que a liberação de K do *litter* de eucalipto é também muito rápida; 92% do K contido no *litter* de *E. microcarpa* foi liberado durante o primeiro mês de decomposição. Assim, o potássio devolvido ao solo,

seja proveniente dos excrementos dos animais em pastejo ou do *litter* depositado pelo eucalipto, estaria rapidamente disponível para ser aproveitado pelas plantas. É provável que a reciclagem seja responsável por boa parte do suprimento deste nutriente ao capim-tanzânia, neste sistema agrossilvipastoril.

4.3. Efeito da disponibilidade de água no crescimento do capim-tanzânia

Uma das expectativas dos sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris é que o efeito da sombra das árvores, reduzindo a evapotranspiração, proporcione maior disponibilidade de água para as forrageiras, em períodos de mais baixa precipitação, em relação às áreas sem sombra (CARVALHO, 1997; PEREIRA e REZENDE, 1997).

Um fato comumente constatado é que, durante o período seco do ano, as gramíneas em ambientes sombreados permanecem mais verdes que aquelas mantidas a pleno sol. Esse fato também tem sido constatado nos sistemas agrossilvipastoris com eucalipto, da Fazenda Riacho. Isso, geralmente, tem sido atribuído ao efeito da sombra das árvores, mantendo maiores teores de água no solo. Entretanto, alguns trabalhos têm mostrado que, embora as gramíneas tivessem permanecido mais verdes e suculentas na sombra de árvores, durante o período seco, os teores de água no solo foram semelhantes na sombra e a pleno sol (ANDRADE e VALENTIM, dados não publicados), ou mesmo menores na área sombreada (CARVALHO et al., 1997). Esses resultados sugerem que, para a mesma disponibilidade de água no solo, o estresse hídrico será maior nas plantas a pleno sol do que naquelas mantidas em ambientes sombreados, provavelmente, devido às condições microclimáticas mais favoráveis nesse ambiente (menor temperatura do ar e das folhas e maior umidade relativa do ar), reduzindo sua demanda transpirativa. Esses fatores reduziriam a desidratação e o ritmo de senescência foliar, permitindo que as plantas permanecessem verdes. Entretanto, o fato de as plantas permanecerem verdes não significa, necessariamente, que elas estejam crescendo ativamente, pois podem estar crescendo muito pouco ou somente mantendo os tecidos vivos.

Neste experimento, foi verificado que, com a diminuição das chuvas no segundo período de rebrotação (março a maio), houve redução acentuada nas

taxas de acumulação de MS do capim-tanzânia, em todos os tratamentos aplicados. A avaliação dos teores de água no solo ao final deste período (meados de maio de 1999), aproximadamente dois meses após o final das chuvas, revelou que a camada superficial do solo, onde estava concentrada a maior parte das raízes da gramínea, foi aquela que perdeu água mais rapidamente, havendo pequeno incremento dos teores com a profundidade (Figura 3).

Existem alguns fatores que podem contribuir para acentuar ainda mais o efeito da diminuição das chuvas sobre a disponibilidade de água para a gramínea, nesse sistema agrossilvipastoril: a) baixos níveis de Ca e Mg trocáveis e elevada saturação de Al, nas camadas subsuperficiais deste solo, afetando o crescimento do sistema radicular do capim-tanzânia em profundidade (Capítulo 1); b) Latossolo muito argiloso, comportando-se como solo arenoso, em termos de disponibilidade de água para as culturas (LOPES, 1984; LUCHIARI JR. et al., 1985); e c) competição pelo eucalipto, não apenas na absorção da água disponível no solo, mas também pela interceptação da água das chuvas na sua copa, diminuindo o aporte de água na faixa central da entrelinha – parte da água interceptada será depositada na faixa mais próxima à linha de plantio das árvores e parte irá evaporar diretamente da copa, sem atingir o solo.

Com base nas baixas taxas de acumulação de MS, verificadas no segundo período de rebrotação deste experimento (março a maio), pode-se prever que, durante a época mais crítica do período seco desta região (maio a setembro), as taxas de crescimento do capim-tanzânia serão muito reduzidas. Além disso, a menor transmissão de luz e a redução das temperaturas noturnas, nesta época, também contribuirão para reduzir o crescimento da gramínea. Portanto, a colocação de animais no sistema, nesse período, deverá ser feita com bastante cuidado, de modo a não prejudicar a persistência da gramínea.

4.4. Capacidade de suporte do sistema agrossilvipastoril

Com base na resposta do capim-tanzânia à adubação nitrogenada, foi possível analisar a capacidade de suporte deste sistema agrossilvipastoril

(durante a estação chuvosa), cinco anos após sua implantação, com ou sem a correção da deficiência de nitrogênio. A capacidade de suporte do sistema foi estimada com base na seguinte equação:

$$CS = \frac{TA \times AU \times EUF}{45000 \times TC}$$

em que

CS = capacidade de suporte, em UA/ha;

TA = taxa de acumulação de MS, em kg/ha.dia;

AU = área útil ocupada pelo sub-bosque, em % da área total;

EUF = eficiência de utilização da forragem acumulada, em %; e

TC = taxa de consumo, em % do peso vivo.

No primeiro período de rebrotação (janeiro a março de 1999), quando as precipitações proporcionaram condições razoáveis para o crescimento do pasto, as taxas médias de acumulação de MS para os tratamentos que receberam ou não adubação nitrogenada (100 kg/ha de N) foram de 25,8 e 14,0 kg/ha.dia, respectivamente. A testemunha absoluta (sem nenhum fertilizante) foi o tratamento que apresentou a menor taxa de acumulação de MS (12,2 kg/ha.dia).

As seguintes considerações foram assumidas para a estimativa da capacidade de suporte deste sistema agrossilvipastoril: a) taxa de consumo de forragem equivalente a 2,5% do peso vivo do animal; b) eficiência de utilização de forragem (EUF), pelos animais, igual a 50% da forragem acumulada; e c) área útil ocupada pelo sub-bosque igual a 90% da área total.

A capacidade de suporte deste sistema agrossilvipastoril, durante a estação chuvosa, sem a correção da deficiência de N (testemunha), foi estimada em 0,49 UA/ha e, após a correção da deficiência de N, em 1,0 UA/ha.

Considerando a utilização do sistema para a engorda de bois durante 150 dias da estação chuvosa (novembro a março), pode-se obter uma estimativa da viabilidade econômica da adubação nitrogenada neste sistema. Para um módulo de 300 hectares, de acordo com a capacidade de suporte estimada para a situação na qual se corrigiu a deficiência de nitrogênio (sistema adubado), seria possível manter 450 bois de 300 kg de peso vivo,

nesse período. Já na situação em que não se corrigiu a deficiência de N (sistema não-adubado), seria possível manter apenas 220 bois. Considerando um ganho de peso vivo médio de 600 g/dia, para as duas situações, e preço da arroba de R\$ 30,00, a engorda no sistema adubado proporcionaria renda bruta de R\$ 40.500,00, enquanto no sistema não-adubado a renda bruta seria de R\$ 19.800,00. Portanto, de acordo com as estimativas apresentadas acima, e para as condições atuais deste sistema agrossilvipastoril, a adubação anual de um módulo de 300 ha deste sistema só seria inviável economicamente, se os custos fossem superiores a R\$ 20.700,00 (R\$ 69,00 por hectare).

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Realizou-se um estudo com o objetivo de identificar os principais fatores limitando o crescimento do capim-tanzânia, quatro anos após sua introdução em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos Cerrados de Minas Gerais. Os fatores mais prováveis eram: a) baixa disponibilidade de luz no sub-bosque do sistema; b) efeitos alelopáticos do eucalipto sobre a gramínea; e c) deficiência nutricional. A hipótese deste estudo baseou-se na “lei do mínimo”: caso o principal fator limitante ao crescimento da gramínea, neste sistema, fosse a baixa disponibilidade de luz ou efeitos alelopáticos do eucalipto, não haveria resposta da gramínea à fertilização NPK, ou essa resposta seria muito pequena. Para testar esta hipótese, foi conduzido um ensaio NPK a campo, com os tratamentos arranjados no esquema fatorial 2^3 , com dois níveis de nitrogênio (0 e 100 kg/ha de N), fósforo (0 e 70 kg/ha de P_2O_5) e potássio (0 e 100 kg/ha de K_2O).

A adubação nitrogenada praticamente dobrou a taxa de acumulação de MS do sub-bosque, mostrando que o crescimento do capim-tanzânia, quatro anos após sua introdução no sistema agrossilvipastoril, estava sendo restringido pela baixa disponibilidade de N no solo. Isto significa que o sombreamento não era o único fator limitando a produtividade do sub-bosque. Os possíveis fatores responsáveis pela baixa disponibilidade de N no solo deste sistema são: a) imobilização de N na biomassa do eucalipto e na manta orgânica; b) imobilização de N pela biomassa microbiana na decomposição da

matéria orgânica do solo e da manta orgânica; c) solo ácido e com textura muito argilosa; e d) perdas de N associadas ao pastejo.

Não houve resposta da gramínea à aplicação de fósforo e de potássio, embora a análise de solo tenha revelado baixos teores de P e K disponíveis.

A elevada resposta à adubação nitrogenada mostrou que não havia efeito alelopático do eucalipto sobre as plantas já estabelecidas do capim-tanzânia, pois estas recuperaram seu vigor e coloração normais. Entretanto, a metodologia utilizada neste trabalho não permitiu maiores esclarecimentos quanto à existência de efeitos alelopáticos sobre a germinação e o crescimento das plântulas do capim-tanzânia.

Concluiu-se que a sustentabilidade de sistemas agrossilvipastoris verdadeiros constituídos por gramíneas e eucaliptos, implantados em solos distróficos e álicos, como os da região dos Cerrados, e sem uma fonte externa de N, é incerta. Devem ser estudadas alternativas para a manutenção da disponibilidade de N no solo destes sistemas, levando-se em consideração a viabilidade técnica e as relações benefício/custo destas alternativas. A diversificação desses sistemas, por meio da incorporação de plantas leguminosas, tanto herbáceas como arbustivas e arbóreas, que apresentem capacidade comprovada de nodulação e fixação de N atmosférico, desponta como uma das principais alternativas disponíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.A.S., MONTEIRO, F.A. Tolerância de genótipos de *Panicum maximum* Jacq. ao alumínio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998, Caxambu-MG. **Resumos...** Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.255.
- ANDRADE, A.C. **Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. Cv. Napier) sob diferentes doses de nitrogênio e potássio.** Viçosa: UFV, 1997. 52p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- ANDRADE, C.M.S., VALENTIM, J.F. Adaptação, produtividade e persistência de *Arachis pintoii* submetido a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.3, p.439-445, 1999.
- ATTIWILL, M.P., POLGLASE, P.J., WESTON, C.J., ADAMS, M.A. Nutrient cycling in forests of south-eastern Australia. In: ATTIWILL, P.M., ADAMS, M.A. (Eds.) **Nutrition of eucalypts.** Australia: CSIRO, 1996. p.191-227.
- BARGALI, S.S., SINGH, S.P., SINGH, R.P. Patterns of weight loss and nutrient release from decomposing leaf litter in an age series of eucalypt plantations. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, n.12, p.1731-1738, 1993.
- BERNHARD-REVERSAT, F. Nitrogen cycling in tree plantations grown on a poor sandy savanna soil in Congo. **Applied Soil Ecology**, v.4, n.2, p.161-172, 1996.
- BINKLEY, D., VITOUSEK, P. Soil nutrient availability. In: PEARCY, R.W. (Ed.) **Plant physiological ecology: field methods and instrumentation.** London: Chapman and Hall, 1989. p.75-96.
- BODDEY, R.M., SÁ, J.C.M., ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, n.5/6, p.787-799, 1997.
- BROOKES, P.C., POWLSON, D.S., JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.16, p.169-175, 1984.

- CAMERON, D.M., RANCE, S.J., JONES, R.M., CHARLES-EDWARDS, D.A. Tree and pastures: a study on the effects of spacing. **Agroforestry Today**, v.3, n.1, p.8-9, 1991.
- CARVALHO, M.M. Utilização de sistemas silvipastoris. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 3, 1997, Jaboticabal-SP. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1997. p.164-207.
- CARVALHO, M.M., SILVA, J.L.O., CAMPOS JR., B.A. Produção de matéria seca e composição química da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em um sub-bosque de angico vermelho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.2, p.213-218, 1997.
- CARVALHO, M.M., FREITAS, V.P., FRANCO, E.T. Comportamento de gramíneas forrageiras tropicais em associação com árvores. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2, 1998, Belém-PA. **Resumos expandidos...** Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1998. p.195-197.
- CASTRO, C.R.T. **Tolerância de gramíneas forrageiras tropicais ao sombreamento**. Viçosa: UFV, 1996. 245p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação** Viçosa, MG, 1999. 359p.
- CONSTANTINIDES, M., FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, v.26, n.1, p.49-55, 1994.
- COSTA, N.L., TOWNSEND, C.R., MAGALHÃES, J.A., PEREIRA, R.G.A. Avaliação agrônômica de gramíneas forrageiras sob sombreamento de seringal adulto. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2, 1998, Belém-PA. **Resumos expandidos...** Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1998a. p.201-203.
- COSTA, N.L., TOWNSEND, C.R., MAGALHÃES, J.A. Desempenho agrônômico de leguminosas forrageiras sob sombreamento de eucaliptos. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2, 1998, Belém-PA. **Resumos expandidos...** Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1998b. p.204-206.
- COUTO, L., DANIEL, O., GARCIA, R., BOWERS, W., DUBÉ, F. **Sistemas agroflorestais com eucaliptos no Brasil: uma visão geral**. Viçosa: SIF, 1998. 49p. (Documento SIF, 17)
- DALAL, R.C. Soil organic phosphorus. **Advances in Agronomy**, v.29, p.83-117, 1977.

- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1981. 15p.
- DELA BRUNA, E. **A serapilheira de eucalipto: efeitos de componentes antibacterianos e de nutrientes na decomposição**. Viçosa: UFV, 1985. 52p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1985.
- DUBÉ, F. **Estudos técnicos e econômicos de sistemas agroflorestais com *Eucalyptus* sp. no Noroeste do Estado de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais**. Viçosa: UFV, 1999. 146p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- EUCLIDES, V.P.B. Valor alimentício de espécies forrageiras do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12, Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.245-273.
- FERREIRA, M.G.M. **An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the cerrado region in Brazil: A nutrient cycling approach**. Vancouver, The University of British Columbia. 1984. 230p. (Ph.D. thesis).
- FISHER, M.J., RAO, I.M., AYARZA, M.A., LASCANO, C.E., SANZ, J.I., THOMAS, R.J., VERA, R.R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. **Nature**, n.371, p.236-238, 1994.
- FISHER, M.J., RAO, I.M., THOMAS, R.J., LASCANO, C.E. Grasslands in the well-watered tropical lowlands. In: HODGSON, J., ILLIUS, A.W. (Eds.) **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p.393-425.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos, em solos de tabuleiro da Bahia, Brasil**. Viçosa: UFV, 1997. 107p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- GAMA-RODRIGUES, E.F., GAMA-RODRIGUES, A.C., BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.361-365, 1997.
- GARCIA, R., COUTO, L. Sistemas silvipastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa-MG. **Anais...** Viçosa: DZO/UFV, 1997. p.447-471.

- GRIFFITH, W.K., MURPHY, L.S. Macronutrients in forage production. In: JOOST, R.E., ROBERTS, C.A., (Eds.) **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: University of Missouri, 1996. p.13-28.
- GROVE, T.S., THOMSON, B.D., MALAJCZUK, N. Nutritional physiology of eucalypts: uptake, distribution and utilization. In: ATTIWILL, P.M., ADAMS, M.A. (Eds.) **Nutrition of eucalypts**. Australia: CSIRO, 1996. p.77-108.
- HASSINK, J., BOUWMAN, L.A., ZWART, K.B., BLOEM, J., BRUSSAARD, L. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. **Geoderma**, v.57, p.105-128, 1993.
- HUMPHREYS, L.R. **Tropical forages: their role in sustainable agriculture**. London: Longman, 1994. 414p.
- JUDD, T.S., ATTIWILL, M.P., ADAMS, M.A. Nutrient concentrations in Eucalyptus: a synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. In: ATTIWILL, P.M., ADAMS, M.A. (Eds.) **Nutrition of eucalypts**. Australia: CSIRO, 1996. p.123-153.
- KAMPRATH, E.J. The gaps and research opportunities in phosphorus nutrition and fertilization of agricultural crops. In: ALVAREZ V., V.H., FONTES, L.E.F, FONTES, M.P.F (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. p.565-582.
- LADEIRA, B.C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus spp.*, sob três espaçamentos, em uma seqüência de idades**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 132p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- LILIENFEIN, J., FREIBAUER, A., NEUFELDT, H., WERTERHOF, R., AYARZA, M.A., SILVA, J.E., RESCK, V.V.S., ZECH, W. Influence of land-use on the distribution of water stable aggregates and P status of sandy and clayey cerrado oxisols, Brazil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8, 1996, Brasília-DF. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.323-328.
- LITTELL, R.C., FREUND, R.J., SPECTOR, P.C. **SAS[®] system for linear models**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1991. 329p.
- LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”: Características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984, 2.ed. 162p.
- LUCHIARI JR., A., RESENDE, M., RITCHEY, K.D., FREITAS JR., E., SOUZA, P.I.M. Manejo do solo e aproveitamento de água. In: GOEDERT, W.J. (Ed.) **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; EMBRAPA-CPAC, 1985. p.285-322.

- 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**, v.25, p.425-433, 1974.
- MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. In: ALVAREZ V., V.H., FONTES, L.E.F, FONTES, M.P.F (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. p.135-155.
- MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS: pesquisas para o desenvolvimento sustentável, 1995, Brasília-DF. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p.28-62.
- MAHESWARAN, J., ATTIWILL, P.M. Loss of organic matter, elements, and organic fractions in decomposing *Eucalyptus microcarpa* leaf litter. **Canadian Journal of Botany**, v.65, p.2601-2606, 1987.
- MATHEWS, B.W., SOLLENBERGER, L.E., TRITSCHLER II, J.P. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures – soil considerations. In: JOOST, R.E., ROBERTS, C.A. (Eds.) **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: University of Missouri, 1996. p.213-229.
- MESA, A.R., MENDOZA, F., AVILA, V. Rendimiento, composición química y niveles críticos de potasio en cuatro gramíneas tropicales. **Pastos y Forrajes**, v.12, n.1, p.43-51, 1989.
- MILLER, H.G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. **Plant and Soil**, v.168-169, p.225-232, 1995.
- MYERS, R.J.K., ROBBINS, G.B. Sustaining productive pastures in the tropics. 5. Maintaining productive sown grass pastures. **Tropical Grasslands**, v.25, p.104-110, 1991.
- NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993. 499p.
- NEILL, C., PICCOLO, M.C., STEUDLER, P.A., MELILLO, J.M., FEIGL, B.J., CERRI, C.C. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western brazilian amazon basin. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, n.9, p.1167-1175, 1995.
- NELSON, C.J. Photosynthesis and carbon metabolism. In BARNES, R.F., MILLER, D.A., NELSON, C.J. (Eds.) **Forages: an introduction to grassland agriculture**. Ames: Iowa State University Press, 5ed., v.1, 1995. p.31-43.

- NEVES, J.C.L. **Aspectos nutricionais em mudas de *Eucalyptus* spp – tolerância ao alumínio e níveis críticos de fósforo no solo**. Viçosa, MG: UFV, 1983. 87p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1983.
- NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, DPS, 1999. 399p.
- O'CONNELL, A.M., SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralization. In: NAMBIAR, E.K.S, BROWN, A.G. (Eds.) **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Austrália: ACIAR; CSIRO; CIFOR, 1997. p.443-480.
- PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agroforestry systems**, v.30, p.105-124, 1995.
- PAULINO, V.T., SANCHEZ, M.J.F., WERNER, J.C., GONÇALVES, M.A.Z. Efeito alelopático do *Eucalyptus* no desenvolvimento de forrageiras. **Revista de Agricultura**, v.62, n.1, p.17-35, 1987.
- PEREIRA, A.R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região de cerrado**. Viçosa: UFV, 1990. 167p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- PEREIRA, J.M., REZENDE, C.P. Sistemas silvipastoris: fundamentos agroecológicos e estado da arte no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 13, 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.199-219.
- PETERSON, P.R., GERRISH, J.R. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: livestock management considerations. In: JOOST, R.E., ROBERTS, C.A. (Eds.) **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: University of Missouri, 1996. p.203-212.
- PICCOLO, M.C., NEILL, C., CERRI, C.C. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and Soil**, v.162, p.61-70, 1994.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, agrônômica Ceres, 1991. 343p.
- REIS, M.G.F., BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F., NOVAIS, R.F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.

- RESENDE, M., SANS, L.M., DURÃES, F.O.M. Veranico e sua inter-relação com o sistema solo/água/planta/atmosfera nos Cerrados. In: ALVAREZ V., V.H., FONTES, L.E.F, FONTES, M.P.F (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. p.157-167.
- ROBBINS, G.B., BUSHELL, J.J., McKEON, G.M. Nitrogen immobilization in decomposing litter contributes to productivity decline in ageing pastures of green panic (*Panicum maximum* var. *trichoglume*). **Journal of Agricultural Science**, v.113, p.401-406, 1989.
- ROBERTSON, F.A., MYERS, R.J.K., SAFFIGNA, P.G. Carbon and nitrogen mineralization in cultivated and grassland soils in subtropical Queensland. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.31, p.611-619, 1993.
- ROSENBERG, N.J. **Microclimate: the biological environment**. New York: J. Wiley, 1974. 315p.
- RUSSELLE, M.P. Nitrogen cycling in pasture systems. In: JOOST, R.E., ROBERTS, C.A. (Eds.) **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: University of Missouri, 1996. p.125-166.
- SAMARAKOON, S.P., WILSON, J.R., SHELTON, H.M. Growth, morphology and nutritive quality of *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. **Journal of Agricultural Science**, v.114, p.161-169, 1990.
- SCHREINER, H.G. Tolerância de quatro gramíneas forrageiras a diferentes graus de sombreamento. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.15, p.61-72, 1987.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1990. 165p.
- SILVA, J.L.S. **Produtividade de componentes de um sistema silvipastoril constituído por *Eucalyptus saligna* Smith e pastagens cultivada e nativa no Rio Grande do Sul**. Viçosa: UFV, 1998. 178p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- SILVA, J.E., RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T., HUNGRIA, M. (Eds.) **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.467-524.
- STULEN, I. Interactions between carbon and nitrogen metabolism in relation to plant growth and productivity. In: ABROL, Y.P. (Ed.) **Nitrogen in higher plants**. Somerset, England: Research Studies Press, 1990. p.297-312.
- STÜR, W.W. Screening forage species for shade tolerance – a preliminary report. In: SHELTON, H.M., STÜR, W.W. (Eds.) **Forages for plantation crops**. Austrália: ACIAR, 1991. p. 58-63. (ACIAR Proceedings N° 32)

- SWITZER, G.L., NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. **Soil Science of society America Proceedings**, v.36, p.143-147, 1972.
- SZOTT, L.T., FERNANDES, E.C.M., SANCHEZ, P.A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v.45, p.127-152, 1991.
- TEDESCO, M.J., VOLKWEISS, S.J., BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- URQUIAGA, S., CADISCH, G., ALVES, B.J.R., BODDEY, R.M., GILLER, K.E. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on availability of soil nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, n.14, p.2099-2106, 1998.
- VEIGA, J.B., SERRÃO, E.A.S. Sistemas silvopastoris e produção animal nos trópicos úmidos: a experiência da Amazônia brasileira. In: PEIXOTO, A. M., MOURA, J.C., FARIA, V.P. (Eds.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, 1994. 2.ed. p. 495-531.
- VIANELLO, R.L., ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, UFV, 1991. 449p.
- WEDDERBURN, M.E., CARTER, J. Litter decomposition by four tree types for use in silvopastoral systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, n.3, p.455-461, 1999.
- WEDIN, D.A. Nutrient cycling in grasslands: an ecologist's perspective. In: JOOST, R.E., ROBERTS, C.A. (Eds.) **Nutrient cycling in forage systems**. Columbia: University of Missouri, 1996. p.29-44.
- WERNER, J.C. Alguns princípios e perspectivas sobre adubação de pastagens. In: CONGRESSO NACIONAL DOS ESTUDANTES DE ZOOTECNIA, 1998, Viçosa. **Anais...** Viçosa: AMEZ, 1998. p.115-124.
- WILSON, J.R., LUDLOW, M.M. The environment and potential growth of herbage under plantations. In: SHELTON, H.M., STÜR, W.W. (Eds.) **Forages for plantation crops**. Austrália: ACIAR, 1991. p.10-24. (ACIAR Proceedings N° 32)
- 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**, v.31, p.269-285, 1980.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre a taxa de acumulação de MS do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 41,5009 | 1,93 | 0,1584 |
| N | 1 | 1.063,2342 | 49,54 | 0,0001 |
| P | 1 | 0,0223 | 0,00 | 0,9746 |
| K | 1 | 9,9895 | 0,47 | 0,5033 |
| N x P | 1 | 24,8216 | 1,16 | 0,2956 |
| N x K | 1 | 13,8124 | 0,64 | 0,4323 |
| P x K | 1 | 17,6113 | 0,82 | 0,3763 |
| N x P x K | 1 | 37,2212 | 1,73 | 0,2035 |
| Escore Linear | 1 | 170,6162 | 7,95 | 0,0109 |
| Resíduo | 19 | 21,4608 | | |
| CV = 23,63% | | | | |

Quadro 2A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre a taxa de acumulação de MS do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,4296 | 0,42 | 0,7383 |
| N | 1 | 10,5400 | 10,39 | 0,0043 |
| P | 1 | 1,0053 | 0,99 | 0,3315 |
| K | 1 | 6,3564 | 6,26 | 0,0211 |
| N x P | 1 | 0,0438 | 0,04 | 0,8374 |
| N x K | 1 | 0,4996 | 0,49 | 0,4909 |
| P x K | 1 | 0,0691 | 0,07 | 0,7968 |
| N x P x K | 1 | 0,0165 | 0,02 | 0,8998 |
| Resíduo | 20 | 1,0147 | | |
| CV = 15,80% | | | | |

Quadro 3A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de N na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,019223 | 2,56 | 0,0827 |
| N | 1 | 0,083742 | 11,13 | 0,0031 |
| P | 1 | 0,031187 | 4,15 | 0,0546 |
| K | 1 | 0,036788 | 4,89 | 0,0382 |
| N x P | 1 | 0,016335 | 2,17 | 0,1554 |
| N x K | 1 | 0,004925 | 0,65 | 0,4275 |
| P x K | 1 | 0,003465 | 0,46 | 0,5048 |
| N x P x K | 1 | 0,029221 | 3,88 | 0,0621 |
| Resíduo | 21 | 0,007523 | | |
| CV = 6,76% | | | | |

Quadro 4A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de N na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|------|--------|
| Bloco | 3 | 0,021722 | 1,25 | 0,3183 |
| N | 1 | 0,038850 | 2,23 | 0,1504 |
| P | 1 | 0,041400 | 2,37 | 0,1383 |
| K | 1 | 0,008482 | 0,49 | 0,4931 |
| N x P | 1 | 0,003762 | 0,22 | 0,6470 |
| N x K | 1 | 0,022313 | 1,28 | 0,2707 |
| P x K | 1 | 0,000621 | 0,04 | 0,8521 |
| N x P x K | 1 | 0,000003 | 0,00 | 0,9884 |
| Resíduo | 21 | 0,017433 | | |
| CV = 9,59% | | | | |

Quadro 5A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de P na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|--------|--------|
| Bloco | 3 | 0,00011720 | 0,75 | 0,5354 |
| N | 1 | 0,02065528 | 131,92 | 0,0001 |
| P | 1 | 0,00816003 | 52,11 | 0,0001 |
| K | 1 | 0,00091378 | 5,84 | 0,0249 |
| N x P | 1 | 0,00013203 | 0,84 | 0,3689 |
| N x K | 1 | 0,00000703 | 0,04 | 0,8342 |
| P x K | 1 | 0,00002278 | 0,15 | 0,7067 |
| N x P x K | 1 | 0,00000003 | 0,00 | 0,9889 |
| Resíduo | 21 | 0,00015658 | | |
| CV = 7,35% | | | | |

Quadro 6A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de P na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,0001441 | 0,55 | 0,6524 |
| N | 1 | 0,0026827 | 10,28 | 0,0042 |
| P | 1 | 0,0109150 | 41,81 | 0,0001 |
| K | 1 | 0,0001757 | 0,67 | 0,4211 |
| N x P | 1 | 0,0000690 | 0,26 | 0,6125 |
| N x K | 1 | 0,0004882 | 1,87 | 0,1859 |
| P x K | 1 | 0,0000300 | 0,12 | 0,7379 |
| N x P x K | 1 | 0,0000037 | 0,01 | 0,9054 |
| Resíduo | 21 | 0,0002610 | | |
| CV = 8,82% | | | | |

Quadro 7A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de K na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,01800 | 0,77 | 0,5261 |
| N | 1 | 0,07229 | 3,07 | 0,0941 |
| P | 1 | 0,00024 | 0,01 | 0,9193 |
| K | 1 | 1,83792 | 78,15 | 0,0001 |
| N x P | 1 | 0,01781 | 0,76 | 0,3940 |
| N x K | 1 | 0,48486 | 20,62 | 0,0002 |
| P x K | 1 | 0,09823 | 4,18 | 0,0537 |
| N x P x K | 1 | 0,04613 | 1,96 | 0,1759 |
| Resíduo | 21 | 0,02351 | | |
| CV = 7,08% | | | | |
| N → K0 | 1 | 0,46580 | 19,81 | 0,0002 |
| N → K1 | 1 | 0,09135 | 3,88 | 0,0621 |
| K → N0 | 1 | 0,21739 | 9,24 | 0,0062 |
| K → N1 | 1 | 2,10540 | 89,53 | 0,0001 |

Quadro 8A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de K na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,04387 | 1,35 | 0,2853 |
| N | 1 | 0,38193 | 11,75 | 0,0025 |
| P | 1 | 0,03187 | 0,98 | 0,3333 |
| K | 1 | 2,72611 | 83,85 | 0,0001 |
| N x P | 1 | 0,11882 | 3,66 | 0,0696 |
| N x K | 1 | 0,11712 | 3,60 | 0,0715 |
| P x K | 1 | 0,01058 | 0,33 | 0,5743 |
| N x P x K | 1 | 0,03906 | 1,20 | 0,2854 |
| Resíduo | 21 | 0,03251 | | |

CV = 8,05%

Quadro 9A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de Ca na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,004864 | 1,56 | 0,2294 |
| N | 1 | 0,010621 | 3,40 | 0,0793 |
| P | 1 | 0,037881 | 12,13 | 0,0022 |
| K | 1 | 0,052245 | 16,72 | 0,0005 |
| N x P | 1 | 0,000063 | 0,02 | 0,8882 |
| N x K | 1 | 0,009350 | 2,99 | 0,0983 |
| P x K | 1 | 0,000016 | 0,01 | 0,9427 |
| N x P x K | 1 | 0,000693 | 0,22 | 0,6423 |
| Resíduo | 21 | 0,003123 | | |

CV = 12,71%

Quadro 10A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de Ca na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|--------------------------|-------------|-----------------------|----------|-----------------|
| Bloco | 3 | 0,001493 | 0,55 | 0,6535 |
| N | 1 | 0,001906 | 0,70 | 0,4114 |
| P | 1 | 0,017813 | 6,56 | 0,0182 |
| K | 1 | 0,005025 | 1,85 | 0,1880 |
| N x P | 1 | 0,000034 | 0,01 | 0,9119 |
| N x K | 1 | 0,008032 | 2,96 | 0,1001 |
| P x K | 1 | 0,001755 | 0,65 | 0,4303 |
| N x P x K | 1 | 0,002907 | 1,07 | 0,3125 |
| Resíduo | 21 | 0,002714 | | |

CV = 10,23%

Quadro 11A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de Mg na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|--------|--------|
| Bloco | 3 | 0,00706 | 6,05 | 0,0039 |
| N | 1 | 0,00106 | 0,92 | 0,3494 |
| P | 1 | 0,00239 | 2,05 | 0,1665 |
| K | 1 | 0,18105 | 155,10 | 0,0001 |
| N x P | 1 | 0,00087 | 0,75 | 0,3973 |
| N x K | 1 | 0,01324 | 11,35 | 0,0029 |
| P x K | 1 | 0,00032 | 0,27 | 0,6067 |
| N x P x K | 1 | 0,00193 | 1,66 | 0,2116 |
| Resíduo | 21 | 0,00116 | | |
| CV = 5,94% | | | | |
| N → K0 | 1 | 0,00339 | 2,91 | 0,1030 |
| N → K1 | 1 | 0,01092 | 9,35 | 0,0060 |
| K → N0 | 1 | 0,04818 | 41,27 | 0,0001 |
| K → N1 | 1 | 0,14611 | 125,17 | 0,0001 |

Quadro 12A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o teor de Mg na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,00121 | 0,58 | 0,6350 |
| N | 1 | 0,02205 | 10,55 | 0,0038 |
| P | 1 | 0,00108 | 0,52 | 0,4799 |
| K | 1 | 0,18696 | 89,45 | 0,0001 |
| N x P | 1 | 0,00475 | 2,27 | 0,1465 |
| N x K | 1 | 0,00070 | 0,34 | 0,5681 |
| P x K | 1 | 0,00051 | 0,24 | 0,6258 |
| N x P x K | 1 | 0,00039 | 0,19 | 0,6694 |
| Resíduo | 21 | 0,00209 | | |

CV = 6,20%

Quadro 13A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de N na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 36,0723 | 2,73 | 0,0726 |
| N | 1 | 962,6474 | 72,82 | 0,0001 |
| P | 1 | 6,8243 | 0,52 | 0,4812 |
| K | 1 | 0,2108 | 0,02 | 0,9008 |
| N x P | 1 | 38,5688 | 2,92 | 0,1039 |
| N x K | 1 | 17,9504 | 1,36 | 0,2583 |
| P x K | 1 | 11,8893 | 0,90 | 0,3549 |
| N x P x K | 1 | 10,4279 | 0,79 | 0,3856 |
| Escore Linear | 1 | 162,3672 | 12,28 | 0,0024 |
| Resíduo | 19 | 13,2192 | | |

CV = 21,76%

Quadro 14A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de N na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|--------------------------|-------------|-----------------------|----------|-----------------|
| Bloco | 3 | 0,21320 | 0,32 | 0,8137 |
| N | 1 | 3,68331 | 5,46 | 0,0306 |
| P | 1 | 0,00159 | 0,00 | 0,9617 |
| K | 1 | 3,53697 | 5,24 | 0,0337 |
| N x P | 1 | 0,00006 | 0,00 | 0,9926 |
| N x K | 1 | 0,00633 | 0,01 | 0,9238 |
| P x K | 1 | 0,02521 | 0,04 | 0,8488 |
| N x P x K | 1 | 0,04196 | 0,06 | 0,8058 |
| Escore Linear | 1 | 3,72773 | 5,52 | 0,0297 |
| Resíduo | 19 | 0,67482 | | |
| CV = 15,70% | | | | |

Quadro 15A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de P na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,49926 | 2,29 | 0,1107 |
| N | 1 | 3,26300 | 14,99 | 0,0010 |
| P | 1 | 1,44197 | 6,62 | 0,0186 |
| K | 1 | 0,00089 | 0,00 | 0,9495 |
| N x P | 1 | 0,07881 | 0,36 | 0,5545 |
| N x K | 1 | 0,47530 | 2,18 | 0,1559 |
| P x K | 1 | 0,09402 | 0,43 | 0,5189 |
| N x P x K | 1 | 0,32355 | 1,49 | 0,2377 |
| Escore Linear | 1 | 1,92606 | 8,85 | 0,0078 |
| Resíduo | 19 | 0,21767 | | |
| CV = 22,28% | | | | |

Quadro 16A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de P na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|------|--------|
| Bloco | 3 | 0,003758 | 0,25 | 0,8636 |
| N | 1 | 0,024236 | 1,58 | 0,2229 |
| P | 1 | 0,073246 | 4,78 | 0,0408 |
| K | 1 | 0,060190 | 3,93 | 0,0614 |
| N x P | 1 | 0,001500 | 0,10 | 0,7575 |
| N x K | 1 | 0,000007 | 0,00 | 0,9827 |
| P x K | 1 | 0,000036 | 0,00 | 0,9618 |
| N x P x K | 1 | 0,000732 | 0,05 | 0,8291 |
| Resíduo | 20 | 0,015318 | | |
| CV = 17,91% | | | | |

Quadro 17A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de K na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 137,82 | 3,21 | 0,0461 |
| N | 1 | 1.895,97 | 44,22 | 0,0001 |
| P | 1 | 1,72 | 0,04 | 0,8431 |
| K | 1 | 513,48 | 11,98 | 0,0026 |
| N x P | 1 | 90,84 | 2,12 | 0,1618 |
| N x K | 1 | 77,56 | 1,81 | 0,1945 |
| P x K | 1 | 124,95 | 2,91 | 0,1041 |
| N x P x K | 1 | 204,49 | 4,77 | 0,0417 |
| Escore Linear | 1 | 530,77 | 12,38 | 0,0023 |
| Resíduo | 19 | 42,87 | | |
| CV = 23,13% | | | | |
| N → P0 K0 | 1 | 232,74 | 5,43 | 0,0310 |
| N → P1 K0 | 1 | 346,79 | 8,09 | 0,0104 |
| N → P0 K1 | 1 | 1507,82 | 35,17 | 0,0001 |
| N → P1 K1 | 1 | 204,54 | 4,77 | 0,0417 |
| P → N0 K0 | 1 | 6,42 | 0,15 | 0,7030 |
| P → N1 K0 | 1 | 48,14 | 1,12 | 0,3026 |
| P → N0 K1 | 1 | 34,30 | 0,80 | 0,3822 |
| P → N1 K1 | 1 | 345,19 | 8,05 | 0,0105 |
| K → N0 P0 | 1 | 31,47 | 0,73 | 0,4023 |
| K → N1 P0 | 1 | 875,88 | 20,43 | 0,0002 |
| K → N0 P1 | 1 | 84,29 | 1,97 | 0,1770 |
| K → N1 P1 | 1 | 9,17 | 0,21 | 0,6490 |

Quadro 18A - Análise de variância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de K na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|--------------------------|-------------|-----------------------|----------|-----------------|
| Bloco | 3 | 1,6182 | 0,68 | 0,5751 |
| N | 1 | 3,4697 | 1,46 | 0,2417 |
| P | 1 | 0,2867 | 0,12 | 0,7323 |
| K | 1 | 93,2967 | 39,14 | 0,0001 |
| N x P | 1 | 1,3921 | 0,58 | 0,4536 |
| N x K | 1 | 0,4426 | 0,19 | 0,6711 |
| P x K | 1 | 1,0256 | 0,43 | 0,5193 |
| N x P x K | 1 | 0,2105 | 0,09 | 0,7694 |
| Resíduo | 20 | 2,3834 | | |

CV = 17,88%

Quadro 19A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de Ca na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 3,3639 | 1,29 | 0,3075 |
| N | 1 | 70,7210 | 27,06 | 0,0001 |
| P | 1 | 8,3568 | 3,20 | 0,0897 |
| K | 1 | 5,1972 | 1,99 | 0,1747 |
| N x P | 1 | 0,1751 | 0,07 | 0,7985 |
| N x K | 1 | 11,1729 | 4,27 | 0,0526 |
| P x K | 1 | 1,0757 | 0,41 | 0,5288 |
| N x P x K | 1 | 3,6416 | 1,39 | 0,2524 |
| Escore Linear | 1 | 11,7281 | 4,49 | 0,0476 |
| Resíduo | 19 | 2,6136 | | |
| CV = 28,94% | | | | |
| N → K0 | 1 | 66,0324 | 25,26 | 0,0001 |
| N → K1 | 1 | 13,4931 | 5,16 | 0,0349 |
| K → N0 | 1 | 0,4874 | 0,19 | 0,6707 |
| K → N1 | 1 | 15,1063 | 5,78 | 0,0266 |

Quadro 20A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de Ca na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,0445 | 0,40 | 0,7544 |
| N | 1 | 1,4866 | 13,37 | 0,0017 |
| P | 1 | 0,0560 | 0,50 | 0,4864 |
| K | 1 | 0,0834 | 0,75 | 0,3972 |
| N x P | 1 | 0,0110 | 0,10 | 0,7566 |
| N x K | 1 | 0,0167 | 0,15 | 0,7026 |
| P x K | 1 | 0,0511 | 0,46 | 0,5060 |
| N x P x K | 1 | 0,1459 | 1,31 | 0,2661 |
| Escore Linear | 1 | 0,5600 | 5,04 | 0,0369 |
| Resíduo | 19 | 0,1111 | | |
| CV = 17,17% | | | | |

Quadro 21A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de Mg na forragem do capim-tanzânia, no primeiro corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 6,7627 | 1,89 | 0,1656 |
| N | 1 | 144,1569 | 40,28 | 0,0001 |
| P | 1 | 0,1168 | 0,03 | 0,8585 |
| K | 1 | 18,6352 | 5,21 | 0,0342 |
| N x P | 1 | 2,2304 | 0,62 | 0,4396 |
| N x K | 1 | 17,8412 | 4,98 | 0,0378 |
| P x K | 1 | 0,7024 | 0,20 | 0,6628 |
| N x P x K | 1 | 1,5214 | 0,43 | 0,5222 |
| Escore Linear | 1 | 28,6647 | 8,01 | 0,0107 |
| Resíduo | 19 | 3,5791 | | |
| CV = 25,87% | | | | |
| N → K0 | 1 | 125,9513 | 35,19 | 0,0001 |
| N → K1 | 1 | 31,8244 | 8,89 | 0,0077 |
| K → N0 | 1 | 0,0292 | 0,01 | 0,9289 |
| K → N1 | 1 | 35,0957 | 9,81 | 0,0055 |

Quadro 22A - Análise de covariância para efeito da adubação NPK sobre o conteúdo de Mg na forragem do capim-tanzânia, no segundo corte

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado médio | F | P > F |
|-------------------|------|----------------|-------|--------|
| Bloco | 3 | 0,2004 | 1,32 | 0,2962 |
| N | 1 | 4,2072 | 27,77 | 0,0001 |
| P | 1 | 0,0390 | 0,26 | 0,6176 |
| K | 1 | 0,6197 | 4,09 | 0,0574 |
| N x P | 1 | 0,0228 | 0,15 | 0,7020 |
| N x K | 1 | 0,3488 | 2,30 | 0,1456 |
| P x K | 1 | 0,0002 | 0,00 | 0,9682 |
| N x P x K | 1 | 0,0057 | 0,04 | 0,8473 |
| Escore Linear | 1 | 0,6631 | 4,38 | 0,0501 |
| Resíduo | 19 | 0,1514 | | |
| CV = 13,90% | | | | |