

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

**QUALIDADE, DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE
NUTRIENTES DA LITEIRA DE QUATRO CULTIVARES DE
Panicum maximum Jacq.**

ROZA MARIA SCHUNKE

ORIENTADOR: DR. SEGUNDO URQUIAGA

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau
de 'Philosophiae Doctor' em Agronomia,
Área de Concentração: Ciência do Solo

Seropédica – RJ
Outubro de 1998

033.2571
5393
T

**QUALIDADE, DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE
NUTRIENTES DA LITEIRA DE QUATRO CULTIVARES DE
Panicum maximum Jacq.**

ROZA MARIA SCHUNKE

Tese aprovada em 01 de outubro de 1998.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Segundo Urquiaga - (Orientador).....

Prof. Dr. Jorge De Castro Kiehl.....

Prof. Dr Robert Michael Boddey

Prof. Dr. Valdinei Tadeu Paulino

Prof. Dr. Roberto Oscar Pereyra Rossiello.....

AGRADECIMENTOS

Aos meus Mestres Interiores que me conduziram passo a passo nesta jornada, onde mais do que uma atualização em meus conhecimentos técnicos, concederam-me experiências pessoais valiosas;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pela oportunidade concedida.

À CAPES/ UFRRJ, pelo suporte da bolsa concedida.

Ao Dr. Robert M. Boddey, pelo acolhimento no CNPAB pela amizade e confiança em meu trabalho.

Ao Dr. Segundo Urquiaga, pela amizade e sugestões na elaboração e condução do plano de tese e dos trabalhos e posterior orientação oficial, e ao Dr. Bruno Alves pela colaboração e pela boa vontade demonstrada sempre que solicitei ajuda.

Ao Instituto de Zootecnia de Nova Odessa, na pessoa do Dr. Paulo Bardauil Alcântara, por ter permitido a condução dos trabalhos de campo nas

dependências daquela instituição, e ao Dr. Valdinei Tadeu Paulino, responsável pelo experimento utilizado como base dos trabalhos, pelo valioso auxílio e amizade.

Ao Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, na pessoa do Prof. Dr. Jorge de Castro Kiehl, que me recebeu e propiciou as facilidades para a condução do plano de tese, e que teve boa dose de paciência para acompanhar este trabalho corrigindo manuscritos e dando sugestões. Também à FAPESP pelo suporte financeiro para as análises de laboratório.

Ao Marcelo Correa Alves do CIAGRI-ESALQ, pelo auxílio nas análises estatística e pela iniciação nos comandos do SAS.

Ao prof. Dr. Gabriel Santos pela amizade e aos colegas Lindete, Elvino, Herval, Silvio, Alberto e Luciano, pelo amizade nos bons e maus momentos passados juntos durante esta empreitada. Também à amiga Odete Angeli Ghisi, pela acolhida e amizade em Piracicaba.

Ao meu filho Bernardo, que me inspira para buscar mais e que, em silêncio mas não sem custo, acompanhou todas as mudanças acontecidas durante o período do curso.

SUMÁRIO

Página

RESUMO GERAL.....	vii
GENERAL ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 2 - EFEITO DE NÍVEIS DE NITROGÊNIO E DE FÓSFORO NA QUALIDADE DAS FOLHAS VERDES E DA LITEIRA DE <i>Panicum maximum</i> EM SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO.....	6
Resumo	6
Abstract.....	8
Introdução.....	9
Materiais e Métodos.....	11
Resultados e Discussão.....	15
Dados climáticos.....	15
Produção de matéria seca total da parte aérea.....	16
Concentração de nutrientes das folhas verdes.....	18
Concentração de nutrientes da liteira.....	20
Conclusões.....	30
CAPÍTULO 3 - DECOMPOSIÇÃO DA LITEIRA DE <i>Panicum maximum</i> , COM DIFERENTES TEORES DE NITROGÊNIO E DE FÓSFORO, EM SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO	31
Resumo	31
Abstract.....	32

RESUMO GERAL

Uma das vias mais importantes de reciclagem de nutrientes em pastagem é aquela que se dá através da decomposição dos resíduos vegetais, sendo que numa pastagem bem manejada, grande parte deste processo está concentrada na superfície do solo na zona de deposição de resíduos. O objetivo deste estudo foi determinar a qualidade, a velocidade de decomposição e a cinética de liberação de nutrientes da liteira produzida por quatro cultivares de *Panicum maximum* Jacqu., adubadas com três níveis de nitrogênio (0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N) e dois de fósforo (0 e 200 Kg ha⁻¹ de P₂O₅), em solo podzólico vermelho-amarelo, usando-se a técnica dos sacos de nylon; esta metodologia também foi comparada com outra proposta neste trabalho. Avaliou-se também a mineralização do N desta liteira, através de incubação aeróbica e a extração deste elemento por plantas de milho, em condições de vasos adubados com esta liteira. A liteira das cultivares Aruana e Vencedor mostraram taxas de decomposição mais altas e liberaram maiores quantidades de N, P, S e Mg, relacionado-se com a concentração de N e

GENERAL ABSTRACT

Litter decomposition is one of the most important pathways of nutrient cycling in pastures. In a well managed pasture the major nutrient cycling process is on the soil surface in the litter layer. The objective of this study was describe litter quality, the decomposition rate, and the dynamics of nutrient release from four *Panicum maximum* Jacqu. cultivars fertilized with three levels of nitrogen (0, 80 e 160 kg ha⁻¹ of N) and two of phosphorus (0 e 200 Kg ha⁻¹ of P₂O₅) in an Alfisol, using the litterbags technique, which was compared with another approach suggested in this study. The N mineralization from the litter was determined using aerobic incubation, and the N uptake from the litter by maize using pots fertilized with this litter. The highest rate of litter decomposition and release of N, P, S e Mg were with the Aruana and Vencedor cultivars, and this was related to N and P concentration in the tissues and the C/N ratio. Nitrogen and phosphorus fertilizers increased the concentration of this nutrient in the tissues and increased decomposition and nutrient release. P cycling was enhanced through cultivar selection as well as by phosphorus fertilizer. Cultivar selection improved N, S, Mg

and K cycling. Nitrogen fertilizer enhanced the N cycling. Ca and C release was a time dependent function and independent of the nutrient concentration in the litter tissue.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, e mais acentuadamente nas regiões Leste e Centro-Oeste, a partir dos anos 70 iniciou-se uma nova fase de ocupação das áreas de cerrados para atividades agropastoris, a qual levou à introdução de pastagens exóticas como as do gênero *Brachiaria* e *Panicum*. Estas espécies por apresentarem alta produção de biomassa, permitiram um incremento da produtividade por área. Nessa época não houve a preocupação com o impacto desta atividade no equilíbrio do sistema ao longo do tempo. Estes recursos foram então explorados sem o emprego de um manejo adequado do sistema solo-planta-animal, isto é, sem que os nutrientes absorvidos pelas plantas e a matéria orgânica decomposta fossem repostos adequadamente. Essas áreas atualmente encontram-se degradadas ou em processo de degradação, o que tem implicado em diminuição da produtividade e em problemas ambientais, tais como erosão e, em casos mais extremos, início de desertificação.

A recuperação destas áreas é normalmente feita através do cultivo do solo e adubação, principalmente com fósforo e calagem, sendo a gramínea implantada imediatamente, ou após um ou mais plantios de culturas de arroz, milho ou soja. A adubação fosfatada contribui eficientemente para aumentar a produção de matéria seca das pastagens (McLean & Kerridge, 1987; Corrêa, 1991; Schunke et al., 1991; Schunke et al., 1992), sendo que a aplicação de fósforo pode mudar também a morfologia e a composição química dos tecidos das plantas devido ao aumento na concentração desse elemento (Rees, 1981; Corrêa, 1991; Schunke et al., 1991).

A decomposição dos resíduos vegetais é uma importantes via de reciclagem de nutrientes em pastagens, portanto um manejo da forrageira que mantenha boa cobertura do solo, refletirá favoravelmente em suas características físicas, químicas e biológicas. A taxa de utilização das pastagens tropicais sob pastejo de ruminantes é usualmente da ordem de 10-40% (Wetselaar and Ganry, 1982, citados por Thomas 1992). Sob estas condições, o retorno de nutrientes da planta para o solo via liteira é usualmente maior do que o retorno via excrementos (Thomas, 1992). O retorno de nutrientes da planta para o solo e a subsequente reciclagem via absorção pela planta podem ser manipulados pela escolha de cultivares de plantas, que apresentem maior ou menor velocidade de decomposição da liteira, e via manejo dos pastos, isto é, tempo e quantidade de liteira retornada de tal forma que permita um grau de sincronia entre o suprimento do pool de nutrientes do solo e a demanda pelo crescimento da planta.

Para desenvolver tal opção de manejo é necessário o conhecimento das características de decomposição e de liberação de nutrientes das forrageiras tropicais. Algumas informações sobre a decomposição de gramíneas e leguminosas forrageiras são disponíveis (Gupta & Singh, 1981; Bruce & Ebersohn, 1982; Robbins et al., 1989; Palm & Sanchez, 1990; Senthilkumar et al. 1992; Thomas & Asakawa, 1993), mas nenhuma compara o efeito da aplicação de fertilizantes sobre estas características.

Numa pastagem bem manejada, grande parte do processo de reciclagem esta concentrada na superfície do solo, na zona de resíduos, do mesmo modo que tem sido registrado para o sistema bosque tropical úmido. Assim, o processo de reciclagem ocorre quase que independentemente do solo mineral, com vantagens importantes, pois após entrar na biomassa a fixação de nutrientes pelos colóides do solo é mínima.

Com a decomposição, a liteira fresca é gradualmente transformada em matéria orgânica refratária ou humus. Muitos fatores influenciam a decomposição da litera, incluindo temperatura e umidade (Ferreira et al. 1997; Henrot & Brussaard, 1997), natureza dos organismos decompositores (Henrot & Brussaard, 1997); e qualidade da liteira. Estudos tem demonstrado que a concentração de carbono e de nitrogênio, a relação C:N, o conteúdo de lignina, a relação lignina:N, o conteúdo de polifenóis, e a relação polifenóis:N, tem influência na decomposição dos resíduos (Sivapalan & Fernando, 1985; Constantinides & Fownes, 1994). As concentrações iniciais de N, Ca, Mg, K, P e S também poderão ser de grande importância no processo (Nguluu et al. 1996; Chapman, 1997). E

finalmente, tanto a qualidade dos resíduos como as condições microclimáticas influenciam a composição e a atividade da comunidade de decompositores (Senthilkumar et al. 1992), e estes por seu turno, mediam os processos de decomposição e de liberação de nutrientes.

A adubação fosfatada contribui para aumentar a produção de liteira (Schunke et al., 1992) estimulando a atividade microbiana do solo (Rai & Srivastava, 1982; Della Bruna, 1991) e beneficiando a mineralização do nitrogênio (Nguluu et al., 1996). O nitrogênio, por sua vez, quando presente em altas quantidades na liteira, acelera o processo de decomposição desta (Rai & Srivastava 1982; van Vuuren & Eerden, 1992), especialmente em condições de alto suprimento de carbono facilmente degradável (van Vuuren & Eerden, 1992) além de liberar o nutriente acima das quantidades requeridas pelo *pool* de microorganismos (Rawat, 1995) beneficiando assim diretamente o processo de produção. A fonte de nitrogênio, por sua vez, afeta o equilíbrio microbiano, sendo que a uréia diminui a população de fungos e aumenta a de bactérias (Rai & Srivastava, 1982).

Os nutrientes podem ser liberados da liteira tanto por lixiviação quanto por mineralização (Swift et al., 1979). A taxa de liberação de nutrientes da liteira, assim como na decomposição, também depende de vários fatores como a composição da liteira (incluindo a concentração inicial de nutrientes), a natureza estrutural dos nutrientes na liteira matriz, a demanda microbiológica pelos nutrientes e a disponibilidade de fontes exógenas de nutrientes (Seastedt, 1984).

A liberação de nutrientes que não são limitantes aos microorganismos decompositores e que não fazem parte das ligações estruturais da liteira deverá ser maior do que a perda de massa. Entretanto, elementos relativamente pouco disponíveis à demanda microbiológica serão liberados a uma taxa menor do que a perda de massa, ou até acumulados na liteira durante os primeiros estágios da decomposição (Berg & Staaf, 1981)

A hipótese deste trabalho é a de que a adição de fósforo e nitrogênio em pastagem de *Panicum maximum*, melhora a qualidade da liteira reciclada no sistema, beneficiando a atividade da biomassa microbiana que, por sua vez, acelera sua decomposição e intensifica a reciclagem de nutrientes no sistema.

O objetivo foi o de determinar a qualidade da liteira produzida por quatro cultivares de *Panicum maximum* adubados com dois níveis de fósforo e três níveis de nitrogênio, bem como a velocidade de decomposição desse material e a cinética de liberação de nutrientes.

CAPÍTULO 2

EFEITO DE NÍVEIS DE NITROGÊNIO E DE FÓSFORO NA QUALIDADE DA LITERA DE *Panicum maximum* EM SOLO PODZÓLICO VERMELHO- AMARELO DISTRÓFICO

Resumo

O objetivo deste estudo foi o de quantificar o efeito da adubação com três níveis de nitrogênio (0, 80 e 160 kg N ha⁻¹) na forma de sulfato de amônio, com e sem adição de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sobre a qualidade da liteira produzida pelas cultivares de *Panicum maximum* Vencedor, Tobiata, Aruana e Tanzânia em um solo podzólico vermelho amarelo distrófico. A Vencedor e a Aruana foram as cultivares com maiores concentrações de nitrogênio nos tecidos da liteira; a adubação fosfatada diminuiu estas concentrações para todas as cultivares, embora este decréscimo tenha sido significativo somente para a Aruana. A Aruana apresentou as maiores concentrações de fósforo na liteira seguido da Vencedor ,

da Tanzânia e da Tobiatã. Os valores mais altos da relação C/N foram os da liteira das cultivares Tobiatã e Tanzânia e os mais baixos da Vencedor e Aruana. A adubação fosfatada aumentou significativamente as concentrações de fósforo da liteira em todos os níveis testados de adubação nitrogenada. A adição de nitrogênio ao sistema promoveu uma diminuição da concentração de fósforo dos tecidos. Na ausência de fósforo este decréscimo foi linear, porém quando se adicionaram 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, diminuiu de forma quadrática, mostrando que o fósforo potencializou o efeito da adubação nitrogenada. A adubação fosfatada aumentou significativamente a relação C/N, passando de 41,1 para 46,1. Os níveis de adubação nitrogenada aumentaram linearmente as concentrações do nitrogênio, e diminuíram a relação C/N dos tecidos da liteira. As concentrações de lignina encontrados nos tecidos da liteira de *Panicum* oscilaram entre 2,7 a 3,8 % em função dos níveis de adubação nitrogenada, que promoveram um aumento significativo do elemento nos tecidos de todos os cultivares. As concentrações de polifenóis encontrados nos tecidos da liteira analisados variaram entre 0,08 a 0,18 %. Os tratamentos aplicados mostraram significância estatística (P<0,01%) para a interação cultivar x fósforo x nitrogênio

Abstract

The objective of this study was to quantify the effect of three levels of nitrogen fertilization (0, 80 and 160 kg ha⁻¹ of N) as ammonium sulfate, with and without the addition of 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, on the quality of litter produced by four *Panicum maximum* cultivars Vencedor, Tobiata, Aruana and Tanzania in an Alfisol. The Vencedor and Aruana cultivars showed the highest concentrations of nitrogen in the litter tissue; the phosphate fertilization decreased these concentrations for all cultivars, although it was significant only for Aruana which presented the highest phosphorus concentrations in the litter, followed by Tanzania and Tobiata. The C/N ratios were highest for the Tobiata and Tanzania cultivars and the lowest for the Vencedor and Aruana. Phosphorus fertilization significantly increased the phosphorus contents of the litter. The addition of nitrogen to the system decreased phosphorus concentration. In the absence of phosphorus, this decreased linearly; when 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ was added, it decreased quadratically, showing that the response to phosphorus was potentiated by nitrogen fertilization. The phosphorus fertilization increased the C/N ratio significantly, from 41,1 to 46,1. The levels of nitrogen fertilization increased linearly the nitrogen concentrations, and decreased the litter C/N relationship. The lignin content in the *Panicum* litter tissue ranged from 2,7 to 3,8% as a function of nitrogen fertilization, which promoted a significant increase of the element in all the cultivars. The polyphenol content of the litter varied from 0,08 to 0,18%. The treatments applied showed

statistical significance ($p < 0,01\%$) for the cultivars x phosphorus x nitrogen interaction.

Introdução

As pastagens introduzidas nas regiões Sudeste e Central do Brasil são geralmente implantadas em solos ácidos, com baixas concentrações de matéria orgânica e deficiência acentuada de nitrogênio e de fósforo. As respostas à adubação com estes nutrientes sobre a produção das forrageiras utilizadas nestas pastagens tem sido estudadas nos últimos anos, obtendo-se aumentos significativos da produção da matéria seca (McLean & Kerridge, 1987; Schunke et al., 1991; Schunke et al., 1992) e das concentrações de nutrientes das folhas e caules (Rees, 1981; Schunke et al., 1991), especialmente nos dois primeiros anos quando então acontece uma queda acentuada (Wikeem et al. 1993). Atribui-se este declínio de produtividade no tempo à falta de nitrogênio para o crescimento das plantas (Myers & Robbins, 1991; Spain & Gualdron, 1991) sendo que Robbins et al. (1989) concluíram que em pastagens de *Panicum maximum*, cultivada na Austrália, o declínio da produção observada no tempo, provocado pela deficiência de nitrogênio foi induzida pela imobilização do elemento na liteira em decomposição. As espécies forrageiras, como a *Brachiaria*, o *Andropogon* e o *Panicum* depositam no solo uma grande quantidade de liteira e de raízes com baixo conteúdo de nitrogênio (5 a 10 g kg⁻¹ de N), o que provoca um aumento da

matéria orgânica do solo, porém a alta relação C:N deste material introduzido produz um aumento da biomassa microbiana do solo deficiente em nitrogênio que compete com alta eficiência com as plantas, pelo nitrogênio mineral disponível naquele ecossistema (Robertson et al. 1993).

O potencial de decomposição da liteira depositada no solo é função de vários fatores, dos quais os dois mais importantes são o clima e a qualidade do substrato, sendo o primeiro inalterável pela interferência antrópica direta. Já a qualidade do substrato poderá sofrer modificações, tanto pela escolha da cultivar vegetal (Oglesby & Fownes, 1992; Tian et al., 1992), como através da aplicação de fertilizantes (Schunke et al. 1992; Handayanto et al. 1995), que determinará maior ou menor velocidade de decomposição de liteira.

Estudos tem demonstrado que a concentração de carbono e de nitrogênio, a relação C:N, o conteúdo de lignina, a relação lignina:N, o conteúdo de polifenóis, e a relação polifenóis:N, tem influência na decomposição dos resíduos (Fox et al. 1990). As concentrações iniciais de N, Ca, Mg, K, P e S também poderão ser de grande importância no processo. A qualidade inicial da liteira afeta não somente a taxa de decomposição mas também o padrão e a taxa de imobilização ou de liberação de nutrientes. A relação C-elementos, tem sido citada como um importante indicador da possibilidade de um determinado elemento ser imobilizado ou liberado conforme vai ocorrendo a decomposição da liteira (Berg & Staaf, 1981). Acima de um nível crítico da relação C-elemento, nutrientes serão imobilizado na biomassa microbiana e nos subprodutos conforme ocorre a mineralização do carbono. Quando este nível crítico é alcançado, a perda

de elementos deverá ser próximo a perda de massa. Blair (1988) observou que em liteira de três cultivares de arbóreas decíduas, a liberação de nitrogênio iniciou quando a relação C/N diminuiu para valores entre 25 e 34, enquanto os padrões de fluxo do P e do S variaram mais em função do tipo de liteira estudada.

A concentração total de certos nutrientes da liteira, poderá aumentar ou diminuir a taxa de decomposição da liteira em si, sendo que altas concentrações de nitrogênio e de fósforo provocam um estímulo à este processo enquanto que a lignina provoca efeito inverso, ou seja, altas concentrações de lignina significa uma baixa taxa de decomposição.

O objetivo deste estudo foi quantificar o efeito da adubação com dois níveis de fósforo e três de nitrogênio em um solo podzólico vermelho amarelo distrófico, sobre qualidade das folhas verdes e da liteira produzida por quatro cultivares de *Panicum maximum* Jacq.

Materiais e Métodos

Este estudo foi desenvolvido na Estação Experimental de Zootecnia de Nova Odessa-SP, nas parcelas de um experimento que havia sido conduzido no período de fevereiro/92 a abril/94, no qual se avaliou o crescimento de seis cultivares de *Panicum maximum* Jacq. adubadas com dois níveis de fósforo (0 e 125 kg ha⁻¹ P₂O₅) e três de nitrogênio (60, 120 e 240 kg ha⁻¹ N) em um solo

podzólico vermelho amarelo distrófico. Durante a condução daquele trabalho, a adubação fosfatada foi incorporada no início do experimento, e a nitrogenada foi aplicada anualmente, sendo a última em outubro/93.

Para a condução deste projeto selecionou-se dentre as cultivares disponíveis naquele experimento, a Tobiatã e a Tanzânia como plantas de porte alto e folha larga e as cultivares Vencedor e Aruana como plantas de porte baixo e folha estreita. Para avaliação do estado nutricional do stand, coletou-se amostras de solo e plantas, em maio/95 nas quais fez-se análises químicas, segundo metodologia de Tedesco et al. (1985), cujos resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

A análise química do solo (Tabela 1), mostrou que o pH do solo estava muito baixo, provavelmente em consequência da aplicação de altas doses de adubação nitrogenada na forma amoniacal. Também a porcentagem de saturação por bases (V%) mostrou valores muito baixo, mostrando que a capacidade de troca de cátions estava saturada quase que totalmente por H^+Al . Com base nestes resultados aplicamos superficialmente, $4,07 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário com o objetivo de elevar a saturação por bases para 60%. A aplicação foi em setembro/95 logo após o corte de uniformização das parcelas.

Apesar do tempo de aplicação da última adubação fosfatada as plantas ainda mostraram uma ligeira resposta ao fertilizante (Tabela 2). A cultivar Vencedor mostrou uma relação C/N menor do que a Tobiatã. As concentrações de

fósforo na matéria seca da Vencedor aparentemente foram ligeiramente superiores aos da Tobiata,

TABELA 1 - Análise química do solo coletado em 12/05/95 nas parcelas de um experimento de adubação de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. em Nova Odessa, SP.

P ₂ O ₅ - N Kg ha ⁻¹	pH CaCl ₂	MO %	P ug/cm ³	SB cmol _c dm ³	CTC cmol _c dm ³	V %
TOBIATÃ						
0 - 60	3,5	2,8	7	0,8	8,0	10
0 - 120	3,4	3,1	7	0,5	9,3	5
0 - 240	3,5	3,0	5	0,5	8,5	6
125 - 60	3,6	3,0	12	0,8	6,6	12
125 - 120	3,5	2,9	11	0,7	7,9	9
125 - 240	3,6	2,5	5	0,6	7,8	8
VENCEDOR						
0 - 60	3,6	2,7	6	0,9	7,3	12
0 - 120	3,4	2,9	4	0,8	8,0	10
0 - 240	3,4	3,1	2	0,4	9,2	4
125 - 60	3,6	2,4	6	0,8	7,5	15
125 - 120	3,0	3,0	7	0,7	7,9	9
125 - 240	3,6	2,4	9	1,1	8,0	10

SB= soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; V= saturação por bases.

O delineamento experimental foi mantido em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com três repetições, sendo as parcelas constituídas pelas quatro cultivares de *Panicum maximum* e as subparcelas pela combinação dos três níveis de N e dois de fósforo em esquema fatorial. O tamanho das parcelas foi de 6mx18 m e das subparcelas 3mx6 m.

Para maximizar o efeito dos nutrientes em estudo, em 10/10/95 fez-se nova adubação fosfatada e nitrogenada, nas quantidades de 0 e

200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N nas parcelas rebaixadas a altura de corte de 15 cm do solo.

TABELA 2 - Análise química de plantas coletadas em 12/05/95 nas parcelas de um experimento de adubação de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. em Nova Odessa, SP

Níveis de		N	P	C	C/N
P ₂ O ₅	N	g kg ⁻¹			
TOBIATÃ					
0	60	11,2	0,6	466	41.6
0	120	8,4	0,6	447	53.2
0	240	11,8	0,5	432	36.6
125	60	9,6	0,7	447	46.5
125	120	7,1	0,5	444	63.0
125	240	13,7	0,9	459	33.5
VENCEDOR					
0	60	10,4	0,6	391	37.7
0	120	11,9	0,6	407	34.2
0	240	12,7	0,6	436	34.3
125	60	10,1	0,7	402	39.8
125	120	10,9	0,8	403	37.0
125	240	10,3	0,6	400	38.9

Em 07/12/95, coletaram-se folhas verdes recém expandidas dentro da área útil de cada parcela. Após, fez-se um corte da parte aérea das plantas e se determinou o peso total da matéria seca, sendo que antes da secagem separou-se as folhas senescentes e velhas das plantas, para comporem o material de estudo (liteira), por serem as que mais se aproximam da composição da liteira recém depositada no solo. Estes materiais (folhas verdes recém expandidas e liteira) foram secados em estufa de circulação forçada de ar (65° C), moídos em moinho tipo Wiley e determinadas as concentrações de nitrogênio, dosando-as por

titulometria após digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl e as concentrações de fósforo, potássio, cálcio e enxofre, após extração com ácido perclórico (Tedesco et al., 1985). A lignina da liteira foi extraída com ácido sulfúrico segundo o método de Van Soest (1963). Os polifenóis solúveis da liteira foram extraídos em solução de metanol a 50% e determinados colorimetricamente com o reagente de Follin-Denis usando-se o ácido tânico como padrão (Anderson e Ingran, 1989). Determinou-se também as concentrações de carbono por oxidação com dicromato em meio ácido (Walkley-Black com calor externo) conforme descrito em Tedesco et al. (1985) e se calculou a relação carbono/ nitrogênio. Os dados foram analisados estatisticamente pelo SANEST onde o ajuste das curvas é feito pelas médias das repetições.

Resultados e Discussão

1. Dados climáticos

Os dados de temperatura registrados durante o período experimental (Figura 1) não mostraram grandes oscilações durante o período, sendo que não ocorreram baixas acentuadas de temperatura no inverno. Quanto a precipitação os meses de abril a agosto/96 foram os mais secos, porém não se caracterizou uma seca severa durante o período de avaliação, sendo julho/96 o mês mais seco com 10,6 mm de precipitação

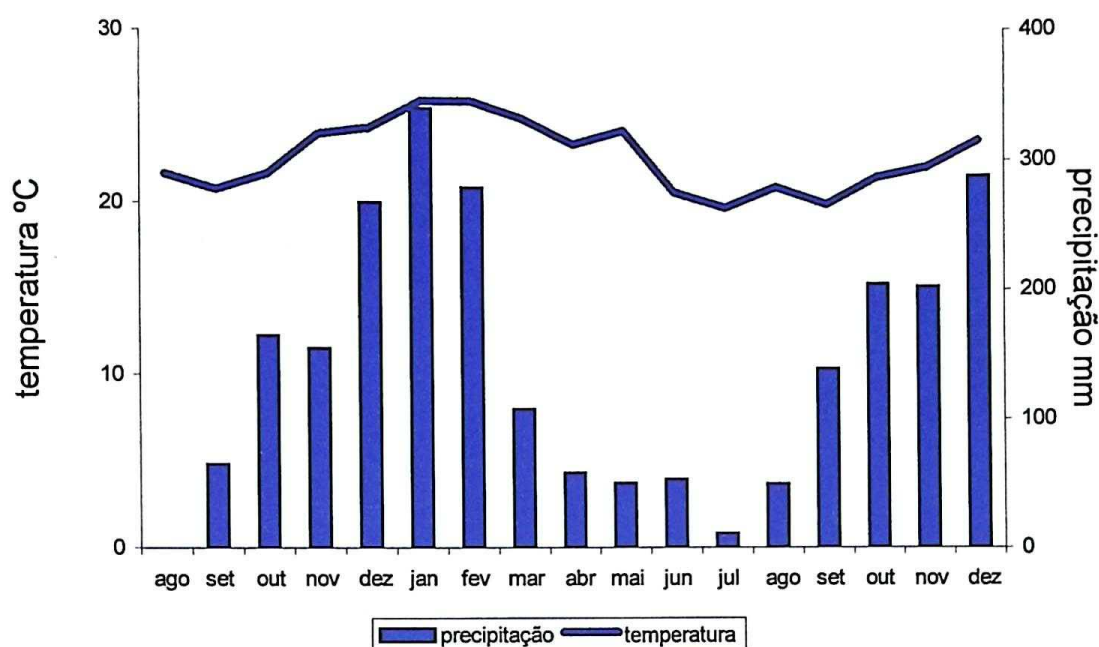


FIGURA 1 – Temperatura (média mensal das máximas e das mínimas) e precipitação mensal registradas durante o período experimental

2. Produção de matéria seca total da parte aérea

A produção de matéria seca total da parte aérea das plantas obtida no corte realizado 80 dias após a adubação. (Figura 2) mostrou um teste de F significativo ($P < 0,001$) para os fatores cultivar, fósforo, nitrogênio isoladamente e para as suas interações duplas. Houve resposta à adubação nitrogenada em quase todas as cultivares, sendo que na presença de fósforo esta foi intensificada. A Vencedor foi a cultivar menos produtiva em todos os níveis de N, tanto na ausência como na presença do fósforo. A Aruana foi a mais produtiva em todos os níveis de N na presença de fósforo e a Tanzânia foi a mais produtiva nos níveis mais elevados de N, e na ausência de fósforo. As produções de matéria seca, obtidas para a Tobiatã, foram semelhantes às encontradas por Couto et al. (1997),

para níveis de adubação similares. Por outro lado, as produções de matéria seca encontradas no presente experimento com capim Tanzânia, foram ao nível de 80 kg de N ha⁻¹, superiores as relatadas por Corrêa et al. (1997).

As produtividades dos capins Aruana e Tanzânia apresentaram tendência em mostrar valores mais elevados e semelhantes entre si. É evidente que a adaptação regional dessas novas cultivares de *Panicum maximum* difere nos diversos estados brasileiros, mostrando a necessidade de estudos regionais para não induzir os pecuaristas a erros e a insucessos.

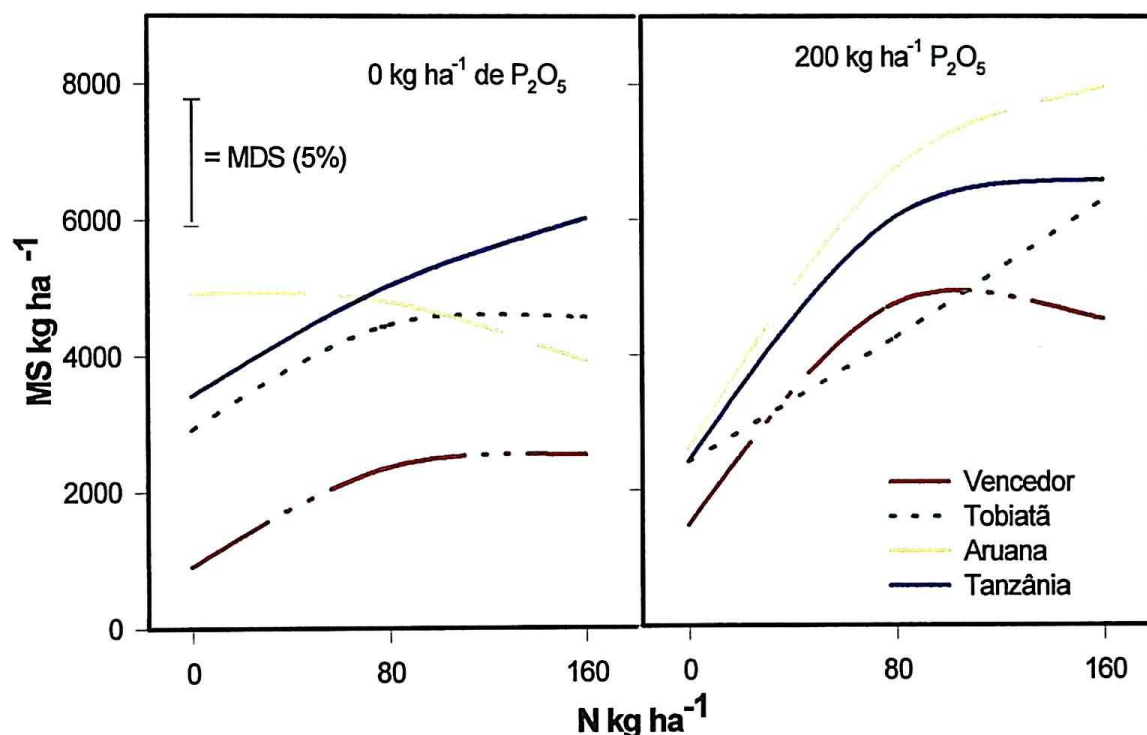


FIGURA 2 - Produção de matéria seca de quatro cultivares de *P. maximum*, cultivados em solo PA e adubado com níveis crescentes de nitrogênio e de fósforo (CV = 25,83%; teste F = * espécie x N x P)

A adubação fosfatada, dentre as práticas de manejo estudadas, contribuiu efetivamente para aumentar as produções de matéria seca, especialmente em presença de adubação nitrogenada. Outros autores como Correa et al. (1997), obtiveram máximos rendimentos em termos de produção de matéria seca da parte aérea para o capim Tanzânia com o emprego de superfosfato simples até a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Porém Couto et al. (1997) trabalhando com a cultivar Tobiatã no Estado do Pará, plantada num solo latossolo amarelo textura média, verificaram que a melhor resposta foi obtida com apenas 100 kg ha⁻¹ P₂O₅.

3. Concentração de nutrientes das folhas verdes

Os tratamentos aplicados resultaram em teste de F significativo ($P < 0,01$) para as concentrações de N, Mg e Zn (Tabelas 3, 4 e 5), enquanto as concentrações de P, K, Ca e S, não foram afetados. As doses crescentes de nitrogênio aplicadas aumentaram as concentrações do elemento nos tecidos, sendo que com a adubação fosfatada este aumento foi maior. Malavolta et al. (1997), considerou como adequados para *Panicum maximum*, concentrações de nitrogênio entre 11,3 e 15,0 g kg⁻¹ de matéria seca.

A adubação fosfatada, dentre as práticas de manejo estudadas, contribuiu efetivamente para aumentar as produções de matéria seca, especialmente em presença de adubação nitrogenada. Outros autores como Correa et al. (1997), obtiveram máximos rendimentos em termos de produção de matéria seca da parte aérea para o capim Tanzânia com o emprego de superfosfato simples até a dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Porém Couto et al. (1997) trabalhando com a cultivar Tobiatã no Estado do Pará, plantada num solo latossolo amarelo textura média, verificaram que a melhor resposta foi obtida com apenas $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$.

3. Concentração de nutrientes das folhas verdes

Os tratamentos aplicados resultaram em teste de F significativo ($P < 0,01$) para as concentrações de N, Mg e Zn (Tabelas 3, 4 e 5), enquanto as concentrações de P, K, Ca e S, não foram afetados. As doses crescentes de nitrogênio aplicadas aumentaram as concentrações do elemento nos tecidos, sendo que com a adubação fosfatada este aumento foi maior. Malavolta et al. (1997), considerou como adequados para *Panicum maximum*, concentrações de nitrogênio entre 11,3 e 15,0 g kg^{-1} de matéria seca.

TABELA 3.- Concentração de N nas folhas recém-expandidas de quatro cultivares de *P. maximum* cultivadas em solo PV adubado com diferentes níveis de nitrogênio e de fósforo

Cultivar	P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
	0			200		
	N (kg ha⁻¹)			N (kg ha⁻¹)		
	0	80	160	0	80	160
	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹		
Vencedor	11,5	14,9	14,8	13,5	16,9	19,4
Tobiatã	10,5	9,2	13,2	8,4	7,8	15,3
Aruana	15,8	22,4	19,4	15,4	20,2	22,5
Tanzânia	7,1	12,8	14,1	7,5	11,1	14,3
CV %	= 13,30					

TABELA 4.- Concentração de Mg nas folhas recém-expandidas de quatro cultivares de *P. maximum* cultivadas em solo PV adubado com diferentes níveis de nitrogênio e de fósforo

Cultivar	P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
	0			200		
	N (kg ha⁻¹)			N (kg ha⁻¹)		
	0	80	160	0	80	160
	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹		
Vencedor	2,4	2,2	2,7	2,8	3,0	3,4
Tobiatã	2,2	2,2	1,8	2,2	2,4	2,6
Aruana	2,1	2,3	2,4	2,5	2,9	4,1
Tanzânia	2,6	3,5	3,3	2,5	3,2	5,1
CV %	= 17,38					

Os concentrações de Mg estão dentro da faixa consideradas adequadas para o *Panicum maximum* cv. colômbio, ou seja 1,2 a 2,2 g Kg⁻¹. Para as cultivares estudadas no presente trabalho, não há informações na literatura disponível, porém com boa margem de segurança não deve haver diferenças marcantes para a faixa de concentrações adequados desses nutrientes com relação aos relatados para o colômbio. De um modo geral, houve efeitos positivos das doses de

nitrogênio, sobre a acumulação de Mg na parte aérea, principalmente em presença da adubação fosfatada.

TABELA 5. Concentração de Zn nas folhas recém-expandidas de quatro cultivares de *P. maximum* cultivadas em solo PV adubado com diferentes níveis de nitrogênio e de fósforo

Cultivar	P₂O₅ (kg ha⁻¹)					
	0			200		
	N (kg ha⁻¹)			N (kg ha⁻¹)		
	0	80	160	0	80	160
	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹		
Vencedor	20	21	21	18	21	23
Tobiatã	17	21	20	17	19	26
Aruana	19	22	24	18	22	25
Tanzânia	18	19	21	16	21	21
CV % = 7,10						

Os concentrações de Zn também estão dentro das faixas consideradas adequadas para o *Panicum maximum* cv. Colônia, ou seja 20-25 mg kg⁻¹. Não foi observada no presente trabalho a clássica "deficiência de zinco induzida pelo fósforo", ou seja altos níveis de fósforo no solo, causando diminuição na absorção de Zn.

4. Concentração de nutrientes da liteira

A concentração de nitrogênio foi estatisticamente significativa para a interação cultivar x fósforo ($P < 0,01$), sendo que a Vencedor e a Aruana foram as cultivares com maiores concentrações de nitrogênio nos tecidos da liteira; a adubação fosfatada diminuiu estas concentrações para todas as cultivares,

embora este decréscimo tenha sido significativo somente para a Aruana (Tabela 6). Considerando-se que a adubação fosfatada também aumentou a produção de matéria seca de forragem, este efeito pode ser explicado pela diluição do elemento nos tecidos.

TABELA 6 - Concentrações de nitrogênio nos tecidos dos quatro cultivares de *P. maximum* em função dos níveis de adubação fosfatada.

CULTIVAR	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	
	0	200
	----- g kg ⁻¹ -----	
Vencedor	13,8abA	13,3abA
Tobiatã	9,7cA	8,8cA
Aruana	15,8aA	11,6bcB
Tanzânia	9,3cA	8,6cA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Média seguidas da mesma letra maiúsculas dentro da mesma linha não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de F.

A Aruana apresentou as maiores concentrações de fósforo na liteira seguido das cultivares Vencedor, Tanzânia e Tobiatã respectivamente (Tabela 7). Os valores mais altos da relação C/N foram os da liteira das cultivares Tobiatã e Tanzânia e os mais baixos da Vencedor e Aruana. As diferenças na composição química observada entre as diferentes cultivares de plantas é comum na literatura (Oglesby & Fownes, 1992; Tian et al., 1992), porém neste estudo as diferenças encontradas

variaram em função das cultivares dentro de uma mesma espécie de uma mesma família, como é o caso do *Panicum maximum*. A explicação pode estar na variação do porte, onde a Tobiatã é um cultivar de porte alto e folhas largas, enquanto a Aruana é de porte baixo e folhas estreitas, sendo a Vencedor e a Tanzânia de porte intermediário.

TABELA 7 - Concentração de fósforo e relação C/N da liteira das quatro cultivares de *P. maximum*.

Cultivares	P	C/N
	g kg ⁻¹	
Vencedor	1,1ab	34,28b
Tobiatã	0,8c	50,65a
Aruana	1,2a	35,41b
Tanzânia	0,9bc	54,05a

Médias seguidas das mesmas letras na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey

A adubação fosfatada aumentou significativamente as concentrações de fósforo da liteira em todos os níveis testados de adubação nitrogenada (Figura 3). A adição de nitrogênio ao sistema promoveu uma diminuição da concentração de fósforo dos tecidos, efeito este conhecido como resultante da diluição do elemento nos tecidos em função do aumento da produção de biomassa, o que efetivamente ocorreu nas condições deste trabalho. Na ausência de fósforo este decréscimo foi linear, porém quando se adicionaram

200 kg/ha de P_2O_5 , diminuiu de forma quadrática, mostrando que o fósforo potencializou o efeito da adubação nitrogenada. Tanner et al. (1992) encontraram que a adubação fosfatada e nitrogenada, aplicada em uma floresta tropical da Venezuela, não afetou as concentrações de nitrogênio da liteira, porém a concentração do fósforo aumentou com a adubação fosfatada.

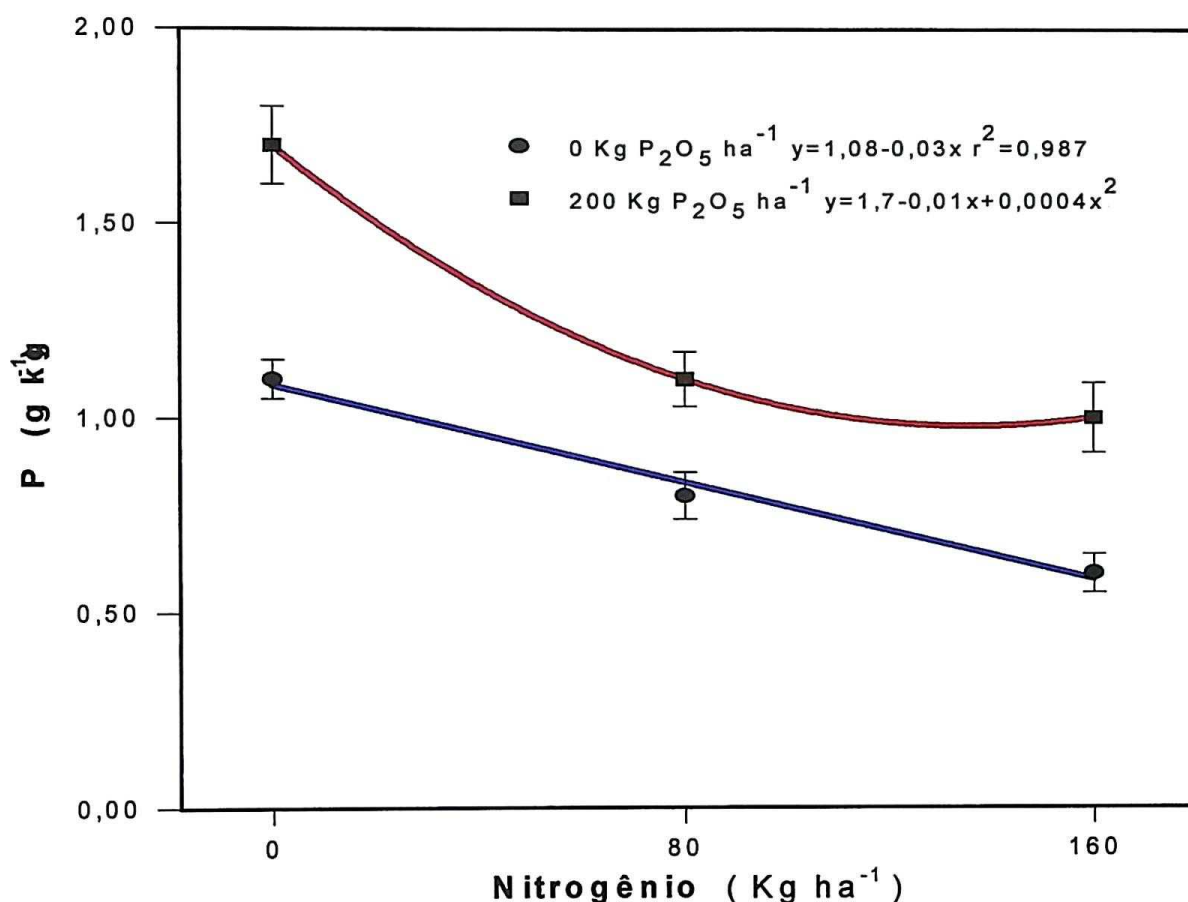


FIGURA 3 - Concentração de fósforo da liteira de *P. maximum*, em função dos níveis nitrogênio e de fósforo aplicados (barras verticais correspondem ao erro padrão da média)

A adubação fosfatada também aumentou significativamente a relação C/N, passando de 41,1 para 46,1, o que novamente se explica pelo efeito de diluição da concentrações de nitrogênio nos tecidos do *Panicum*.

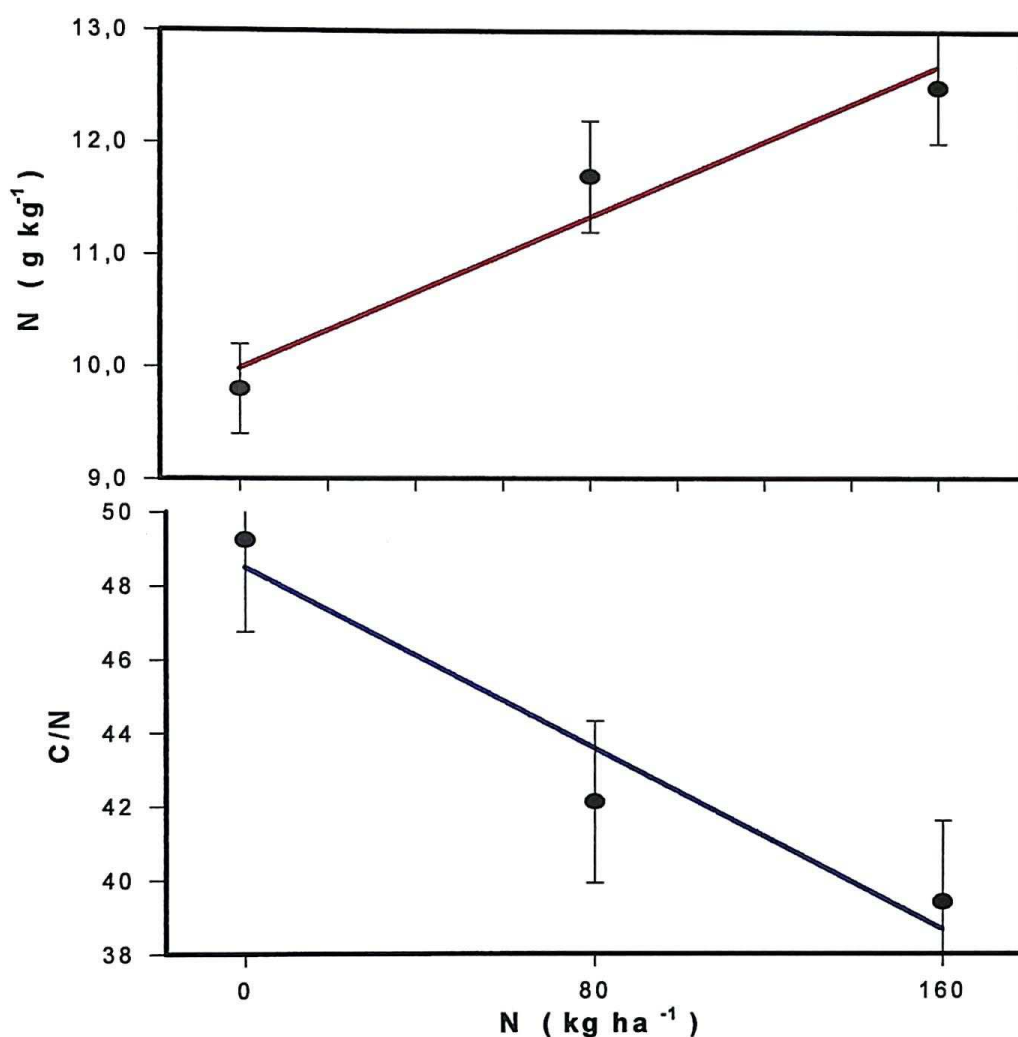


FIGURA 4 - Concentrações de nitrogênio e relação C/N da liteira de *P. maximum* em função dos níveis de nitrogênio aplicado. (barras verticais correspondem ao erro padrão da média)

papel de primeira ordem no processo de humificação. As ligninas são polímeros de unidades fenilpropanóides e taninos são substâncias fenólicas poliméricas ainda pouco conhecidas. Os fenóis solúveis combinam-se com as proteínas liberadas durante o processo de decomposição formando compostos estáveis (Sivapalan et al., 1985).

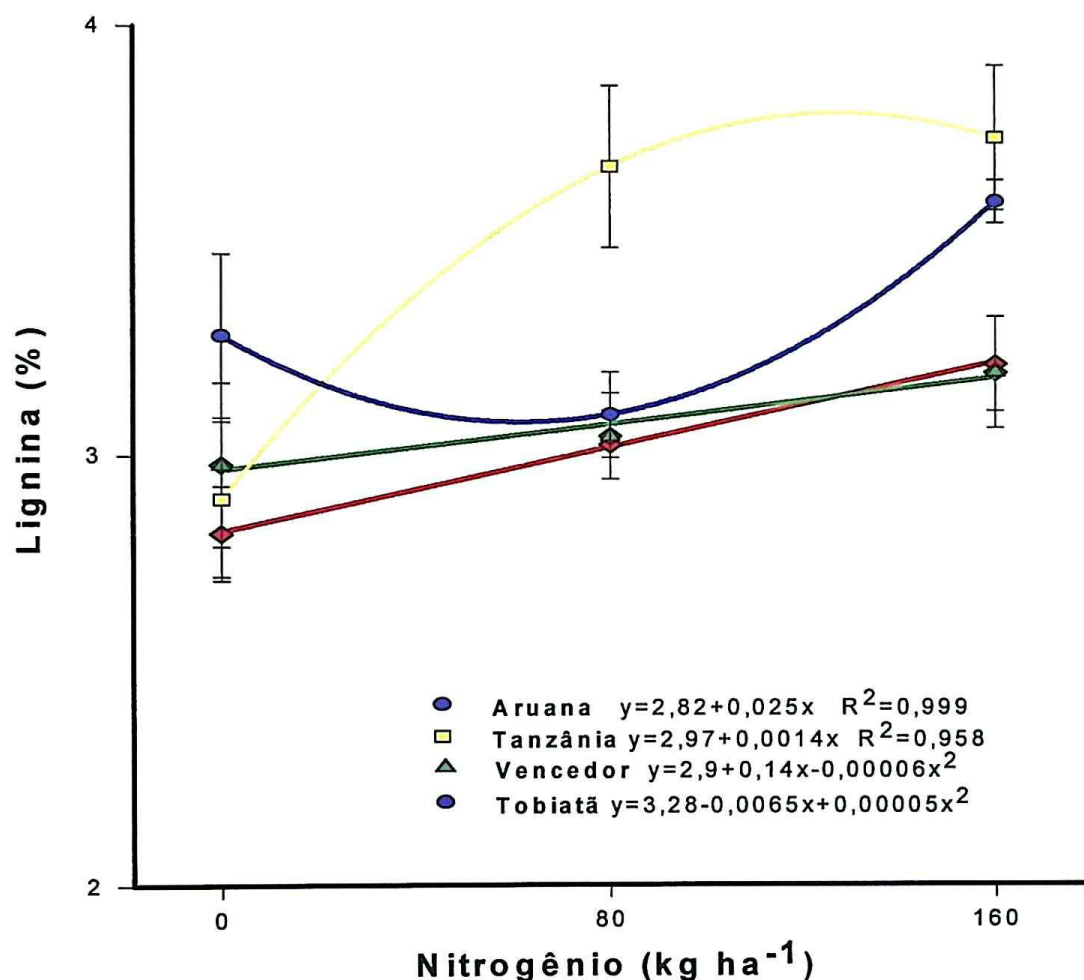


FIGURA 5 - Concentrações de lignina dos tecidos da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximum*, em função dos níveis de nitrogênio aplicados (barras verticais correspondem ao erro padrão das médias).

Obteve-se uma correlação positiva entre o aumento das concentrações de nitrogênio e de lignina em função da adubação nitrogenada. As plantas superiores utilizam a fenilalamina e a tirosina para a biosíntese proteica, podendo ainda estes aminoácidos aromáticos servirem para a formação de derivados do ácido cinâmico que são depois convertidos em lignina e compostos afins, incluindo as unidades C6 e C3 dos flavonóides (Correia, 1980). A estrutura da lignina não contém nitrogênio, porém Sastriques (1982) afirma que poderá conter de 0,6 a 1,5% devido a impurezas. Então a correlação positiva obtida neste trabalho poderá ser resultante de uma limitação da síntese induzida por deficiência de nutrientes, onde a adição de nitrogênio estimulou a síntese de lignina. Os valores desta substância são muito baixos nos tecidos do *Panicum*.

As concentrações de polifenóis encontradas nos tecidos da liteira analisados são muito baixos, variando entre 0,08 a 0,18 % e provavelmente não afetarão as taxas de decomposição da liteira. Ferreira et al. (1997) encontraram 1,5% para a gramínea *Brachiaria humidicula*, e valores mais altos para as leguminosas *Arachis repens* (1,6%), *Desmodium ovalifolium* (4,1%) e *Stylosanthes guianensis* (2,0%). Thomas & Asakawa (1993) descreveram para as gramíneas *Andropogon gayanus*, *B. decumbens*, *B. dictyoneura* e *B. humidicula* valores entre 0,64-0,50; 0,35-0,37; 0,26-0,39; e 0,32-0,36% respectivamente. Os valores para gramíneas de outros gêneros como o arroz e o milho encontrados por Tian et al. (1992) foram de 0,55 e 0,56 % respectivamente.

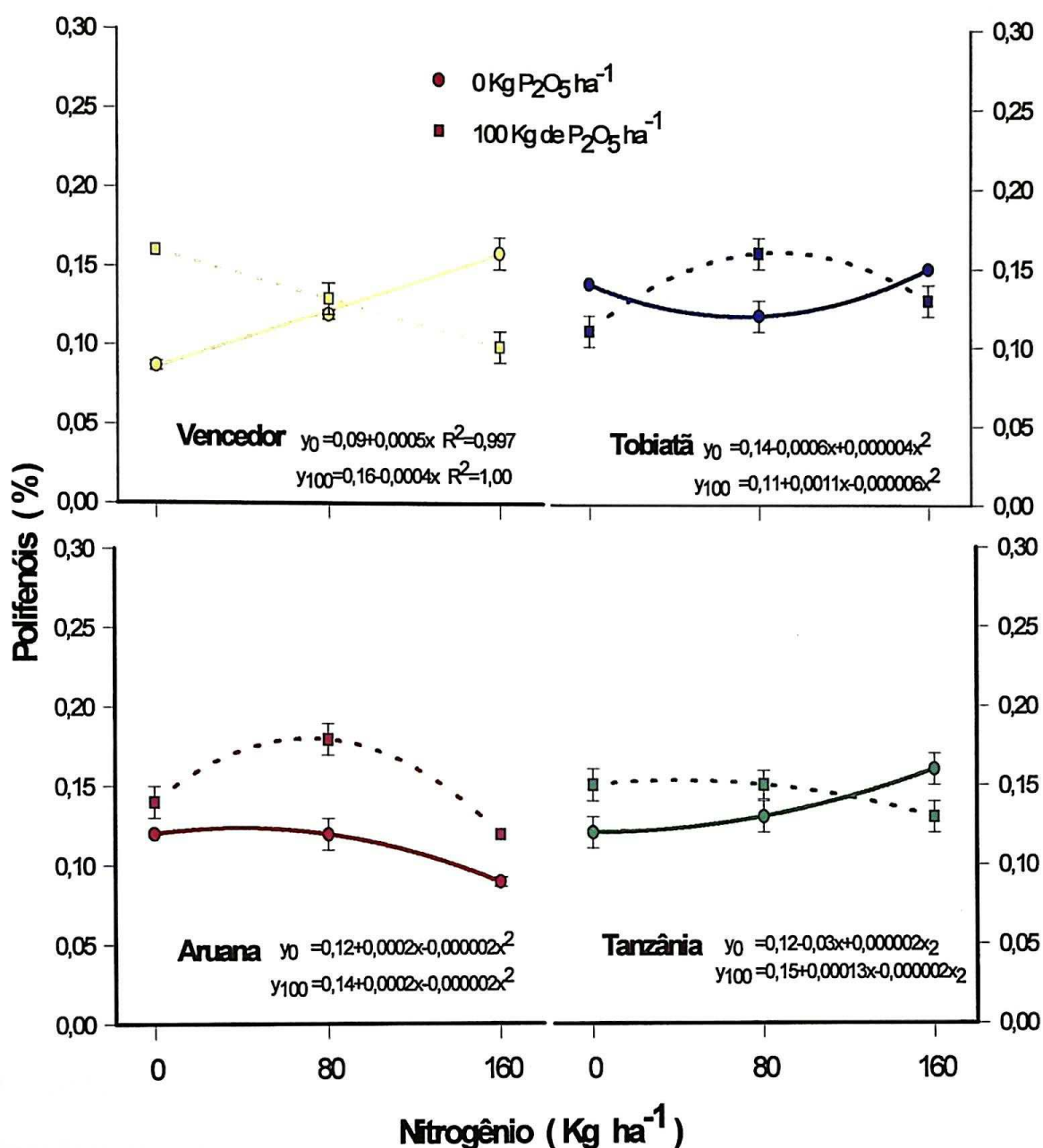


FIGURA 6 - Concentrações de polifenóis de quatro cultivares de *P. maximum* em função da adubação fosfatada e nitrogenada

As concentrações de polifenóis mostraram significância estatística ($P < 0,01$) para a interação cultivar x fósforo x nitrogênio em função dos tratamentos aplicados. Estes dados são mostrados na Figura 6 e comportaram-se de forma

inconsistente quanto à resposta à adubação fosfatada. De uma forma geral pode-se dizer que quando se aplicou a adubação fosfatada, para as cultivares Vencedor, Tobiata e Tanzânia, a adubação nitrogenada diminuiu a concentração do elemento nos tecidos, porém na ausência de fósforo houve aumento. A Aruana, que mostrou a melhor composição química, diminuiu consistentemente a concentração de polifenóis tanto na presença como na ausência da adubação fosfatada. Handayanto et al. (1995) encontraram que nos ramos das espécies *Calliandra calothyrsus* e *Gliricidia sepium* a adição de N diminuiu a concentração de polifenóis dos tecidos da liteira, porém as concentrações de lignina não foram consistentemente alterados e concluíram que, com a adição de nitrogênio às plantas é possível manipular, não somente a concentração de N dos tecidos, mas também a concentração de polifenóis, bem como a capacidade dos polifenóis se ligarem às proteínas. Margna (1977) citado por Handayanto (1995), notou que o baixo suprimento de nutrientes às plantas, poderá resultar num aumento da atividade de enzimas, tais como a fenilamina amonialiase ou aumentar o suprimento dos precursores da síntese de polifenóis. Quando o nitrogênio é limitante, a fenilamina poderá ser desaminada e convertida para compostos fenólicos mais complexos.

Conclusões

1- As cultivares Aruana e Vencedor mostraram concentrações mais altas de N e P nos tecidos.

2- As concentrações de P nos tecidos da liteira aumentaram com a adubação fosfatada; a adubação nitrogenada aumentou a concentração de N e diminuiu a concentração de P e a relação C/N dos tecidos da liteira.

3- As concentrações de lignina dos tecidos foram baixas para todas as espécies e para todos os níveis de adubação testados, ainda que a adubação nitrogenada tenha contribuído para aumentar estes valores.

CAPÍTULO 3

DECOMPOSIÇÃO DA LITEIRA DE *Panicum maximum*, COM DIFERENTES TEORES DE NITROGÊNIO E DE FÓSFORO, EM SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO

Resumo

Este trabalho avaliou a velocidade de decomposição da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximum*, implantadas em um solo podzólico vermelho-amarelo distrófico, adubada com diferentes níveis de nitrogênio (0; 80 e 160 kg ha⁻¹) e de fósforo (0 e 200 kg ha⁻¹) em um delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com três repetições, usando-se a técnica dos sacos de decomposição. A decomposição da liteira foi afetada tanto pelas cultivares como pelos níveis de nitrogênio isoladamente ($P < 0,001$). A Aruana foi a cultivar que decompôs com maior velocidade seguido da Vencedor, Tanzânia e

Tobiatã respectivamente, sendo que os valores de k obtidos na seqüência foram 0,017; 0,0092; 0,0092 e 0,0056 dia^{-1} ; a Aruana atingiu a meia vida aos 35 dias, enquanto o Tobiatã demorou 81 dias para atingir este parâmetro. A aplicação de 80 kg ha^{-1} de N acelerou a decomposição, diminuindo a meia vida da liteira de *Panicum* em cerca de 20 dias, ou seja de 75 para 55 dias. Quando se aumentou a dose de N para 160 kg ha^{-1} o valor de k obtido passou de 0,0072 dia^{-1} no nível zero para 0,0135 dia^{-1} , correlacionando diretamente com a concentração do elemento nos tecidos que foram de 9,8; 11,7 e 12,5 g kg^{-1} nos tratamentos 0; 80 e 160 kg ha^{-1} de N respectivamente. A aplicação de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 diminuiu a meia vida de 63 para 45 dias.

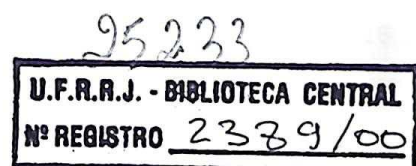
Abstract

The decomposition rate of the litter of four *Panicum maximum* cultivars planted in a Alfisol fertilized with different nitrogen levels (0, 80 and 160 kg ha^{-1}) and phosphorus (0 and 200 kg ha^{-1}) was evaluated using the litterbag technique. The cultivar and the nitrogen fertilizers affected the decomposition rate ($P < 0,001$) The k values were 0.017; 0.0092; 0.0092 and 0.0056 day^{-1} for Aruana, Vencedor, Tanzânia and Tobiatã respectively, and the half-life to Aruana was 35, and to Tobiatã was 81 days. At the level of 80 kg ha^{-1} of N the half-life of *Panicum* decreased by about 20 days, from 75 to 55 days. Increasing the level of N from zero to 160 kg ha^{-1} the k value changed from 0.0072 day^{-1} to 0.0135 day^{-1} ,

correlating positively with the concentration of the element in the tissues, which were 9.8, 11.7 and 12.5 g kg⁻¹ at the 0, 80 and 160 kg ha⁻¹ of N levels respectively. The level of 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ decreased the half-life from 63 to 45 days.

Introdução

O potencial de decomposição da liteira vegetal depositada no solo é função de vários fatores, dentre os quais os dois mais importantes são o clima e a qualidade do substrato (Berg, 1993), sendo o primeiro inalterável pela interferência antrópica direta. Já a qualidade do substrato poderá sofrer modificações, tanto pela substituição da espécie vegetal, como através da aplicação de fertilizantes. Alguns aspectos da decomposição das plantas forrageiras tropicais tem sido estudadas por diversos autores (Gupta e Singh, 1981; Bruce e Ebersohn, 1982; Robbins *et al.*, 1989, Palm e Sanches, 1990). Thomas e Asakawa, (1993) e Ferreira *et al.*, (1997) estudando a decomposição da liteira de plantas forrageiras discutiram sobre as diferenças entre gramíneas e leguminosas e mesmo entre diferentes gêneros, porém nenhum deles aborda o efeito da aplicação de fertilizantes mineral como é o caso do nitrogênio e do fósforo.



A decomposição da liteira envolve tanto a perda de biomassa ao longo do tempo, como a eventual liberação de nutrientes. O padrão e a taxa de decomposição da liteira podem ser descritos por uma variedade de modelos, variando em complexidade desde um modelo com um parâmetro ajustado à uma exponencial negativa simples, até modelos complexos de simulação multi-compartimentados (Olson, 1963; Weider & Lang, 1982; Andrén & Paustian, 1987)

O objetivo deste trabalho foi avaliar a velocidade de decomposi  o da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximum* cultivadas em um solo podzólico vermelho-amarelo distrófico, adubado com diferentes níveis de nitrogênio e de fósforo.

Materiais e Métodos

Este trabalho foi conduzido no Instituto de Zootecnia de Nova Odessa-SP em solo podzólico vermelho-amarelo distrófico, com quatro cultivares de *P. maximum* (Tobiatã, Vencedor, Aruana e Tanzânia), aos quais se aplicaram 0 e 200 kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo e 0, 80 e 160 kg/ha de N na forma de sulfato de amônio. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com três repeti  es. As parcelas, medindo 18 m x 6 m, foram constituídas pelas

cultivares de *P. maximum* e as subparcelas, medindo 6 m x 3 m, pelos três níveis de N e dois níveis de P em combinação.

As forrageiras foram implantadas em fevereiro de 1992 e os fertilizantes aplicados superficialmente, após corte de uniformização nas parcelas realizado em setembro de 1995. Aplicaram-se também à superfície do solo 4,07 t/ha de calcário dolomítico com o objetivo de elevar a saturação por bases para cerca de 60%, e uma dose de potássio de 60 kg/ha de K₂O.

Fez-se um corte de avaliação da produção de matéria seca em dezembro de 1995 e separaram-se em cada parcela as folhas velhas e senescentes, para compor a liteira, cujos teores de nitrogênio, fósforo, e relação carbono/nitrogênio foram determinados ou calculados. Cinco gramas desse material foram cortados manualmente em pedaços de cerca de 1cm e colocados em sacos confeccionados com tela de nylon de 2 mm de abertura, medindo 15 cm x 15 cm. Doze sacos foram colocados na superfície do solo das parcelas correspondentes e cobertos com a liteira existente no local, em dezembro/95. Coletaram-se dois sacos por parcela aos 28, 56, 112, 168, 224 e 336 dias após a deposição, sendo o material vegetal lavado posteriormente em água corrente sobre peneira de malha fina, secado em estufa de circulação forçada de ar a 50°C até peso constante e pesado. Determinaram-se os teores de nitrogênio dosando-o por titulometria após digestão sulfúrica e

destilação Kjeldahl, fósforo, potássio, cálcio, enxofre, após extração com ácido perclórico (Tedesco *et al.*, 1985), lignina pelo método de Van Soest (1963), polifenóis solúveis, pela reação de Follin_Denis (Anderson & Ingran, 1989). Determinaram-se também os teores de carbono por oxidação com dicromato em meio ácido (Walkley-Black com calor externo) conforme descrito em Tedesco *et al.* (1985) e a relação carbono/ nitrogênio.

Os dados de matéria seca remanescente foram analisados pelo SAS. Calculou-se a constante k e os valores de meia vida correspondente para cada tratamento e fez-se a análise de variância destes parâmetros. Estimou-se a constante de decomposição, ajustando-se os dados de massa remanescente para cada tratamento, à um modelo de decomposição descrito por uma equação exponencial negativa simples:

$$X_t = X_0 e^{-kt}, \quad \text{onde:}$$

X_t = fração de massa remanescente no tempo t ;

X_0 = fração de massa potencialmente decomponível no tempo zero (0)

t = tempo em dias e

k = constante de decomposição (Olsen, 1963).

A meia vida ($T_{1/2}$) foi calculada a partir dos valores de k sendo:

$$T_{1/2} = \text{Log}2/k = 0,693/k$$

Resultados e Discussão

A análise de variância dos valores de k em relação aos tratamentos estudados, indicou que a perda da matéria orgânica dos sacos de decomposição foi afetada tanto pelas cultivares como pelos níveis de nitrogênio ($P \leq 0,001$), isoladamente. Segundo Weider e Lang (1982) a análise de variância é muito útil quando se pretende comparar médias de diferentes tratamentos, porém não testa diretamente a hipótese relacionada à taxa de decomposição. Quando se deseja determinar a taxa de decomposição, então os dados deverão ser ajustados à um modelo matemático, sendo que os modelos que melhor descrevem a perda de massa ao longo do tempo são as exponenciais simples e dupla, os quais melhor se ajustam ao comportamento biológico.

A Aruana foi a cultivar que decompôs com maior velocidade (Figura 1), seguido da Vencedor, Tanzânia e Tobiata, respectivamente, sendo que os valores de k obtidos na seqüência foram 0,017, 0,0092, 0,0092 e 0,0056 dia. Estes valores estão próximos ao obtido por Ferreira et al. (1997) para a *Brachiaria humidicola* durante o período chuvoso (0,0082/dia) em condições de Mata Atlântica, sendo que Robbins et al. (1989) obtiveram para as condições do leste da Austrália o valor k do *Panicum maximum* cv. Trichoglume variando

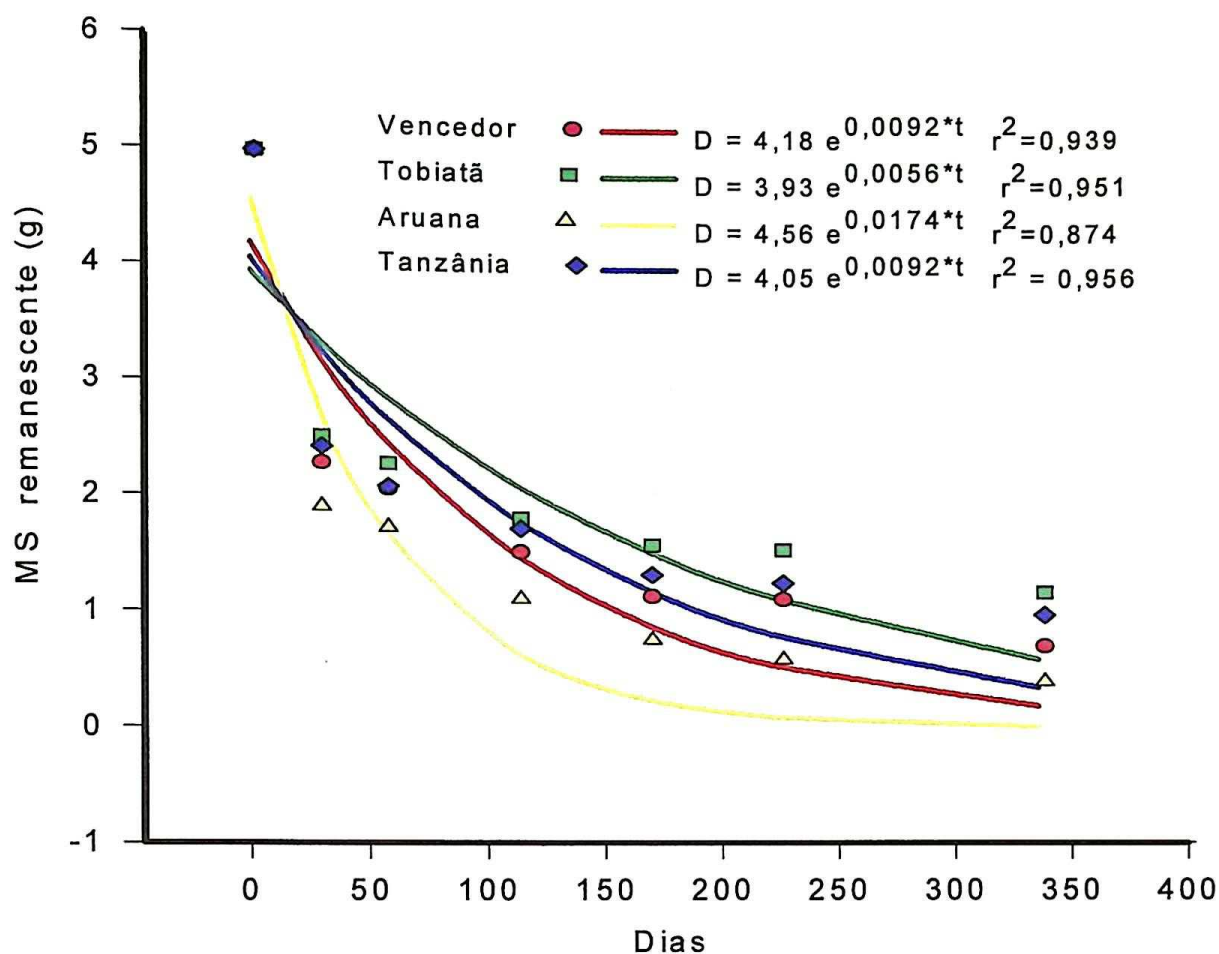


FIGURA 1 - Matéria seca remanescente da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximum*, depositada em solo PVA, ajustada à uma função exponencial simples (Média de 18 repetições)

de 0,0007 a 0,0123 dia^{-1} em função de diferentes locais. Porém Thomas & Asakawa (1993), nas condições de savana na Colômbia obtiveram valores muito inferiores tanto no período chuvoso como no de seca para *Andropogon gayanus* (0,0025-0,0015 dia^{-1}), *Brachiaria decumbens* (0,0031-0,0010 dia^{-1}), *Brachiaria dictyoneura* (0,0020-0,0008 dia^{-1}) e *Brachiaria humidicola* (0,0028-0,0011 dia^{-1}).

Pode-se atribuir estas diferenças ao tipo de solo, uma vez que tanto em nossas condições experimentais como nas de Ferreira et al. (1997) os solos são classificados como podzólicos (Alfisol) enquanto que nas de Thomas & Asakawa (1993) o solo é um Oxissol, o que se refletiu nos seus teores de lignina e nas relações C/N mais altas, mostrando mais um fator a ser considerado na avaliação da decomposição.

Diversos autores têm mostrado que a velocidade de decomposição da liteira varia conforme o tipo de plantas (Gupta & Singh, 1981; Tian et al., 1992; Constantinides & Fownes, 1994). Thomas e Asakawa (1993), comparando a liteira de seis cultivares de leguminosas e quatro de gramíneas forrageiras tropicais obtiveram variação quanto as características de decomposição dentro do grupo de leguminosas estudados, sendo que *Arachis pinto* e *Stylosanthes capitata* decompuseram mais rapidamente enquanto que *Desmodium ovalifolium* foi o mais lento. As leguminosas restantes (*Centrosema acutifolium*, *Phaseolus phaseoloides* e *Stylosanthes guianensis*) seguiram um padrão intermediário, semelhante as gramíneas. Ferreira et al. (1997) encontraram resultados semelhante quando compararam *Arachis repens*, *Stylosanthes guianensis*, *Desmodium ovalifolium*. Os dados aqui apresentados mostram também que esta variabilidade é encontrada dentro de cultivares de uma mesma espécie de plantas como é o caso dos quatro cultivares de *Panicum maximum*, que mostram grande diferença fenotípica entre eles, sendo a Aruana um cultivar de porte baixo, com folhas estreitas e de boa cobertura de solo seguido da Vencedor; e a Tobiata uma cultivar de porte alto e

folhas largas de hábito mais entoucezado seguido da Tanzânia. Apesar de não ter sido feita nenhuma análise de correlação da decomposição com estes parâmetros, pode-se dizer que estas características influenciaram fortemente na qualidade e na velocidade de decomposição destas plantas.

Quanto ao nitrogênio (Figuras 2), a aplicação de 80 kg ha^{-1} de N na cultura, promoveu uma aceleração na decomposição, sendo que quando se incrementou a dose para 160 kg ha^{-1} o valor de K obtido quase dobrou em relação ao tratamento zero passando de 0,0072 para 0,0135/dia, correlacionando positivamente com os valores da concentração do elemento nos tecidos que foram de 9,8; 11,7 e 12,5 g kg^{-1} nos tratamentos 0; 80 e 160 kg ha^{-1} de N respectivamente. O adubo nitrogenado utilizado nas parcelas foi em forma de sal (sulfato de amônio), que quando aplicado em grande quantidade provoca uma diminuição do pH, com conseqüente inibição da atividade microbiana podendo resultar em uma desaceleração da decomposição da matéria orgânica. Em ecossistemas de florestas O'Connell (1994) na Austrália e Prescott et al (1993) no Canadá não observaram efeito da adubação nitrogenada sobre a velocidade de decomposição da liteira. Segundo alguns autores citados na revisão de literatura do trabalho de Prescott et al. (1993), a adubação promove tanto uma aceleração da decomposição da liteira (Gill & Lavander, 1983; Prescott et al., 1992), como uma diminuição (Tittus & Malcolm, 1987; Nohrstedt et al., 1989). Ray & Srivastava (1982) em um ecossistema de floresta na Índia encontraram que a adubação nitrogenada aumentou a decomposição da liteira bem como estimulou o aumento

da população e da atividade microbiana. Para pastagens, aparentemente este trabalho é uma primeira abordagem neste assunto portanto sugere-se mais estudos em trabalhos futuros, incluindo-se outras forrageiras e outros solos, bem como outras combinações de nutrientes e doses.

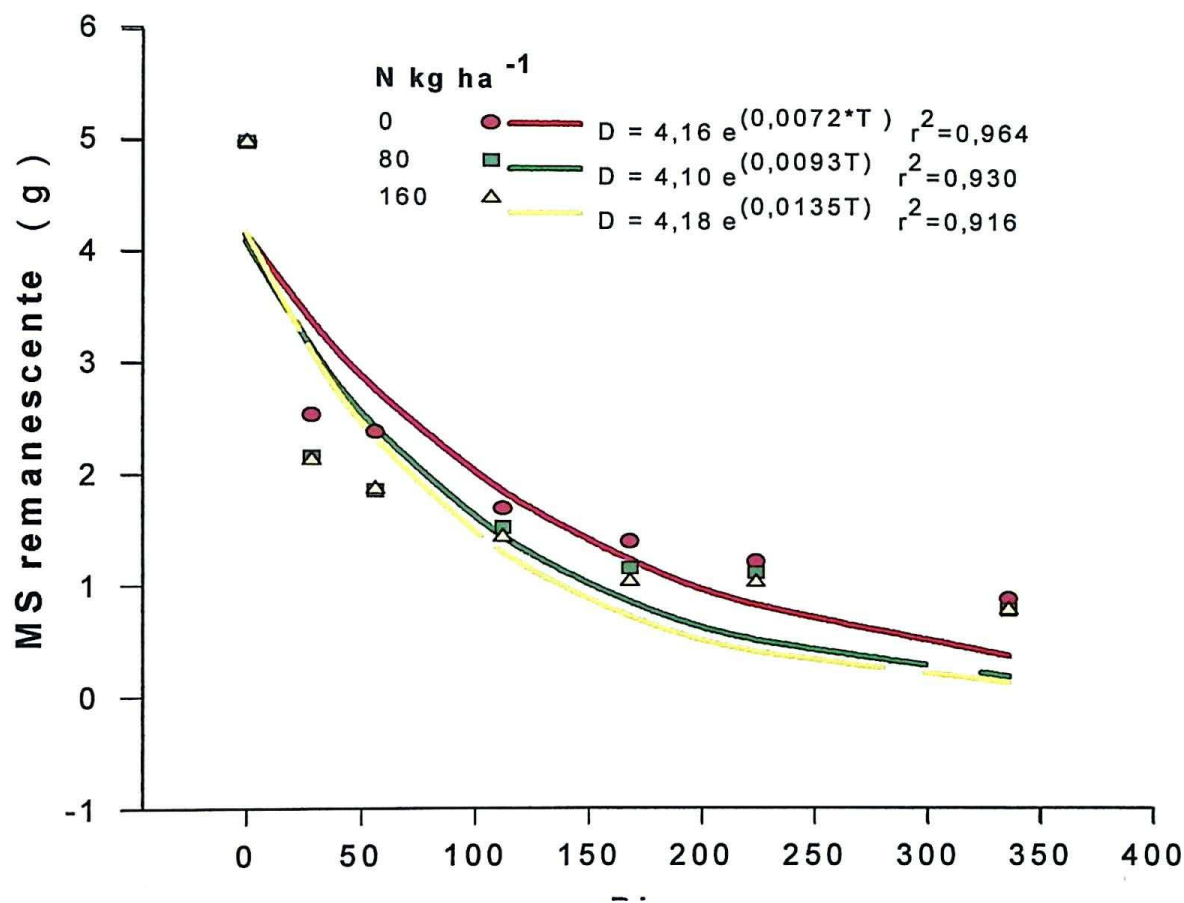


FIGURA 2 - Matéria seca remanescente da liteira de *Panicum maximum*, adubada com nitrogênio e depositada em solo PVA, ajustada à uma função exponencial simples (Média de 24 repetições).

Após 336 dias da deposição da liteira no solo ainda se encontrou material remanescente de todas as cultivares dentro dos saquinhos, sendo em maior quantidade para Tobiatã que foi a cultivar com menor velocidade de decomposição. Para os valores de meia vida, obtidos a partir da constante de decomposição (K) calculadas para todas as parcelas, de acordo com Olson (1963) obteve-se que a aplicação de 80 kg /ha de nitrogênio à cultura (Figura 3), diminuiu a meia vida do *Panicum* em cerca de 20 dias, ou seja de 75 para 55 dias. A adubação fosfatada também se mostrou promissora como um estimulante da decomposição da liteira de *Panicum* (Tabela 1) sendo que os

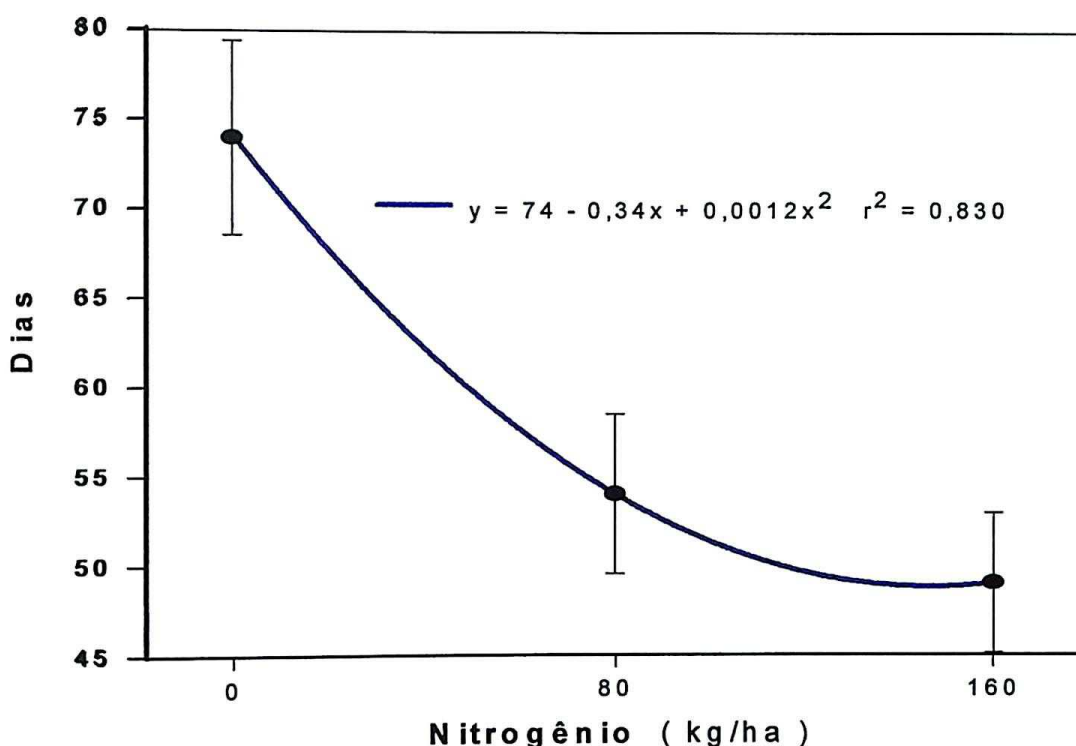


FIGURA 3 - Meia vida calculada da liteira de *Panicum maximum* adubado com nitrogênio. Barras verticais correspondem ao erro padrão da média (Média de 24 repetições).

200 kg/ha de P_2O_5 aplicados diminuíram a meia vida de 63 para 45 dias, mostrando que o fósforo é importante tanto na produção das pastagens como na reciclagem de nutrientes. O'Connell (1994) estudando o efeito da adubação nitrogenada e fosfatada em uma floresta de eucalipto na Austrália e obteve que o fósforo aumentou a decomposição e diminuiu a meia vida de em cerca de 30%. O valor de k nesse estudo, passou de 0,013 para 0,015 com a adição de 200 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , apesar do efeito do fósforo não ter sido significativo pela análise de variância. Prescott et al. (1993), não obteve diferenças significativas na decomposição de liteira de uma floresta de clima temperado, quando aplicou nitrogênio e fósforo como fertilizantes.

TABELA 1 - Meia vida calculada (Log 2/k) da liteira de *Panicum maximum* em função das cultivares e de níveis de fósforo

TRATAMENTO	DIAS
Cultivares: Vencedor	54ab
Tobiatã	81a
Aruana	35b
Tanzânia	65ab
P_2O_5 , kg ha ⁻¹ : 0	63a
200	45b

Médias seguidas das mesmas letras, dentro da coluna de cultivares e de níveis de fósforo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

Quanto as cultivares, a Aruana atingiu a meia vida aos 35 dias (Tabela 1), mostrando-se uma forrageira eficiente na ciclagem de nutrientes, uma vez que

esta é a fase de liberação dos compostos solúveis. Por outro lado a Tobiatã demorou 81 dias para atingir este parâmetro. Variações nos teores de meia vida para diferentes gramíneas e leguminosas forrageiras também foram encontradas por Ferreira et al. (1997) e Thomas & Asakawa (1993), sendo que ambos separaram também o efeito do clima, e obtiveram menores valores durante o período chuvoso.

Correlacionou-se também os valores da constante k obtidos com os teores de nutrientes da liteira em três tempos (56, 224 e 336 dias). As concentrações de lignina (<4%) e polifenol (<0.18%) do material de liteira de *Panicum maximum* estudado são baixas e conseqüentemente não afetaram as taxas de decomposição (Tabela 2). Por outro lado, as concentrações de N nos tecidos da liteira foi o fator dominante de decomposição da liteira em todos os estágios de decomposição estudados. A partir de estágios mais avançados, o fósforo e de forma interessante também o enxofre, outro elemento de ligação orgânica, também correlacionaram inversamente e significativamente com a decomposição.

Não existe um consenso na literatura sobre qual parâmetro químico é o melhor indicador da decomposição, sendo que tanto a concentração de nitrogênio como as relações C/N e lignina/N são sugeridas por alguns autores (Mellilo *et al.* 1982; Berg, 1986; Taylor et al., 1989). Aparentemente a decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo é regulada inicialmente pelos teores de nitrogênio e posteriormente quando restam os tecidos estruturais a lignina passa a ser progressivamente mais importante. Taylor et al. (1989) afirma que para substratos

com baixos teores de lignina, ou quando se trabalha com substratos que envolvem uma ampla faixa de teores de lignina, a relação C/N é mais eficiente para descrever a decomposição do que a relação lignina/N. Para substratos com altos teores de lignina como a madeira porém, o controle deste composto sobre a taxa de decomposição será marcante. Em substratos com baixos teores de lignina, tais como as folhas, o composto iniciará o controle da decomposição somente após que uma grande parte do *pool* de material lábil esteja exaurido, o que poderá ser após a perda de 50% da massa da liteira, e mesmo após o início da decomposição da lignocelulose e ainda assim o seu efeito não será pronunciado. Entre estes dois extremos estão as liteiras com teores intermediários de lignina, os quais mostram uma taxa inicial de decomposição rápida, dependendo do teor de nitrogênio, para logo após atingiram o ponto em que a lignina inicia o controle da decomposição. Para estes substratos espera-se que a relação lignina/nitrogênio seja um bom parâmetro. De acordo com esta afirmação, Thomas & Asakawa (1993) e Ferreira et al. (1997) trabalhando com liteira de forrageiras com teores de lignina e nitrogênio dentro desta faixa intermediária obtiveram que a decomposição de massa correlacionou com a relação lignina/N e lignina+polifenóis/N. Porém Thomas e Asakawa (1993) em suas considerações afirmam que, embora as evidências de que o teor de polifenóis possa ser um bom parâmetro para prever a decomposição, concordam com Fox et al. (1990) que deve haver alguma cautela em relação ao uso deste parâmetro uma vez que (1) a metodologia utilizada atualmente para determinação de polifenóis é limitada, podendo a extração variar entre 30-95% dos polifenóis total dos tecidos, sendo

necessário também uma padronização dos métodos utilizados; (2) a concentração do composto nos tecidos da liteira é bem menor do que das folhas verdes; e (3) os polifenóis tem diferentes propriedades com respeito as ligações em compostos nitrogenados, que dependerão de seus pesos e estruturas moleculares, devendo ter um efeito qualitativo na mineralização, que poderá superar os quantitativos.

TABELA 2 - Valores da correlação entre a constante de decomposição (k) e os teores de nutrientes da liteira de *Panicum maximum* aos 56, 224 e 336 dias após a deposição no solo.

Nutrientes	Correlação	Probabilidade
		56 dias
Lignina	0,037	0,759
Polifenóis	-0,103	0,389
C/N	-0,477	0,000**
Nitrogênio	0,496	0,000**
Enxofre	0,129	0,280
Fósforo	0,038	0,752
		224 dias
Lignina	-0,088	0,461
Polifenóis	-0,084	0,480
C/N	-0,521	0,000**
Nitrogênio	0,545	0,000**
Enxofre	0,308	0,008**
Fósforo	0,286	0,015**
		336 dias
Lignina	-0,031	0,795
Polifenóis	-0,152	0,201
C/N	-0,493	0,000**
Nitrogênio	0,505	0,000**
Enxofre	0,257	0,029*
Fósforo	0,269	0,022*

Berg e colaboradores citados por Taylor (1989), em resultados semelhantes aos nossos, demonstraram que para raízes e folhas de pinus o nitrogênio e outros

nutrientes como o P e o S controlaram as taxas de decomposição durante as primeiras fases ($\leq 30\%$ da perda de massa), enquanto o conteúdo de lignina tornou-se progressivamente mais importante nas fases seguintes. Constantinides & Fownes (1994) avaliando a liberação de nitrogênio das folhas verdes e da liteira de doze espécies comumente usadas em sistemas agroflorestais no Havaí com concentrações de nitrogênio nos tecidos que variavam entre 0,77-3,49 %, obtiveram que o efeito da concentração de polifenóis é secundário ao efeito do N inicial e concluíram que as diferenças encontradas em estudos prévios quanto a definição do melhor parâmetro químico para descrever as taxas mineralização está na diferença relativamente pequenas entre a composição química dos materiais utilizados naqueles trabalhos. Também colocaram que as diferenças encontradas na literatura se devem ao fato dos trabalhos compararem espécies leguminosas vs não leguminosas, liteira senescente vs folhas verdes, bem como se utilizarem de diferentes metodologias experimentais.

Finalmente Tian et al. (1992) concluíram que para prever as taxas de decomposição e de liberação de nutrientes, deverão ser considerados os efeitos integrados da relação C/N, do conteúdo de lignina e de polifenóis

Concluindo pode-se dizer que tanto a seleção de forragem como a manutenção da fertilidade do solo através de adubações têm implicações importantes no ciclo de nutrientes em pastagens. Para melhorar o ciclo de P nestas pastagens, tanto a cultivar, a seleção de cultivar como também a fertilização com P são importantes. Para melhorar o ciclo de N, a seleção de

cultivar parece ser o principal caminho, enquanto o uso de fertilizantes nitrogenados só é economicamente válido para sistemas de agricultura mais intensivos. Mesmo sob condições de fertilidade de solo consideradas ótimas (com adubação de N e de P) e com a seleção de cultivares, ainda assim o material de liteira selecionado manteve uma relação crítica de C:N em torno de 30. A inclusão de leguminosas para aliviar imobilização de N causado pelas liteiras de gramíneas deverá ser considerada uma solução alternativa para prevenir a degradação destas pastagens.

Conclusões

1- A decomposição da liteira foi afetada pelas cultivares sendo que a Aruana decompôs com maior velocidade seguido da Vencedor, Tanzânia e Tobiatã respectivamente

2- A adubação nitrogenada acelerou a decomposição, diminuindo a meia vida da liteira de *Panicum*, correlacionando-se diretamente com a concentração do elemento nos tecidos. Também a adubação fosfatada diminuiu a meia vida

CAPÍTULO 4

LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA LITEIRA DE *Panicum maximum*, COM DIFERENTES TEORES DE NITROGÊNIO E DE FÓSFORO, EM SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO

Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar a dinâmica de liberação de N, P, S, C, Ca, Mg e K da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximum*, cultivados em um solo podzólico vermelho-amarelo distrófico, adubado com diferentes níveis de nitrogênio (0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N) de fósforo (0 e 200 kg ha⁻¹), usando-se a técnica dos sacos de nylon. Avaliou-se também a mineralização do N desta liteira, através de incubação aeróbica e a extração deste elemento por plantas de milho, em condições de vasos adubados com esta liteira. Houve aumento das concentrações iniciais de N, P, S, Ca e Mg na liteira em função do tempo, enquanto a de C e K diminuíram. As cultivares Aruana e Vencedor liberaram

cerca de 70 e 60% do N, 80 e 70% do P e 85 e 65% do S, 90 e 80% do Mg inicial respectivamente, até 336 dias após a deposição da liteira no solo, enquanto que as cultivares Tobiata e a Tanzânia liberaram cerca de 30 e >30% do N, 35 e 48% do P e 62 e 72% do Mg inicial respectivamente. A adubação nitrogenada aumentou a liberação do N, atingindo cerca de 20% no nível mais alto testado (160 kg ha^{-1} de N). Na ausência da adubação fosfatada houve imobilização de cerca de 10% de P na liteira. A liberação de K foi de cerca de 98,5% já aos 28 dias após a deposição da liteira no solo. O C e o Ca liberaram em função do tempo, independente dos tratamentos aplicados, e atingiram cerca de 80 e 60% do seu valor inicial respectivamente.

Abstract

The objective of this study was to determine the liberation of N, P, S, C, Ca, Mg and K from the litter of four *Panicum maximum* cultivars grown in a Alfisol fertilized with different levels of nitrogen ($0, 80$ e 160 kg ha^{-1} de N) and phosphorus (0 e 200 kg ha^{-1}), using the litterbag technique. The N mineralization was determined using the aerobic incubation technique, as well as N uptake by maize in pots condition using soil fertilized with the different litters. There was an increase in the litter initial concentration of N, P, S, Ca and Mg with time, while C and K decreased. The Aruana and Vencedor cultivars released about 70 and 60% of N; 80 and 70% of P; 85 and 65% of S; 90 and 80% of Mg respectively, during

the decomposition of the litter from 0(zero) to 336 days; the Tobiata and Tanzânia cultivars released about 30 and >30% of N; 35 and 48% of P; 62 and 72% of Mg initially presented in the litter, respectively. Nitrogen fertilization increased the N release, up to 20% in the highest N level tested (160 kg ha^{-1} of N). With no phosphorus fertilization the P was immobilized in the litter at about 10%. The K release was about 98,5% in the first 28 days after the litter deposition on the soil surface. The C and Ca were not affected by the treatments tested, and were released with time, raising 80 and 60% of the initial concentration respectively.

Introdução

A velocidade de decomposição da liteira, bem como sua taxa de liberação de nutrientes, afeta a fertilidade do solo bem como a produtividade primária de um ecossistema de pastagem. A dinâmica de nutrientes durante a decomposição é influenciada pela interação entre fatores tais como, clima, qualidade da liteira e organismos decompositores. Para uma conservação efetiva dos nutrientes nas pastagens, deverá haver uma adequada sincronia entre a liberação de nutrientes da liteira e as retiradas pela forragem e pelos animais. Uma das formas de se obter esta sincronia é melhorando a qualidade da liteira que retornará ao solo, tanto através da escolha de plantas com alto valor nutricional, como pela melhoria da qualidade das plantas disponíveis no sistema em questão, através da aplicação de fertilizantes mineral.

A liberação de nutrientes da liteira em decomposição controla sua disponibilidade e a subsequente absorção pelas plantas ou as perdas para o meio, afetando a produtividade primária do ecossistema. Os nutrientes podem ser liberados da liteira tanto pela lixiviação como pela mineralização (Swift et al., 1979), sendo que Berg & Staaf (1981) distinguiram três fases na dinâmica de nutrientes da liteira: 1- uma fase inicial de liberação rápida, na qual predomina o processo de lixiviação; 2- uma fase de acumulação líquida (imobilização), que inicia após a fase de lixiviação, ou quando do início da perda de massa, quando ocorre um aumento líquido absoluto de nutrientes no material residual; e 3- uma fase de liberação líquida que ocorre após uma acumulação máxima ou mesmo do início, e resulta em uma perda absoluta de nutrientes da massa de liteira em decomposição. Quando não ocorre uma fase definida de acumulação, a fase de liberação deverá ser precedida pela de lixiviação sendo então difícil distinguir uma da outra.

A velocidade da liberação dos nutrientes depende de vários fatores, dentre eles, a composição da liteira, incluindo a sua concentração de nutrientes inicial, a natureza estrutural do nutriente na liteira matriz, a demanda por nutrientes pelos microorganismos, e a disponibilidade de fontes exógenas de nutrientes (Seastedt, 1984). A liberação dos elementos que não são limitantes para os microorganismos decompositores e que não fazem parte das ligações estruturais da liteira deverão exceder a perda de massa. Entretanto, os elementos que estão em concentrações abaixo da demanda dos microorganismos serão liberados a

uma taxa menor do que a perda de massa ou ainda poderão ser acumulados na liteira durante as primeiras fases da decomposição.

Blair (1988) concluiu que durante a decomposição de cultivares arbóreas a qualidade da liteira afetou tanto a velocidade de perda da biomassa como o fluxo de N, P e S. A concentração destes elementos aumentou durante a decomposição, logo após um período de lixiviação inicial, e houve alguma imobilização destes elementos em alguns tipos de liteira. Nguluu et al. (1996) obtiveram redução na mineralização do nitrogênio dos resíduos de stylo e cowpea quando a concentração de P do resíduo foi abaixo de $1,6 \text{ g ha}^{-1}$

As bases são liberadas da liteira mais rapidamente do que o N, P e S, especialmente aquelas que não fazem parte da estrutura da planta como o K, que são removidas desde a fase de lixiviação (Budelman, 1988; Tripathi & Singh, 1992;). Blair (1988) avaliando a liberação de nutrientes da liteira de três espécies arbóreas, observou que as perdas iniciais do Ca por lixiviação foram menores do que para o K e Mg o que foi atribuído a natureza do Ca que forma os componentes estruturais da liteira, sendo a liberação do cálcio mais dependente da atividade biótica do que da lixiviação. Tripathi & Singh (1992) encontraram padrão semelhante de liberação de bases quando trabalhou com liteira de bambu.

Estas diferenças podem ser explicadas, segundo Budelman (1988) pela química dos tecidos da planta, sendo que o potássio é um cátion que se movimenta livremente no fluido das células, fazendo parte na síntese dos amino-ácidos e das proteínas. Quando a membrana das células se desintegra, o potássio

é facilmente lavado do material orgânico. Sabe-se que o potássio é também lixiviado das plantas vivas. O magnésio também se apresenta como um cátion livre sendo liberado de forma semelhante ao potássio. Entretanto o magnésio também participa de estruturas moleculares complexas, tais como a clorofila e a pectina, sendo então liberado mais lentamente da liteira em decomposição.

O baixo padrão de liberação do cálcio é entendido menos facilmente. Em geral, o cálcio nas plantas não é muito móvel, uma vez que está presente na forma de pectato de cálcio no meio da lamela das paredes celulares, e também pode ser estocado na forma de cristais de oxalato de cálcio.

O objetivo deste trabalho foi verificar a dinâmica de liberação de nitrogênio, fósforo, enxofre e carbono e das bases potássio, cálcio e magnésio da liteira procedente de quatro cultivares de *Panicum maximum*, produzido em um solo podzólico vermelho-amarelo distrófico, adubado com diferentes níveis de nitrogênio e de fósforo.

Materiais e Métodos

Na matéria seca da liteira coletada dos sacos de decomposição nos diversos tempos do experimento descrito no capítulo anterior, determinaram-se os teores de nitrogênio dosando-o pôr titulometria após digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl, fósforo e enxofre, após extração com ácido perclórico. A

concentração de cálcio, magnésio e potássio foi determinada por espectrometria de absorção atômica (Perkin-Elmer 5000) após a digestão com ácido perclórico (Tedesco et al., 1985) Determinou-se também os teores de carbono por oxidação com dicromato em meio ácido (Walkley-Black com calor externo) conforme descrito em Tedesco et al. (1985) e determinaram-se as relações carbono/nitrogênio, carbono/fósforo e carbono/enxofre.

O fluxo de nutrientes foi derivado da concentração dos nutrientes na liteira e dos dados de perda de massa. A porcentagem de nutrientes remanescente no tempo t foi calculada como o produto de massa de liteira remanescente e a concentração de nutrientes no material residual no tempo t dividido pela quantidade inicial do nutriente da liteira de um determinado tratamento. Fez-se a análise de variância utilizando-se os procedimentos do SAS System, e os ajustes de curva pelos procedimentos do Sigma-Plot, onde se utilizam as médias dos tratamentos.

As quantidades de nitrogênio liberados pela liteira também foram avaliados das seguintes formas:

a) Incubação aeróbica - Fez-se uma incubação aeróbica da liteira de todos os tratamentos de adubação das cultivares Vencedor e Tobiata, em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Utilizou-se 1 g de liteira, incubado com 20 g do solo PVA coletado na mesma área experimental, acondicionados em recipientes de vidros de 250 ml de capacidade (frascos de mamadeira). Após a homogeneização da liteira e do solo, adicionou-se água

destilada mantendo-se a umidade próxima a capacidade de campo e se incubou temperatura constante de 28^o C. Este material foi colhido após 7, 14, 28, 56 e 112 dias de incubação e a mineralização paralisada pela adição de 200 ml de KCl 1M por frasco e analisado para N-NH₄ e N-NO₃ pelo método colorimétrico automático de fluxo contínuo (FIA) descrito em Alves et al. (1992). O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições e os dados foram analisados estatisticamente usando-se os procedimentos do SAS.

b) Produção de plantas em vasos - Este estudo foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz ESALQ-USP. Utilizou-se copos plástico com 400g de solo podzólico vermelho amarelo, coletado nos 10 cm de profundidade nas parcelas do experimento descrito no capítulo anterior, que avalia o efeito de níveis de nitrogênio e de fósforo em quatro cultivares de *Panicum maximum* instalado no Instituto de Zootecnia de Nova Odessa - SP ao qual se aplicou liteira de cada tratamento correspondente. Em cada tratamento aplicou-se o equivalente a 1 g de liteira contendo 0,7% de N, (que correspondeu a cultivar Tanzânia no nível 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de N, considerada a menor concentração de N obtida dentre todos os tratamentos).

A liteira utilizada foi marcada com ¹⁵N, dentro de cada parcela dos tratamentos do bloco I utilizando-se um cilindro de latão com cerca de 30

cm de diâmetro e 15 cm de altura enterrados em volta de uma planta escolhida aleatoriamente. Aplicou-se uréia marcada com 10% de ^{15}N nas quantidades equivalentes a 40, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N. As plantas adubadas com ^{15}N foram coletadas 60 dias após a aplicação do fertilizante, sendo cortadas rente ao solo e separadas em duas partes: 1- folhas mortas e velhas e 2- folhas novas. Este material foi secado, moído e determinado o nitrogênio total da parte 1.

A liteira moída de cada tratamento correspondente foi homogeneizada com o solo, e em seguida adicionou-se H₂O destilada na quantidade de 120 ml para manter a umidade do solo em cerca de 80% da CC. Adicionou-se também 0,03 g KCl vaso⁻¹ para corrigir a deficiência de potássio. Dez dias após esta primeira irrigação, semearam-se cinco sementes de milho (*Zea mays*) por vaso. Após a germinação fez-se um desbaste deixando-se três plantas por vaso. As plantas foram colhidas 60 dias após a semeadura e separadas em parte aérea e raízes, secadas em estufa de circulação forçada de ar, pesadas e determinaram-se os teores de nitrogênio dosando-o pôr titulometria após digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl (Tedesco et al., 1985) Determinou-se o N da biomassa microbiana do solo segundo Brookes et al. (1985). As análises de ^{15}N ainda não foram realizadas por problemas no espectrômetro de massa do CNP-Agrobiologia e por isto não serão consideradas neste trabalho. Os dados foram analisados usando-se os procedimentos do SAS System .

Resultados e Discussão

A análise estatística das concentrações de N, P, S e C e as relações C/N, C/P e C/S da liteira existente nos saquinhos de decomposição (Tabela 1) foi significativa ($P < 0,001$) para a interação tempo x cultivar. A interação tempo x fósforo foi significativa ($P < 0,01$) para as concentrações de N e P e as relações C/N e C/P, enquanto que a interação tempo X nitrogênio foi significativa para o P, C/N, C/P e C/S. Para a finalidade deste trabalho não serão considerados os efeitos simples de cultivar, nitrogênio e fósforo, uma vez seus efeitos estão intrinsicamente relacionados ao tempo e serão então consideradas somente as suas interações.

Houve aumento dos teores de N (de 11,4 para 21,8 g kg⁻¹), P (de 1,0 para 1,4 g kg⁻¹), e S (de 2,2 para 2,9 g kg⁻¹) em função do tempo, e diminuição do teor de C e conseqüentemente das relações C/N, C/P e C/S. Este aumento das concentrações de nutrientes na liteira em decomposição é descrito por vários autores (Aber & Melillo, 1980; Melillo et al., 1982; Rawat & Singh, 1993; Rafferty et al., 1997) e reflete o metabolismo do C e a imobilização dos nutrientes pelos microorganismos. Pode ser conseqüência tanto da liberação mais rápida do C do que do N, como de um aumento na concentração absoluta de N devida a imobilização pelos microorganismos, bem como pela deposição do N atmosférico (van Vuuren & van der Eerden, 1992).

TABELA 1 - Teores de nutrientes da liteira na matéria seca remanescente dos saquinhos em função do tempo, e análise de variância mostrando os níveis de significância para as variáveis dependentes em função das fontes de variações

Dias	N	P	S	C	C/N	C/P	C/S
g kg ⁻¹						
0	11,4e	1,00e	2,20c	453a	43,6a	569b	235b
28	13,9d	0,80d	1,60d	437b	34,3b	687a	296a
56	16,4c	0,90d	1,80d	437b	28,6c	576b	257b
112	19,0b	1,30c	2,50b	395c	21,6d	335c	170c
224	22,6a	1,70a	2,90a	401c	18,4e	253c	144c
336	21,8a	0,14b	2,90a	380d	17,8e	265c	143c
<u>Fonte Variação</u>							
tempo	***	***	***	***	***	***	***
tempo x cultivar	***	***	***	***	***	***	***
tempo x P	**	***	ns	ns	***	***	ns
tempo x N	ns	***	ns	ns	***	**	**
CV (%)	12,4	24,21	25,97	22,80	16,85	39,7	27,6

** = P<0,01; *** = P<0,001; ns= não significativo

Este efeito de imobilização é bem conhecido na literatura sendo que Fox et al. (1990) encontraram imobilização de N em *Stylosanthes scabra* e *Cassia rotundifolia* quando a concentração de N estava <2% e por sua vez Palm e Sanchez (1991) obtiveram imobilização em *Cassia reticulata*, *Cajanus cajan* e *Desmodium ovalifolium* quando a relação polifenóis:N estava <0,5. As cultivares avaliadas afetaram significativamente (P<0,01) o padrão de liberação de N, P e S (Tabela 2), enquanto a adubação nitrogenada afetou a liberação de N (P<0,05) e a adubação fosfatada a liberação de P (P<0,05). A liberação de C foi afetada somente pelo tempo.

Liberação de Nitrogênio

Constantinides & Fownes (1994) em um experimento de incubação usaram os termos acumulação e liberação ao invés de mineralização e imobilização porque considerou que a adição de folhas ao solo altera a dinâmica da mineralização do N orgânico do solo.

TABELA 2- Análise de variância, da liberação de nutrientes (%) e das quantidades de nutrientes nas amostras (g/5g) dos saquinhos, mostrando os níveis de significância para as variáveis dependentes em função das fontes de variações.

Fonte Variação	Variáveis dependentes							
	N		P		S		C	
	1	2	1	2	1	2	1	2
tempo	**	**	**	*	**	ns	**	**
tempo x cultivar	**	**	**	**	**	**	**	ns
tempo x nitrogênio	**	*	**	ns	ns	ns	**	ns
tempo x fósforo	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
C V (%)	23,44	25,24	34,85	43,41	55,3	26,80	11,9	20,11

(1) amostra = g 5g⁻¹ do elemento na amostra; (2) liberado = % do elemento liberado;

* = significante a P<0,05; ** = P<0,01; ns= não significativo

As cultivares de *Panicum maximum* e a adubação nitrogenada afetaram significativamente a liberação do nitrogênio para o sistema em função do tempo de observação (Tabela 2). A liberação de nitrogênio 28 dias após a deposição no solo foi em torno de 40% (Figura 1), sendo que as cultivares Vencedor e Aruana, com cerca de 13,6 g kg⁻¹ de N na liteira inicial (Tabela 3), continuaram a liberar o nutriente até os 336 dias de avaliação, sendo que a Aruana liberou cerca de 70%

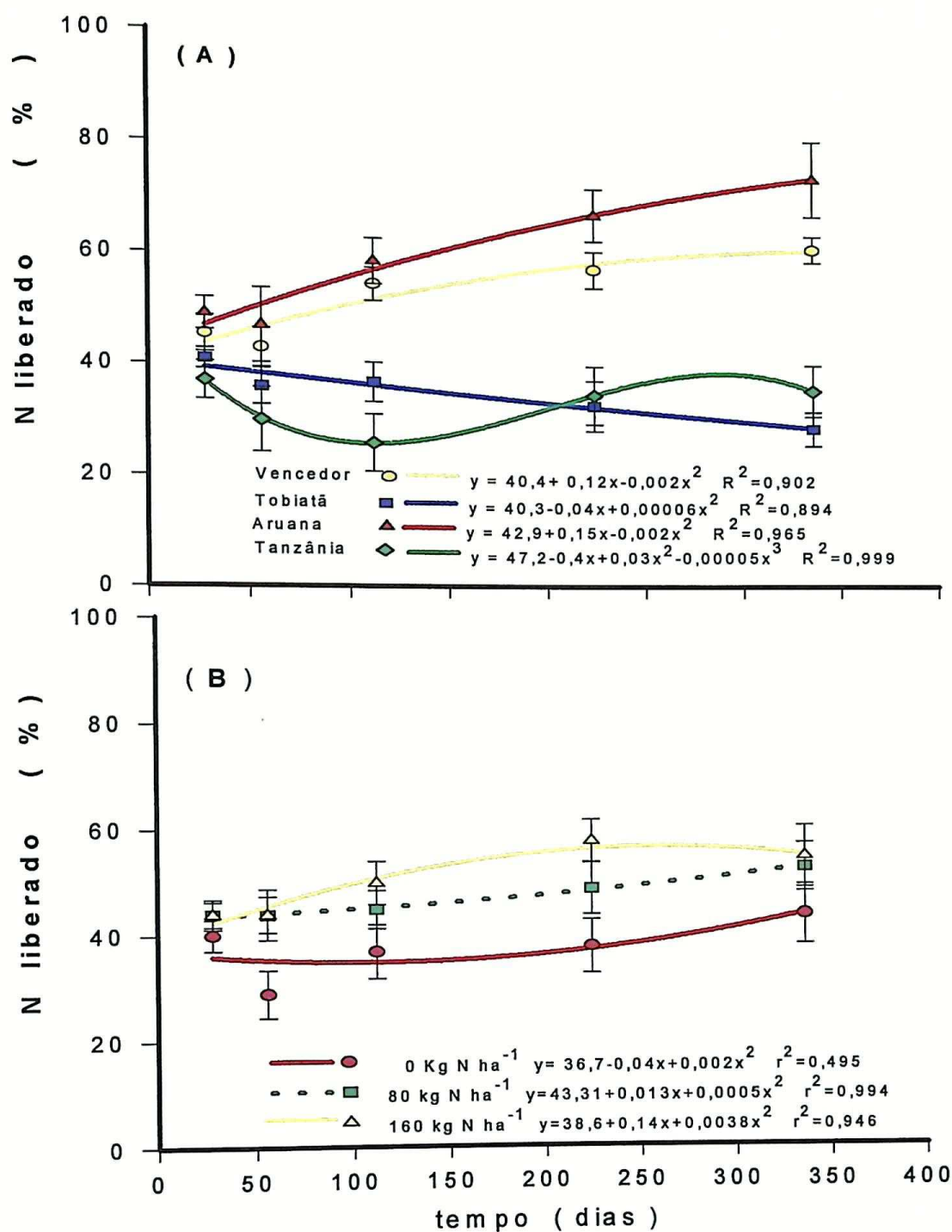


FIGURA 1 - Nitrogênio liberado (%) da liteira de *Panicum maximum*: (A) - em função dos cultivares. e (B) - dos níveis de nitrogênio aplicados (barras verticais correspondem ao erro padrão das médias)

do nitrogênio inicial e a Vencedor cerca de 60%. Já o Tobiata e a Tanzânia, com cerca de 9 g kg⁻¹ de N de liteira inicial (Tabela 3), imobilizaram o nutriente ao longo do tempo, sendo que ao final do período de avaliação a Tobiata liberou menos de 30% do nitrogênio inicial e a Tanzânia pouco mais do que este valor. Este cultivar mostrou uma forte imobilização do nutriente entre os 56 e 100 dias após a deposição da liteira no solo, voltando a liberar a partir de 224 dias. Em termos absoluto a Aruana e a Vencedor liberaram 9,3 e 8,2 g de N Kg⁻¹ de liteira respectivamente, enquanto a Tobiata e a Tanzânia liberaram cerca de 2,5 e 3,4 respectivamente.

TABELA 3 - Concentração inicial de nutrientes na liteira de *Panicum maximum* em função das cultivares, da adubação nitrogenada e fosfatada.

	N	P	S	C
Fonte Variação	g kg ⁻¹ MS			
<u>Cultivar</u>				
Vencedor	13,6	1,2	2,0	452
Tobiatã	9,2	0,8	2,2	454
Aruana	13,6	1,2	3,0	450
Tanzânia	9,0	0,8	1,8	452
<u>N kg ha⁻¹</u>				
0	10,0	1,4	2,0	400
80	11,8	1,0	2,2	440
160	13,2	0,8	2,4	480
<u>P₂O₅ kg ha⁻¹</u>				
0	12,0	0,8	2,4	452
100	10,0	1,2	2,0	454

O teor de N da liteira afetou positivamente a liberação de nitrogênio para o sistema, sendo que até os 224 dias após a deposição da liteira no solo a adubação com 80 kg de N ha⁻¹ das plantas produtoras de liteira provocou um aumento da liberação de cerca de 10% em relação ao testemunha, sendo que quando a dose passou para 160 kg de N ha⁻¹ o aumento foi de 20%, o que em termos absoluto representa 1,18 e 2.64 g de N Kg⁻¹ de liteira incorporada ao solo. Blair (1988) avaliando a liberação de nutrientes da liteira de três cultivares arbóreas obteve que após dois anos foi liberado somente 9% do N adicionado inicialmente pela liteira, 18% do S e 25% do P, sendo estes valores inferiores aos obtidos para os cátions Ca, Mg e K.

Quando avaliamos somente as cultivares Tobiata e Vencedor nas condições controladas da incubação aeróbica (Figura 2), assim como em condições de campo, houve significância estatística para a interação coleta x cultivar e coleta x N ($P < 0,01$) na liberação do nitrogênio mineral (NH₄ e N-total) para o sistema, mostrando correlação entre ambos os métodos de avaliação. A liberação de NH₄ aumentou consistentemente com o tempo de incubação, e foi maior para a Vencedor do que para a Tobiata, sendo que a resposta à adubação nitrogenada foi mais consistente até o nível de 80 kg N ha⁻¹.

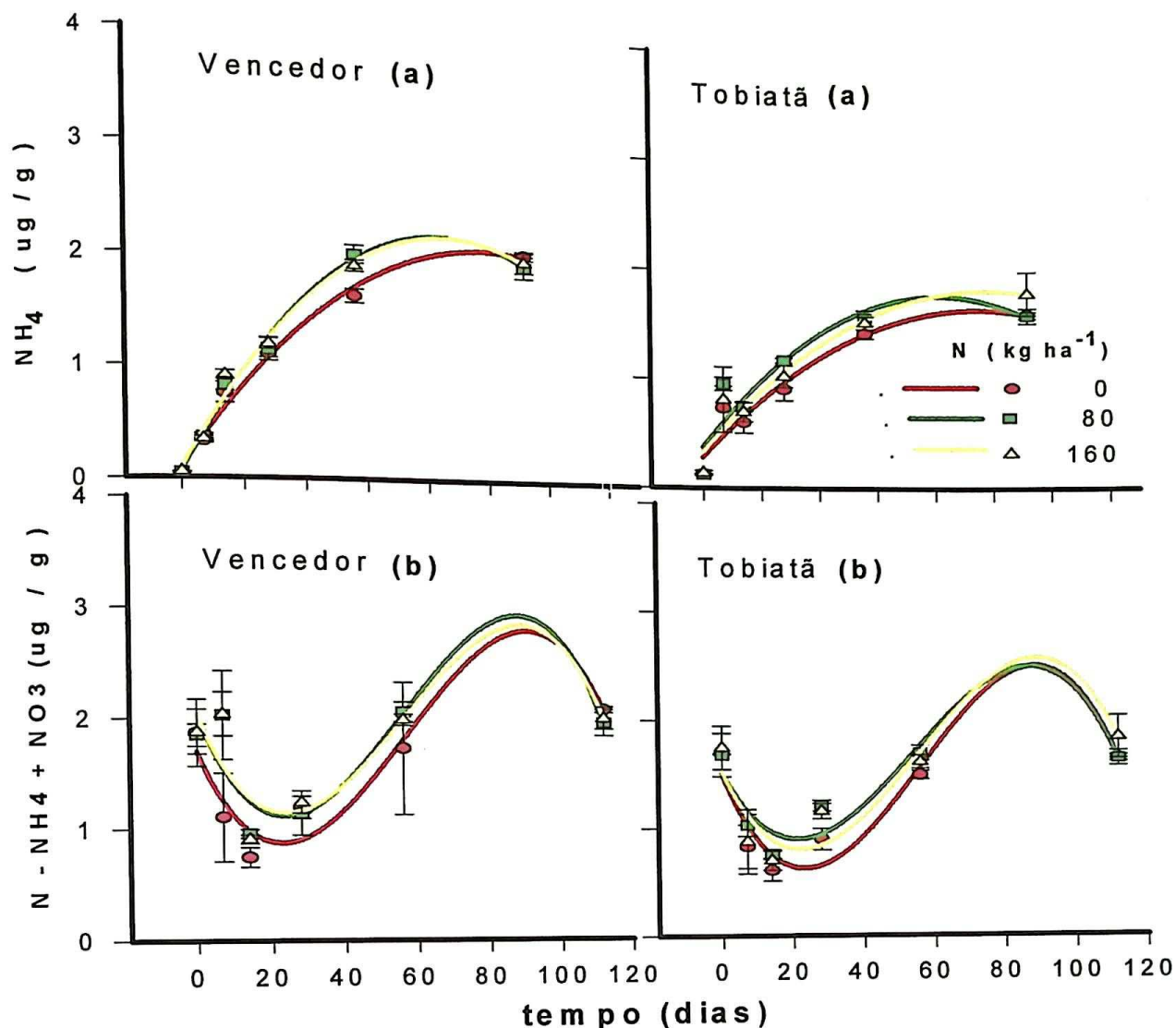


FIGURA 2 - Nitrogênio N-NH_4 (a) e $\text{N-NH}_4 + \text{NO}_3^-$ (b) liberado dos tecidos da liteira de dois cultivares de *P. maximum* com diferentes teores de nitrogênio incubado em condições aeróbicas (barras verticais correspondem ao erro padrão das médias)

Registrou-se imobilização do NO_3^- para ambas as cultivares e para as concentrações de nitrogênio estudados, nas duas primeiras semanas de incubação, sendo que após este período voltou a liberar. Esta imobilização não foi

incubação, sendo que após este período voltou a liberar. Esta imobilização não foi detectada nas condições de campo porque a primeira coleta dos saquinhos de decomposição foi aos 28 dias, ou seja após a ocorrência deste fenômeno. As concentrações iniciais de N da liteira estavam em torno de 13 e 8 g kg⁻¹ para a Vencedor e para a Tobiatã respectivamente e não foram afetadas pelos níveis de adubação nitrogenada adicionados. Sivapalan e Fernando (1985) analisando a mineralização de resíduos com diferentes teores de N, obtiveram imobilização de nitrogênio, especialmente do nitrato, em resíduos contendo de 0,86 a 1,08% de N total, em função da assimilação do nitrogênio pelos organismos heterotróficos. Como em condições de baixa concentração de N os resíduos das planta não são completamente humificados, não há NH₄ para os nitrificadores, sendo que o conteúdo de NO₃ do solo permanece muito baixo ou mesmo é imobilizado pelos microorganismos do solo. O pH é outro fator importante no controle dos processos de nitrificação (Alexander, 1965) a qual é conhecida como um processo gerador de acidez, sendo que o pH em torno de 6,5 é geralmente considerado o valor ideal para a nitrificação.

As quantidades de N-total liberadas em função do tempo aumentaram levemente para a Vencedor e permaneceram constante para a Tobiatã. Considerando o tempo de avaliação de 120 dias, e sobrepondo ao mesmo período para a avaliação no campo que no total foi de 336 dias, pode-se dizer que este comportamento é semelhante para ambos os métodos, neste intervalo.

Pelo descrito acima pode-se dizer que em termos de liberação de nitrogênio, a escolha da cultivar é mais importante do que a manipulação das

concentrações dos nutrientes via adubação nitrogenada e fosfatada. Este conhecimento é de fundamental importância para quando se deseja estabelecer um manejo sustentável das pastagens.

A liberação de nitrogênio nos primeiros 28 dias da decomposição da matéria seca correlacionou-se de forma direta e significativa com os teores de N, K e Mg (Tabela 4) e inversamente com a relação C/N. O N e a relação C/N mantiveram esta influência ao longo do tempo, sendo que nos estágios finais também o P e o S que diminuíram suas relações C/P e C/S para 253 e 142 respectivamente, passaram a afetar a liberação do nutriente, mostrando comportamento semelhante à decomposição do resíduo. A correlação entre a mineralização de N com os teores iniciais do elemento nos tecidos, bem como sua relação C/N, é bem conhecida para outras espécies (Vanlauwe et al., 1997)

Observa-se também que a relação C/N inicial (45,3) (Tabela 1) é acima de 30, valor este que na literatura é considerado haver imobilização do elemento pelos tecidos. A relação C/P inicial foi de 569 e a C/S foi 230. Thomas e Asakawa (1993) obtiveram liberação de nitrogênio quando as liteiras de forrageiras tropicais apresentaram uma relação C/N de até 109, enquanto Robbins et al. (1989) obtiveram liberação com relações acima de 79, sugerindo também que apesar de não haver imobilização nestas condições, as quantidades do elemento liberado para o sistema deverão ser pequenas. Por outro lado Iritani & Arnold (1960) observaram que apesar da influência do conteúdo de N total dos resíduos das plantas ser considerada de importância primária na mineralização do nitrogênio, o N solúvel em água foi cerca de duas vezes mais efetivo do que a fração insolúvel,

em afetar a liberação do elemento, sendo que Sivapalan et al. (1985) confirmaram esta afirmação com resíduos contendo 3,7% de N total e uma relação C/N 12,2, mas que apresentavam baixa mineralização de N, uma vez que seu N solúvel era de somente 0,33%. Isto poderá explicar o porque das plantas forrageiras, com alta relação C/N ainda apresentarem boa mineralização de N, porém existem poucos dados sobre N solúvel para estas cultivares.

TABELA 4 -Amplitude do coeficiente de correlação e probabilidade da correlação simples entre o nitrogênio liberado da liteira contida nos saquinhos, no tempo e os teores de nutrientes iniciais da liteira

Teores iniciais nutrientes	Dias				
	28	56	112	224	336
N	0,920**	0,239*	0,271*	0,258*	0,189ns
P	0,050ns	0,046ns	0,166ns	-0,006ns	0,283*
S	0,267*	0,060ns	0,111ns	0,252*	- 0,069ns
C	-0,094ns	0,055ns	-0,049ns	0,019ns	- 0,217ns
C/N	-0,830***	-0,295*	-0,253*	-0,168ns	- 0,251*
K	0,388***	0,156ns	0,043ns	0,060ns	0,154ns
Ca	-0,043ns	0,165ns	-0,033ns	0,080ns	0,141ns
Mg	0,256*	0,0730ns	0,058ns	0,156ns	0,093ns

* = significativo a $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$; ns= não significativo

Absorção do nitrogênio da liteira pelas plantas

As adubações nitrogenada e fosfatada aplicadas afetaram a quantidade de nitrogênio mineralizado da liteira de *Panicum*, sendo significativa para a absorção do nitrogênio pelas raízes do milho; a adubação fosfatada foi significativa para a absorção de N da parte aérea. (Tabela 5). Não houve efeito para cultivar

nas condições deste experimento. O N da biomassa não foi afetado pela adição de liteira ao solo

TABELA 5 - Concentração do N total dos tecidos do milho e da biomassa microbiana do solo PVA, adubado com a liteira de quatro cultivares de *P. maximum*, produzidas com diferentes níveis de nitrogênio e de fósforo.

Cultivar	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)					
	0			200		
	N (kg ha ⁻¹)					
	0	80	160	0	80	160
	N-biomassa - g kg ⁻¹					
VENCEDOR	0,43	0,49	0,36	0,30	0,48	0,10
TOBIATÃ	0,53	0,52	0,60	0,44	0,54	0,56
ARUANA	0,59	0,43	0,41	0,64	0,44	0,43
TANZÂNIA	0,13	0,26	0,33	0,84	0,49	0,30
	N- parte aérea (milho) g kg ⁻¹					
VENCEDOR	9,3	9,2	9,4	5,3	7,0	7,7
TOBIATÃ	8,0	8,3	8,6	7,9	8,8	8,1
ARUANA	7,9	8,6	9,5	7,5	8,1	8,0
TANZÂNIA	8,4	8,9	9,0	7,8	7,7	8,6
	N- raiz (milho) g kg ⁻¹					
VENCEDOR	8,4	8,7	9,6	6,6	7,8	8,2
TOBIATÃ	9,2	8,7	9,2	8,2	8,4	8,3
ARUANA	8,9	9,6	9,2	8,5	8,4	9,7
TANZÂNIA	7,2	7,9	9,8	7,0	7,8	10,2
	Teste F					
Fonte Variação	N-biomassa	N- Parte aérea	N-raiz			
P	ns	**	*			
N	ns	ns	**			
CV (%)	45	12	11			

Nas condições de campo e da incubação aeróbica, os efeitos dos tratamentos ficaram mais definidos sobre a dinâmica de nitrogênio do que nas

condições deste experimento. Fox et al. (1990) compararam dois métodos para estimar a liberação de nitrogênio, sendo (1) - a diferença entre o N mineral liberado de um solo ao qual se adiciona uma leguminosa e de um solo testemunha sem leguminosa, com o (2) - estimado pela recuperação de ^{15}N pelo cultivo do sorgo em solo adubado com duas leguminosas enriquecidas previamente com o isótopo. Concluíram que após 12 semanas de avaliação, a estimativa da mineralização do N da leguminosa foi em média 20% a mais para o método da diferença do que para o método do ^{15}N e sugeriram então que as estimativas da liberação do N das leguminosas para os cultivos posteriores não deverão se basear somente em resultados de experimentos com ^{15}N .

Liberação de fósforo, enxofre e carbono

É importante considerar como a deficiência de outros nutrientes, além do N, poderão afetar a decomposição da matéria orgânica, a atividade dos microorganismos e a ciclagem de nutrientes, bem como determinar estes efeitos sobre a produção das plantas. Um ciclo de estudos deverá ser desenvolvido para descrever como um solo deficiente em P e S desenvolverão plantas deficientes destes elementos que por sua vez retornarão ao solo liteira também deficientes, e que imobilizarão o P e o S durante os processos de decomposição, diminuindo ainda mais a disponibilidade destes no solo.

As cultivares avaliadas afetaram significativamente ($P < 0,01$) o padrão de liberação de P e S no tempo (Tabela 2) e a adubação fosfatada foi significativa

para a liberação de P no tempo ($P < 0,05$), enquanto a liberação de C foi afetada ($P < 0,01$) somente pelo tempo.

A liberação de fósforo da liteira, após 28 dias de deposição na superfície do solo, foi em torno de 60%, sendo que a adubação fosfatada manteve este padrão de liberação para o sistema (Figura 3), em todos os tempos avaliados, enquanto que sem a adubação, houve imobilização ao longo do tempo de cerca de 10% do fósforo liberado inicialmente. Budelman (1988) afirmou que a imobilização de fósforo encontrada em folhas de leguminosas foi devido a baixa concentração inicial do elemento na liteira. Em nossas condições a liteira inicial continha 0,8 e 1,2 g de P kg^{-1} de MS nos tratamentos sem adubação e com adubação fosfatada respectivamente (Tabela 3). Nguluu et al. (1996) obtiveram redução na mineralização do nitrogênio dos resíduos de stylo e cowpea quando a concentração de P do resíduo foi abaixo de 1,6 g kg^{-1} .e concluíram que apesar da magnitude deste efeito não ser grande, haverá uma influência na sincronia entre o suprimento de N pelos resíduos e a demanda das plantas, o que se torna importante quando se deseja maximizar a utilização do N dos resíduos pelas plantas. Em nossas condições a liberação de fósforo correlacionou positiva e significativamente com o teor inicial do elemento na liteira (Tabela 6).

Quanto as cultivares a Vencedor e a Aruana que continham 1,2 g de P kg^{-1} de MS de liteira (Tabela 3) continuaram a liberar fósforo para o sistema até o final do período avaliado (Figura 3), sendo que a Aruana liberou a maior quantidade atingindo cerca de 80% do P inicial seguido da Vencedor com cerca de

70%. As outras cultivares imobilizaram em torno de 30% do P liberado inicialmente, sendo que ao final do período de avaliação a Tobiatã liberou somente 35% e a Tanzânia 48%.

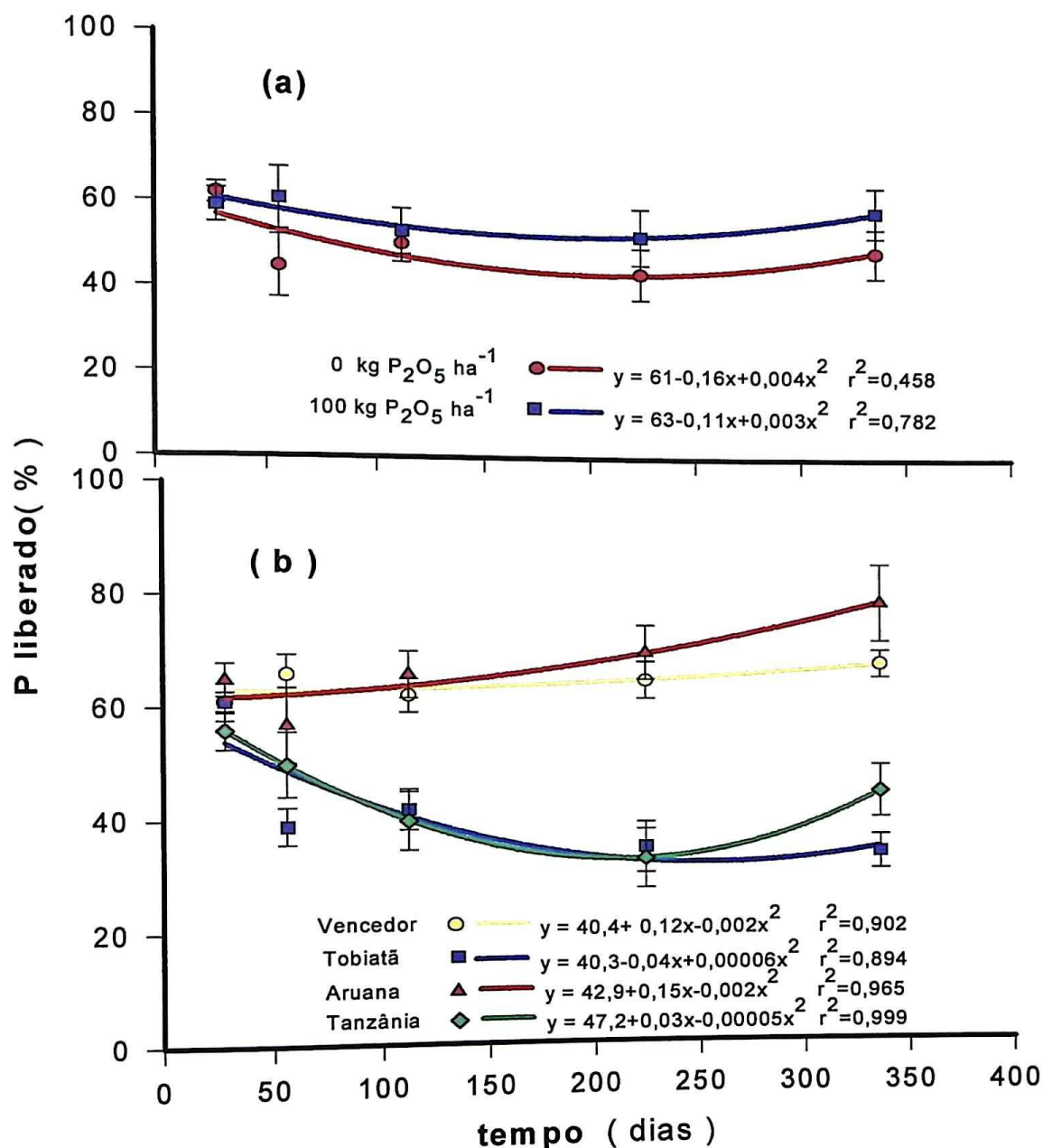


FIGURA 3 - Fósforo liberado da liteira de *Panicum maximum* (%) para o sistema em função: (a) dos níveis de fósforo e (b) das cultivares (barras verticais correspondem ao erro padrão das médias)

O carbono foi liberado de forma crescente para o sistema em função do tempo (Figura 4) sendo que cerca de 55% foi nos 28 primeiros dias, que compreende a fase de lixiviação, atingindo 80% até o final do período de avaliação. Obteve-se correlação direta entre a liberação de carbono (Tabela 6) e os teores iniciais de N, S, K, e Mg e correlação inversa com a relação C/N. O fósforo correlacionou diretamente aos 112 dias de avaliação

O comportamento das cultivares para a liberação do enxofre foi: a Aruana e a Vencedor liberam maiores quantidades e as cultivares restantes menores (Figura 4). A liteira inicial continha 2,0; 2,2; 3,0 e 1,8 g de S kg⁻¹ de MS para as cultivares Vencedor, Tobiata, Aruana e Tanzânia, respectivamente (Tabela 3).

A Aruana liberou aos 28 dias cerca de 70% do S inicial atingindo cerca de 85% ao final ou seja 2,5 g de S kg⁻¹ de MS. A Vencedor que mostrou baixa concentração inicial do elemento nos tecidos liberou inicialmente cerca de 55%, porém não mostrou imobilização, e continuou a liberar até o final do período experimental, atingindo 65% do inicial, o que significou 1,3 g de S kg⁻¹ de MS, ou seja metade da quantidade liberada pela Aruana. A Tobiata e a Vencedor, assim como para o N e o P mostraram imobilização do elemento, adicionando ao sistema cerca de 1,3 e 0,9 g de S kg⁻¹ de MS de liteira depositada, respectivamente. Chapman (1997) encontrou que para a liteira de cevada, o conteúdo crítico de S, onde ocorreu imobilização do elemento, foi estimado em 1,3 g kg⁻¹ de S ou uma relação C/S de 340 e que quando esta relação esteve entre 400-650 (1,10-0,70 g kg⁻¹ S) houve uma potencial limitação para a decomposição destes resíduos. Para as condições

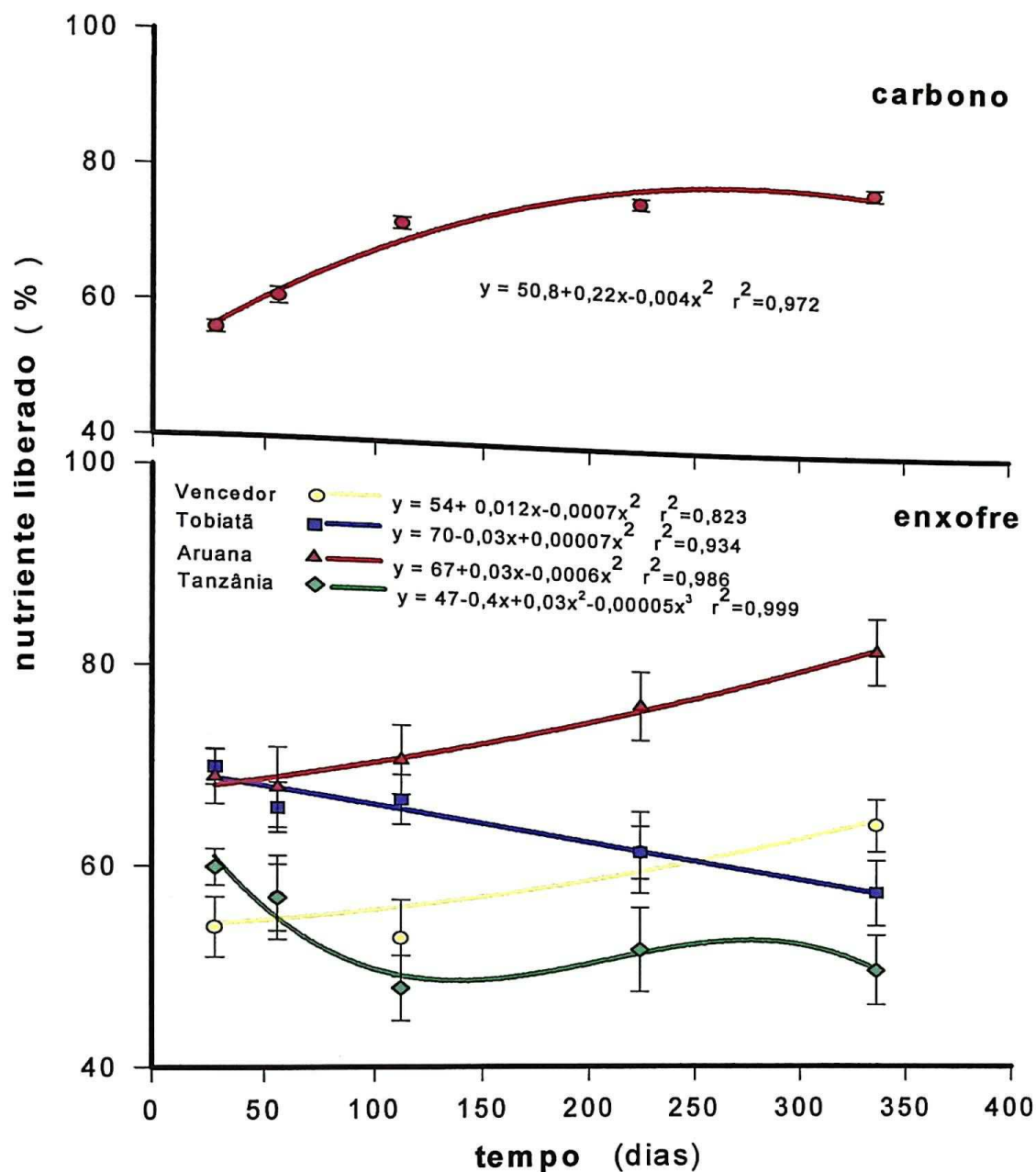


FIGURA 4 - Porcentagem de carbono e enxofre da liteira de *P. maximum* liberados para o sistema (barras verticais correspondem ao erro padrão das médias)

do nosso estudo a relação C/S inicial do material, independente das cultivares e dos níveis de adubação foi de 235, sendo que Chapman (1997), na discussão de seu trabalho, mostrou ampla variação entre autores quanto aos valores desta

relação considerados críticos para promover a imobilização do S para várias culturas, que foram desde 206 para a liteira de cevada até <1000 para resíduos de sorgo.

TABELA 6 - Amplitude do coeficiente de correlação e probabilidade da correlação simples entre o fósforo o enxofre e o carbono liberado no tempo e os teores de nutrientes iniciais da liteira

Teores iniciais nutrientes	Dias				
	28	56	112	224	336
<u>P liberado</u>					
N	0,036ns	0,215ns	0,141ns	0,164ns	0,040ns
P	0,954***	0,240 *	-0,046ns	-0,103ns	0,377**
S	0,085ns	-0,121ns	0,193ns	0,233 *	-0,088ns
C	-0,061ns	0,176ns	-0,089ns	0,055ns	-0,860ns
C/N	-0,089ns	-0,270ns	-0,103ns	-0,083ns	-0,120ns
K	-0,008ns	0,126ns	0,065ns	0,051ns	0,014ns
Ca	0,102ns	0,217ns	-0,089ns	-0,082ns	0,283ns
Mg	-0,144ns	0,273ns	-0,126ns	0,104ns	0,025ns
<u>S liberado</u>					
N	0,217ns	0,263 *	-0,107ns	0,320 **	0,208ns
P	0,046ns	-0,152ns	0,271 *	-0,068ns	0,365 **
S	0,992***	-0,118ns	0,138ns	0,228 *	-0,051ns
C	-0,055ns	0,077ns	-0,048ns	0,017ns	-0,179ns
C/N	-0,227ns	-0,266 *	0,082ns	-0,237 *	-0,282ns
K	0,182ns	0,085ns	0,073ns	-0,015ns	0,211ns
Ca	-0,085ns	0,119ns	0,031ns	0,032ns	0,239ns
Mg	0,005ns	0,180ns	-0,048ns	0,044ns	0,086ns
<u>C liberado</u>					
N	0,623***	0,047ns	-0,187ns	0,118ns	-0,071ns
P	0,199ns	-0,156ns	0,245 *	-0,089ns	0,144ns
S	0,260 *	-0,110ns	0,090ns	0,146ns	-0,132ns
C	0,029ns	0,055ns	0,066ns	0,024ns	-0,159ns
C/N	-0,588***	-0,062ns	0,167ns	-0,350ns	0,015ns
K	0,402***	-0,090ns	0,011ns	-0,037ns	0,047ns
Ca	0,103ns	0,063ns	0,041ns	-0,011ns	0,139ns
Mg	0,369 **	-0,076ns	0,006ns	0,045ns	-0,008ns

* = significativo a $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$; ns = não significativo

A correlação simples entre a liberação de enxofre (Tabela 6) com a concentração de nutrientes iniciais foi direta para o S aos 28 dias após a deposição da liteira ao solo, para o N, P e S aos 56 e 224 dias e para o P aos 112 e 336 dias.

Liberação de cálcio magnésio e potássio

A análise estatística das concentrações de K, Ca e Mg da liteira existente nos saquinhos de decomposição (Tabela 7) foi significativa ($P < 0,001$) para a interação tempo x cultivar. A concentração de K foi significativa para as interações tempo x N ($P < 0,001$) e tempo x P ($P < 0,05$). A concentração de Mg para a interação tempo x N ($P < 0,01$).

O K diminuiu sua concentração já a partir da primeira avaliação. O Ca aumentou sua concentração em função do tempo passando de $5,7 \text{ g kg}^{-1}$ para $8,9 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que o Mg mostrou uma fase inicial de perda por lixiviação, entre 28 e 56 dias, quando então voltou a aumentar.

Budelman (1988) encontrou que o potássio e o magnésio foram liberados rapidamente das folhas de três espécies arbóreas de clima tropical úmido, enquanto o cálcio apresentou um padrão de liberação mais lento. Tripathi & Singh (1992) trabalhando com bambu na Índia, obtiveram este mesmo padrão de liberação.

TABELA 7 - Teores de nutrientes da liteira na matéria seca remanescente nos saquinhos, em função do tempo, e análise de variância mostrando os níveis de significância para as variáveis dependentes em função das fontes de variações.

dias	K	Ca	Mg
		g/kg	
0	22,2a	5,7d	3,8b
28	0,7b	6,5c	1,6d
56	0,9b	8,7ab	2,6c
112	1,1b	9,2a	3,7b
224	0,9b	8,2b	4,4a
336	0,7b	8,9ab	3,6b
<u>Fonte Variação</u>			
tempo	***	***	***
tempo x cultivar	***	***	***
tempo x P	*	ns	ns
tempo x N	***	ns	**
CV (%)	12,4	24,21	25,97

** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$; ns= não significativo. Médias seguidas da mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%)

A liberação de cálcio não foi afetada pelos tratamentos aplicados (Tabela 8), sendo significativa ($P < 0,01$) somente para o tempo. Aos 28 dias após a deposição no solo foi liberado cerca de 45% do cálcio da liteira inicial (Figura 5), sendo que a partir deste tempo até os 58 dias tendeu a imobilizar o elemento e voltou a liberar próximo aos 60 dias, até o final do período experimental, atingindo cerca de 60%. Considerando que a liteira inicial tinha cerca de 6 g de Ca kg^{-1} de MS (Tabela 9) representou cerca de 3,6 g de Ca liberado kg^{-1} de MS de liteira

TABELA 8 - Resultados da análise de variância da concentração de nutrientes e da porcentagem de nutrientes liberados

Fonte	Variação	Variáveis dependentes					
		K		Ca		Mg	
		amostra (1)	liberado (2)	amostra	liberado	amostra	liberado
tempo		**	**	**	**	**	**
tempo x cultivar		**	**	**	ns	**	**
tempo x nitrogênio		**	ns	**	ns	**	ns
tempo x fósforo		ns	ns	ns	ns	**	ns
CV		41,85	54,98	29,93	37,32	29,2	44,01

(1) amostra = g 5g⁻¹ do elemento na amostra; (2) liberado = % do elemento liberado; * = significante a P<0,05; ** = P<0,01; ns= não significativo

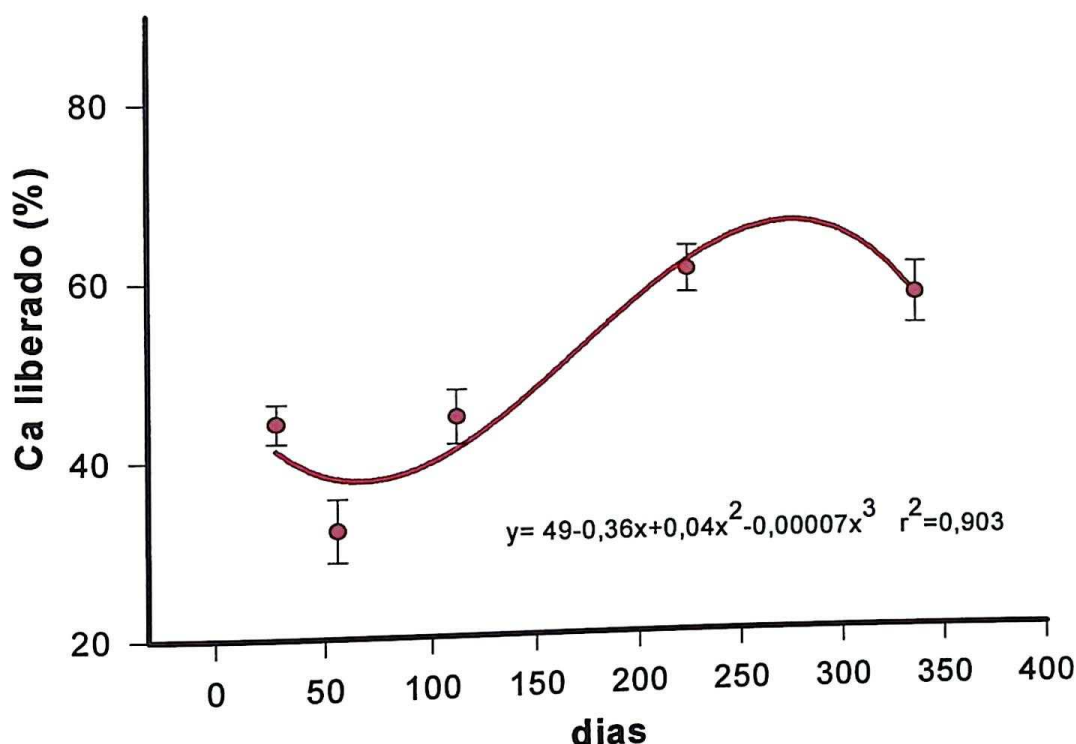


FIGURA 5 - Cálcio liberado (%) da liteira de *P. maximum*, durante o ano de 1996 (barras verticais correspondem ao erro padrão das médias)

TABELA 9 - Concentração inicial de bases na liteira de *Panicum maximum* em função das cultivares e da adubação nitrogenada e fosfatada

Fonte Variação	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹ MS		
<u>Cultivar</u>			
Vencedor	22	5,6	4,2
Tobiatã	20	4,6	3,6
Aruana	24	6,2	4,0
Tanzânia	22	6,4	4,0
<u>N kg ha⁻¹</u>			
0	20	6,0	3,4
80	24	6,0	4,0
160	24	6,0	4,2
<u>P₂O₅ kg ha⁻¹</u>			
0	22	5,6	3,8
100	22	5,6	4,0

Blair (1988) avaliando a liberação de nutrientes da liteira de três espécies arbóreas, observou que a concentração de cálcio aumentou seguida a uma perda inicial por lixiviação, entretanto houve liberação de cálcio tão logo a perda de massa excedeu o aumento da concentração. A liberação líquida de Ca ao final de dois anos foi de 42% em relação ao conteúdo inicial na liteira. As perdas iniciais por lixiviação foram menores do que para o K e Mg e foi atribuída a natureza do Ca que forma os componentes estruturais da liteira, portanto a liberação do cálcio é mais dependente da atividade biótica do que da lixiviação. O fluxo do cálcio tem sido associado a perda de massa da liteira (Gosz, 1973; Staaf & Berg, 1982; Thomas, 1969). Entretanto outros estudos tem descrito aumento da concentração

de cálcio durante a decomposição o que resulta em grande retenção ou mesmo acumulação de Ca durante os primeiros estágios de decomposição (Bockheim and Leide, 1986; Klemmedson et al., 1985; Vogt et al., 1983; Yavitt and Fahey, 1986).

Alguma da retenção ou acumulação de cálcio na liteira é atribuída à formação de oxalato de cálcio por certos fungos (Cromack et al., 1975; Budelman, 1988). O aumento da concentração de Ca obtida no estudo de Blair (1988), segundo as suas conclusões, resultou em baixa e lenta taxas de liberação de Ca, relativa a perda de massa.

As cultivares afetaram significativamente ($P < 0,01$) a liberação de Mg no tempo (Tabela 8). Aos 28 dias após a deposição da liteira no solo foi liberado entre 75 a 80% do Mg inicial (Figura 6), sendo que a Vencedor manteve este padrão até o final liberando cerca de 3,4 g de Mg kg^{-1} de MS. A Aruana aumentou a liberação ao final do período, chegando a cerca de 90% do Mg inicial, ou seja 3,6 g de Mg kg^{-1} de MS. A Tobiatã e a Tanzânia imobilizaram o elemento a partir dos 56 dias de deposição, sendo que a Tobiatã manteve este padrão até o final da avaliação liberando cerca de 62% do Mg inicial ou seja 2,2 g de Mg kg^{-1} de MS, enquanto que a Tanzânia voltou a liberar ao final da avaliação liberando cerca de 72 % ou 2,9 g kg^{-1} de Mg de MS. Blair (1988) avaliando a liberação de nutrientes da liteira de três espécies arbóreas obteve que o magnésio aumentou a concentração no segundo ano, após um decréscimo no primeiro ano devido a lixiviação, sendo que ao final dos dois anos de avaliação, liberou 58% da concentração inicial do elemento. Isto sugere que a imobilização microbiana do magnésio é importante nos estágios secundários da decomposição, ou em liteiras com baixo teor inicial

de Mg. Imobilização biológica do Mg também foi sugerida como um mecanismo de retenção nos estágios posteriores de decomposição de liteira de pinho (Staaf & Berg, 1982).

A liberação do potássio foi significativa (Tabela 8) para a interação tempo x cultivar ($P < 0,01$) sendo liberado cerca de 98,5% já aos 28 dias após a deposição da liteira no solo (Figura 6) e manteve este padrão, a exceção da Tanzânia que mostrou uma leve imobilização do elemento entre 58 e 112 dias. As quantidades de K liberado ao final do período de avaliação foram: Vencedor e Tanzânia 22 g de K kg^{-1} de MS, Tobiata 20 g de K kg^{-1} de MS e Aruana 23,7 g de K kg^{-1} de MS.

Blair (1988) obteve que a concentração de potássio declinou rapidamente e continuou a declinar durante um período de dois anos, liberando 91% do elemento até o final da avaliação. Esta rápida liberação de potássio observada é um fenômeno comum, pois o elemento não é um componente estrutural da liteira da planta e também é sujeito a ser removido por lixiviação física. Também, a liberação de potássio não é fortemente dependente da atividade biótica (Alexander, 1977). Este fato poderá explicar o porque a taxa de liberação de potássio é mais correlacionada com a concentração inicial do elemento na liteira do que com a taxa de decomposição.

Tian et al. (1992) avaliando liberação de nutrientes da liteira de três espécies arbóreas (Acioa, Gliricidia e Leucena) além do milho e do arroz, obteve liberação rápida do K, sendo que em menos de 98 dias quase todo o potássio já havia sido liberado, sendo este comportamento do elemento menos afetado pelas

características químicas e pela atividade da fauna do solo do que o N e o P. O teor total de N, P, Ca e Mg da liteira diminuiu com o tempo para todas as plantas a exceção da *Acioa*, que apresentou imobilização destes nutrientes. Houve alguma indicação de imobilização de N na liteira de milho e de arroz, P na liteira de *Leucaena*. Aos 98 dias a liberação de cálcio aumentou na seguinte ordem leguminosas > gramíneas, sendo que o Mg seguiu o mesmo padrão.

Fez-se o estudo das correlações simples entre o K, Ca e o Mg liberados nos diferentes tempos de avaliação com os teores de nutrientes iniciais da liteira (Tabela 10). Aos 28 dias após a deposição da liteira sobre o solo, obteve-se correlação direta entre os teores de N inicial e a liberação de K e Mg; S inicial e a liberação de Mg; K e Mg inicial e a liberação de K, Ca e Mg; e Ca inicial e a liberação de Ca e Mg. Houve correlação inversa entre a relação C/N e a liberação de K e Mg.

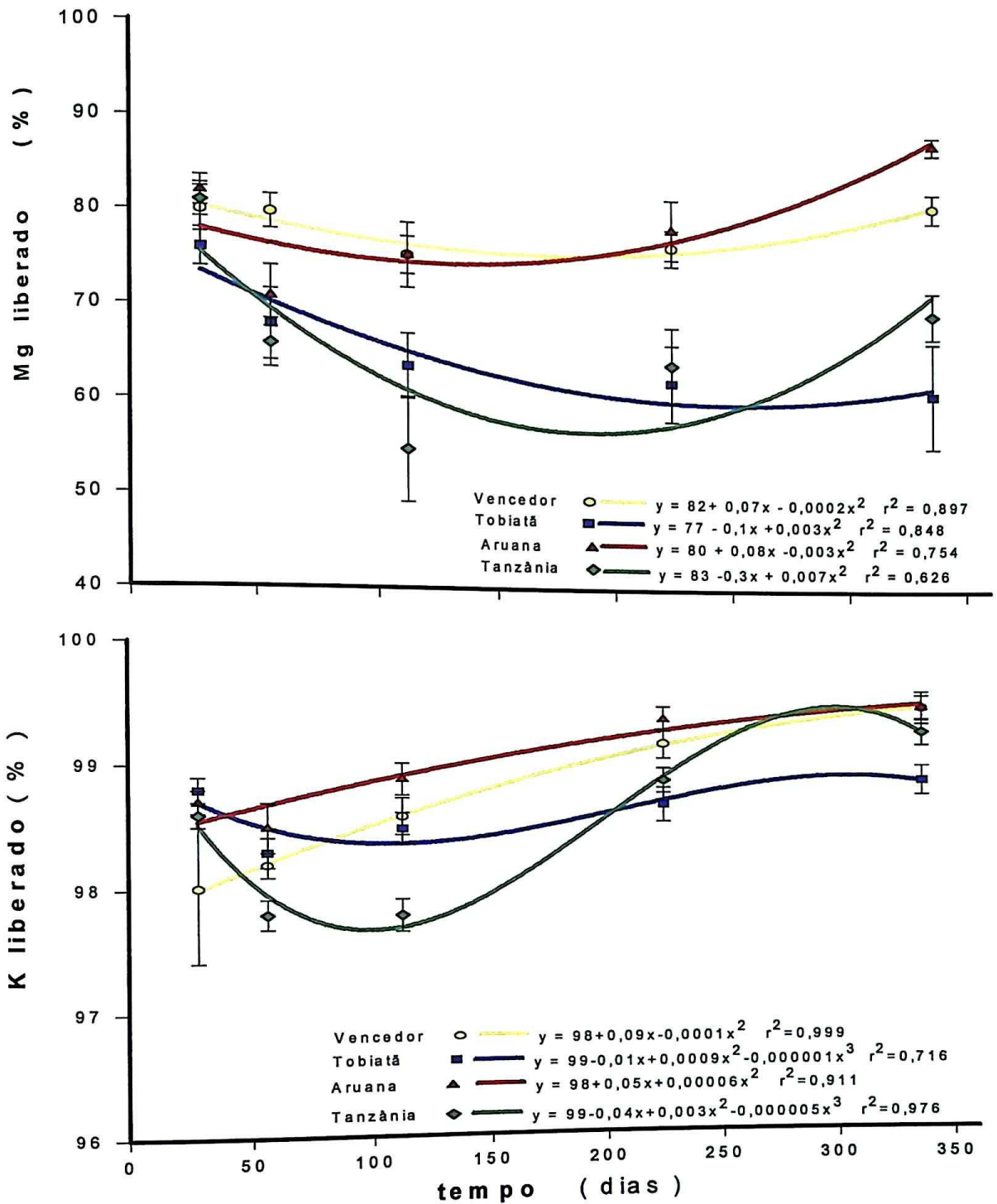


FIGURA 6 - Magnésio e potássio liberado dos tecidos da liteira de quatro cultivares de *P. maximum* (barras verticais correspondem ao erro padrão das médias)

TABELA 10 -Amplitude do coeficiente de correlação e probabilidade da correlação simples entre o potássio, cálcio e magnésio liberado no tempo e os teores de nutrientes iniciais da liteira

Teores iniciais nutrientes	Dias				
	28	56	112	224	336
<u>K liberado</u>					
N	0,391***	0,094ns	0,0180ns	-0,72ns	0,087ns
P	-0,019ns	0,166*	-0,022ns	0,045ns	0,025**
S	0,193ns	-0,030ns	-0,110ns	0,164ns	-0,051ns
C	-0,379**	0,028ns	0,194ns	-0,175ns	-0,135ns
C/N	-0,450***	-0,134ns	-0,180ns	0,091ns	-0,141ns
K	0,997***	0,035ns	0,029ns	0,040ns	0,061ns
Ca	0,093ns	0,176ns	-0,168ns	0,149ns	0,198ns
Mg	0,413***	-0,036ns	0,105ns	-0,036ns	0,149ns
<u>Ca liberado</u>					
N	0,174ns	0,179ns	0,002ns	-0,062ns	0,082ns
P	0,183ns	0,130ns	0,159ns	-0,091ns	0,111ns
S	0,057ns	-0,014ns	0,139ns	0,040ns	-0,084ns
C	-0,205ns	0,012ns	0,015ns	0,043ns	-0,214ns
C/N	-0,152ns	-0,220ns	-0,005ns	0,146ns	-0,090ns
K	0,335 **	-0,010ns	0,033ns	-0,076ns	0,035ns
Ca	0,729***	0,196ns	0,151ns	-0,103ns	0,282 *
Mg	0,455***	0,027ns	0,004ns	-0,052ns	0,045ns
<u>Mg liberado</u>					
N	0,268*	0,262ns	0,101ns	-0,115ns	0,105ns
P	-0,024ns	-0,031ns	0,060ns	0,042ns	0,138ns
S	0,045ns	-0,094ns	0,255 *	0,010ns	0,014ns
C	-0,148ns	0,244 *	-0,025ns	0,024ns	-0,259 *
C/N	0,315**	-0,208ns	-0,165ns	0,205ns	-0,120ns
K	0,517***	-0,180ns	0,244 *	-0,076ns	0,069ns
Ca	0,253 *	-0,032ns	0,048ns	-0,047ns	0,147ns
Mg	0,924***	0,028ns	0,157ns	0,056ns	0,056ns

amostra = g 5g⁻¹ do elemento na amostra;(2) liberado= g 1000g⁻¹ do elemento liberado; * = significante a P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001; ns= não significativo

Conclusões

1- As cultivares Aruana e Vencedor liberaram maiores quantidades N, P, S, e do Mg inicial do que as cultivares Tobiata e Tanzânia.

2- A adubação nitrogenada aumentou a liberação do N inicial da liteira. Na ausência da adubação fosfatada houve imobilização de P na liteira.

3- O K foi liberado já aos 28 dias após a deposição da liteira no solo, enquanto que o C e o Ca liberaram em função do tempo

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA AVALIAÇÃO DA DECOMPOSIÇÃO DE LITEIRA *IN SITU*

Resumo

Considerando-se a eficiência do método dos sacos de decomposição, mas na tentativa de oferecer novas formas de acondicionar a litera colocada junto ao solo, apresentamos neste trabalho uma metodologia alternativa a qual consiste da utilização de um recipiente plástico, confeccionado com uma parte de uma garrafa plástica descartável de 2 litros cortada ao meio no sentido transversal, na qual se fez duas janelas de 10cm x 10 cm em lados opostos, posicionadas cerca de 4,5 cm da base. A base do recipiente, que corresponde ao seu lado aberto, foi colocada em contato com o solo sobre uma tela de diâmetro semelhante, sobre a qual se colocou litera, cortada em pedaços de 1 cm de comprimento. Para a

comparação entre as duas metodologias avaliou-se a decomposição da liteira de *Panicum maximum* cv Vencedor adubada com três níveis de nitrogênio (0, 80 e 160 kg N ha⁻¹) e dois de fósforo (0 e 200 kg P₂O₅ ha⁻¹), em um solo PVA-distrófico no Instituto de Zootecnia de Nova Odessa - SP. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições. No início da avaliação cada parcela recebeu seis cúpulas e seis saquinhos contendo 5 g de liteira coletada no tratamento correspondente. Aos 28, 56 e 112 dias coletaram-se dois sacos e duas cúpulas em cada tratamento e se determinou a matéria seca remanescente. Não houve diferenças estatísticas no desaparecimento da massa da liteira e nos teores de N P e S obtidos para ambos os métodos para os diferentes períodos de decomposição avaliados. Resultados similares foram encontrados para os diferentes níveis de adubação com nitrogênio e fósforo estudados.

Abstract

Considering the efficiency of the litterbags method to evaluate the *in situ* decomposition of organic matter, in an attempt to offer new forms of conditioning the litter on the soil surface, in this paper an alternative methodology is described which involves the use of a half plastic bottle, in which two windows of 10 cm x 10 cm were cut on opposite sides, positioned about 4,5 cm from the base. The base of the half bottle was placed in contact with the soil on a screen of similar diameter and pieces of 1cm length litter was placed on this surface. To establish the

relationship between both methodologies, the decomposition of the litter of *Panicum maximum* cv Vencedor fertilized with three levels of nitrogen (0, 80 and 160 kg ha⁻¹ de N) and two of phosphorus (0 and 200 kg ha⁻¹ P₂O₅) in a Alfisol was evaluated, in a randomized block experimental design. At time zero each plot received six half bottle and six litterbags with 5 g of litter from the corresponding treatment. At 28, 56 and 112 days two litterbags and two half bottle were collected from each treatment and the dry matter and N, P, S, K, Ca and Mg concentration were determined. There were no statistical differences between the methods in the decomposition of litter dry matter and the concentrations of N, P, and. Similar results were obtained for the levels of nitrogen and phosphorus tested.

Introdução

A decomposição de liteira nos ecossistemas terrestres é comumente estudada através do método dos saquinhos que Swift et al. (1981) atribuíram a Gilbert & Bockock (1962). A técnica consiste em colocar a liteira em volume e composição química conhecidas em um recipiente telado e o material atualmente utilizado é a tela de nylon de 2mm de diâmetro, a qual permite o livre acesso da macrofauna (Henrot & Brussaard 1997). Alguns estudos tem comparado os dados de perda de massa de liteira através do método dos saquinhos com outros métodos (Witkamp & Olson, 1968; Louiser & Parkinson 1976; Bockheim & Leide,

1986; Johansson, 1986). Minderman (1968) mostrou que a constante de decomposição baseada em observações de saquinhos superestima a taxa de decomposição da camada de liteira total, porque esta camada inclui muito material em avançado estado de decomposição. Esta super-estimação é aparentemente constante de um regime climático para outro, sendo as medições feitas pelo método dos saquinhos mais úteis durante os primeiros estágios de decomposição da liteira no qual a taxa de perda de massa é maior do que nas camadas com mais húmus recalcitrante. Não é possível a extrapolação para estágios mais avançados da decomposição, mas estas determinações são úteis quando se busca sinais do clima na dinâmica da decomposição.

Outras considerações em relação as limitações do uso dos saquinhos é a de que a decomposição e o fluxo de nutrientes da liteira confinada deverá ser diferente daquele depositado diretamente sobre a superfície do solo, como acontece na natureza (Louiser & Parkinson, 1976; Magid, 1997; St. John, 1980; Weider & Lang, 1982). Entretanto Witkamp & Olson (1963) comparando a decomposição da liteira de folhas confinadas em sacos com outras não confinadas, concluíram que ambos os métodos são imprecisos para avaliação da decomposição total.

Apesar de o método poder subestimar a decomposição real tem-se assumido que os resultados destes estudos refletem com confiabilidade as características da decomposição da liteira em seu habitat normal, prestando-se

então para comparações entre espécies, locais e outras avaliações com delineamentos experimentais mais elaborados

Considerando-se a eficiência do método, mas na tentativa de oferecer novas formas de acondicionar a liteira colocada sobre a superfície do solo, apresenta-se neste trabalho um método alternativo

Materiais e Métodos

A metodologia proposta neste trabalho consiste da utilização de um recipiente plástico, doravante chamado cúpula, confeccionado com uma parte de uma garrafa plástica descartável de 2 litros cortada ao meio no sentido transversal, na qual se fez duas janelas em lados opostos de 10 x 10 cm, posicionadas a cerca de 4,5 cm da base (Figura 1).

A base da cúpula, que corresponde ao seu lado aberto, foi colocada sobre um disco de tela de nylon apoiada sobre o solo. A liteira, cortada em pedaços de 1 cm de comprimento foi colocada dentro da cúpula, após a sua fixação no solo, para o que se utilizou os dois ganchos de ferro que podem ser vistos ao lado da cúpula na Figura 1, permitindo o livre acesso da macrofauna pelas janelas laterais, possibilitando então incluir-se o efeito destes organismos na decomposição, uma vez que poderão afetar a decomposição em cerca de 30-40% (Henrot & Brussaard, 1997).

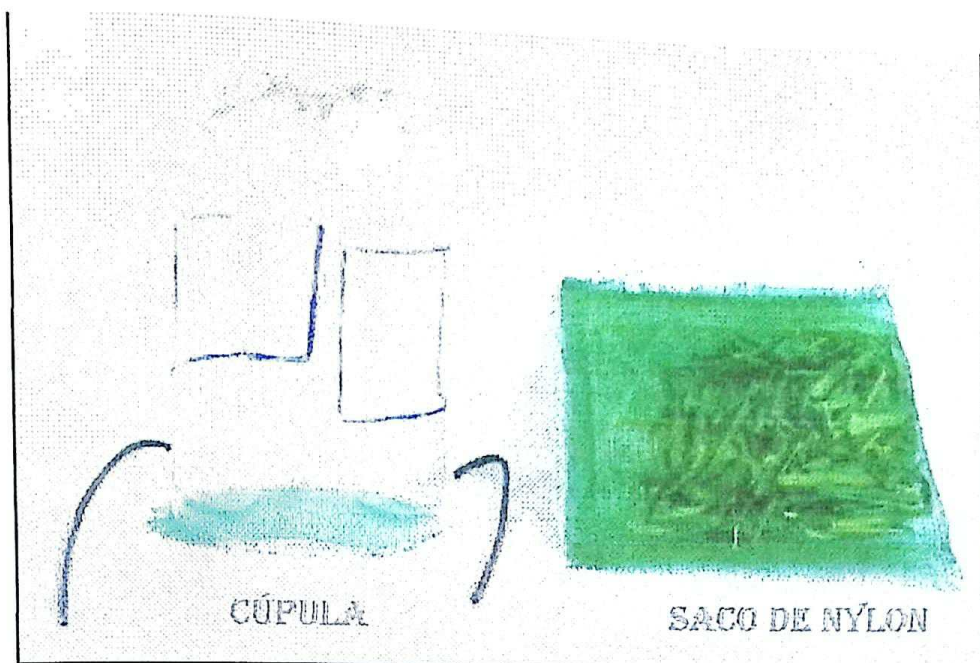


FIGURA 1 - Vista da cúpula proposta e dos sacos de nylon utilizados para a comparação dos métodos

Para se estabelecer a comparação entre as duas metodologias avaliou-se a decomposição da liteira de *Panicum maximum* cv Vencedor colhida em um experimento em andamento que avalia três níveis de nitrogênio (0, 80 e 160 kg N ha⁻¹) e um de fósforo (0 e 200 kg P₂O₅ ha⁻¹), implantado em um solo PVA-distrófico no Instituto de Zootecnia de Nova Odessa - SP. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições onde no início da avaliação cada parcela recebeu seis cúpulas e seis saquinhos contendo 5 g de liteira coletada no tratamento correspondente. Aos 28, 56 e 112 dias coletaram-se dois sacos e duas cúpulas em cada tratamento sendo o material remanescente lavado em água corrente sobre peneira de malha fina, secado em estufa de

circulação forçada de ar a 50°C até peso constante e pesado. Determinaram-se os teores de nitrogênio dosando-o por titulometria após digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl e fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, após extração com ácido perclórico. Determinou-se também os teores de carbono por oxidação com dicromato em meio ácido (Walkley-Black com calor externo) conforme descrito em Tedesco et al. (1985)

Resultados e Discussão

O teste de F das médias das três épocas (Tabela 1) mostrou que não houve diferença significativas ($P < 0,01$) entre os métodos para a matéria seca remanescente da liteira e para os teores de N, P, S e Mg, mostrando que para estes parâmetros, a metodologia das cúpulas foi semelhante à dos sacos. Entretanto mostrou diferença para os teores de C, K e Ca, sendo que nas cúpulas os teores de C e K foram maiores do que nos sacos e o Ca menor.

Berg & Staaf (1981) citados pôr Tripathi & Singh (1992) distinguiram três fases na dinâmica de nutrientes da liteira: 1- uma fase inicial de liberação rápida, na qual predomina o processo de lixiviação; 2- uma fase de acumulação líquida (imobilização), que inicia após a fase de lixiviação, ou quando do início da perda de massa, quando ocorre um aumento líquido absoluto de nutrientes no material residual; e 3- uma fase de liberação líquida que ocorre após a segunda fase ou

mesmo durante a fase inicial, e resulta em uma perda absoluta de nutrientes da massa de liteira em decomposição. Quando não ocorre uma fase definida de acumulação, a fase de liberação deverá ser precedida pela de lixiviação sendo então difícil distinguir uma da outra.

TABELA 1 - Médias da matéria seca remanescente e teores de nutrientes da liteira de *Panicum maximum* vc. Vencedor obtida nas três coletas dos dois métodos de deposição de liteira no solo.

TRATAMENTOS	MS	N	P	S	C	K	Ca	Mg
	g 5g ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----						
Sacos	1,96	17,1	1,1	2,1	407	1,3	7,6	2,3
Cúpula	2,00	17,4	1,0	2,2	442	6,1	4,9	2,3
Teste F (P<0.01)	ns	ns	ns	ns	**	**	**	ns
CV %	10,06	12,68	28,34	37,28	16,35	29,74	40,60	55,28

Blair (1988) avaliando a liberação de nutrientes da liteira de três espécies arbóreas, observou que as perdas iniciais do Ca por lixiviação foram menores do que para o K e Mg e foi atribuída a natureza do Ca que liga-se aos componentes estruturais da liteira, portanto a liberação do cálcio é mais dependente da atividade biótica do que da lixiviação. Como a metodologia da cúpula exclui a lavagem direta do material, uma vez que a cobertura superior que impede a deposição de materiais externos também isola o acesso direto da água da chuva (Figura 1), o processo de lixiviação fica comprometido, promovendo um acúmulo de potássio e

carbono e estimulando a liberação de cálcio que tem um ambiente propício para a atividade microbiana. Estes dados mostram que para estes nutrientes a metodologia das cúpulas deverá ser restringida. Uma alternativa para aumentar a eficiência do método para a inclusão destes elementos nos estudos é a de fazer alguns furos na parte superior da cúpula que permitam a entrada da água da chuva, mas esta suposição deverá ser testada.

TABELA 2 - Decomposição da liteira de *P. maximum* cv. Vencedor nos sacos e nas cúpulas de decomposição em função dos níveis de fósforo aplicados.

TRATAMENTO	Kg de P_2O_5 ha ⁻¹	
	0	100
	MS remanescente (g 5g ⁻¹)	
Sacos	2,83a	2,61b
Cúpula	2,80a	2,68b

Médias seguidas da mesma letra dentro da mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

O teste de F dos dados de matéria seca remanescente não foi significativo ($P < 0,01$) para as interações coleta x método, nitrogênio x método e fósforo x método, entretanto, na tentativa de reforçar esta afirmação, optou-se por apresentar os dados na Tabela 2 e na Figura 2, uma vez que tanto os sacos como as cúpula mostraram resposta significativa ($P < 0,01$) para a adubação fosfatada e nitrogenada e para coleta quando analisados como fatores isolados. Em ambos os métodos conseguiu-se detectar os efeitos da adubação com fósforo (Tabela 2) e

nitrogênio, bem como o efeito de tempo (Figura 2), o que mostra a possibilidade da utilização da metodologia das cúpulas para avaliações de delineamentos experimentais mais elaborados como o *split plot* utilizado neste trabalho

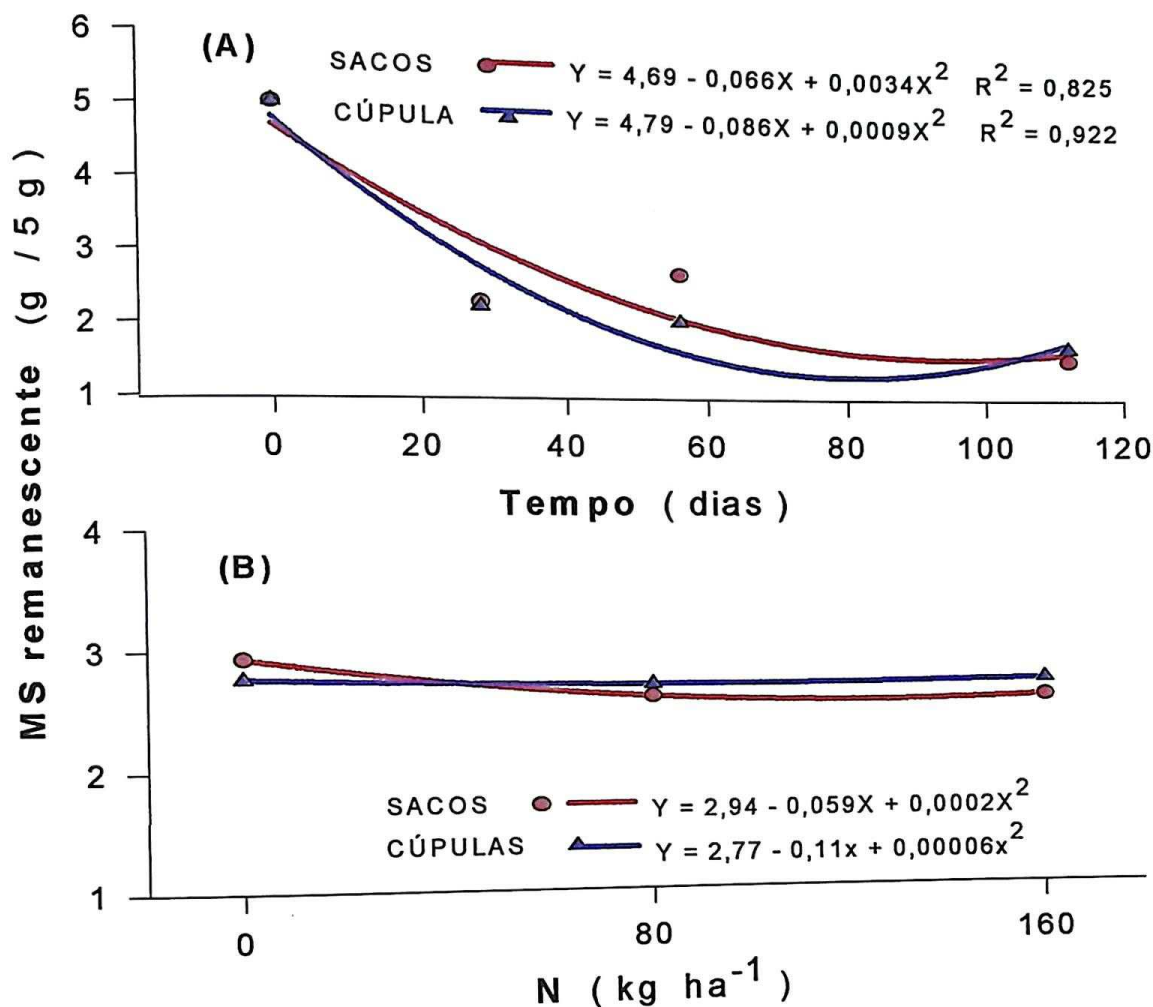


FIGURA 2 - Decomposição da liteira de *P. maximum* cv. Vencedor nos sacos e nas cúpulas de decomposição: **(A)** em função do tempo e **(B)** dos níveis de nitrogênio aplicados

Conclusões

1- A avaliação da decomposição da liteira e a liberação de N, P, S e Mg através das cúpulas descritas neste trabalho foi semelhante à dos saquinhos.

2- dentre as vantagens para o uso da cúpula estão: 1- reutilização de material descartável; 2- livre acesso da macrofauna; 3-possibilidade de troca da liteira anterior por outra para novo ciclo de avaliação e 4- facilidade de localização durante as coletas, uma vez que os saquinhos muitas vezes são encobertos por formigeiros e cupinzeiros.

3- Dentre as desvantagens está a inibição da lixiviação da liteira pela água da chuva e conseqüentemente a liberação de bases como o K e o Mg. Para contornar esta limitação, sugere-se que em testes futuros sejam feitos alguns furos na parte superior da cúpula, que permitam a entrada da água da chuva.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES GERAIS

As liteiras das cultivares Aruana e Vencedor mostraram as maiores taxas de decomposição dentre os quatro materiais forrageiros testados liberando maiores quantidades de N, P, S e Mg, mostrando-se portanto mais eficientes para a ciclagem destes nutrientes no sistema.

Esta diferença na decomposição da matéria seca e liberação de nutrientes para o sistema está diretamente relacionada com a qualidade destes materiais, especialmente com a relação C:N, e a concentração de nitrogênio e fósforo dos tecidos. Também o enxofre, outro elemento orgânico de ligação, correlacionou significativamente com a decomposição da liteira. De forma complementar, os cultivares que apresentaram uma relação C/N mais favorável, como o Aruana e o Vencedor, também tiveram uma concentração mais alta de fósforo dos tecidos, o que facilita o trabalho de seleção de cultivares forrageiros mais eficientes na ciclagem de nutrientes.

Ainda que a adubação com fósforo e nitrogênio aumentem as concentrações destes elementos nos tecidos da liteiras, estimulando a decomposição e a liberação de nutrientes, o potencial genético do material utilizado é o fator de maior determinação neste processo. Assim a seleção de forrageiras com boa qualidade nutricional, tem importante implicação na ciclagem de nutrientes em sistemas de pastagens baseados em gramíneas. Esta qualidade esteve relacionada a altura das plantas, sendo que o Aruana e o Vencedor com porte baixo foram mais eficientes, enquanto o Tobiatã e o Tanzânia com porte alto e baixa concentração de nutrientes nos tecidos tiveram sua eficiência diminuída, mostrando padrões de imobilização de nitrogênio, fósforo, enxofre e magnésio ao longo do período estudado.

Quando se pretende melhorar a ciclagem de fósforo, tanto a seleção de uma espécie ou de um cultivar adequado, bem como a adubação fosfatada são ferramentas plausíveis. Para aumentar a eficiência na ciclagem do nitrogênio, enxofre, magnésio e potássio, a seleção de cultivares é a principal ferramenta. A adição de nitrogênio ao sistema melhora a ciclagem do elemento, o qual dependendo da intensidade da exploração, poderá ser via adubação nitrogenada, conforme descrito neste trabalho, ou ainda pela introdução de leguminosas fixadoras de nitrogênio atmosférico. Já o Ca e o C foram liberados em função do tempo, independentemente das concentrações destes elementos nos tecidos da liteira.

CAPÍTULO 7

LITERATURA CITADA

ABER, J. D. & MELILLO, J. M. Litter decomposition: measuring relative contribution of organic matter and nitrogen to forest soils. *Canadian Journal Botany* 58:416-421, 1980.

ALEXANDER, M. Nitrification. Ed: In: BARTHOLOMEW, W. V. & CLARCK, F. E. - Soil Nitrogen, Madison, American Society. of Agronomy, 1965, p 309-346,

ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, John Wiley, New York, 1977. 467 p.

ALVES, B. J. R.; BODDEY R. M. & URQUIAGA S. A rapid and sensitive flow injection technique for the analysis of ammonium in soil extracts. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23:14-20, 1992.

ANDRÉN, E. & PAUSTIAN, K. Barley straw decomposition in the field: a comparison of models. *Ecology*, 68:1190-1200, 1990.

- ANDERSON, J. M. & INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods, Wallingford,. CAB International 1989,171p.
- BERG, B. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils – a mini review. *Scandinavian Journal of Forestry Research*, 1:359-369, 1986.
- BERG, B. & STAFF, H. Leaching accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. *Ecological Bulletin*, 33:163-178, 1981.
- BERG, B.; BERG, M. P.; BOTTLNER, P.; BOX, E.; BREYMEYER, A.; CALVO DA ANTA, R.; COUTEAUX, M.; ESCUDERO, A.; GALLARDO, A.; KRATZ, W.; MADEIRA, M.; MÄLKÖNEN, E.; MCCLAUGHERTY, C.; MEENTEMEYER, V.; MUÑOZ, F.; PIUSSI, P.; REMACLE, J. & SANTO, A. V. de. Litter mass loss rates in pine forest of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, 20:127-159, 1993.
- BLAIR, J. M. Nitrogen, sulfur and phosphorus dynamics in decomposing deciduous leaf litter in the Southern Appalachians. *Soil Biology Biochemistry* 20: 693-701, 1988.
- BLAIR, J. M. Nutrient release from decomposing foliar litter of three tree species with special reference to calcium, magnesium and potassium dynamics. *Plant and Soil*, 110:49-55, 1988.
- BOCKHEIM, J. G. & LEIDE, J. E. Litter and forest-floor dynamics in a *Pinus resinosa* plantation in Wisconsin. *Plant and Soil*, 96:393-406, 1986.

- BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology Biochemistry*, 17:837-842, 1985.
- BRUCE, R.C & EBERSOHN, J. P. Litter measurements in two grazerd pastures in south-east Queensland. *Tropical Grasslands*, 16:180-185, 1982.
- BUDELMAN, A. The decomposition of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flemingia macrophylla* under humid tropic condition. *Agroforestry Systems*, 7:33-45,1988.
- CHAPMAN, S. J. Barley straw decomposition and S immobilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 29:109-114, 1997.
- 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*, 26:49-55,1994.
- CORRÊA, B. D. & MONTEIRO, F. A. Doses de nitrogênio e de magnésio afetando a produção de matéria seca e perfilhamento nos capins colônia, Tanzânia 1 e Vencedor. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro - RJ. Trab nº 162, 4p. CD, 1997.
- CORRÊA, L. A. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de *Brachiaria decumbens* Stapf. *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf. Cv Marandu e

Panicum maximum Jacq. Em Latossolo Vermelho-Amarelo, álico. Piracicaba, ESALQ, 1991, 83p (Tese Doutorado).

CORREIA, A. A. D. Bioquímica nos solos nas pastagens e forragens. Lisboa Fundação Calouste Gulbenkian, 1980, 789 pp.

COUTO, W. S.; TEIXEIRA NETO, J. F. T.; SIMÃO NETO, M. & DA VEIGA, J. B. Estabelecimento de *Panicum maximum* cv. Tobiatã sob diferentes fontes e níveis de fósforo na região de Bragantina, Estado do Pará. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., Juiz de Fora, 1997. Anais... Juiz de Fora, SBZ, 1997. v. 2. p.187-189, 1997.

CROMACK JUNIOR, K.; TODD, R. L. & MONK C. D. Patterns of basidiomycete nutrient accumulation in conifer and deciduous forest litter. *Soil Biology and Biochemistry*, 7:265-268, 1975.

DELLA BRUNA, E.; BORGES, A.C.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F. & NUCHOVEJ, R.M.C. Atividade da microbiota de solos adicionados de serrapilheira de eucaliptos e de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 15:15-20, 1991.

EUCLIDES, V. B. P. Valor alimentício de espécies forrageiras do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., 1995, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba, FEALQ, 1995. p:245-274.

FERREIRA, E.; RESENDE, C. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. & ALVES, B. J. R. Decomposição de Littera de diferentes cultivars forrageiras conduzidas

no campo em diversas condições climáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. Rio de Janeiro. Informação e globalização do solo. Anais. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 14 par. CD-Room

FOX, R. H; MYERS, R. J. K. & VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. *Plant and Soil*, 129:251-259, 1990.

GILBERT, O. & BOCOK, K. L. Changes in leaf litter when placed on the surface of the soil with contrasting humus types. II. Changes in the nitrogen content of oak and ash leaf litter. *Journal of Soil Science*, 11:10-19, 1960.

GILL, R. S. & LAVANDER, D. P. Litter decomposition in coastal hemlock stands: Impact of nitrogen fertilizers on decay rates. *Canadian Journal Forestry Research*, 13:116-121, 1983.

GOSZ, J. R.; LIKENS, G. E. & BORMANN, F. H. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook forest. New Hampshire. *Ecology Monography*, 43:173-191, 1973.

GUPTA, S. R. & SINGH, J.S. Decomposition of litter in a tropical grassland. *Pedobiologia*, 17: 234 - 237, 1977.

GUPTA, S. R. & SINGH, J.S. The effect of plant species, weather variables and chemical composition of plant material on decomposition in a tropical grassland. *Plant and Soil*, 59: 99-147, 1981.

- HANDAYANTO, E.; CADISCH, G. & GILLER, K. E. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree prunings by varying nitrogen supply. *Plant and Soil*, 176:149-160, 1995.
- HENROT, J. & BRUSSAARD, L. Determinants of *Flemingia congesta* and *Dactyladenia barteri* mulch decomposition in alley-cropping systems in the humid tropics. *Plant and Soil*, 191:101-107, 1997.
- IRITANI, W. M. & ARNOLD, C. Y. Nitrogen release of vegetable crop residues during incubation as related to their chemical composition. *Soil Science*, 89:74-82, 1960.
- JANZEN, H. H. & KUCEY, M. N. C, N, and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. *Plant and Soil*, 106: 35-41, 1988.
- JOHANSSON M. B. Chemical composition and decomposition of leaf litter from forest trees in Sweden with special reference to methodological aspects and site properties. Department of Forest Soils. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences. Reports in Forest Ecology and Forest Soil, N° 56.1986.
- KLEMMEDSON, J. O.; MEIER, C. E. & CAMPBELL, R. E. Needle decomposition and nutrient release in Ponderosa pine ecosystems. *Forest Science*, 31:647-660, 1985.
- LOUISER, J. D & PARKINSON, D. Litter decomposition in a cool temperature deciduous forest. *Canadian Journal of Botany*, 54:419-436, 1976.

- MAGID, J.; JENSEN, L. S.; MUELLER, T. & NIELSEN, N. E. Side-density fractionation for in situ measurements of rape straw decomposition – an alternative to the litterbags approach? *Soil Biology and Biochemistry* 29:1125-1133, 1997.
- MALAVOLTA, E., VITTI G. C. & OLIVEIRA S. A. de. Avaliação do estado nutricional das planta: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319 p.
- MCLEAN, R. W. & KERRIDGE, P. C. Effect of fertilizer phosphorus and sulphur on the diet of cattle grazing buffel grass/ siratro pastures. In: INTERNATIONAL SIMPOSIUM ON THE NUTRITION OF HERBIVORES, 2, Brisbane, 1987. Research paper presented. S.I., s.ed. , 1987. p. 93-94.
- MELILLO, J. M.; ABER, J. D. & MURATORE, J. M. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, 63:621-626, 1982.
- MINDERMAN, G. Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *Journal of Ecology*, 56:355-362, 1968.
- MYERS, R. J. K. & ROBBINS, G. B. Sustaining productive pastures in the tropics - 5. Maintaining productive sown grass pastures. *Tropical Grassland*, 25:104-110, 1991.
- NGULUU, S. N.; PROBERT, M. E.; MYERS, R. J. K. & WARING, S. A. Effect of tissue phosphorus concentration on the mineralisation of nitrogen from stylo and cowpea residues. *Plant and Soil*, 191: 139-146, 1996.

- NOHRSTEDT, H. O.; ARNEBRANT, K.; BAATH, E. & SODERSTROM, B. Changes in carbon content, respiration rate, ATP content, and microbial biomass in nitrogen-fertilized pine forest soils in Sweden. *Canadian Journal Forestry Research*, 19:323-328, 1989.
- O'CONNELL, A. M. Decomposition and nutrient content of litter in a fertilized eucalypt forest. *Biology and Fertility Soil*, 17:159-166, 1994.
- OGLESBY, K. A. & FOWNES, J. H. Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. *Plant and Soil*, 143: 127-132, 1992.
- OLSON, J. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44:322-331, 1963.
- PALM, C. A. & SANCHES, P. A. Decomposition and nutrient release patterns of leaves of three tropical legumes. *Biotropica*, 22: 330-338, 1990.
- PALM, C. A. & SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology Biochemistry*, 23:83-88, 1991.
- PRESCOTT, C. E.; MCDONALD, M. A.; GESSEL, S. P. & KIMMINS, J. P. Longterm of sewage and inorganic fertilizers on nutrient turnover in litter in a coastal Douglas fir forest. *Forest Ecology and Management*, 59:149-164, 1993.

- RAI, B. & SRIVASTAVA, A. K. Microbial decomposition of leaf litter as influenced by fertilizers. *Plant and Soil*, 66:195-204, 1982.
- RAFFERTY, B.; DAWSON, D. & KLIASHTORIN, A. Decomposition in two pine forest: the mobilization of ^{137}Cs and K from forest litter. *Soil Biology and Biochemistry*, 11/12:1673-1681, 1997.
- RAWAT, L. & SINGH, S. P. Leaf litter decomposition and nitrogen concentration in decomposing leaves of a *Quercus semecarpifolia* Smith forest stand of Kumaun Himalaya. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 26:411-424, 1993.
- RAWAT L. Leaf litter decomposition and nitrogen concentration in decomposing leaves of a *Quercus semecarpifolia* Smith forest stand of Kumaun Himalaya. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 26:411-424, 1995.
- REES, M. C. Effects of components of superphosphate as fertilizers or supplements on the nutrition of grazing animals. [S. l., s.n.], 1981. (CSIRO). Mimeografado, 3p.
- 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*, 113: 401-406, 1989.

- ROBERTSON, F. A.; MYERS, R. J. K. & SAFFIGNA, P. G. Distribution of carbon and nitrogen in a long-term cropping system and permanent pastures system. *Australian Journal Agricultural Research*, 44:1323-1336, 1993.
- SASTRIQUES, F. La matéria orgânica de los suelos y el humus de los suelos de Cuba. Havana, Editora de La Academia de Ciências de Cuba. 1980. 129pp.
- SCHUNKE, R.M.; CADISH, G.; SANTOS J.C.C. & BODDEY, R.M. Mineralização da matéria orgânica do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* adubada com fósforo In: RED INTERNACIONAL DE EVALUACION DE PASTOS TROPICALES. Reunião Sabanas , 1., Brasília, 1992, Cali, EMBRAPA - CPAC/CIAT, 192. p.455-458. (Documento de Trabalho, 117).
- SCHUNKE, R.M.; VIEIRA J.M.; SOUSA J.C.; GOMES R.F.C. & COSTA F.P. Resposta a adubação fosfatada e a suplementação mineral de bovinos de corte sob pastejo em *Brachiaria decumbens*. Campo Grande, EMBRAPA - CNPGC, 1991. 24 p. (Boletim de Pesquisa, nº 5).
- SCHUNKE, R.M.; VIEIRA, J.M.; SOUSA, J.C.; GOMES, R.F.C. & COSTA, F.P. Resposta a adubação fosfatada e a suplementação mineral de bovinos de corte sob pastejo em *Brachiaria decumbens*. Campo Grande, EMBRAPA - CNPGC, 1991. 24 p. (Boletim de Pesquisa, nº 5).
- SEASTEDT, T. R. The role of the macroarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology*, 29:25-46, 1984.

- SWIFT, M. J.; HEAL, O. W. & ANDERSON, J. M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Berkeley, University of California Press. (Studies in Ecology, 5) 1979.
- TAYLOR, B. R.; PARKINSON, D. & PARSONS, W. F. J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*, 70:97-104, 1989.
- TANNER, E. V. J.; KAPOS, V. & FRANCO, W. Nitrogen and phosphorus fertilization effects on Venezuelan montane forest trunk growth and litterfall. *Ecology*, 73:78-86, 1992.
- TEDESCO, J. M.; WOLKWEISS, S. J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1985. 156p. (Boletim Técnico, nº 5).
- THOMAS, R. J. & ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry*, 25: 1351-1361, 1993.
- THOMAS, R. J. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass & Forage Science*, 47:133-142, 1992.
- THOMAS, W. A. Accumulation and cycling of calcium by dogwood trees. *Ecology Monography*, 39:101-120, 1969.
- TIAN, G.; KANG, B. T. & BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions -

decomposition and nutrient release. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:1051-1060, 1992.

TITUS, B. D. & MALCOLM, D. C. The effect of fertilization on litter decomposition in clearfelled spruce stands. *Plant and Soil*, 100:297-322, 1987.

TRIPATHI, S. K. & SINGH, K. P. Nutrient immobilization and release patterns during plant decomposition in a dry tropical bamboo savanna, India. *Biology Fertility Soils*, 14:191-199, 1992.

VAN SOEST, P. J. 1963 Use of detergent in the analyses of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal Association of Agricultural Chemistry*, 46:829, 1963.

VAN VUUREN, M. M. I. & VAN DER EERDEN, L. J. Effects of three rates of atmospheric nitrogen deposition enriched with ^{15}N on litter decomposition in a heathland. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:527-532, 1992.

VANLAUWE, B.; SANGINGA, N. & MERCKX, R. Decomposition of four *Leucaena* and *Senna* prunnigs in alley cropping systems under sub-humid tropical conditions: the process and its modifiers. *Soil Biology Biochemistry*, 29:131-137, 1997.

VOGT, K. K.; GRIER, C. C.; MEIER, C. E. & KEYES, M. R. Organic matter and nutrient dynamics in forest floors of young and mature *Abies amabilis* stands in western Washington, as affected by fine-roots inputs. *Ecology Monography*, 53:139-157, 1983.

- WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of the Dedjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the cromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38, 1934.
- WEIDER, R. K. & LANG, G. E. Litter decay and leaching from the forest floor in *Pinus contorta* (lodgepole pine) ecosystems. *Journal of Ecology*, 74:525-545, 1986.
- WIKKEEM, B. M.; NEWMAN, R. F. & VAN RYSWIK, A. L. Forage responses to N, P, and S fertilization on clearcut lodgepole pine sites. *Journal Range Management*, 46:262-270, 1993.
- WITKAMP, M. & OLSON, J. S. Breakdown of confined and non-confined oak litter. *Oikos*, 14:138-147, 1968.
- YAVITT, J. B. & FAHEY, T. J. Litter decay and leaching from the forest floor in *Pinus contorta* (lodgepole pine) ecosystems. *Journal of Ecology*. 74:525-545, 1986.