

**FERTILIDADE DO SOLO NO ACÚMULO DE FORRAGEM E NUTRIÇÃO DO
CAPIM-TANZÂNIA SOB PASTEJO NA REGIÃO DOS CERRADOS**

JOÃO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JUNIOR

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Janeiro – 2005

**FERTILIDADE DO SOLO NO ACÚMULO DE FORRAGEM E NUTRIÇÃO DO
CAPIM-TANZÂNIA SOB PASTEJO NA REGIÃO DOS CERRADOS**

JOÃO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JUNIOR

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO**

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

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Janeiro – 2005

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

Santos Junior, João de Deus Gomes dos
Fertilidade do solo no acúmulo de forragem e nutrição do capim-tanzânia sob
pastejo
na região dos cerrados / João de Deus Gomes dos Santos Junior. - - Piracicaba, 2005.
105 p.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
Bibliografia.

1. Campim-tanzânia 2. Fertilidade do solo 3. Fertilizantes NPK 4. Forragem 5.
Nutrição mineral 6. Produção vegetal 7. Propriedades físico-químicas I. Título

CDD 633.2

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

**Aos meus amados pais João e Valentina e a minha querida irmã Tatiana,
por todo o apoio nessa minha caminhada,**

AGRADEÇO

**Aos sobrinhos Marcos Vinicius, Alexandra e Oksana
A minha esposa Lizandra
Ao meu cunhado Marcos**

OFEREÇO

Ao meu Tio Demétrio Lysenko

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao estimado Professor Francisco Antonio Monteiro, meu reconhecimento pela dedicada orientação, amizade e confiança.

Ao Pesquisador da Embrapa Gado de Corte Manuel Claudio Motta Macedo, pelos ensinamentos, incentivo e acolhida desde o início de minha jornada em pesquisa com solos e nutrição de plantas.

À Pesquisadora da Embrapa Gado de Corte Valéria Pacheco Batista Euclides, responsável pelo projeto de pesquisa no qual a presente tese foi desenvolvida, pelo apoio e sugestões valiosas durante a coleta das variáveis analisadas.

À Embrapa Cerrados e Embrapa Gado de Corte, pelo total apoio e incentivo para a conclusão do presente trabalho.

Aos professores do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, em especial aos Professores Antonio Roque Dechen e Quirino Augusto de Camargo Carmello, pelos conhecimentos transmitidos e amizade desenvolvida.

Ao Pesquisador da Embrapa Cerrados Antônio Carlos Gomes, pelas sugestões e ajuda na realização das análises estatísticas.

Às funcionárias do Laboratório de Nutrição de Plantas da ESALQ/USP Edinéia Cristina Scervino Mondoni, Lúcia Helena Spessoto Pavan Forti, Lurdes Aparecida Dário de Gonzáles, Nivanda Maria de Moura Ruiz, Sueli Maria Amaral Campos Bovi e à colega Gláucia Regina Anti, pelo auxílio e esforço extremado na realização das análises químicas de plantas.

Aos funcionários do Laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Gado de Corte Fábio Lúcio Petrucci, Rinaldo Dário Bandeira Duarte, Roberto Pereira de Ávila e ao Técnico Agrícola Heraldo Miranda da Fonseca, pelo esforço sem igual na coleta dos dados experimentais e ajuda nas realizações das análises químicas e físicas do solo amostrado.

Aos estagiários de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP e à estagiária de Fertilidade do Solo da Embrapa Gado de Corte Marina Saraiva, pelo auxílio em várias etapas do desenvolvimento da presente tese.

Aos amigos Alessandro Riffel, Gildemberg Amorim Leal Júnior, José Lavres Júnior, Mateus Figueiredo dos Santos e Roberto Wagner Cavalcanti Raposo, pela convivência fraterna e auxílio mútuo.

Aos colegas de pós-graduação, em especial a Cristiane Prezotto Silveira, Dylnei Consolmagno Neto, Edna Maria da Silva Bonfim, Jonas Ruschel, Jorge Henrique da Silva Santos, Karina Batista, Rosane Rodrigues, Simeire Aparecida Manarin, Suzana Pereira de Melo e Walcylyne Lacerda Matos Pereira.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 O capim-Tanzânia (<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia).....	3
2.2 O ecossistema de pastagens.....	4
2.3 A fertilidade do solo e a nutrição mineral na produtividade de plantas forrageiras.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Local do experimento.....	12
3.2 Histórico da área experimental.....	13
3.2.1 Implantação.....	13
3.2.2 Definição dos tratamentos.....	14
3.3 Períodos de avaliação.....	14
3.4 Manejo da pastagem e delimitação das unidades experimentais.....	14
3.5 Delineamento experimental.....	15
3.6 Amostragens.....	15
3.6.1 Identificação de áreas representativas do estado médio do dossel.....	15
3.6.2 Coleta e medições na parte aérea.....	16
3.6.3 Coleta do sistema radicular.....	17
3.6.4 Amostragens no solo.....	17
3.7 Determinações analíticas.....	18
3.8 Atributos morfológicos do dossel forrageiro.....	18
3.9 Análise estatística.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Atributos químicos do solo.....	20
4.2 Atributos físicos do solo.....	25
4.3 Altura e índice de área foliar do dossel.....	26
4.4 Acúmulo de forragem.....	33

4.5 Massa de raízes.....	42
4.6 Razão de área foliar, área foliar específica e razão de massa de folhas.....	44
4.7 Nutrição mineral do capim-Tanzânia.....	50
4.7.1 Concentração de macronutrientes nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia.....	50
4.7.2 Acúmulo de macronutrientes.....	57
4.7.2.1 Nitrogênio.....	57
4.7.2.2 Potássio.....	63
4.7.2.3 Fósforo.....	68
4.7.2.4 Enxofre.....	74
4.7.2.5 Cálcio e magnésio.....	78
4.8 Considerações, implicações práticas e perspectivas.....	87
5 CONCLUSÕES.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

FERTILIDADE DO SOLO NO ACÚMULO DE FORRAGEM E NUTRIÇÃO DO CAPIM-TANZÂNIA SOB PASTEJO NA REGIÃO DOS CERRADOS

Autor: JOÃO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JUNIOR

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

RESUMO

O número de sistemas intensivos de produção de bovinos a pasto no Brasil tem crescido nos anos mais recentes em razão do esmero do setor pecuário em se aprimorar como uma atividade economicamente viável e capaz de competir no mercado externo. Dentre os fatores de intensificação da produção de carne a pasto destaca-se o papel primordial do manejo da fertilidade do solo, desde que acompanhada de eficiente utilização da forragem produzida e posterior conversão em produto animal. Um experimento foi conduzido na Embrapa Gado de Corte, localizada em Campo Grande-MS, com o objetivo de avaliar o efeito de quatro condições de fertilidade do solo na produção de forragem, concentração e acúmulo de macronutrientes em capim-Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) ao longo de ciclos de pastejo no verão e outono. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. Os tratamentos consistiram da combinação entre duas doses de calcário, fósforo e potássio (CPK1 e CPK2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2), assim dispostas: a) CPK1: aplicação de fósforo de 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e de potássio de 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹, associado à calagem para elevar a porcentagem de saturação por bases a 50%; b) CPK2: aplicação de fósforo e potássio de 60 e 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, associado à calagem para elevar a porcentagem de saturação por bases a 70%; c) N1: dose de nitrogênio de 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹; d) N2: dose de nitrogênio de 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Amostragens foram realizadas nos tempos de rebrotação de 0, 12, 19, 26, 34 e 40 dias, no ciclo de pastejo de verão, e aos 0, 10, 18, 25 e 31 dias, no ciclo de outono. Em cada tempo de rebrotação foram descritos a altura e o índice de área foliar do dossel (IAF), como atributos que caracterizam a pastagem do ponto de

vista de sua estrutura. Ao final do período de crescimento do verão (aos 40 dias) foram obtidas produções de lâminas foliares de 4616 e 3292 kg ha⁻¹ nas doses de nitrogênio N2 e N1, respectivamente. Tornou-se evidente o aumento da proporção de folhas em relação à de colmos+bainhas pelas doses de nitrogênio, bem como o expressivo efeito das doses de calcário, fósforo e potássio na produção de colmos+bainhas, indicando a necessidade de mais estudos do efeito de nutrientes na plasticidade morfológica do capim-Tanzânia. Quanto ao acúmulo de macronutrientes pelo capim-Tanzânia foi observado expressivo efeito da massa seca de forragem, mesmo em situações onde o efeito de diluição foi acentuado como verificado para o nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre. Em ambos os ciclos de pastejo o acúmulo de macronutrientes foi em ordem decrescente: K>N>Ca>Mg>P>S. No crescimento de verão, a taxa de acúmulo de nitrogênio da parte aérea das plantas foi devida ao acúmulo do nutriente nas lâminas foliares, sendo observados os valores de 1,3 e 2,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹, nas doses de nitrogênio N1 e N2, respectivamente. As doses de nitrogênio diferiram quanto ao acúmulo de nitrogênio na parte aérea a partir dos 19 dias, o qual esteve associado à altura de 87 e 89 cm e IAF de 2,2 e 3,2 nas doses de nitrogênio N1 e N2, respectivamente. As doses de calcário, fósforo e potássio alteraram significativamente os teores de cálcio e magnésio no solo, principalmente nas camadas superficiais. Por outro lado, as doses de nitrogênio foram mais efetivas em favorecer o acúmulo de cálcio e magnésio na parte aérea do capim, os quais estiveram relacionados com o expressivo aumento da massa seca, e às variações nas concentrações desses nutrientes ao longo do período de crescimento. As condições de fertilidade do solo CPK1N1 e CPK1N2 supriram as necessidades nutricionais do capim-Tanzânia para sustentar produções significativas de lâminas foliares no ciclo de pastejo de verão. Também, atenderam as necessidades nutricionais no ciclo de outono, onde a produção vegetal foi limitada por aspectos climáticos.

SOIL FERTILITY FOR FORAGE ACCUMULATION AND NUTRITION OF GRAZED TANZÂNIA-GRASS IN THE CERRADOS REGION

Author: JOÃO DE DEUS GOMES DOS SANTOS JUNIOR

Adviser: Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

SUMMARY

The number of systems of intensive pasture use in Brazil has been increase in recent years in an attempt to improve the animal husbandry as a feasible economic activity and capable of competing in the international market. Among the factors that increase meet yield, the management of soil fertility conditions stand out by its effects in promoting forage yield, that must be accomplished with an efficient utilization and conversion into animal product. An experiment was carried out at "Embrapa Gado de Corte" located in Campo Grande-MS, with the objective of evaluating the effect of four soil fertility conditions in the forage yield, macronutrients concentrations and accumulations in Tanzania-grass (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) along the summer and fall growing seasons. The experiment was a split-plot in randomized complete block design, with three replications. The treatments consisted of the combinations of two rates of limestone, phosphorus, and potassium (CPK1 and CPK2) and two rates of nitrogen (N1 and N2) as follows: a) CPK1: application of 30 kg ha⁻¹ year⁻¹ of phosphorus and 50 kg ha⁻¹ year⁻¹ of potassium associated to liming to increase the base saturation percentage to 50%; b) CPK2: application of 60 kg ha⁻¹ year⁻¹ of phosphorus and 100 kg ha⁻¹ year⁻¹ of potassium associated to liming to increase the base saturation percentage to 70%; c) N1: 150 kg ha⁻¹ year⁻¹ of nitrogen; d) N2: 300 kg ha⁻¹ year⁻¹ of nitrogen. Samplings were carried out at regrowth periods of 0, 12, 19, 26, 34, and 40 days during summer growing season, and at 0, 10, 18, 25, and 31 days during fall growing season. For each regrowth period plant height and the leaf area index (LAI) were described as attributes that characterize the pasture in its structural point of view. At the end of summer growing season (at 40 days) leaf blade yields of 4616 and 3292 kg ha⁻¹ were obtained for N1 and N2 rates, respectively. The yield responses to nitrogen were higher for leaf blades than for stems+sheaths, while the responses to limestone, phosphorus and potassium were

higher for stems+sheaths. This results indicated the need of more studies about the effect of nutrients in the morphological plasticity of Tanzânia-grass. Concerning the macronutrients accumulations in Tanzânia-grass it was observed that the effect of the amount of forage dry matter was more significant than the dilution effect of nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur. Concerning both growing seasons, the macronutrients accumulations were in decreasing order: $K > N > Ca > Mg > P > S$. In the summer growing season, the aboveground nitrogen accumulation rate was almost exclusively due to the accumulation of the nutrient in the leaf blades, with values of 1.3 and 2.6 $\text{kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ observed for leaf blade at nitrogen rates N1 and N2, respectively. Responses to nitrogen rates were different regarding the accumulation of aboveground nitrogen after 19 days, which was associated to height of 87 cm and 89 cm, and LAI of 2.2 and 3.2 for rates of nitrogen N1 and N2, respectively. The rates of limestone, phosphorus, and potassium significantly changed the exchangeable of calcium and magnesium concentrations in the soil, particularly in the top layers. On the other hand, rates of nitrogen were more effective in promoting the accumulation of calcium and magnesium in the plant and the variation in concentrations of these nutrients along the growing season, which were related to the expressive increase in forage dry matter. Soil fertilities conditions CPK1N1 and CPK1N2 support the leaf blades yields observed in the summer growing season. Likewise, these soil fertilizations supplied the nutritional needs during the fall growing season when it was observed that the forage yield was limited by climatic conditions.

1 INTRODUÇÃO

Da área total do planeta Terra de aproximadamente 13,4 bilhões de hectares, 3,5 bilhões são ocupados por pastagens, o que corresponde a 25% do total. O Brasil tem área de 851 milhões de hectares, sendo 23% dessa área ocupada por pastagens (FAOSTAT, 2004). De acordo com a análise do banco de dados da FAOSTAT (2004), entre os anos de 1961 e 2003 o rebanho bovino brasileiro variou linearmente entre 52 e 189 milhões de cabeças, com taxa de incremento de 3,2 milhões de cabeças por ano. Já a área de pastagens seguiu modelo quadrático com estabilização da área de 197 milhões de hectares desde o ano de 2001. Assim, enquanto o rebanho bovino brasileiro experimentou aumento de 3,5 vezes entre os anos de 1961 e 2003, a área de pastagens foi incrementada em 1,6 vez. Todavia, a capacidade de suporte das pastagens ainda é baixa e sistemas intensivos de produção de bovinos a pasto tem crescido nos anos mais recentes em razão do esmero do setor pecuário em se aprimorar como uma atividade economicamente viável e capaz de competir no mercado externo, além de se evitar o desmatamento de novas áreas e de preservar o ambiente. Esse fato encontra suporte ao se observar a taxa de incremento anual do número de cabeças por hectare entre os anos de 2000 e 2003, de 0,0334 cabeça ha⁻¹ ano⁻¹, cerca de 9,5 vezes maior do que a verificada entre os anos de 1990 e 1999. Dentre os fatores de intensificação da produção de carne a pasto destaca-se o papel primordial do manejo da fertilidade do solo, desde que acompanhada de eficiente utilização da forragem produzida e posterior conversão em produto animal.

Programas de melhoramento de plantas forrageiras resultaram no lançamento do cultivar Tanzânia como opção promissora em sistemas mais intensivos de uso da pastagem, tornando-se essencial para a utilização mais eficiente desse capim com alto potencial produtivo, o conhecimento de suas necessidades nutricionais associado ao seu comportamento ecofisiológico quando em ambiente de pastagem. Essa importância é realçada pelo fato de as pastagens serem a principal fonte de alimento para ruminantes e, comprovadamente, a alternativa de mais baixo custo de alimentação dos rebanhos.

O objetivo geral do trabalho foi o de avaliar a produção de forragem, a concentração e o acúmulo de macronutrientes em pastagem de capim-Tanzânia cultivada em quatro condições

de fertilidade do solo na Região dos Cerrados, com avaliações feitas ao longo do tempo de rebrotação do capim nos ciclos de pastejo de verão e outono.

Os objetivos específicos foram analisar: a) os atributos físicos e químicos do solo e suas variações com a profundidade de amostragem; b) a altura e o índice de área foliar do dossel como atributos que descrevem a evolução da estrutura do pasto ao longo do tempo de rebrotação; c) a variação na morfologia da planta por meio da análise da razão de área foliar, área foliar específica e razão de massa de folhas e d) a quantidade do sistema radicular por unidade de massa de solo sob a projeção das touceiras das plantas, no ciclo de pastejo de verão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O capim-Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia)

Os capins da espécie *Panicum maximum* sempre despertaram muito interesse entre pesquisadores e pecuaristas, provavelmente devido à alta produtividade e valor nutritivo da forragem produzida. Há diferenças morfológicas entre cultivares de *Panicum maximum*, como a altura das plantas, o tamanho das lâminas foliares, o comprimento e a espessura dos colmos, e a pilosidade dos nós e bainhas. Existem também diferenças no tamanho, na coloração e densidade das panículas, assim como no perfilhamento e na taxa de crescimento desses cultivares (Alcântara & Bufarah, 1988).

O *Panicum maximum* é originário da África tropical e foi introduzido nas Américas provavelmente no fim do Século XVIII, acidentalmente, por meio de navios de escravos vindos do oeste do continente Africano. Daí se espalhou devido a sua alta produtividade e boa persistência (Jank, 1994).

O capim-Tanzânia foi coletado na Tanzânia pelo Institut Français de Reserche Scientifique Pour Develloppement en Coopération, e lançado no Brasil em 1990 pela Embrapa Gado de Corte, após estudos de competição com outros cultivares. Trata-se de uma planta cespitosa, que atinge cerca de 1,30 m de altura quando em crescimento livre e folhas decumbentes que chegam a ter 2,6 cm de largura. Os colmos são levemente arroxeados e as lâminas e bainhas não possuem pilosidade ou cerosidade. As inflorescências contêm espiguetas arroxeadas e sem pilosidade (Jank & Costa, 1990).

O potencial de produção desse capim pode ser verificado por meio dos resultados durante a avaliação dos acessos no banco de germoplasma da Embrapa Gado de Corte. O capim-Tanzânia produziu 33 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca total, sendo 26 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca de folhas e teve em média 127 g kg⁻¹ de proteína bruta nas folhas e 90 g kg⁻¹ nos colmos (Jank et al., 1994).

2.2 O ecossistema de pastagens

Dentro do ambiente de pastagens ocorre uma série de interações que tornam o ecossistema extremamente particular, adaptado a diversos tipos de perturbações. Os herbívoros afetam vários processos ecológicos num ambiente de pastagens, tais como sucessão de espécies, fluxo de carbono, dinâmica de nutrientes e infiltração da água no solo. Todos esses processos afetam a dinâmica do fluxo de energia e de competição dentro do sistema (Deregibus et al., 2001).

É fundamental conhecer na planta forrageira a sua morfologia, fisiologia e a maneira como interage com o ambiente característico e único de uma pastagem (Da Silva & Pedreira, 1997). A função primária das plantas nas pastagens é captar a luz do sol na folhagem para assegurar suprimento de energia para o crescimento e absorver água e nutrientes da solução do solo pelas raízes. A forma e função das plantas são adaptadas para esses fins, mas também são fortemente influenciadas pelas estratégias adotadas para sobreviverem à desfolhação e aos distúrbios causados pelos ruminantes (Hodgson, 1990).

Para que seja possível explorar o potencial de produção e crescimento de determinada espécie forrageira é necessário conhecer a estrutura básica da planta e a maneira segundo a qual seus órgãos funcionais e seu metabolismo são afetados pelos estresses comuns a um ambiente de pastagem (Da Silva & Pedreira, 1997).

Cada evento de desfolhação representa para a planta um distúrbio em seu crescimento, interferindo na sua habilidade competitiva dentro da população. As respostas das plantas aos distúrbios podem ser vistas como uma forma de restaurar e manter um padrão de crescimento homeostático, onde todas as reservas são usadas de maneira balanceada para otimizar o crescimento da planta (Lemaire & Chapman, 1996). No entanto, a desfolhação não afeta somente uma planta, mas também sua vizinhança, e a desfolhação de determinada área do pasto pode ser vista como uma maneira pela qual a competição por luz é eliminada. Assim, a resposta global de uma planta à desfolhação numa comunidade de plantas parece ser um mecanismo complexo que depende não somente da severidade e intensidade de desfolhação mas, também, do padrão de desfolhação da vizinhança. Então, dependendo do comportamento seletivo dos animais ou dos tipos de plantas, a competitividade entre as plantas dentro da comunidade pode ser influenciada pelo manejo do pastejo (Louda et al., 1990).

Respostas fisiológicas de comunidades de plantas sob pastejo são caracterizadas pelo redirecionamento e alteração dos padrões de alocação de nutrientes, normalmente aqueles relacionados com os processos de fotossíntese, crescimento e respiração. Se essas alterações não aliviarem a severidade e duração do estresse, a planta se utiliza de alterações morfológicas, mudando sua forma e função (Lemaire, 2001). A desfolhação pode provocar decréscimo

temporário na absorção de nutrientes pela planta, principalmente nitrogênio, até que o suprimento de carbono nas plantas seja restaurado por meio de expansão de nova área foliar (Lemaire & Millard, 1999). Assim, a recuperação da planta à desfolhação severa sofre uma contradição: ela tem que usar preferencialmente assimilados de carbono para rápida recuperação de sua área foliar, enquanto a deficiência de compostos com esqueleto carbônico nas raízes dificulta a aquisição de nutrientes necessários para o crescimento foliar.

As características morfogênicas inerentes ao genótipo e influenciadas pelas condições ambientais determinam o tamanho da área de folhas capaz de interceptar a energia solar incidente. Portanto, o número de folhas verdes presentes por área e o tamanho dessas folhas determinam a eficiência de interceptação de luz e a quantidade de energia que estará disponível para o processo de fotossíntese. A eficiência fotossintética da pastagem representa a integração da fotossíntese individual das folhas que compõem o dossel forrageiro (Nabinger, 2002).

O acúmulo de massa pelas plantas forrageiras passou a ser melhor entendido com o desenvolvimento do conceito de índice de área foliar (IAF – razão entre a área de uma face das folhas e a área de solo ocupada pela mesma) por Watson (1947). O IAF aumenta com a idade da planta, que então se capacita a interceptar maior proporção da luz solar incidente. O aumento contínuo do IAF faz com que as folhas inferiores sejam progressivamente sombreadas, tornando-se menos efetivas no processo fotossintético da comunidade vegetal. Em valor de IAF considerado “ótimo” ocorre a máxima relação fotossíntese/taxa respiratória, ou seja, interceptação de praticamente toda a luz incidente com o mínimo de auto-sombreamento, resultando em máxima taxa de crescimento da cultura (Brown & Blaser, 1968). Acima do valor de IAF “ótimo” a produtividade forrageira tende a diminuir, resultado do auto-sombreamento e da idade avançada das folhas.

A arquitetura do dossel forrageiro afeta de maneira direta o IAF. Assim, ângulo de inserção das folhas, idade e grupo anatômico explicam diferenças no IAF “ótimo” entre gramíneas e leguminosas, como demonstrado por Brougham (1957). Quanto ao ângulo de inserção, as folhas das gramíneas diferem das leguminosas pelo ângulo que fazem com o caule, tendo como consequência um IAF “ótimo” maior. A predominância de folhas horizontais (como em leguminosas) possibilita maior interceptação de luz com IAF menor, mas isso não deve ser visto como vantagem em termos produtivos e competitivos. Outro fator importante na determinação da habilidade do dossel forrageiro em interceptar luz é a altura das plantas (Haynes, 1980). Também, Hodgson (1990) descreveu que entre as variáveis estruturais do pasto, ou seja, aquelas que afetam tanto as plantas como os animais, as mais importantes são altura, massa e densidade de forragem. Ainda, Hodgson (1990) relatou existirem evidências de que as medidas de alturas fornecem padrões mais consistentes de respostas em termos de produção de forragem e desempenho animal em variadas condições de ambiente e de manejo.

Segundo esse mesmo autor, a altura do dossel por ser variável de fácil mensuração, constitui-se atributo extremamente satisfatório de avaliação e caracterização do estado do pasto.

Mello (2002) estudou o capim-Tanzânia submetido a calagem para elevar a saturação por bases a 80%, com aplicação de N e K₂O de 80 kg ha⁻¹ por ciclo de pastejo. Os tratamentos consistiram de quatro resíduos de forragem pós-pastejo com avaliações aos 1, 11, 22 e 33 dias de rebrotação da pastagem em oito ciclos de pastejo. No que diz respeito à altura do dossel, a interação entre resíduo de forragem pós-pastejo e ciclos de pastejo foi significativa (P<0,10), o que também ocorreu entre o tempo de rebrotação e ciclos de pastejo. Esse autor relatou aumentos lineares em altura do dossel em função do tempo de rebrotação da pastagem em cada ciclo de pastejo, com taxas variando entre 0,4 e 1,6 cm dia⁻¹, sendo as variações atribuídas às condições climáticas das estações do ano correspondentes a cada ciclo de pastejo. Em termos de IAF, foram significativas as interações entre resíduo de forragem pós-pastejo e ciclos de pastejo, entre resíduo de forragem pós-pastejo e tempo de rebrotação e entre ciclos de pastejo e tempo de rebrotação. Os incrementos em IAF foram lineares em função do tempo de rebrotação, independentemente do resíduo pós-pastejo avaliado. O IAF de 3,5 proporcionou a interceptação pelo dossel de 95% da luz incidente. Entretanto, deve-se ter cuidado ao comparar valores de IAF pois os mesmos podem ter sido obtidos, como no caso de Mello (2002), por meio de um aparelho analisador de dossel, que permite medidas rápidas e não destrutivas, mas fornece valores de IAF referentes a folhas, colmos e bainhas das plantas. Esses valores não podem ser comparados com os obtidos pela razão entre a área de uma face das folhas e a superfície do solo por elas ocupadas, os quais fornecem valores menores a não ser que se tenha a relação entre os dois métodos de amostragem, em determinada situação. De acordo com Molan (2004) “o uso de analisador de dossel requer cuidados especiais e planejamento adequado para interpretação de seus resultados e comparação com aqueles clássicos da literatura.”

2.3 A fertilidade do solo e a nutrição mineral na produtividade de plantas forrageiras

São freqüentes as respostas em termos de produção de forragem à adição de nutrientes, mesmo para as plantas forrageiras mais rústicas e menos exigentes. Entretanto, atualmente a exploração pecuária no Brasil é, em geral, conduzida com uso de baixas quantidades de corretivos e fertilizantes, tendo como resultado sistemas de produção extensivos e de baixa produtividade. Essas estratégias de produção têm conduzido à queda consistente da fertilidade do solo, sendo este um dos fatores importantes associados à degradação das áreas de pastagem. Por outro lado, a utilização de adubações mais generosas tem sido questionada

no tocante à viabilidade econômica, principalmente com o custo dos insumos agrícolas em relação ao valor dos produtos agropecuários.

As plantas forrageiras apresentam variação no grau de tolerância à acidez do solo. Werner (1986) propôs um sistema de classificação de gramíneas forrageiras em três grupos com base nas exigências delas em termos de fertilidade do solo e nutrição mineral, e o capim-Tanzânia foi enquadrado no grupo mais exigente.

O uso do calcário pode ser considerado prática comum nas pastagens manejadas mais intensivamente, devido ao fato de os solos tropicais serem ácidos e apresentarem baixa porcentagem de saturação por bases. Entretanto, não há consenso entre pesquisadores em relação ao valor de porcentagem de saturação por bases adequado para as plantas forrageiras (Herling et al., 2000). Para o capim-Tanzânia, as recomendações variam de 45 a 50% para solos de Cerrado (Macedo, 1997; Vilela et al., 2000), 60% (Monteiro, 1995) a 70% (Vitti & Luz, 1997; Werner et al., 1996) para solos do Estado de São Paulo e 70% a 80 % (Corsi & Nussio, 1993) para pastagens intensivamente utilizadas.

O fato é que plantas forrageiras tropicais são tolerantes às condições de acidez do solo, respondendo pouco à calagem (Carvalho et al., 1992; Ferrari Neto, 1991; Gomide et al., 1986; Luz et al., 2002; Mitidieri, 1995; Oliveira, 2001; Werner et al., 1967; Werner et al., 1979). Revisões mais detalhadas sobre o assunto podem ser encontradas em Cantarella et al. (2002), Corsi & Martha Junior (1997), Luz et al. (2001), Monteiro (1995), Monteiro & Werner (1997), Siqueira (1986) e Vitti & Luz (1997). Entretanto, a calagem provoca aumentos na capacidade de troca de cátions do solo, originada pela dessorção de íons H^+ de grupos funcionais da matéria orgânica, das bordas dos argilo-minerais e dos óxidos de ferro e alumínio, aumentos na disponibilidade de nutrientes como o fósforo e a diminuição da disponibilidade de ferro, zinco, manganês e cobre (Lindsay, 1972). Esses fatores, associados à idade, estágio de desenvolvimento, velocidade de crescimento e parte da planta considerada, afetam a dinâmica do acúmulo de forragem e de nutrientes pelas plantas.

Se para os sistemas extrativistas de produção a manutenção da fertilidade do solo em níveis adequados é importante, para aqueles de produção intensiva a correção da fertilidade torna-se uma questão de sobrevivência. Nesse contexto, a adubação nitrogenada assume papel primordial e os trabalhos de pesquisa com correção da fertilidade do solo e doses de adubos contribuíram para a expansão dos sistemas intensivos de uso da pastagem (Macedo, 1997).

O estudo do metabolismo do nitrogênio e de outros elementos que influenciam no mesmo constitui ferramenta importante para o aumento da produção e melhoria na qualidade das plantas forrageiras, uma vez que as gramíneas tropicais podem responder a doses de nitrogênio de até 1800 kg ha⁻¹ (Vicente-Chandler, 1973). Então, sendo o nitrogênio o nutriente chave para aumentar a produção de forragem de gramíneas tropicais, estando outros fatores

abióticos em suficiência e levando-se em o conta o efeito acidificante da maioria das fontes nitrogenadas, a necessidade de calagem não deve ser subestimada em áreas recebendo maiores quantidades de adubos nitrogenados (Cantarella et al., 2001).

Como a análise de solo para o nitrogênio não é adequada para indicar a disponibilidade para as plantas devido a sua complexa dinâmica no ambiente solo-planta-atmosfera, a inferência no acúmulo do nutriente acoplada à estimativa da produção de massa seca da pastagem é um dos principais critérios para o cálculo da adubação nitrogenada em sistemas intensivos (Cantarella et al., 2001). Monteiro (1995) recomendou doses de nitrogênio variando entre 50 e 300 kg ha⁻¹ em pastagens de *Panicum maximum*, sendo a menor dose sugerida para evitar a degradação da pastagem. O teor de matéria orgânica em solos sob pastagens tem aumentado com o tempo e isso indica que grande parte do “reservatório” de nitrogênio esteja no complexo orgânico do solo (Macedo, 1995). Também, a matéria orgânica é responsável por grande parte da capacidade de troca de cátions em solos tropicais e, como cerca de 30% dos solos dos Cerrados são NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS e LATOSSOLOS de textura média, há grande dependência da fração orgânica no incremento ou manutenção das cargas negativas do solo (Macedo, 1995).

Em relação às concentrações críticas ou concentração do nutriente que corresponde a 90% da máxima produção (Ulrich, 1952) e parte da planta amostrada, Bates (1971) sugeriu que a parte da planta que melhor se presta para análise de tecidos é aquela que apresenta maior coeficiente de correlação entre a concentração de nutrientes e a produção da planta. A parte considerada deve refletir com exatidão o estado nutricional da planta, apresentar elevada amplitude de concentração, desde a deficiente até a adequada, ter concentração crítica estável em sucessivas amostragens e ser de fácil identificação e amostragem no campo (Martin & Matocha, 1973). Frequentemente a determinação da concentração crítica tem sido feita amostrando-se a parte aérea, como verificado nos trabalhos de Andrew & Robins (1971), Rego et al. (1985), Fonseca (1985) e Corrêa (1991). Entretanto, Werner (1971), avaliando os capins Colonião (*Panicum maximum* Jacq.) e Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), e Smith (1975), estudando *Panicum maximum* cv. Petri, separaram a parte aérea das plantas em folhas novas (folhas emergentes, não completamente expandidas, e as duas lâminas de folhas recém-expandidas), folhas velhas (lâminas das demais folhas) e colmos+bainhas e concluíram que as folhas novas refletiam de forma mais acurada o estado nutricional dos capins estudados. Posteriormente, Monteiro et al. (1995) analisaram esse aspecto no capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) e concluíram que, pela facilidade de execução e pelo maior coeficiente de correlação obtido entre concentração de nutrientes e produção do capim, as lâminas de folhas recém-expandidas foram as recomendadas para fins de diagnose nutricional. Corroboraram esses resultados, também, os trabalhos de Abreu (1999), Ferragine (1998), Mattos (1997), Santos (1997) e Santos Junior

(2001). Dessa forma, as lâminas de folhas recém-expandidas mostram-se mais adequadas para a avaliação do estado nutricional em gramíneas tropicais e, por essa razão, tem sido chamadas de folhas diagnósticas. Também, representam estágio padrão de desenvolvimento fisiológico, além de ser a parte mais fácil de ser identificada e amostrada. A concentração crítica nessa parte da planta pode ser utilizada como ferramenta auxiliar na avaliação do estado nutricional de plantas forrageiras.

Santos (1997), trabalhando com doses de nitrogênio no capim-Braquiária, obteve como concentração crítica de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas os valores de 22,0 e 14,5 g kg⁻¹ para o primeiro e segundo crescimento, respectivamente. As concentrações críticas obtidas por Colozza (1998) nas lâminas de folhas recém-expandidas de *Panicum maximum* foram de 18,8 e 21,6 g kg⁻¹ para o cultivar Aruana e de 20,8 e 22,9 g kg⁻¹ para o cultivar Mombaça no primeiro e segundo crescimento, respectivamente. Abreu (1999), cultivando capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) submetido a doses de nitrogênio em LATOSSOLO VERMELHO, obteve a concentração crítica de 38,6; 23,2 e 13,2 g kg⁻¹ aos 14, 28 e 42 dias de rebrotação do capim nas lâminas de folhas recém-expandidas. No crescimento inicial relatou correlação significativa entre a concentração de nitrogênio nas folhas recém-expandidas e a produção de massa seca da parte aérea somente aos 42 dias de crescimento. Nesse estágio, a concentração crítica foi de 8,5 g kg⁻¹, valor menor que os 21,0 g kg⁻¹ obtido por Hoffmann (1992) e os 22,0 g kg⁻¹ relatados por Santos (1997) para o capim Braquiária. Schiavuzzo et al. (2000), cultivando o capim-Marandu em solução nutritiva, obtiveram concentração crítica de 19,0 g kg⁻¹ nas lâminas de folhas recém-expandidas aos 41 dias de crescimento, sendo esse valor próximo àquele obtido por Santos (1997) para o capim-Braquiária. Manarim (2000) relatou concentração crítica de 16,0 g kg⁻¹ nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça).

O fósforo está ligado à respiração vegetal, afetando o armazenamento, transporte e utilização de energia no processo fotossintético. Também, age na síntese de proteínas e no metabolismo de enzimas. Em gramíneas tropicais é um nutriente muito importante, principalmente na fase de estabelecimento da pastagem (Werner, 1986). O elemento altera, principalmente, o crescimento das raízes e o perfilhamento das plantas (Lobato et al., 1986; Werner, 1986), sendo que inexpressivo perfilhamento proporciona espaços livres na pastagem para o crescimento de plantas invasoras. Dessa forma, a deficiência de fósforo diminui a resistência da pastagem ao ponto de se igualar com a resistência das plantas invasoras. Caso a deficiência não seja corrigida nesse ponto crítico, a linha de resistência da comunidade de plantas forrageiras irá se situar abaixo da linha de resistência das invasoras, perdendo sua capacidade competitiva e sua abundância (Briske, 1996). Uma vez aplicado no plantio, o fósforo supre as necessidades do pasto, desde que quantidades adequadas e que condições adversas,

como acidez excessiva, não diminuem sua disponibilidade (Werner, 1986), mas isso não significa que não haja efeito das adubações fosfatadas, também, na manutenção da pastagem. As recomendações de adubações com P_2O_5 na implantação da pastagem variam de 20 a 100 $kg\ ha^{-1}$, dependendo da classe de fósforo disponível no solo. As concentrações críticas na planta relatadas na literatura são de 1,9 $g\ kg^{-1}$ no crescimento inicial a 2,1 $g\ kg^{-1}$ na rebrotação em vários cultivares de *Panicum maximum* (Corsi, 1984) e de 2,1 a 1,7 $g\ kg^{-1}$ no cultivar de *Panicum maximum* IZ-1 (Meirelles et al., 1988). Santos (1999) relatou queda exponencial nas concentrações críticas de fósforo nos capins Braquiária e Mombaça em função da idade das plantas, sugerindo que o manejo da adubação constitua-se numa aplicação de fósforo na implantação e noutras para a manutenção da produtividade.

O potássio é elemento essencial aos organismos vivos, sendo importante nos processos fisiológicos e bioquímicos, não fazendo, entretanto, parte de composto orgânico conhecido (Mengel & Kirkby, 2001). É, geralmente, o segundo nutriente acumulado em maior quantidade pelas culturas (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 1998) e, em plantas forrageiras tropicais, pode ser o primeiro (Werner et al., 1996). A concentração para o adequado crescimento vegetal varia entre 10 e 50 $g\ kg^{-1}$. O potássio desempenha funções no processo de regulação do potencial osmótico das células, é ativador de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, participa na translocação de carboidratos, aumenta a resistência à salinidade, frio, seca e doenças, aumenta resistência ao acamamento das plantas e melhora a qualidade dos produtos agrícolas (Epstein, 1975; Malavolta, 1980). Em pastagens, a deficiência do elemento não é generalizada devido à reciclagem do nutriente por meio das fezes e urina dos animais, fontes de entrada do elemento no sistema mesmo não tendo distribuição uniforme na área da pastagem (Monteiro & Werner, 1997). Porém, em áreas destinadas a capineiras e fenação, onde as plantas são submetidas a cortes com remoção da forragem, deve-se dar atenção à quantidade exportada do elemento (Monteiro, 1998). Em estudos onde foi omitido o potássio (Ferrari Neto, 1991; França & Haag, 1985), os autores observaram redução acentuada na produção da massa seca e no número de perfilhos em relação à adubação com os demais elementos. Silva et al. (1995) não encontraram a resposta máxima do capim-Tanzânia, em termos de perfilhamento e produção de massa seca, até a dose de potássio 312 $mg\ L^{-1}$ em solução nutritiva. De forma semelhante, Mattos (1997) e Pereira (2001) também relataram significância das doses de potássio na produção de massa seca nos capins Braquiária e Mombaça. Benetti & Monteiro (1999) observaram efeito do potássio, com doses variando entre 0 e 312 $mg\ L^{-1}$, no acúmulo de potássio nas plantas, sendo encontrada maior concentração do nutriente na bainha das folhas, nos dois ciclos de crescimento avaliados. As recomendações de adubações potássicas são frequentemente baseadas na análise de terra, sendo recomendada a

aplicação de 60 kg ha^{-1} de K_2O quando a concentração do elemento no solo está abaixo de $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Monteiro, 1995).

De qualquer forma, em condições de comunidades de plantas em ambiente de pastagem, a eficiência no uso de nutrientes é promovida diretamente pelo aumento na eficiência na utilização da forragem produzida, para qualquer condição de adubação empregada (Hodgson, 1990).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na área física da Embrapa Gado de Corte, localizada em Campo Grande, MS, com coordenadas geográficas 20° 26' de latitude sul e 54° 43' de longitude oeste e altitude de 530 m. A área experimental é de 13,5 ha, estabelecida com capim-Tanzânia, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, sendo definido quanto a classe textural como argiloso (Embrapa, 1999). O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com ocorrência bem definida de período seco nos meses de maio a setembro e de período chuvoso nos meses de outubro a abril. Os dados climáticos ao longo do período experimental foram coletados na Estação Meteorológica da Embrapa Gado de Corte e comparadas com a média histórica do local (Figura 1).

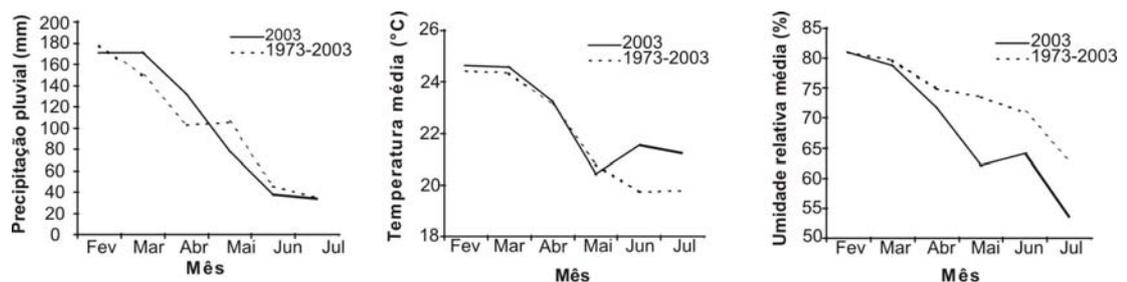


Figura 1 - Distribuição da precipitação pluvial (a), temperatura média (b) e umidade relativa média do ar (c) ao longo do período experimental comparadas com as médias de 31 anos (1973-2003)

3.2 Histórico da área experimental

3.2.1 Implantação

Do ano de 1998 a 2002, na área experimental foi conduzido estudo relativo à combinação de dois resíduos (R1 e R2) de forragem pós-pastejo com duas doses de fertilizantes e corretivos (FC1 e FC2). Esses tratamentos foram assim caracterizados:

- a) R1 e R2: massa seca de forragem de 2500 e 3500 kg ha⁻¹, respectivamente;
- b) FC1: calagem para elevar a saturação por bases a 50%, aplicação de fósforo (P) de 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹, de potássio (K) de 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e de nitrogênio (N) de 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹;
- c) FC2: calagem para elevar a saturação por bases a 70%, aplicação de fósforo (P), potássio (K) e nitrogênio (N) de 60, 100 e 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Na implantação do experimento em 1998, o calcário, com PRNT de 75% e em doses de 2,5 e 4,0 Mg ha⁻¹, foi incorporado a 20 cm de profundidade nos tratamentos FC1 e FC2, respectivamente. Anualmente, de 1999 a 2001, foram aplicados 667 e 1933 kg ha⁻¹ de calcário (PRNT 100%), em superfície, nos tratamentos FC1 e FC2, respectivamente. Também, foi aplicado FTE BR-12 nas doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ nos tratamentos FC1 e FC2, respectivamente. No ano de 1999 foram aplicados zinco (na forma de sulfato de zinco) na dose de 2,5 kg ha⁻¹, cobre (na forma de sulfato de cobre) na dose de 2,5 kg ha⁻¹ e molibdênio (na forma de molibdato de sódio) na dose de 0,8 kg ha⁻¹. Em 2002 repetiu-se a adubação com micronutrientes, nas mesmas quantidades do ano de 1999, incluindo-se a aplicação de bórax de 4,5 kg ha⁻¹, para fornecer boro. Em junho de 2000 foram aplicados superficialmente 400 kg ha⁻¹ de gesso agrícola nos tratamentos FC1 e FC2. As adubações com fósforo e potássio foram realizadas por meio de formulações.

A pastagem do capim-Tanzânia foi semeada no ano de 1999, na área anteriormente ocupada por pastagens degradadas de *Panicum maximum* cultivares Tanzânia e Tobiata e *Andropogon gayanus* cultivar Baeti. As operações utilizadas na renovação dessas pastagens foram: roçada, calagem, aração, adubação e gradagem (grade niveladora). A semeadura foi realizada com 2,5 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis. A cobertura das sementes foi efetuada com uma gradagem leve, seguida da passagem de rolo compactador de pneus.

3.2.2 Definição dos tratamentos

No início do período chuvoso em outubro de 2002, os tratamentos foram redefinidos tendo como base os resultados até então obtidos (Euclides et al., 2003). Dessa forma, o resíduo de forragem pós-pastejo foi fixado em 2500 kg ha^{-1} , e os tratamentos passaram a consistir da combinação entre duas doses de calcário, fósforo e potássio (CPK1 e CPK2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2), assim dispostas:

- a) CPK1: aplicação de fósforo (P) de $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e de potássio (K) de $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, associado à calagem para elevar a saturação por bases a 50%;
- b) CPK2: aplicação de fósforo (P) e potássio (K) de 60 e $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, associado à calagem para elevar a saturação por bases a 70%;
- c) N1: dose de nitrogênio de $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;
- d) N2: dose de nitrogênio de $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;

As doses de nitrogênio foram parceladas em duas vezes, sendo a primeira aplicação em novembro, na forma de sulfato de amônio, e a segunda em janeiro, na forma de uréia.

3.3 Períodos de Avaliação

Foram avaliados dois ciclos de pastejo do capim-Tanzânia, contrastantes em termos das variáveis climáticas:

- a) Ciclo de verão: período experimental de 05/03 a 14/04 de 2003, com 42 dias de rebrotação.
- b) Ciclo de outono: período experimental e 25/04 a 26/05 de 2003, com 35 dias de rebrotação.

3.4 Manejo da pastagem e delimitação das unidades experimentais

Foram utilizados piquetes de 1,125 ha, os quais foram submetidos à lotação rotacionada. Cada piquete foi subdividido em seis áreas (1873 m^2), o que permitiu um ciclo de pastejo de 42 dias, com os períodos de ocupação de 7 dias e de rebrotação de 35 dias. A unidade experimental foi uma das subdivisões de cada piquete. Animais de dois grupos genéticos, "meio-sangue" Simental-Nelore e "meio-sangue" Angus-Nelore, foram utilizados para

realização das desfolhações no valor do resíduo de forragem pós-pastejo de 2500 kg ha⁻¹. No dia anterior à entrada dos animais nos piquetes a quantidade de forragem era estimada e o número de animais ajustado para deixar o resíduo desejado até o final do período de ocupação. No ciclo de rebrotação de verão foram utilizados novilhos de sobreano e no ciclo de outono os animais foram trocados por bezerros desmamados. As taxas de lotação médias no ciclo de rebrotação de verão foram de 5,8; 6,8; 6,8 e 8,0 unidades animais por hectare (UA ha⁻¹), nos tratamentos CPK1N1, CPK1N2, CPK2N1 e CPK2N2, respectivamente. No ciclo de outono foram de 1,7 UA ha⁻¹ no tratamento CPK1N1, 2,3 UA ha⁻¹ no CPK1N2, 1,5 UA ha⁻¹ no CPK2N1 e de 1,2 UA ha⁻¹ no CPK2N2.

3.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas foram alocadas as doses de calcário, fósforo e potássio (CPK1 e CPK2) e nas sub-parcelas as doses de nitrogênio (N1 e N2).

3.6 Amostragens

No ciclo de verão as amostras foram coletadas nos tempos de rebrotação de 0, 12, 19, 26, 34 e 40 dias, e no de outono aos 0, 10, 18, 25 e 31 dias. Considerou-se o dia zero como sendo o primeiro após a saída dos animais das parcelas. Devido a desigualdade na massa de forragem pós-pastejo entre os tratamentos, optou-se pela uniformização da área experimental em ambos os períodos de avaliação à altura de 40 cm, com o uso de roçadeira mecânica manual.

3.6.1 Identificação de áreas representativas do estado médio do dossel

No dia da coleta da parte aérea, a altura de 50 plantas foi determinada medindo-se a altura média da curvatura das folhas mais novas completamente expandidas, por meio de uma régua graduada em centímetros. Para tanto, fez-se caminhar em duas linhas paralelas, dentro de cada unidade experimental. Outros dois observadores descreveram a cobertura do solo pelas áreas basais das touceiras, folhas e colmos em relação a área total do piquete por meio de notas, numa escala de 0 a 100%, dadas a ocupação do solo pelas plantas dentro de uma moldura de ferro com área de 1,5 m². Os resultados de cobertura do solo não foram submetidos à análise de variância devido a finalidade descritiva e complementar dessa avaliação. As áreas representativas do estado atual do dossel no momento da amostragem

foram determinadas de acordo com os valores médios das alturas das plantas e das distribuições relativas de cobertura do solo de cada tratamento.

3.6.2 Coleta e medições na parte aérea

Três amostras de forragem contidas no interior de quadros amostradores de 1,5 m² (1 x 1,5 m) foram coletadas em área do piquete representativa do estado atual do pasto por ocasião de cada amostragem. As amostras foram cortadas à altura de 15 cm do solo e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados, sendo posteriormente levadas ao laboratório, onde foi obtida a massa de forragem por pesagem direta. Anteriormente ao corte desse material, três sub-amostras (conjunto de perfilhos), de aproximadamente 200 g cada, foram amarradas com barbante, para evitar a separação das lâminas das folhas durante a amostragem, o que prejudicaria sua posterior identificação. Efetuou-se a determinação da massa e posterior separação das sub-amostras do capim-Tanzânia nas seguintes partes da planta:

- a) Material morto (MT): colmos+bainhas+folhas senescidas. Considerou-se como material morto a folha senescida em mais de 50% do seu comprimento;
- b) Folhas emergentes (FE): folhas não completamente expandidas, sem lígula visível;
- c) Lâminas de folhas recém-expandidas (LR): lâminas das duas folhas recém-expandidas, com lígula visível;
- d) Lâminas de folhas maduras (LM): lâminas das demais folhas com lígula visível;
- e) Colmos + bainhas (CB): colmos + bainhas das folhas.

Posteriormente, todas as frações foram acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa a 65°C até massa constante. Por meio da soma da massa seca das partes da planta nas sub-amostras foi estimada a produção de massa seca por unidade de área amostrada, bem como a participação relativa de cada parte da planta determinada como proporção da massa seca total de cada amostra.

As lâminas de folhas tiveram a superfície de suas áreas medidas por meio do uso de um aparelho integrador de área foliar (LICOR, modelo LAI-3100). As FE, LR e LM foram mensuradas separadamente e, em seguida, os valores somados, obtendo-se a área foliar total de cada unidade experimental. O IAF foi determinado pela razão entre a área de uma das faces das folhas e a área de solo amostrada.

3.6.3 Coleta do sistema radicular

Aos 28 dias de rebrotação do ciclo de pastejo de verão, determinou-se a quantidade de massa seca de raízes por massa de solo seco amostrado. O método de coleta foi o do monólito, adaptado de Bohm (1979). A amostragem foi realizada por meio da abertura de trincheiras no solo de 80 cm x 80 cm de área e 60 cm de profundidade, retirando-se amostras de aproximadamente 10 cm x 20 cm de área, na projeção das touceiras das plantas e nas profundidades de 0,0-10,0; 10,1-20,0; 20,1-30,0 e 30,1-40,0 cm.

A massa de solo amostrada foi determinada por pesagem direta e sua umidade à base de massa, para correção para massa seca, foi determinada pela razão entre a massa de água existente na sub-amostra e sua massa de sólidos (Libardi, 2000). As raízes foram separadas da terra por dispersão em água e capturadas em conjunto de peneiras de malhas de 1,0 e 0,25 mm de diâmetro, sendo imediatamente postas a secar em estufa a 65°C, até massa constante.

3.6.4 Amostragens no solo

Durante a coleta do sistema radicular no verão foram realizadas amostragens do solo com a finalidade de determinar seus atributos químicos nas profundidades de 0,0-5,0; 5,1-10,0; 10,1-20,0; 20,1-30,0 e 30,1-40,0 cm.

Ao final do ciclo de pastejo de outono, medidas de resistência à penetração (RP) do solo foram tomadas com o uso de um penetrômetro, que consiste de uma haste, com um cone na extremidade, ligada a um medidor de força composto de dinamômetro ligado a registrador analógico (Herrick & Jones, 2002). Também, amostras de solo deformadas foram coletadas para a determinação de sua umidade à base de massa (Libardi, 2000), nas profundidades de 0-15, 16-30 e 31-45 cm. Os valores de RP foram corrigidos em função da variação da umidade do solo à base de massa em cada profundidade (Busscher et al., 1997). Os valores de resistência à penetração foram obtidos para as profundidades de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 e 45 cm. Foram tomadas seis repetições dispostas em três linhas paralelas, nas posições espaciais touceira e entre-touceira, sendo computadas as médias das duas posições espaciais.

Por ocasião das medições de RP, seis amostras indeformadas do solo foram retiradas por unidade experimental com o uso de anéis volumétricos de 5 cm de altura por 5 cm de diâmetro interno para o cálculo dos valores de densidade e porosidade do solo (Libardi, 2000).

3.7 Determinações analíticas

As determinações das concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco no tecido vegetal de cada componente da parte aérea foram efetuadas conforme metodologia proposta por Sarruge & Haag (1974). Os valores da concentração de nitrogênio em cada parte da planta foram obtidos por meio do método instrumental de análise NIRS (“Near infrared reflectance spectroscopy”). A técnica é baseada na correlação entre as propriedades químicas de interesse, determinadas por métodos clássicos, e a absorção da luz em diversos comprimentos de onda na região do infravermelho, medida como reflectância (Norris et al., 1976). O acúmulo de cada nutriente foi obtido pela multiplicação da concentração do elemento em cada parte da planta pela quantidade de massa seca. O acúmulo de nutrientes na parte aérea foi obtido pela soma do acúmulo em cada parte da planta.

As determinações de pH em CaCl_2 e dos teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio e potássio trocáveis, acidez trocável e potencial, soma de bases, capacidade de troca de cátions efetiva e potencial e porcentagem de saturação por bases nas mostras de terra seguiram metodologia proposta por Embrapa (1997). Na determinação da concentração de fósforo foram utilizados os extratores Mehlich-1 (Mehlich, 1953¹), Mehlich-3 (Mehlich, 1984) e resina trocadora de íons (Rajj et al., 1986).

3.8 Atributos morfológicos do dossel forrageiro

Os atributos morfológicos razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão de massa de folhas (RMF) foram calculados com base nos valores de massa da parte aérea, área foliar total e massa das folhas (Radford, 1967). Dessa forma foram obtidos:

- a) RAF= razão entre a área foliar total da unidade experimental pela massa da parte aérea, expressa em $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$;
- b) AFE= razão entre a área foliar total da unidade experimental pela massa das folhas, expressa em $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$;
- c) RMF= razão entre a massa das folhas da unidade experimental pela massa da parte aérea, expressa em kg kg^{-1} .

¹ MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH_4** . Raleigh: North Carolina Soil Test Div., 1953. (não publicado).

3.9 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância mediante o uso do procedimento GLM, utilizando-se o aplicativo SAS (SAS Institute, 2000), para verificar a significância das doses de calcário, fósforo e potássio, das doses de nitrogênio, do tempo de rebrotação e de suas interações de acordo com Neter et al. (1996). Para os atributos químicos e físicos do solo, bem como para a massa seca de raízes, a significância testada foi para as doses de calcário, fósforo e potássio, doses de nitrogênio, profundidade de amostragem e de suas interações.

As doses de calcário, fósforo e potássio e as doses de nitrogênio, dentro de cada tempo de rebrotação ou profundidade de amostragem, foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Equações de regressão foram ajustadas para os atributos químicos do solo, altura das plantas, índice de área foliar, massa seca de cada parte da planta e da parte aérea, seu conteúdo em macronutrientes, concentração de macronutrientes nas lâminas de folhas recém-expandidas, massa seca de raízes e os atributos da análise de crescimento a fim de descrever suas variações em função do tempo de rebrotação da pastagem ou, dependendo da variável analisada, da profundidade de amostragem. A profundidade de amostragem foi considerada variável quantitativa para efeito de análise de regressão, sendo computados os valores das variáveis-resposta como sendo referentes ao ponto médio (ponto de tendência central) da camada do solo amostrada. O modelo de regressão foi escolhido com base no coeficiente de determinação (R^2) e na significância da regressão e de seus coeficientes, testados pelo teste F a 5% de probabilidade (Gomes, 2000).

Foram determinados os intervalos de confiança em relação à variação do IAF referente às FE, LR e LM para valor de t a 10% de probabilidade (Gomes, 2000). Coeficientes de correlações lineares foram ajustados como medida de dependência entre as variáveis por meio do procedimento CORR do aplicativo SAS (SAS Institute, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos do solo

A interação entre a profundidade de amostragem e as doses de calcário, fósforo e potássio foi significativa ($P < 0,05$) para o teor de matéria orgânica do solo (MO) e pH em CaCl_2 . Também, houve significância ($P = 0,05$) na interação entre a profundidade de amostragem e as doses de nitrogênio para o teor de MO.

O teor de MO, em cada dose de nitrogênio, decresceu em função da profundidade de amostragem de acordo com modelo quadrático (Figura 2), variando na dose de nitrogênio N2, entre 50,52 e 24,52 g dm^{-3} , da menor para a maior profundidade de amostragem. O efeito foi linear na dose de calcário, fósforo e potássio CPK1, teve o valor de 44,22 g dm^{-3} aos 2,5 cm de profundidade, e diminuiu à taxa de 0,66 $\text{g dm}^{-3} \text{ cm}^{-1}$. O teor de MO variou de forma quadrática com a profundidade de amostragem na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 (Figura 2). Tanto as doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2 como as doses de nitrogênio N1 e N2, dentro de cada profundidade de amostragem, diferiram significativamente (Tukey, $P < 0,05$) no teor de MO, somente aos 2,5 cm de profundidade.

O pH em CaCl_2 variou de forma linear com a profundidade de amostragem nas doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2, a taxas de 0,022 e 0,046 cm^{-1} , respectivamente (Figura 2). Os valores variaram entre 6,2, aos 2,5 cm, e 4,7, aos 35 cm de profundidade, na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2. Na dose CPK1, a amplitude de variação entre as máximas e mínimas profundidades avaliadas, foi de 5,4 e 4,7. Assim o incremento na profundidade de amostragem na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 resultou em taxa de decréscimo no pH de 2,1 vezes maior do que a proporcionada pela profundidade da dose CPK1, devido, principalmente, à maior amplitude de variação observada na dose CPK2.

Ao se comparar as doses de calcário, fósforo e potássio quanto ao valor de pH em CaCl_2 , diferenças significativas (Tukey, $P < 0,05$) foram observadas até os 15 cm de profundidade. Esse achado se explica pelo fato das doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2 estarem associadas à calagem para elevar a porcentagem de saturação por bases a 50% e 70%, respectivamente. Dessa forma, o calcário incorporado a 20 cm de profundidade, na implantação do experimento, e as doses aplicadas na superfície, anualmente, alteraram significativamente o pH entre as doses de calcário, fósforo e potássio estudadas. De acordo com

a classificação proposta por Raji et al. (1996), na camada entre 0 e 20 cm de profundidade, nas doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2, a acidez foi média (pH 5,2) e baixa (pH 5,8), respectivamente.

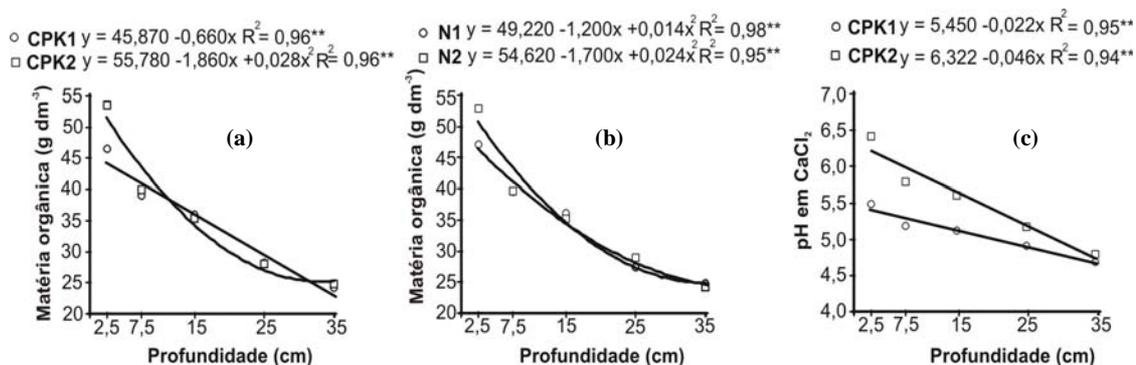


Figura 2 – Teor de matéria orgânica no solo, dentro das doses de calcário, fósforo e potássio (a) e das doses de nitrogênio (b), e pH em CaCl_2 , em cada dose de calcário, fósforo e potássio (c), em função da profundidade de amostragem

A interação entre a profundidade de amostragem e as doses de calcário, fósforo e potássio foi significativa ($P < 0,01$) para a acidez potencial, soma de bases, capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva) e potencial (CTC potencial) e porcentagem de saturação por bases. Houve significância ($P < 0,01$) da profundidade de amostragem para a acidez trocável.

Pela análise da Figura 3 verifica-se que a acidez trocável, ou teor de alumínio (Al^{3+}) trocável no solo, foi representada por uma equação quadrática quando ajustada em função da profundidade de amostragem, atingindo valor de $1,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aos 35 cm de profundidade. A acidez potencial variou de forma linear na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 e segundo modelo quadrático na dose CPK1. O máximo valor de acidez potencial foi observado aos 21 cm de profundidade na dose CPK1. As variações na soma de bases com a profundidade de amostragem foram semelhantes às observadas na CTC efetiva devido à pequena variação da acidez trocável no perfil do solo, uma vez que as porcentagens de saturações por bases associadas às doses de calcário, fósforo e potássio possibilitaram a elevação do pH em CaCl_2 na camada arável do solo, enquadrando a acidez efetiva nas doses CPK1 e CPK2 como média a baixa, respectivamente (Raji et al., 1996). Em relação à CTC potencial foi observado decréscimo nos valores, até a profundidade de 31 cm na dose CPK2 e até os 35 cm na dose CPK1 (Figura 3). A diminuição nos teores da soma de bases com a profundidade foi mais efetiva em causar mudanças na CTC potencial (coeficiente de correlação de 0,94) do que os acréscimos na acidez potencial. Na profundidade de 2,5 cm, mediante a dose CPK2, a porcentagem de saturação por bases atingiu 79% e decresceu (taxa de $1,7 \% \text{ cm}^{-1}$) com a profundidade do solo (Figura 3). Assim, na camada de 0-20 cm de profundidade a porcentagem

de saturação por bases foi de 66%. A dose CPK1 resultou, aos 2,5 cm de profundidade, em porcentagem de saturação por bases de 54%, diminuindo à taxa de 1,1 % cm^{-1} com a profundidade de amostragem, de tal forma que a camada de 0-20 cm mostrou valor de 46%. Dessa forma, as porcentagens de saturações por bases nas doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2 foram classificadas como baixa e média, respectivamente (Rajj et al., 1996). Foram observadas diferenças significativas (Tukey, $P < 0,05$) entre as doses de calcário, fósforo e potássio até os 25 cm para a acidez potencial, 7,5 cm para a soma de bases e CTC efetiva, e 2,5 cm para a CTC potencial. A dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 diferiu significativamente (Tukey, $P < 0,05$) da CPK1 até 15 cm de profundidade na porcentagem de saturação por bases, sendo que as maiores amplitudes foram observadas aos 2,5 e 7,5 cm, as quais foram decorrentes da aplicação superficial do calcário ao longo dos anos.

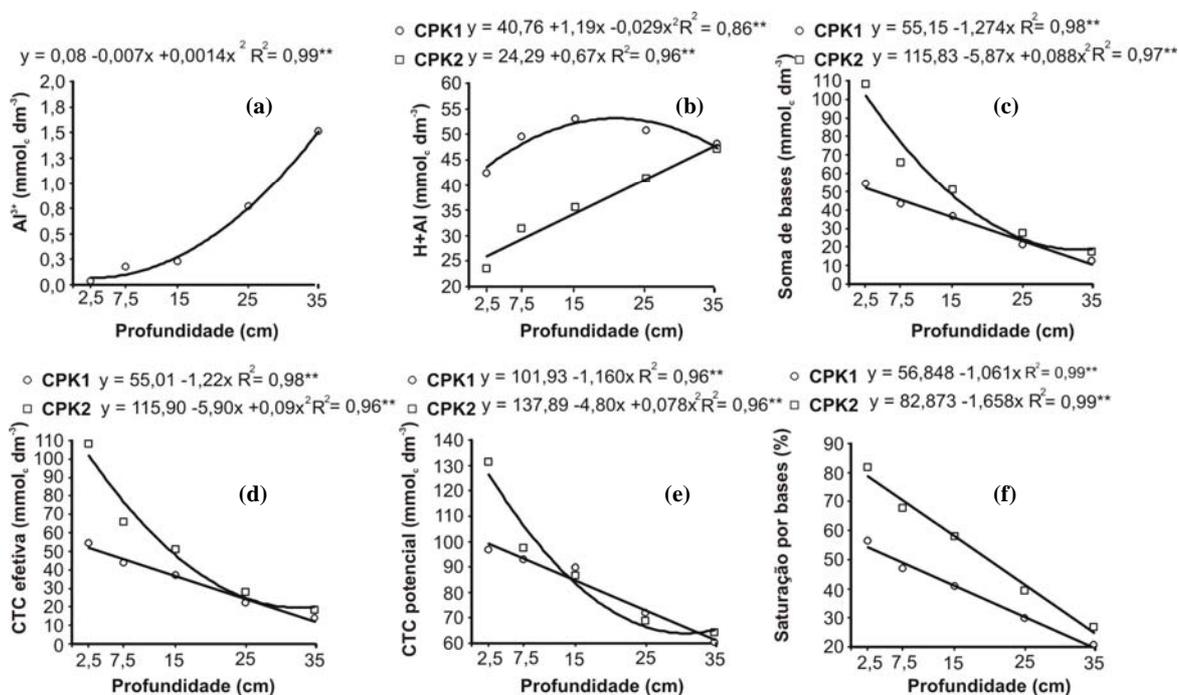


Figura 3 – Acidez trocável (a), na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, acidez potencial (b), soma de bases (c), capacidade de troca de cátions efetiva (d) e potencial (e) e porcentagem de saturação por bases (f), em cada dose de calcário, fósforo e potássio, em função da profundidade de amostragem do solo

O coeficiente de correlação entre o pH em CaCl_2 e a porcentagem de saturação por bases foi de 0,82. Duas situações poderiam afetar a estreita relação entre os valores de pH e a porcentagem de saturação por bases: i) adições de bases sem modificações no pH, como no caso do uso de gesso agrícola, proporcionando altos valores de saturação por bases em pH mais ácido, ou; ii) grande contribuição dos íons amônio e sódio na soma de bases do solo, proporcionando baixos valores de porcentagem de saturação por bases em pH mais básico, uma vez que os teores dos íons amônio e sódio freqüentemente não são computados quando da determinação da soma de bases do solo. Como na implantação do experimento foi aplicado gesso agrícola na dose de 400 kg ha^{-1} , houve acréscimo na soma de bases sem o respectivo aumento do pH em CaCl_2 , enquanto a correlação entre a porcentagem de saturação por bases e o pH em CaCl_2 manteve-se alta.

A interação entre a profundidade de amostragem e as doses de calcário, fósforo e potássio foi significativa ($P < 0,01$) para o teor disponível de fósforo (nos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina), e os trocáveis de cálcio e magnésio. Houve significância ($P < 0,01$) da profundidade de amostragem para o teor trocável de potássio. O efeito das doses de nitrogênio não foi significativo ($P > 0,05$) para os teores disponíveis de fósforo (independentemente do extrator), e para os trocáveis de cálcio, magnésio e potássio.

A variação do teor trocável de potássio com a profundidade do solo foi representada por uma equação quadrática, com mínima concentração de $0,85 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aos 29 cm de profundidade (Figura 4). Os teores disponíveis de fósforo, independentemente do extrator utilizado e das doses de calcário, fósforo e potássio, variaram de acordo com modelo potencial (Figura 4), com a profundidade do solo. Os teores trocáveis de cálcio e magnésio seguiram modelo quadrático na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2, e modelo linear na dose CPK1 (Figura 4). Assim, os teores de cálcio e magnésio médios da camada de 0 a 20 cm de profundidade foram de 22,8 e $17,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, na dose de calcário, fósforo e potássio CPK1, e de 42,0 e $29,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, na dose CPK2, estando muito acima do limite de classe de valores altos (Raij et al., 1996). Em relação aos teores de fósforo-Resina médios da camada arável do solo, foram observados os valores de 11,9 e $37,0 \text{ mg dm}^{-3}$ nas doses CPK1 e CPK2, respectivamente. Na dose CPK1 os teores são considerados médios e na dose CPK2 são altos. O teor de potássio trocável na camada de 0 a 20 cm foi de $2,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-1}$ e é classificado como médio (Raij et al., 1996).

As doses de calcário, fósforo e potássio diferiram significativamente (Tukey, $P < 0,05$) quanto ao fósforo disponível (Mehlich-3 e Resina) e magnésio trocável aos 2,5 e 7,5 cm de profundidade. Em relação aos teores de fósforo em Mehlich-1 e cálcio foram observadas diferenças significativas (Tukey, $P < 0,05$) somente aos 2,5 cm de profundidade.

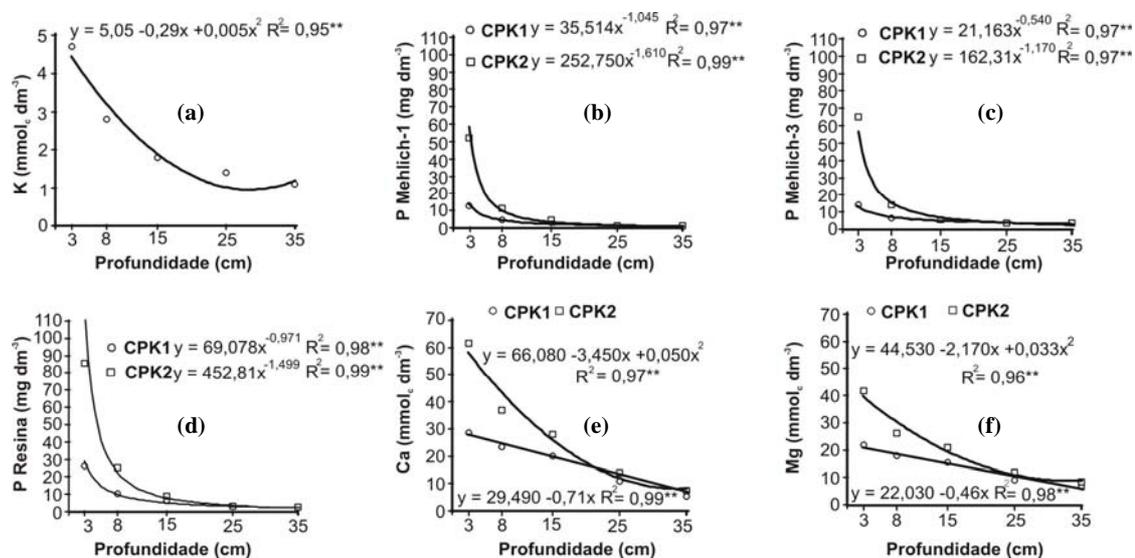


Figura 4 – Teor trocável de potássio (a), na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, disponível de fósforo, nos extratores Mehlich-1 (b), Mehlich-3 (c) e Resina (d), e trocáveis de cálcio (e) e magnésio (f), dentro das doses de calcário, fósforo e potássio, em função da profundidade de amostragem

Uma vez que na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 foram aplicadas quantidades de fósforo, potássio, cálcio e magnésio cerca de duas vezes maiores que na dose CPK1, ficaram claras as diferenças nos teores de fósforo, cálcio e magnésio, principalmente nas camadas superficiais do solo, uma vez que do total de calcário utilizado, cerca de 50% foi aplicado na superfície do solo. Para os teores de fósforo, além das aplicações superficiais, os acúmulos em menores profundidades são devidos a pouca mobilidade do nutriente no solo, causando os decréscimos potenciais dos teores quando ajustados em função da profundidade de amostragem. O efeito não significativo das doses de calcário, fósforo e potássio nos teores trocáveis de potássio no solo pode ser atribuído a: i) maior lixiviação do íon potássio na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2, uma vez que a porcentagem de saturação por bases esteve mais elevada e o íon potássio ocupa na série liotrópica uma posição na qual a energia de retenção é menor do que os íons cálcio, magnésio e amônio. Este fato pode ter favorecido que parte do íon potássio ficasse em solução e tivesse maior oportunidade de ser lixiviado, mesmo em uma condição de maior capacidade de troca de cátions, e; ii) grande absorção do nutriente pelas plantas, uma vez que o potássio pode ser o nutriente absorvido em maior quantidade em plantas forrageiras da espécie *Panicum maximum* (Werner et al., 1996). Entretanto, é pertinente lembrar que em ambiente no qual a pastagem é utilizada diretamente como fonte de alimentação animal, a maior parte dos nutrientes ingeridos pelos animais é excretada na forma de fezes e

urina, sendo retida ou removida no produto animal uma porção pequena em relação ao ciclado no sistema, como discutido por Monteiro & Werner (1997). Dessa forma, tanto a absorção dos nutrientes pelas plantas como pelos animais se constituem apenas em retardamento no fluxo de nutrientes do sistema (Monteiro & Werner, 1997). Outro ponto de importância é a variabilidade espacial das distribuições das excreções animais no campo, as quais são, via de regra, elevadas e favorecem a maior concentração de nutrientes em determinados locais, o que agrava a questão da lixiviação.

4.2 Atributos físicos do solo

Os efeitos das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio não foram significativos ($P > 0,05$) para a porosidade e a densidade do solo. A média geral de porosidade foi de 48% e a de densidade de $1,38 \text{ g cm}^{-3}$. Houve efeito significativo ($P < 0,01$) da profundidade de amostragem (p) na resistência à penetração (RP), que variou segundo modelo quadrático ($RP = 2,929 - 03,038p + 0,0006p^2$ $R^2 = 0,94^{**}$).

O efeito das doses de nitrogênio também foi significativo ($P < 0,01$) para a resistência à penetração. Na dose N2 a resistência à penetração foi de 2,56 MPa, sendo significativamente diferente (Tukey, $P < 0,05$) da observada na dose N1, de 2,29 MPa. As taxas de lotação médias na dose N1 foram de $6,3 \text{ UA ha}^{-1}$, enquanto que na dose N2 de $7,4 \text{ UA ha}^{-1}$, de forma que na dose N2 o efeito do pisoteio animal foi mais intenso.

O limite de resistência à penetração a partir do qual o crescimento de plantas forrageiras começa a ser afetado é algo controverso, tendo Imhoff et al. (2000) sugerido o valor de 2,5 MPa como limitante ao crescimento dessas plantas. Em relação à densidade crítica do solo, isto é, a densidade na qual o intervalo hídrico ótimo (IHO) é igual a zero, Leão (2002) relatou o valor de $1,38 \text{ g cm}^{-3}$ para o solo do local do presente experimento. O IHO (Letey, 1985; Silva et al., 1994) integra os efeitos no solo da aeração, resistência à penetração e potencial da água ajustados em função da densidade do solo. Leão (2002) descreveu que o IHO aumentou até a densidade do solo de $1,11 \text{ g cm}^{-3}$. Assim, o valor médio de densidade do solo de $1,38 \text{ g cm}^{-3}$, observado na média dos tratamentos, é igual ao calculado por Leão (2002). Por definição, quando a densidade do solo atinge valor maior ou igual àquele da densidade crítica, independentemente da umidade do solo, é esperado que a produção seja afetada. Todavia, as produções foram elevadas, não caracterizando que algum atributo físico do solo estivesse afetando o crescimento do capim-Tanzânia.

O ponto crucial no estabelecimento da densidade crítica do solo pelo conceito do IHO parece ser o da escolha do valor de resistência à penetração realmente limitante ao crescimento

das plantas. Dessa forma, o valor de 2,5 MPa, escolhido por Leão (2002) com base no experimento de Imhoff et al. (2000), parece ter sido subestimado. Atentos para esse fato, Leão et al. (2004) recalcularam o valor de densidade crítica relatado por Leão (2002) para valor de RP sugerido por Lipiec & Hakansson (2000) de 3,0 MPa. Com o aumento no valor crítico de RP a densidade crítica passou para $1,43 \text{ g cm}^{-3}$, valor maior do que o observado no presente experimento.

Outro aspecto a ser destacado é que o efeito da compactação é mais pronunciado na camada superficial do solo, local com grande concentração de raízes. Entretanto, o sistema radicular de gramíneas não fica restrito à camada superficial, absorvendo água e nutrientes nas camadas mais profundas do solo. Assim, a determinação do IHO, para melhor entendimento de seus efeitos na produtividade vegetal, deve ser feita a maiores profundidades, como sugerido por Letey (1985).

4.3 Altura e índice de área foliar do dossel

No ciclo de pastejo de verão, a interação entre doses de nitrogênio e o tempo de rebrotação da pastagem foi significativa ($P < 0,01$) para a altura e o índice de área foliar (IAF) do capim-Tanzânia. Houve significância ($P < 0,01$) na interação entre as doses de calcário, fósforo e potássio e o tempo de rebrotação para o IAF, tanto no ciclo de pastejo de verão como no de outono. No outono, houve significância ($P < 0,01$) do tempo de rebrotação na altura e das doses de nitrogênio no IAF do capim-Tanzânia.

No verão, o incremento em altura e IAF do dossel em função do tempo de rebrotação foi representado por equações de primeiro grau nas duas doses de nitrogênio (Figura 5), com taxas de incremento em altura de 2,4 e 2,1 cm dia^{-1} e em IAF de 0,17 e 0,11 dia^{-1} para as doses N2 e N1, respectivamente. O IAF, em cada dose de calcário, fósforo e potássio, também variou de forma linear com o tempo de rebrotação, em taxas semelhantes às aquelas obtidas para as doses de nitrogênio avaliadas (Figura 5).

No estudo do efeito do tempo de rebrotação na altura do dossel durante o outono, verificou-se bom ajuste do modelo quadrático (Figura 6), com altura máxima de 76 cm aos 27 dias. O IAF, em cada dose de calcário, fósforo e potássio, variou de forma linear em função do tempo de rebrotação, com taxas de acréscimo cerca de 2,5 vezes menores do que aquelas registradas no ciclo de pastejo de verão (Figura 6).

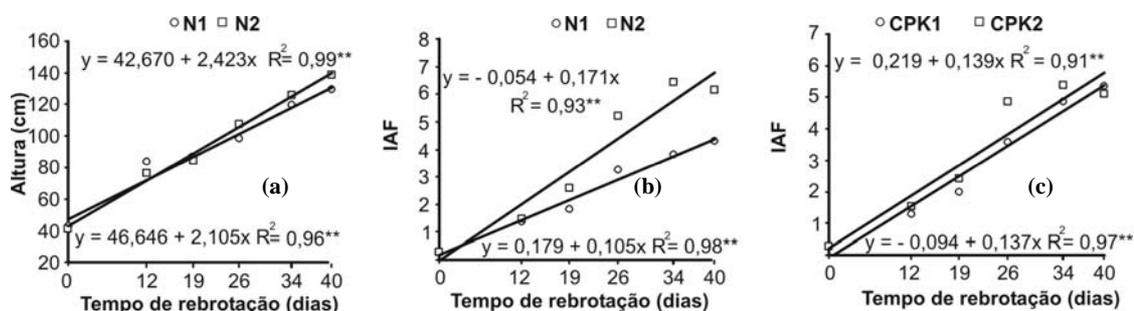


Figura 5 – Altura do dossel, dentro das doses de nitrogênio (a), e IAF do capim-Tanzânia, em cada dose de nitrogênio (b) e de calcário, fósforo e potássio (c), em função do tempo de rebrotação da pastagem no ciclo de pastejo de verão

Mello (2002) relatou variações das taxas de incremento em altura do capim-Tanzânia ao longo do ano entre 0,4 e 1,6 cm dia^{-1} , sendo menores do que as apresentadas nas Figuras 5 e 6. Os valores de IAF obtidos por Mello (2002) não podem ser comparados aos apresentados nas Figuras 5 e 6, pois foram obtidos por métodos distintos. Martha Júnior (2003) observou variação em altura do dossel de capim-Tanzânia que seguiu modelo exponencial em função do tempo de rebrotação da pastagem contado logo após a aplicação do adubo nitrogenado no primeiro dia após a saída dos animais do piquete, com a estabilização da altura verificada aos 20 dias de crescimento. Traçando um paralelo entre o comportamento da altura do dossel forrageiro no experimento de Martha Júnior (2003) e no ciclo de pastejo de outono (Figura 6), verifica-se, provavelmente, que a estabilização das alturas no primeiro caso foi em decorrência da maximização do crescimento, devido às condições climáticas favoráveis e às doses de nitrogênio empregadas, enquanto que no caso do ciclo de pastejo de outono (Figura 6) a estabilização foi devida a condições climáticas não tão adequadas ao crescimento das plantas (Figura 1). Rêgo et al. (2002), analisando o crescimento do capim-Tanzânia manejado em quatro alturas e amostrado aos 28, 56 e 84 dias, descreveram incrementos em IAF com a altura do dossel e variação com o tempo de amostragem de acordo com modelo quadrático, com redução do IAF aos 56 dias e elevação aos 84 dias em decorrência, segundo os autores, da reconstituição da área foliar pelo favorecimento do perfilhamento ocorrido por meio da maior eliminação de meristemas apicais no segundo período de coleta. Lupinacci (2002), com capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), descreveu comportamento inicialmente crescente dos valores médios do IAF correspondentes às alturas de manejo testadas, atingindo platô entre as alturas de 20 e 30 cm, independentemente do estágio de desenvolvimento da cultura (i.e. vegetativo ou reprodutivo). Entretanto, os resultados de IAF obtidos durante o estágio reprodutivo foram consistentemente superiores àqueles relatados durante o estágio vegetativo, embora semelhantes estatisticamente no nível de significância escolhido pelo autor no teste de

comparação de médias. Barbosa et al. (2002) descreveram comportamento quadrático do IAF do capim-Tanzânia quando ajustado em função do tempo de rebrotação da pastagem, com IAF do relvado menor que 1 no início do período de avaliação, o que é coerente com os resultados das Figuras 5 e 6. Entretanto, a taxa de incremento no IAF no experimento de Barbosa et al. (2002) foi menor do que as obtidas no ciclo de pastejo de verão (Figura 5), tendo, aos 35 dias de rebrotação, atingido o valor de IAF de 2 (Barbosa et al., 2002), semelhante aos valores obtidos no ciclo de pastejo de outono aos 31 dias de rebrotação (Figura 6).

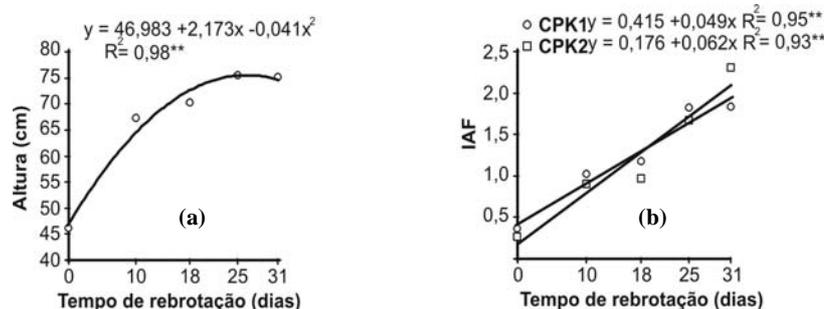


Figura 6 – Altura do dossel (a), na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, e IAF (b) do capim-Tanzânia, dentro das doses de calcário, fósforo e potássio, em função do tempo de rebrotação da pastagem no ciclo de pastejo de outono

No ciclo de pastejo de verão, as doses de nitrogênio resultaram em diferenças significativas (Tukey, $P < 0,05$) no que diz respeito à altura do dossel aos 26 e 40 dias de rebrotação. Quanto ao IAF, a dose de nitrogênio N2 proporcionou valores maiores ($P < 0,05$) do que a dose N1 a partir dos 19 dias de rebrotação. As doses de nitrogênio N1 e N2, no ciclo de pastejo de outono, proporcionaram valores de IAF de 1,06 e 1,40, respectivamente, os quais se diferenciaram significativamente (Tukey, $P < 0,05$). Os resultados do ciclo de pastejo de verão não corroboram os de Martha Junior (2003) que, ao avaliar doses de nitrogênio na forma de uréia de 40, 80, 120 kg ha^{-1} e testemunha, relatou que a produção de massa da parte aérea e a altura do dossel não foram alteradas pelas doses de nitrogênio. Martha Junior (2003) concluiu que a baixa eficiência agrônômica da uréia foi devida às elevadas perdas de nitrogênio no sistema, mas relatou que possivelmente possa também ter ocorrido efeito residual das adubações realizadas nos ciclos de pastejo anteriores ao ciclo estudado (nitrogênio de 80 kg ha^{-1} por ciclo de pastejo, num total de 800 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Em relação à comparação entre as médias de IAF proporcionadas pelas doses de calcário, fósforo e potássio, tanto no ciclo de pastejo de verão como no de outono, não ocorreram diferenças significativas (Tukey, $P > 0,05$) entre as duas doses testadas. Esse

resultado está de acordo com Albuquerque et al. (2002) que, estudando o capim-Elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) submetido a combinações de doses de fósforo e nitrogênio, relataram efeito não significativo das doses de fósforo na área das folhas do capim estudado em razão de o solo estar com teores de fósforo acima do necessário para o adequado desenvolvimento da cultura.

Independentemente das taxas de aumento em altura e IAF do dossel proporcionadas pelas doses de nitrogênio, doses de calcário, fósforo e potássio, tempo de rebrotação e suas interações, a variação em altura foi acompanhada de aumento do IAF no ciclo de pastejo de verão, com coeficiente de correlação de 0,87 na combinação de doses de calcário, fósforo e potássio com doses de nitrogênio CPK1N1; 0,93 na CPK1N2; 0,87 na CPK2N1 e 0,83 na CPK2N2. Foi observado início de florescimento das plantas aos 34 dias de rebrotação na penúltima avaliação do ciclo de pastejo de verão. Ao se correlacionar os valores de altura com IAF para o período de rebrotação sem florescimento (até os 34 dias), não foi obtido coeficiente de correlação com valor superior ao obtido para todo o tempo de rebrotação avaliado, indicando que o alongamento de colmos, característico do estágio reprodutivo de gramíneas tropicais, não estava em estágio adiantado, não afetando a relação entre as variáveis estruturais do dossel altura e IAF. Robson et al. (1988) relataram a ocorrência de maiores valores de IAF em plantas em desenvolvimento reprodutivo quando comparadas com plantas em fase de crescimento vegetativo. No ciclo de pastejo de outono os coeficientes de correlação entre altura do dossel e IAF foram de 0,68; 0,79; 0,65 e 0,47 nas combinações de doses de calcário, fósforo e potássio com doses de nitrogênio CPK1N1, CPK1N2, CPK2N1 e CPK2N2, respectivamente. Esses valores são menores do que os verificados no ciclo de pastejo de verão, devido à menor amplitude de variação nos valores de IAF e altura causadas pelas condições climáticas menos favoráveis ao crescimento da comunidade de plantas. O comportamento de incremento do IAF em função da altura do dossel é descrito na literatura em outros métodos de pastejo e espécies de plantas forrageiras (Gomide et al., 1997; Grasselli et al., 2000).

Com relação à participação relativa do IAF de cada categoria de folhas determinada como proporção do IAF total, procedeu-se a análise de variância considerando as categorias de folhas como variáveis independentes. As interações entre as categorias de folhas e doses de nitrogênio e entre as categorias de folhas e tempo de rebrotação da pastagem foram significativas ($P < 0,01$) para o IAF do capim-Tanzânia no ciclo de pastejo de verão. Houve significância ($P < 0,01$) da interação entre as categorias de folhas, doses de nitrogênio e tempo de rebrotação para o IAF no ciclo de pastejo de outono.

No ciclo de pastejo de verão pode-se verificar que na dose de nitrogênio N1 os valores de IAF correspondentes a folhas emergentes diferiram significativamente ($P < 0,10$) dos correspondentes às lâminas de folhas recém-expandidas e lâminas de folhas maduras, as quais

não diferiram entre si (Figura 7). Na dose de nitrogênio N2 ocorreram diferenças significativas ($P < 0,10$) do IAF das folhas emergentes quando comparado com o IAF das lâminas de folhas recém-expandidas. Entretanto, as doses de nitrogênio não alteraram a participação relativa de cada categoria de folhas determinada como proporção do IAF total (Figura 7), e sim, a taxa de incremento no IAF, independentemente da categoria de folha.

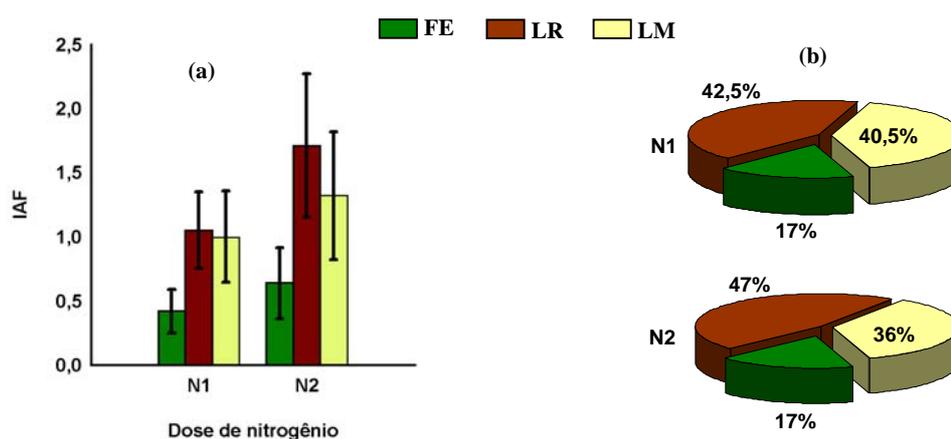


Figura 7 – Índice de área foliar das folhas emergentes (FE), lâminas de folhas recém-expandidas (LR) e lâminas de folhas maduras (LM) com seus respectivos intervalos de confiança (a) e a participação relativa do IAF de cada categoria de folha determinada como proporção do IAF total (b), dentro da cada dose de nitrogênio no ciclo de pastejo de verão

Comparando as categorias de folhas, em cada tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão, ocorreram diferenças significativas ($P < 0,10$) entre as folhas emergentes com as demais categorias aos 34 e 40 dias de rebrotação (Figura 8). Nesse caso, e não da mesma forma como ocorrido nas doses de nitrogênio, o tempo de rebrotação mais avançado reduziu a participação relativa do IAF das folhas emergentes e aumentou a participação das lâminas de folhas maduras, indicando mudanças morfológicas e não de taxas de incremento (Figura 8). Deve-se analisar com atenção a participação relativa do IAF das categorias de folhas no tempo de rebrotação de 12 dias, pois devido à pequena quantidade e área de folhas emergentes, essas foram somadas aos valores das lâminas de folhas recém-expandidas, não significando que não houvesse essa categoria de folhas naquele tempo de rebrotação. O mesmo é válido para o primeiro tempo de rebrotação, onde toda a área foliar residual foi considerada lâmina de folha madura.

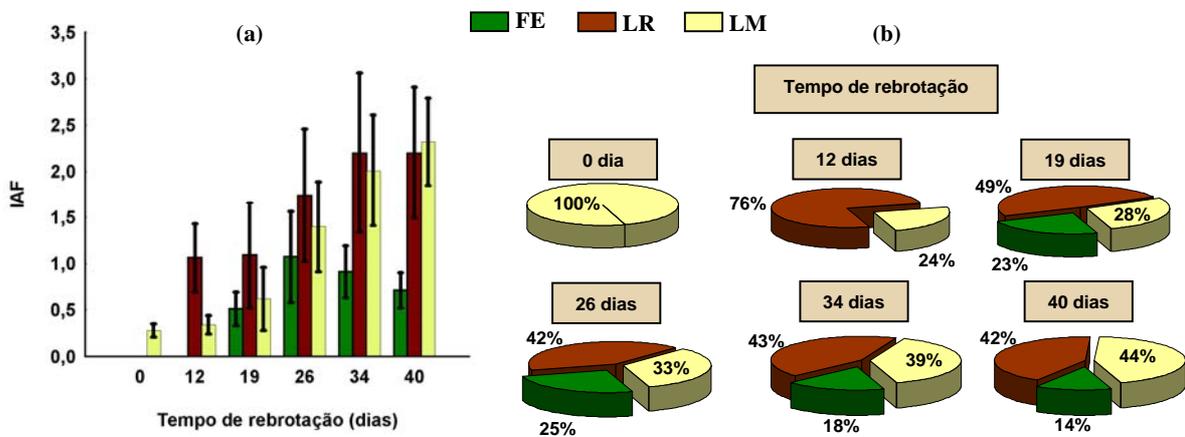


Figura 8 – Índice de área foliar das folhas emergentes (FE), lâminas de folhas recém-expandidas (LR) e lâminas de folhas maduras (LM) com seus respectivos intervalos de confiança (a) e a participação relativa do IAF de cada categoria de folha determinada como proporção do IAF total (b), dentro de cada tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão

No ciclo de pastejo de outono, as categorias de folhas se diferenciaram significativamente ($P < 0,10$) quanto ao IAF aos 18 e 25 dias de rebrotação na dose de nitrogênio N1, e a partir dos 10 dias de rebrotação na dose N2 (Figuras 9 e 10). Entretanto, ao se analisar a participação relativa do IAF das categorias de folhas em relação ao IAF total, verifica-se grande contribuição do IAF proveniente das lâminas de folhas maduras, com pequena participação de folhas mais jovens devido, principalmente, ao menor crescimento da comunidade de plantas nessa época do ano.

Rêgo et al. (2000), estudando o capim-Tanzânia sob lotação contínua, com taxa de lotação variável e manejado em quatro alturas, descreveram as participações relativas em relação ao IAF total do IAF correspondente às folhas emergentes, lâminas de folhas recém-expandidas e lâminas de folhas maduras de 25%, 42% e 33% aos 25 cm, de 31%, 43% e 27% aos 44 cm, de 28%, 42% e 30% aos 57 cm e de 26%, 39% e 35% aos 75 cm de altura do dossel, como média dos meses de fevereiro, março e abril. Independentemente das alturas estudadas, as lâminas de folhas recém-expandidas corresponderam à maior proporção do IAF total, sendo que as folhas emergentes podem ter sido selecionadas pelos animais devido a sua posição mais favorável à desfolhação, no topo do dossel. No entanto, mesmo em rebrotação, os resultados referentes ao ciclo de pastejo de verão (Figuras 7 e 8) concordam com Rêgo et al. (2000) uma vez que a maior parte do IAF total foi proveniente de lâminas de folhas recém-expandidas, seguidos pelas lâminas de folhas maduras e pelas folhas emergentes, mas discordam com os relatados para o ciclo de pastejo de outono (Figuras 9 e 10).

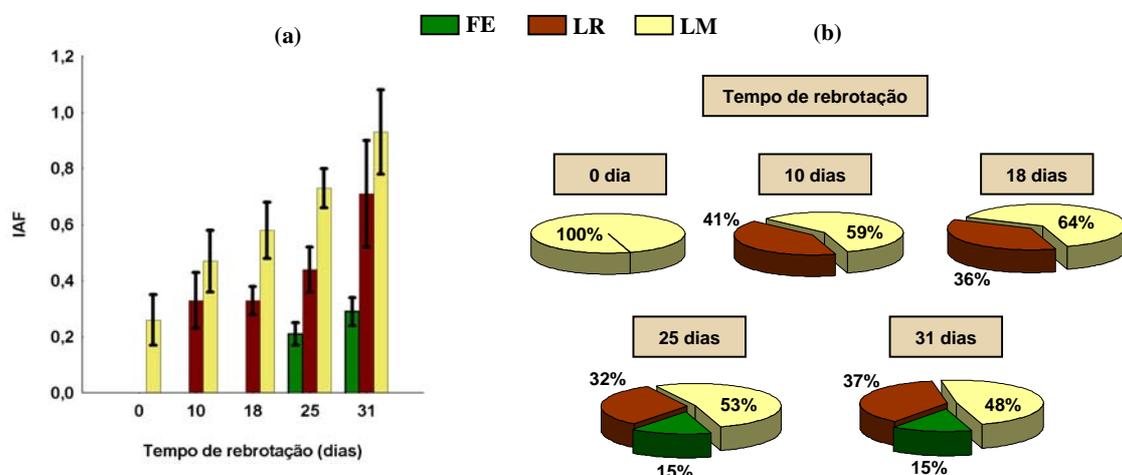


Figura 9 – Índice de área foliar das folhas emergentes (FE), lâminas de folhas recém-expandidas (LR) e lâminas de folhas maduras (LM) com seus respectivos intervalos de confiança (a) e a participação relativa do IAF de cada categoria de folha determinada como proporção do IAF total (b), dentro de cada tempo de rebrotação e da dose de nitrogênio N1 no ciclo de pastejo de outono

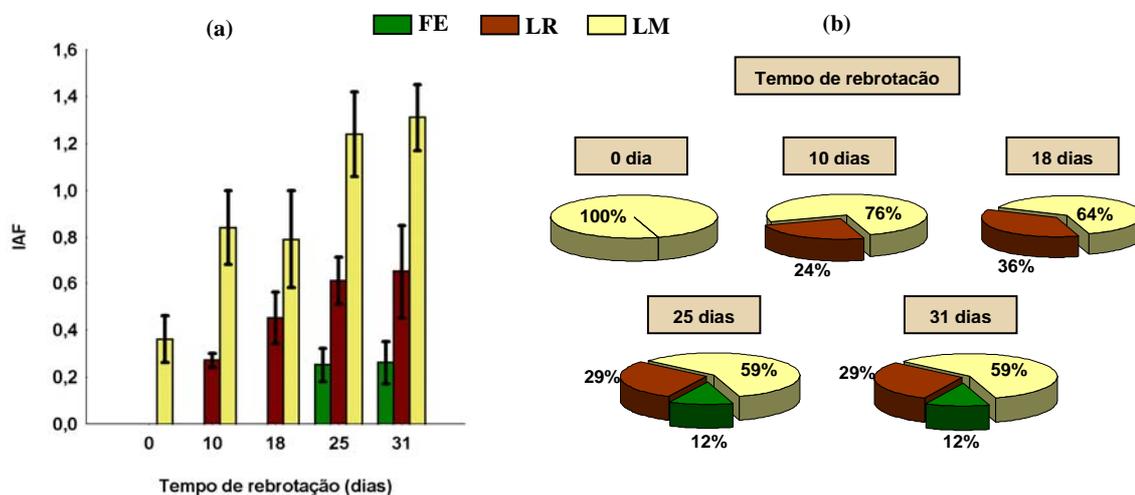


Figura 10 – Índice de área foliar das folhas emergentes (FE), lâminas de folhas recém-expandidas (LR) e lâminas de folhas maduras (LM) com seus respectivos intervalos de confiança (a) e a participação relativa do IAF de cada categoria de folha determinada como proporção do IAF total (b), dentro de cada tempo de rebrotação e da dose de nitrogênio N2 no ciclo de pastejo de outono

Segundo Parsons et al. (1988), o maior efeito da desfolhação na produção do pasto é a redução da fotossíntese em razão do decréscimo da área das folhas, mas práticas de desfolhação podem modificar também a capacidade fotossintética do relvado, alterando a proporção de folhas em várias idades, uma vez que a capacidade fotossintética das folhas declina com a idade. Entretanto, os resultados de Parsons et al. (1988) com azevém perene (*Lolium perenne*) não confirmaram a hipótese de que pastos manejados por meio de lotação contínua têm maior proporção de folhas jovens com grande potencial fotossintético, quando comparados com pastos manejados por meio de lotação rotacionada, mesmo porque sob lotação contínua existe grande contribuição da bainha para a área foliar do dossel, a qual é ineficiente do ponto de vista fotossintético (Parsons et al., 1988).

Os resultados observados na Figura 8 concordam com os de Parsons et al. (1988) no sentido de que inicialmente o índice de área foliar total é pequeno (menor do que 0,5) e proveniente em sua maioria de folhas de idade avançada, ocorrendo rápido aumento de área das folhas emergentes, de forma que aos quatro dias de rebrotação as folhas emergentes já respondem por 45% da área foliar total, com conseqüente decréscimo na área das lâminas de folhas maduras. Após oito dias de rebrotação são as folhas recém-expandidas do azevém perene que compõem a maior proporção da área das folhas, com incrementos acompanhados pelas lâminas de folhas maduras, as quais em idade mais avançada respondem pela maior proporção do IAF total. Pela análise da Figura 8, verificam-se aumentos da proporção do IAF proveniente das lâminas de folhas maduras já a partir dos 12 dias, sendo que aos 40 dias essa categoria respondeu por 44% do IAF total. Essas folhas, ao serem expostas novamente à luz solar por meio do pastejo, constituirão a área foliar residual do próximo período de rebrotação e as conseqüências dessa constituição para a comunidade de plantas poderão ser mais bem entendidas pela análise do acúmulo de forragem do capim-Tanzânia.

4.4 Acúmulo de forragem

O acúmulo de forragem foi considerado em termos de massa de folhas (FOL= somatório das FE, LR e LM), colmos mais bainhas (CB), material morto (MT) e da parte aérea (PA). Com relação à produção de folhas, a interação entre doses de nitrogênio e tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$) no ciclo de pastejo de verão. Também, nessa época o efeito das doses de calcário, fósforo e potássio foi significativo ($P < 0,01$). No ciclo de pastejo de outono, houve significância ($P < 0,01$) para as doses de nitrogênio e para a interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação.

A variação da massa de folhas com o tempo de rebrotação da pastagem no ciclo de pastejo de verão seguiu modelo quadrático, em ambas as doses de nitrogênio (Figura 11). No

ciclo de pastejo de outono, a massa de folhas variou de forma linear com o tempo de rebrotação, na dose de calcário, fósforo e potássio CPK1, à taxa de $35,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e, de acordo com modelo quadrático na dose CPK2 (Figura 11). Dessa forma, no ciclo de pastejo de verão, onde as condições climáticas eram mais favoráveis ao crescimento, o tempo de rebrotação, interagindo significativamente com as doses de nitrogênio, foi mais efetivo em favorecer o acúmulo de folhas do que no ciclo de pastejo de outono, no qual o tempo interagiu significativamente com as doses de calcário, fósforo e potássio.

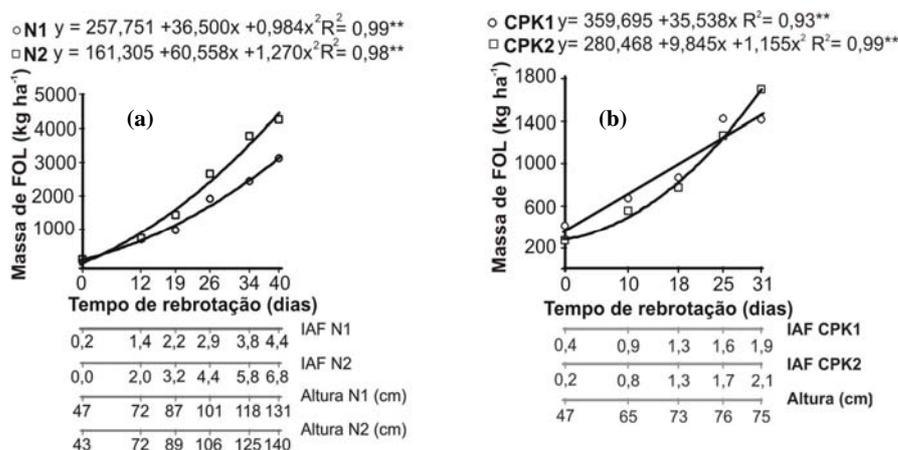


Figura 11 - Acúmulo de massa de folhas (FOL) no ciclo de pastejo de verão (a), dentro das doses de nitrogênio, e no ciclo de pastejo de outono (b), em cada dose de calcário, fósforo e potássio, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

Martha Junior (2003) relatou comportamento linear e positivo da massa de folhas do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem (período de 27 dias) à taxa de 89 e $101 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nos ciclos de primavera e verão, respectivamente, e aos 27 dias obteve produções de 2561 e 2825 kg ha^{-1} de massa de folhas, na média dos três resíduos pós-pastejo estudados. As produções de massa de folhas obtidas pelas equações da Figura 11 no mesmo período de crescimento e em mesma época do ano avaliada por Martha Júnior (2003) foram de 2722 e 1961 kg ha^{-1} , nas doses de nitrogênio N2 e N1, respectivamente. Deve-se destacar que o manejo da adubação nitrogenada no experimento de Martha Junior (2003) consistia na aplicação de nitrogênio de 80 kg ha^{-1} por ciclo de pastejo, em um total de $800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com avaliações iniciadas 11 dias após o início da rebrotação do capim e correspondendo à fase linear de crescimento das plantas, não contabilizando, por consequência, a fase de crescimento inicial mais lenta, onde estão ocorrendo taxas de crescimento dependentes da área foliar

remanescente e da taxa de acréscimo nessa área. Dessa forma, quando a variação do acúmulo não é linear, tomando-se como base o acúmulo médio, obtido pela razão entre a diferença da massa de forragem pré e pós pastejo e o tempo de rebrotação, são obtidos valores extremamente adequados para comparação entre tratamentos impostos, mas não para a descrição efetiva e correta do acúmulo ao longo do tempo, com resultados muitas vezes contrastantes, como discutido por Martha Junior (2003).

No ciclo de pastejo de verão, ao se comparar a massa de folhas, dentro do tempo de rebrotação, verifica-se que a dose de nitrogênio N2 proporcionou produções maiores e significativas (Tukey, $P < 0,05$) do que a N1, a partir dos 19 dias. Ao final do período de rebrotação (aos 40 dias) foram obtidas as produções de 4616 e 3292 kg ha⁻¹ nas doses N2 e N1, respectivamente. Uma vez que as produções de folhas nas doses de calcário, fósforo e potássio CPK2 e CPK1 foram de 2146 e 1983 kg ha⁻¹, respectivamente, sendo significativamente diferentes (Tukey, $P < 0,05$), é pertinente traçar um paralelo entre o efeito das doses de nitrogênio e o das doses de calcário, fósforo e potássio. Comparando os valores do acúmulo de folhas aos 40 dias, proporcionado pelas doses de nitrogênio, observou-se que a dose N2 produziu 2,2 e 2,3 vezes mais que as doses de calcário, fósforo e potássio CPK2 e CPK1, respectivamente. Ao se fazer a mesma comparação tendo em vista a dose N1 de nitrogênio, chega-se a valores de 1,5 e 1,7 vezes os valores de massa de folhas nas doses CPK2 e CPK1, respectivamente. Dessa forma, as doses de nitrogênio, aos 40 dias de rebrotação, foram mais eficientes em promover o acúmulo das folhas do capim-Tanzânia do que as doses de calcário, fósforo e potássio, corroborando os resultados de Monteiro & Werner (1977). Andrade et al. (2000), avaliando quatro doses combinadas de nitrogênio e potássio ao longo do tempo de rebrotação em capim-Elefante, relataram acréscimos segundo modelo exponencial na massa de folhas, não sendo possível, entretanto, isolar o efeito do nitrogênio na produção de folhas do capim estudado.

No ciclo de pastejo de outono, as massas de folhas nas doses de nitrogênio N2 e N1 foram de 1050 e 817 kg ha⁻¹, respectivamente, sendo a diferença entre elas significativa (Tukey, $P < 0,05$). Na dose CPK2 a produção de folhas foi significativamente (Tukey, $P < 0,05$) maior do que na dose CPK1 somente no maior tempo de rebrotação (aos 31 dias). Pela equação de regressão apresentada na Figura 11, as massas de folhas nas doses CPK1 e CPK2, aos 31 dias, foram de 1461 e 1696 kg ha⁻¹, respectivamente. Assim, no ciclo de pastejo de outono, as doses de calcário, fósforo e potássio possibilitaram produções de folhas 1,4 a 2,1 vezes superiores àquelas proporcionadas pelas doses de nitrogênio. As causas dos comportamentos contrastantes, comparando os crescimentos de verão e outono, entre as doses de nitrogênio e as de calcário, fósforo e potássio na produção de folhas do capim-Tanzânia estão, muito provavelmente, relacionadas à dinâmica dos nutrientes fósforo, potássio e nitrogênio no solo do ambiente estudado. Deve-se ressaltar que as doses de nitrogênio foram aplicadas em período

que antecedeu o ciclo de pastejo de verão, de forma que a disponibilidade do nutriente no outono, seja pela dinâmica de perdas ou pelas condições de clima menos favoráveis à sua absorção, era provavelmente menor.

Para a produção de colmos+bainhas, a interação entre as doses de calcário, fósforo e potássio e o tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$) no ciclo de pastejo de verão. No ciclo de pastejo de outono houve significância ($P < 0,01$) para o tempo de rebrotação. A análise de variância mostrou efeito não significativo ($P > 0,05$) das doses de nitrogênio em ambos os ciclos, e das doses de calcário, fósforo e potássio, no ciclo de pastejo de outono.

O acúmulo de colmos+bainhas no ciclo de pastejo de verão e dentro das doses de calcário, fósforo e potássio seguiu modelo quadrático, quando ajustado em função do tempo de rebrotação (Figura 12). Os valores mínimos de massa de colmos+bainhas foram obtidos aos 17 dias (1718 kg ha^{-1}) e 9 dias (1653 kg ha^{-1}) de rebrotação, nas doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2, respectivamente. O comportamento da produção de colmos+bainhas ao longo da rebrotação do capim-Tanzânia no ciclo de pastejo de outono também se ajustou ao modelo quadrático (Figura 12) e, nesse caso, foi obtido valor máximo desse atributo aos 17 dias da rebrotação. Martha Júnior (2003) relatou variação exponencial da massa de colmos+bainhas em função do tempo de rebrotação, mas a amplitude de variação nos valores de massa foram maiores e com menor tempo de rebrotação do que os apresentados na Figura 12, caracterizando estruturas distintas do dossel forrageiro em decorrência da velocidade dos processos de crescimento ser diferentes entre os dois experimentos.

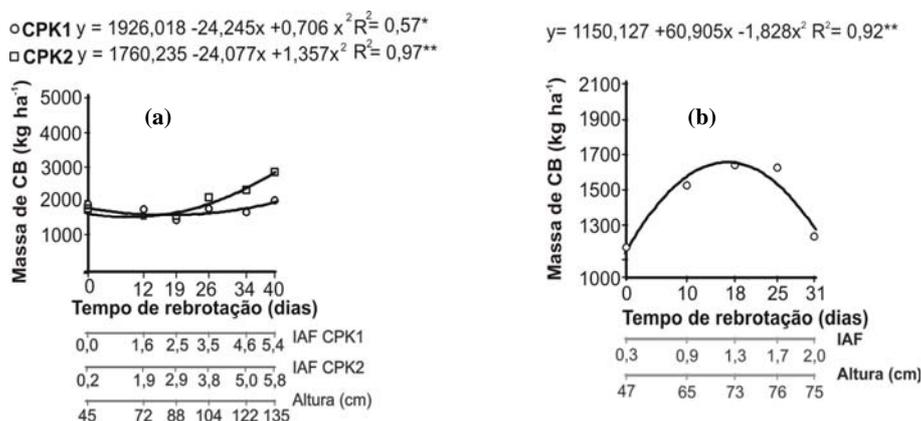


Figura 12 - Acúmulo de colmos+bainhas (CB) no ciclo de pastejo de verão (a), dentro das doses de calcário, fósforo e potássio, e no ciclo de pastejo de outono (b), na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

As doses de calcário, fósforo e potássio diferiram significativamente (Tukey, $P < 0,05$) nos dois últimos tempos de rebrotação avaliados (aos 34 e 40 dias) para a produção de colmos+bainhas. Assim, até 26 dias do ciclo de pastejo de verão, o tempo de rebrotação causou acúmulo médio de 1942 kg ha^{-1} . Essa quantidade de colmos+bainhas representou 51% e 43% da massa de forragem verde (massa de folhas + colmos+bainhas) nas doses de nitrogênio N1 e N2, respectivamente. No outono, as doses de nitrogênio N1 e N2 proporcionaram massa de colmos+bainhas de 1330 e 1547 kg ha^{-1} , respectivamente. O efeito das doses de calcário, fósforo e potássio não foi significativo ($P > 0,05$) para essa variável. Assim, ficou evidente que a partir dos 26 dias de rebrotação do ciclo de verão, o qual esteve associado ao IAF de 3,5 e 3,8 nos tratamentos CPK1 e CPK2, respectivamente, e altura do dossel de 104 cm, o acúmulo de colmos+bainhas foi mais expressivo. É razoável supor que o capim-Tanzânia alongou seus colmos em uma tentativa de expor lâminas foliares à luz solar evitando o auto-sombreamento proporcionado em IAF crítico, onde cerca de 95% da luz está sendo interceptada pelas folhas. Robson (1981) relatou que alongamento de colmos pode favorecer melhor distribuição de luz nas camadas inferiores da pastagem. Todavia, o IAF onde 95% da luz é interceptada não foi determinado no presente experimento, impedindo a constatação dessa suposição. De qualquer forma, o capim-Tanzânia mostrou-se uma espécie com plasticidade morfológica, a qual é diretamente relacionada com o tempo de rebrotação e à velocidade na qual os processos de crescimento ocorrem. Santos (2002) propôs que no manejo da espécie *Panicum maximum* deve-se dar ênfase ao controle de colmos visando o aumento da qualidade da forragem consumida pelos animais e a facilidade no manejo, uma vez que, dependendo da velocidade dos processos de crescimento e do tempo de rebrotação, grande proporção da massa de forragem verde pode ser composta pela massa dos colmos+bainhas.

Tornou-se evidente o aumento da proporção de folhas em relação à de colmos+bainhas pelas doses de nitrogênio, bem como o expressivo efeito das doses de calcário, fósforo e potássio na produção de colmos+bainhas (Figuras 11 e 12), indicando a necessidade de mais estudos do efeito de nutrientes na plasticidade morfológica do capim-Tanzânia. A literatura nacional relata, na maior parte dos casos, decréscimo na relação folha:colmo com a intensificação da adubação (Albuquerque et al., 2002; Quadros, 2001), devido, principalmente, ao acréscimo na velocidade dos processos de crescimento, os quais fazem com que em menor tempo de rebrotação a luz passe a ser limitante à comunidade de plantas, obrigando-as a mudarem sua forma na busca de adaptação às novas condições do meio.

Com relação ao acúmulo de material morto, somente foi observada significância ($P < 0,01$) do tempo de rebrotação da pastagem em ambos os ciclos de pastejo avaliados. O acúmulo de material morto variou linearmente em função do tempo de rebrotação da pastagem,

com taxa constante de $22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 13) no ciclo de pastejo de verão e de $31 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 13) no ciclo de pastejo de outono, não sendo modificado pelas doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio. Esses resultados corroboram os de Giacomini (2003) com capim-Tanzânia submetido a doses de nitrogênio de 150 e 300 kg ha^{-1} .

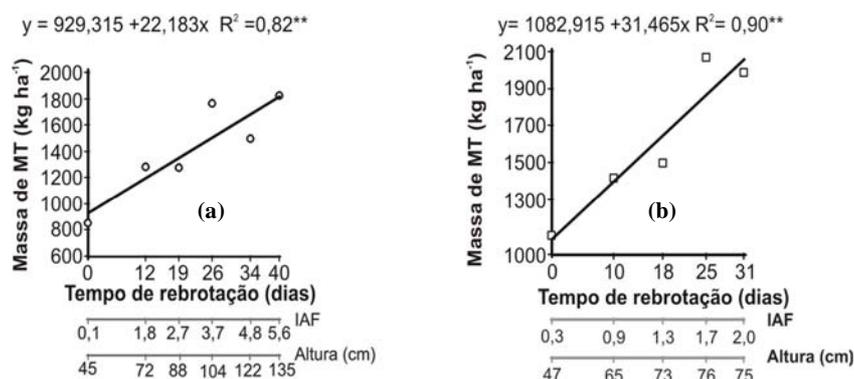


Figura 13 - Acúmulo de material morto (MT) no ciclo de pastejo de verão (a) e no de outono (b) em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

Martha Júnior (2003) descreveu variação linear da massa de material morto com o tempo de rebrotação, com pequenas diferenças na quantidade de material morto nas avaliações realizadas durante a primavera e o verão. Todavia, as taxas de acréscimo relatadas por Martha Júnior (2003) são cerca de duas vezes maiores do que as apresentadas na Figura 13, indicando mais uma vez, que a velocidade dos processos de crescimento foi distinta entre os experimentos. Zimmer (1999), estudando o capim-Aruana (*Panicum maximum* cv. Aruana) adubado com a dose de nitrogênio de 150 kg ha^{-1} e comparado à testemunha, relatou efeito não significativo da dose desse nutriente na produção de massa de material morto devido à senescência também ocorrida no tratamento testemunha, consequência da redistribuição do nitrogênio das partes mais velhas para as mais novas da planta. Giacomini (2003) justificou a não ocorrência de diferenças na produção de material morto entre doses de nitrogênio à grande quantidade de matéria orgânica no solo, disponibilizando o nutriente, e ao parcelamento de maior parte do adubo nitrogenado (2/3) no final da época de verão, o que melhorou a distribuição da produção de forragem ao longo do ano, mas também afetou o crescimento, pois ocorreu em época na qual a planta não expressou todo seu potencial produtivo.

A interação entre as doses de calcário, fósforo e potássio, doses de nitrogênio e o tempo de rebrotação da pastagem foi significativa ($P < 0,01$) para a produção da parte aérea do capim-Tanzânia no verão. No ciclo de pastejo de outono, houve significância do tempo de

rebrotção, não sendo verificados efeitos significativos ($P < 0,01$) das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio.

A produção da parte aérea no ciclo de pastejo de verão variou linearmente à taxa de $97 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ com o tempo de rebrotção na combinação de doses de calcário, fósforo e potássio com doses de nitrogênio CPK1N1. Nas combinações CPK1N2 e CPK2N1 as variações seguiram modelos quadráticos e na combinação CPK2N2 obteve-se ajuste ao modelo polinomial de terceiro grau (Figura 14). No ciclo de pastejo de outono, a produção da parte aérea foi incrementada de forma linear, com taxa de acúmulo de $76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 15).

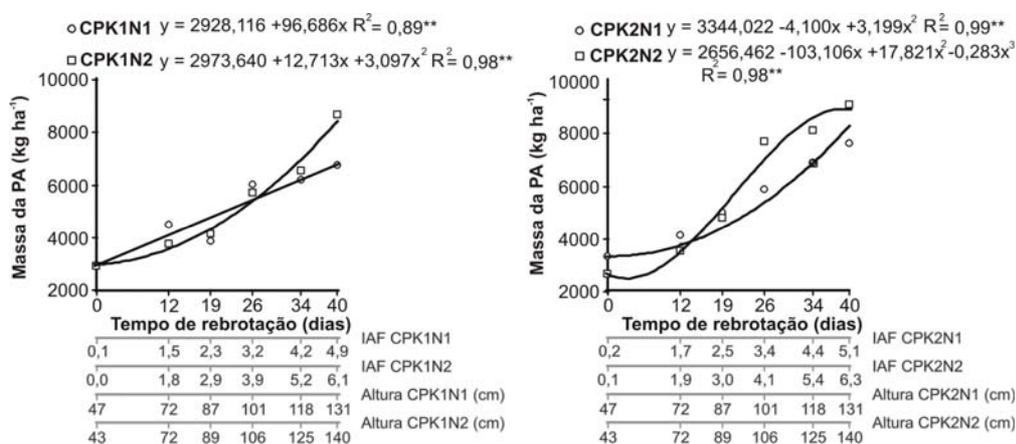


Figura 14 - Acúmulo de forragem da parte aérea (PA) do capim-Tanzânia, em cada combinação de doses de calcário, fósforo e potássio com doses de nitrogênio, em função do tempo de rebrotção da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

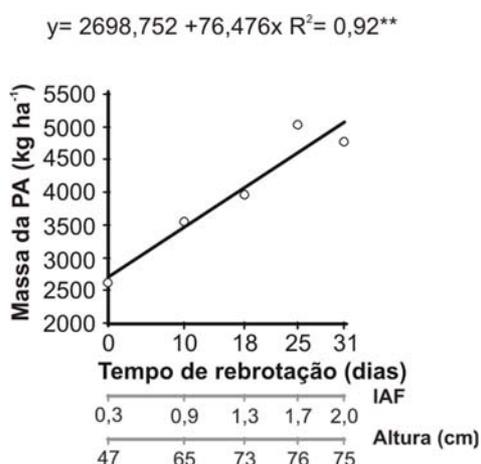


Figura 15 - Acúmulo de forragem da parte aérea (PA) no ciclo de pastejo de outono em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

O tempo de rebrotação, no ciclo de pastejo de verão e na combinação de doses de calcário, fósforo e potássio com doses de nitrogênio CPK2N2, foi mais efetivo quando comparado com o efeito nas demais combinações, na maximização do potencial de produção do capim-Tanzânia, atingindo produção máxima de 8954 kg ha⁻¹ aos 39 dias. O tempo de rebrotação, aos 40 dias de crescimento, causou acúmulos de 6796, 8437 e 8298 kg ha⁻¹ nas combinações CPK1N1, CPK1N2 e CPK2N1, respectivamente. Pela análise dos coeficientes das equações apresentadas nas Figuras 11 e 12, verifica-se que do total da massa de forragem produzida, o tempo de rebrotação, dentro das doses de nitrogênio, foi mais eficiente em potencializar o crescimento de folhas do que em promover o crescimento de colmos+bainhas, dentro das doses de calcário, fósforo e potássio, uma vez que as perdas com material morto não foram alteradas pelas adubações testadas. Assim, o maior acúmulo de massa da parte aérea no final do tempo de rebrotação do tratamento CPK2N2 não deve ser visto como vantajoso, pois a partir dos 26 dias de rebrotação a proporção de colmos+bainhas foi significativamente incrementada.

Em relação à produção da parte aérea, no mês de março de 1999, Brâncio et al. (2003) relataram produção de 5450 kg ha⁻¹ do capim-Tanzânia em lotação rotacionada com períodos de descanso e ocupação de 35 e 7 dias, respectivamente. Giacomini (2003) observou, com o capim-Tanzânia, produções de 4460 kg ha⁻¹ no período de verão. As produções de forragem no ciclo de pastejo de verão (Figura 14), aos 40 dias de rebrotação, são cerca de 40% maiores que as relatadas por Giacomini (2003). Entretanto, no caso de Giacomini (2003) o

período de rebrotação não foi fixo, sendo função do resíduo pós-pastejo, o que explica as menores produções no ciclo, mas não necessariamente durante o ano, devido ao maior número de ciclos de pastejo. Giacomini (2003) relatou taxas médias diárias de acúmulo de forragem de 48,69 e 56,53 kg ha⁻¹ dia⁻¹ nas doses de nitrogênio de 150 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, não sendo essas médias significativamente diferentes. Calculando a taxa de acúmulo médio, do ciclo de pastejo de verão, para as produções obtidas aos 39 dias na combinação CPK2N2 e aos 40 dias para as combinações CPK1N1, CPK1N2 e CPK2N1 foram observados os valores de 230; 170; 211 e 207 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente (Figura 14). Favoretto et al. (1985) e Soria (2002) relataram que doses de nitrogênio alteraram as taxas médias de acúmulo de forragem dos capins Colonião e Tanzânia, mas os valores médios foram menores que os calculados pelas equações de regressão apresentadas na Figura 14, uma vez que estas são referentes ao ciclo de pastejo no qual o potencial produtivo da espécie estava maximizado devido às condições climáticas favoráveis e às condições de fertilidade do solo impostas pelos tratamentos.

No ciclo de pastejo de verão, ao se comparar as doses de nitrogênio N1 e N2, diferenças significativas (Tukey, P<0,05) foram observadas aos 40 dias de crescimento na dose de calcário, fósforo e potássio CPK1 e aos 26 e 34 dias na dose CPK2. Já a dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 proporcionou maiores produções do que a dose CPK1 aos 40 dias na dose de nitrogênio N1 e aos 26 e 34 dias na dose N2. Cabe destacar que o incremento na massa da parte aérea promovido pelas doses de calcário, fósforo e potássio foi principalmente devido à produção de colmos+bainhas. A dose de nitrogênio N2, a qual incrementou a produção de folhas (Figura 11), potencializou a resposta da dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 (Figura 14) na produção da parte aérea.

Pela análise da Figura 14 fica claro o efeito das combinações de doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio na velocidade dos processos de crescimento. Assim, no tratamento CPK1N1 a variação linear da massa da parte aérea com o tempo de rebrotação indica pequena velocidade dos processos de crescimento, estando mais adequada ao período de rebrotação de 40 dias. Nos tratamentos CPK1N2 e CPK2N1 o incremento quadrático da massa da parte aérea no intervalo de tempo avaliado é indicativo de maior velocidade nos processos de crescimento, que necessariamente deve vir acompanhada de menor tempo de rebrotação quando se visa uma colheita mais eficiente da forragem, com menor acúmulo de material morto e de colmos. No tratamento CPK2N2 o tempo de rebrotação expressou todo o potencial de acúmulo de massa da parte aérea nas condições ambientais do experimento, como visto pela curva sigmóide. Assim, ficou claro o caráter dinâmico do acúmulo de massa da parte aérea, variando de acordo com a velocidade dos processos de crescimento que é função das condições de clima e de fertilidade do solo.

4.5 Massa de raízes

Houve significância ($P < 0,01$) da profundidade de amostragem na concentração de raízes do capim-Tanzânia no perfil do solo. O efeito das doses de calcário, fósforo e potássio e das doses de nitrogênio não foi significativo ($P > 0,05$). A concentração de raízes (CR), em g kg^{-1} , variou segundo modelo quadrático, em função da profundidade (p) de amostragem (em cm) ($\text{CR} = 13,906 - 0,891p + 0,0152p^2$, $R^2 = 0,98^{**}$), sendo obtido o valor mínimo de $0,85 \text{ g kg}^{-1}$ aos 29,3 cm de profundidade.

Kanno et al. (1999b) e Kanno et al. (2001) avaliaram a massa de raízes do capim-Tanzânia manejado sob lotação contínua e cultivado em duas condições de fertilidade do solo, com a altura média do dossel de 46 cm por ocasião das amostragens. A altura do dossel por ocasião das amostragens no presente trabalho era de 55 cm. Os resultados de Kanno et al. (1999b) foram referentes a amostragens realizadas nas posições espaciais da touceira e entre touceiras, enquanto que as do presente trabalho são equivalentes à posição espacial da touceira. Apesar dessas ressalvas, o efeito não significativo ($P > 0,05$) das doses de calcário, fósforo e potássio e das doses de nitrogênio concordam com os relatados por Kanno et al. (1999b).

Em condições de adubações mais intensas, devido às produções mais elevadas da parte aérea (Figuras 12 e 13), um conseqüente aumento da massa de raízes é esperado (Kanno et al., 1999a; Rao et al., 1995; Rao et al., 1996). Por outro lado, aumentos na produção de forragem implicam incrementos na taxa de lotação, o que pode acarretar redução no sistema radicular das gramíneas (Rodrigues & Cadima-Zevallos, 1991), desde que promovam no solo condições físicas que impeçam o crescimento das raízes ou a absorção de água.

Kanno et al. (1999b) atribuíram a não resposta da massa de raízes às condições de fertilidade do solo impostas pelos tratamentos devido ao balanço entre o efeito positivo das adições de fertilizantes e o efeito negativo da maior taxa de lotação na produção de raízes. Esse aspecto não se confirmou no presente estudo, uma vez que não foram observados efeitos significativos dos tratamentos nos atributos físicos do solo (como descrito em 4.2), sendo necessário que a dinâmica do crescimento radicular seja avaliada também do ponto de vista morfológico, uma vez que variações nas estratégias de absorção de nutrientes por gramíneas tropicais estão relacionadas a esse atributo (Santos Junior et al., 2001). Em trabalho com capim-Tanzânia, Kanno et al. (2001) relataram que doses de fósforo e nitrogênio incrementaram a massa de raízes, a concentração e o conteúdo de fósforo e de nitrogênio nas raízes, enquanto que promoveram decréscimo no comprimento de raízes por unidade de massa radicular.

Outro ponto a se destacar é o de que a maioria das quantificações do sistema radicular relatadas na literatura não fazem distinção entre raízes vivas e mortas, bem como entre

as raízes provenientes da cultura em estudo e as remanescentes dos cultivos anteriores. Entende-se que este é um assunto que necessita de mais estudos, na busca de melhor explicar a relação da dinâmica da renovação do sistema radicular em ambiente de pastagem, principalmente se analisado no aspecto ecofisiológico de uma comunidade de plantas, com a descrição dos atributos estruturais do dossel.

A descrição da diminuição da massa de raízes com a profundidade de amostragem (Tabela 1) é bem relatada na literatura (Barley, 1953; Fisher et al., 1994; Fukuyama et al., 1990; Kanno et al., 1994; Kanno et al., 1999b). Entretanto, a participação relativa da massa do sistema radicular determinada como proporção da massa total da planta é algo controverso, sendo que resultados mais consistentes são relatados em lotação contínua em que o pasto é mantido em condição de equilíbrio (“steady state”).

Do total de massa de raízes até a profundidade de amostragem de 40 cm, 65% se localizou na camada de 0 a 10 cm, 21% na camada de 10 a 20 cm, 9% na camada de 20 a 30 cm e 5% na camada de 30 a 40 cm. Carvalho et al. (1992) descreveram que da massa de raízes avaliada na camada de 0 a 195 cm de profundidade 80% se encontravam nos primeiros 45 cm de profundidade. Kanno et al. (1999a) relataram que a massa de raízes secas representou 53 a 76% da fitomassa (parte aérea+raízes) de cinco capins estudados. As amostragens referentes à quantificação do sistema radicular no presente estudo foram realizadas aos 28 dias do ciclo de pastejo de verão. Nesse tempo de rebrotação a quantidade de raízes na camada do solo de 0 a 40 cm representou 79% da fitomassa nas combinações CPK1N1, CPK1N2 e CPK2N1 e 71% na CPK2N2. Todavia, esses resultados podem representar superestimativas uma vez que são referentes a concentrações de raízes (massa de raízes por massa de solo) obtidas na projeção das touceiras, sem considerar a variabilidade espacial das raízes. Considerando a ocupação da base das touceiras das plantas de 47% da área total do piquete², a participação relativa da massa de raízes na fitomassa foi de 64% nas condições de fertilidade do solo CPK1N1, CPK1N2 e CPK2N1 e 57% na CPK2N2. Esse cálculo, levando-se em conta somente a porcentagem de ocupação das touceiras, subestima o valor da proporção da massa de raízes determinada em relação à fitomassa, mas o valor correto, muito provavelmente, se encontra entre as amplitudes de variação dos valores super e subestimados.

Giacomini (2003) optou por não extrapolar os resultados das subamostras na área da pastagem, uma vez que o objetivo era comparar a concentração de raízes e não a relação da sua quantidade com a parte aérea. A autora relatou efeito significativo ($P < 0,10$) de doses de nitrogênio de 150 e 300 kg ha⁻¹ na massa de raízes do capim-Tanzânia e efeito não significativo ($P > 0,10$) na massa de raízes do capim-Aruana. Cecato et al. (2003) não observaram alterações

² Referentes ao primeiro tempo de rebrotação e calculadas pela necessidade de se determinar áreas representativas do estado atual do pasto na determinação dos pontos de amostragens, como descrito no item 3.5.1.

na massa de raízes do capim-Tanzânia submetido a doses de nitrogênio de 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹, sendo que esse resultado foi atribuído ao manejo da pastagem à mesma altura e IAF (i.e. condição de equilíbrio ou “steady state”), independentemente das doses de nitrogênio.

Como as doses de calcário, fósforo e potássio e as doses de nitrogênio não alteraram a massa de raízes, é razoável supor que as diferenças entre as doses de nitrogênio e entre as doses de calcário, fósforo e potássio quanto à concentração de matéria orgânica no solo (Figura 2), na primeira camada de amostragem, foram devidas às adições provenientes de material da parte aérea das plantas.

4.6 Razão de área foliar, área foliar específica e razão de massa de folhas

A interação entre as doses de nitrogênio e o tempo de rebrotação da pastagem foi significativa ($P < 0,01$) para a razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão de massa de folhas (RMF) no ciclo de pastejo de verão. A interação entre as doses de calcário, fósforo e potássio e o tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$) para a RAF em ambos os ciclos, para a AFE no ciclo de pastejo de verão, e para a RMF no de outono. A análise de variância mostrou significância ($P < 0,01$) das doses de nitrogênio para a RAF e a RMF e do tempo de rebrotação para a AFE no ciclo de pastejo de outono.

A variação da RAF no ciclo de pastejo de verão, tanto dentro das doses de calcário, fósforo e potássio como das doses de nitrogênio, seguiu modelo quadrático em função do tempo de rebrotação, atingindo valor máximo de 6,7 m² kg⁻¹ aos 31 dias (IAF de 4,5 e 115 cm de altura) de rebrotação na dose CPK2 (Figura 16). O valor máximo de RAF na dose CPK1 seria atingido em tempo de rebrotação superior ao avaliado no experimento. Os valores máximos da RAF nas doses de nitrogênio N1 e N2 foram de 5,9 e 7,9 m² kg⁻¹, respectivamente, ambos aos 37 dias de rebrotação da pastagem (Figura 16). Entretanto, 37 dias de crescimento corresponderam, do ponto de vista da estrutura do pasto, ao IAF de 4,1 e à altura da planta de 125 cm na dose N1, enquanto que na dose N2 corresponderam ao IAF de 6,3 e à altura de 132 cm.

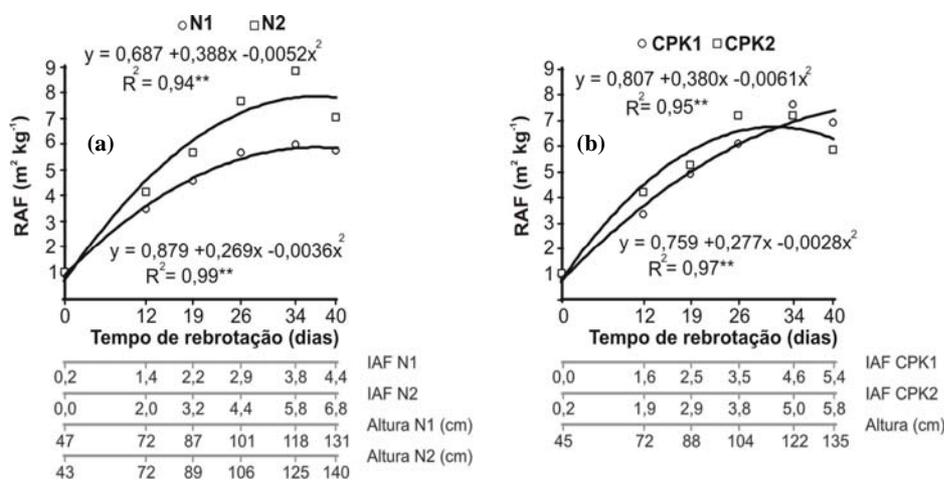


Figura 16 - Razão de área foliar (RAF) do capim-Tanzânia nas doses de nitrogênio (a) e em cada dose de calcário, fósforo e potássio (b) em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

No ciclo de pastejo de outono, em cada dose de calcário, fósforo e potássio a RAF variou de forma linear em função do tempo de rebrotação da pastagem, à taxa de 0,08 e 0,11 $m^2 kg^{-1} dia^{-1}$ nas doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2, respectivamente (Figura 17). Os incrementos da RAF ao longo da rebrotação do capim-Tanzânia concordam com os resultados do ciclo de pastejo de verão (Figura 16). Todavia, as taxas de incrementos em cada dose de calcário, fósforo e potássio foram menores no outono, provavelmente pelas condições climáticas menos favoráveis ao crescimento naquela época do ano (Figura 1).

O comportamento da RAF (Figuras 16 e 17) em ambos os ciclos de pastejo, não corrobora os resultados de Gomide (1997) e Gomide & Gomide (1999) com os cultivares Mombaça, Tanzânia e Vencedor de *Panicum maximum*, de Santos Junior (2001) com capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e de Oliveira et al. (2000) com capim-Bermuda (*Cynodon* spp.). Os autores descreveram quedas abruptas da RAF em função da idade da planta. Oliveira et al. (2000) relataram decréscimo exponencial na RAF, e acrescentaram que o alto valor da RAF no início da rebrotação reflete maior alocação de assimilados para o desenvolvimento das folhas. Esse achado se explica pela análise das condições em que ocorreram as avaliações, no que diz respeito ao período de crescimento avaliado. Os trabalhos que relataram queda da RAF em função da idade das plantas são referentes ao primeiro crescimento dos capins (Gomide, 1997; Gomide & Gomide, 1999; Santos Junior, 2001) após a emergência das plantas, que foram semeadas nos substratos utilizados e em casa-de-

vegetação. Oliveira et al. (2000) cultivaram o capim-Bermuda a campo, mas as avaliações foram realizadas na primeira rebrotação do capim, logo após corte de uniformização. Dessa forma, a razão entre a área das folhas e a massa da parte aérea das plantas é alta no início da rebrotação e tende a diminuir devido ao incremento em massa de partes da planta (i.e. folhas e, principalmente, colmos e material morto) em proporção maior do que o aumento da área foliar. Ao se analisar o primeiro período de rebrotação do capim-Tanzânia no presente trabalho, a relação área foliar por massa da parte aérea é muito pequena, devido à grande contribuição da massa de colmos+bainhas, fato não ocorrido nos experimentos que avaliaram o primeiro crescimento dos diversos capins. Como pode se observar nas Figuras 11 e 12, no primeiro tempo de rebrotação do ciclo de pastejo de verão, a proporção entre massa de folhas e de colmos+bainhas é cerca de 1:9. No mesmo tempo de rebrotação, mas no ciclo de pastejo de outono, a proporção entre massa de folhas e de colmos+bainhas foi cerca de 1:4 (Figuras 11 e 12). Provavelmente, a uniformização da pastagem no corte de verão favoreceu maior crescimento inicial de folhas do que de colmos, aumentando a relação folha:colmo do início do ciclo de outono.

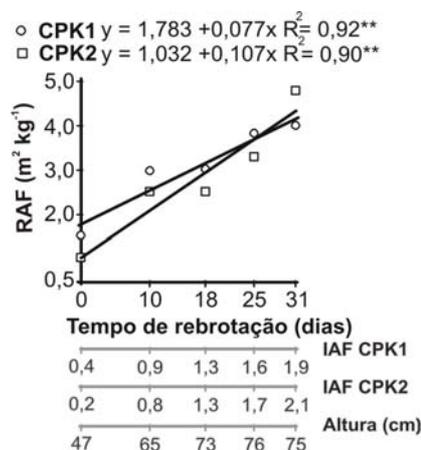


Figura 17 - Razão de área foliar (RAF) do capim-Tanzânia em cada dose de calcário, fósforo e potássio em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

Pinto (1993), em casa-de-vegetação, observou aumento na RAF nos capins Guiné (*Panicum maximum*) e Setária (*Setaria anceps*) até a idade de 28 dias, decrescendo posteriormente sem apresentar significância para as doses de nitrogênio (100 e 300 mg kg⁻¹ de solo). Também, Costa & Paulino (1998) relataram aumentos na RAF até a idade de 112 dias para a espécie *Paspalum atratum*. Dessa forma, os resultados de RAF descritos na literatura e correspondentes ao crescimento inicial de diversas espécies de gramíneas tropicais são

discordantes, devendo-se analisar com atenção a definição de Benincasa (1988) de que a RAF representa a área foliar em uso pela planta para produzir um grama de massa seca, pois como discutido anteriormente, no início do período de rebrotação de uma comunidade de plantas forrageiras, a massa seca de forragem pós-pastejo foi devida ao incremento na área de folhas do período anterior de crescimento e não à área foliar por ocasião da amostragem. Deve-se destacar que, caso fosse quantificada a forragem disponível na amostragem, ou seja, aquela acima de determinado resíduo, a tendência da RAF seria semelhante às obtidas por Gomide (1997), Gomide & Gomide (1999), Oliveira et al. (2000) e Santos Junior (2001).

As variações em RAF podem ser explicadas em função das alterações dos seus componentes, que são a área foliar específica (AFE) e a razão de massa de folhas (RMF), visto que a RAF é o produto da AFE pela RMF. Enquanto a variação na RMF tem efeito direto na produção de massa da planta, a variação na AFE contribui indiretamente, via interceptação de luz, para o crescimento da planta (Gomide, 1997).

Ocorreu efeito mais expressivo da RMF do que da AFE nas variações da RAF ao longo do crescimento de verão, uma vez que o coeficiente de correlação entre a RAF e RMF foi de 0,94 e entre a RAF e a AFE de 0,68, corroborando os resultados de Pinto (1993) e Oliveira et al. (2000) e não concordando com Santos Junior (2001). Também, no crescimento de outono, houve efeito mais expressivo da RMF ($r=0,88$) do que da AFE ($r=0,50$) nas variações da RAF. Assim, mesmo a comunidade de plantas experimentando condições climáticas menos favoráveis ao crescimento, a RMF continuou sendo o principal fator afetando a RAF, o que concorda com os resultados do ciclo de verão e os de Oliveira et al. (2000) e Pinto (1993). Como Costa & Paulino (1998) não descreveram qual componente da RAF foi o responsável pelas suas variações, não é possível fazer inferências sobre o seu aumento no primeiro crescimento do capim estudado.

As doses de calcário, fósforo e potássio no ciclo de pastejo de verão diferiram significativamente (Tukey, $P<0,05$) quanto aos valores de RAF aos 26 e 40 dias de rebrotação. Em relação às doses de nitrogênio, a dose N2 proporcionou valores significativamente maiores (Tukey, $P<0,01$) de RAF do que a dose N1 a partir dos 19 dias de rebrotação. Isso está de acordo com os resultados de Santos Junior (2001), que relatou incrementos na RAF do capim-Marandu nas idades de 28 e 35 dias, os quais seguiram modelo quadrático em função de cinco doses de nitrogênio. Pinto (1993) não observou diferenças entre a RAF dos capins Guiné e Setária submetidos às doses de nitrogênio de 100 e 300 mg kg⁻¹.

No ciclo de pastejo de outono, as doses de calcário, fósforo e potássio não diferiram significativamente (Tukey, $P>0,05$) quanto a RAF ao longo da rebrotação do capim, o que concorda em parte, com os resultados do ciclo de verão, cujo potencial produtivo estava maximizado devido às condições climáticas favoráveis (i.e. água, luz e temperatura). Entretanto,

as doses de nitrogênio, na média do tempo de rebrotação e das doses de calcário, fósforo e potássio diferiram significativamente (Tukey, $P < 0,01$). Na dose de nitrogênio N1 a RAF foi de $2,62 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ enquanto que na N2 foi de $3,28 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, não corroborando os resultados de Andrade et al. (2000) com capim-Elefante submetido a quatro doses conjuntas de nitrogênio e potássio. Assim, as doses de nitrogênio continuaram alterando a RAF no ciclo de pastejo de outono devido ao potencial do nutriente em incrementar a produção de massa seca e, principalmente, a área das folhas do capim-Tanzânia, mesmo em condições mais adversas de crescimento, o que concorda com Santos Junior (2001).

A AFE, em função do tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão, seguiu modelo quadrático, tanto dentro das doses de calcário, fósforo e potássio como dentro das doses de nitrogênio (Figura 18). Os máximos valores de AFE foram obtidos aos 22 dias (IAF de 3,3 e 94 cm de altura) e 25 dias (IAF de 3,3 e 101 cm de altura) de rebrotação nas doses de calcário, fósforo e potássio CPK2 e CPK1, respectivamente. Com relação às doses de nitrogênio N1 e N2, os máximos valores ocorreram aos 20 dias (IAF de 2,3 e 90 cm altura) e 24 dias (IAF de 4,1 e 99 cm de altura), respectivamente. No ciclo de pastejo de outono, a AFE, na média das doses de nitrogênio e de fósforo e potássio, variou com o tempo de rebrotação de acordo com modelo quadrático (Figura 18). O máximo valor de AFE de $14,6 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ foi observado aos 19 dias de rebrotação (IAF de 1,3 e 73 cm de altura).

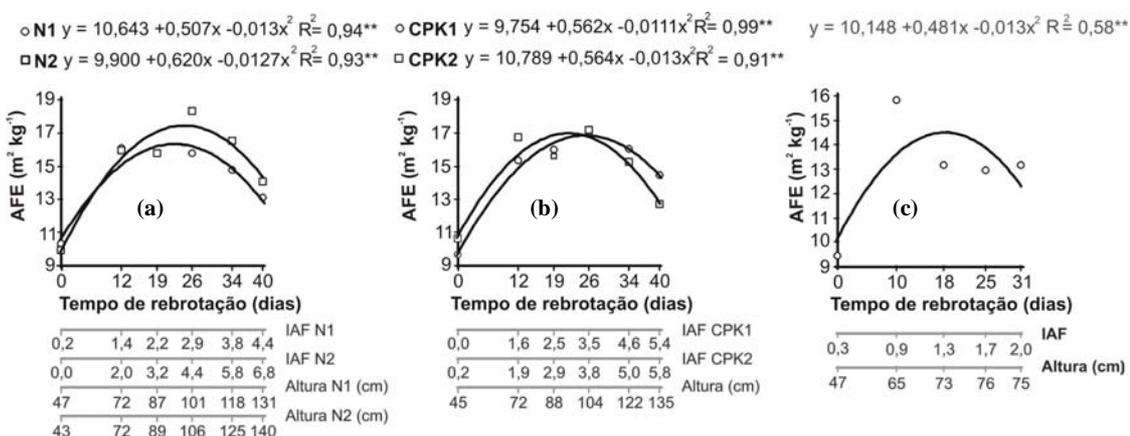


Figura 18 - Área foliar específica (AFE) do capim-Tanzânia, dentro das doses de nitrogênio (a) e em cada dose de calcário, fósforo e potássio (b) no ciclo de pastejo de verão, e na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio (c) no ciclo de pastejo de outono, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

A área foliar específica (AFE) é o componente morfológico e anatômico da RAF porque relaciona a superfície com a massa da própria folha e tem relação inversa com a espessura da folha (Benincasa, 1988). Dessa forma ocorreram decréscimos na espessura das folhas do capim-Tanzânia até o tempo de rebrotação, IAF e altura do dossel onde os valores de AFE foram máximos, sendo que após esse período foram observados aumento na espessura das folhas. Como a maior proporção, no início do crescimento, é de folhas maduras ou já totalmente expandidas (Figuras 8 e 9), com o avanço no tempo de rebrotação e o aparecimento de novas folhas o padrão de variação na AFE seguiu os relatados por Gomide (1997), Gomide & Gomide (1999), Oliveira et al. (2000) e Santos Junior (2001), em diversas plantas forrageiras.

Dentro de cada tempo de rebrotação do ciclo de pastejo de verão, as doses de calcário, fósforo e potássio não diferiram significativamente (Tukey, $P>0,05$) para a AFE, enquanto que na dose de nitrogênio N2 foram obtidos valores significativamente maiores (Tukey, $P<0,05$) de AFE do que na dose N1 a partir dos 26 dias, indicando diminuição da espessura da folha com o aumento no suprimento de nitrogênio, fato já relatado por Santos Junior (2001) no capim-Marandu. Entretanto, no ciclo de pastejo de outono as doses de nitrogênio não alteraram significativamente ($P>0,05$) a RAF do capim-Tanzânia, resultado do pequeno aumento em massa seca e área das folhas quando comparado ao ciclo de verão (Figuras 5, 6 e 11). Santos Junior (2001) observou variações da AFE em função de doses de nitrogênio, de acordo com modelo quadrático, mas somente em plantas com idade de 28 dias.

A RMF, dentro de cada dose de nitrogênio, variou de forma linear ao longo do tempo de rebrotação no ciclo de verão, com taxa de incremento de 0,009 e 0,011 $\text{kg kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$ nas doses N1 e N2, respectivamente (Figura 19). Na dose de nitrogênio N2, dentro do tempo de rebrotação, ocorreram maiores valores de RMF do que na dose N1, a partir dos 19 dias de rebrotação, de forma similar ao padrão de variação da RAF (Figura 16). Como discutido para a RAF e pela análise da Figura 12, verifica-se que a massa de colmos+bainhas no verão é relativamente constante ao longo do tempo de rebrotação, com certo aumento no final do ciclo. Enquanto isso, a massa de folhas (Figura 11) seguiu modelo quadrático em relação ao tempo de rebrotação com taxas de aumento maiores que as observadas para a massa de colmos+bainhas. Esse comportamento é inverso aos observados por Oliveira et al. (2000) e Santos Junior (2001). Por sua vez, Gomide (1997) e Gomide & Gomide (1999) relataram pouca influência da idade da planta nos valores de RMF, sendo que as variações na RAF foram devidas às variações na AFE.

A RMF variou de forma linear, na dose de calcário, fósforo e potássio CPK1, em função do tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de outono, à taxa de 0,005 $\text{kg kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$ (Figura 19). Na dose CPK2 a RMF foi representada por uma equação de segundo grau, e a máxima RMF somente seria obtida em período de tempo de rebrotação mais longo que o

estudado (Figura 19). Enquanto que no ciclo de pastejo de verão, as doses de calcário, fósforo e potássio não diferiram ao longo da rebrotação do capim, no ciclo de pastejo de outono a dose CPK1 proporcionou valor de RMF significativamente (Tukey, $P < 0,05$) mais elevado do que a dose CPK2 no primeiro tempo de rebrotação. Como a RMF é a razão entre a massa de folhas e a massa da parte aérea das plantas, mesmo não ocorrendo diferenças significativas (Tukey, $P > 0,05$) entre as doses de calcário, fósforo e potássio na massa de folhas no primeiro tempo de rebrotação, ao se calcular sua proporção em relação à produção da parte aérea, a maior quantidade de folhas proporcionadas na dose CPK1 favoreceu o incremento da RMF a ponto de se diferenciar significativamente da obtida na dose CPK2.

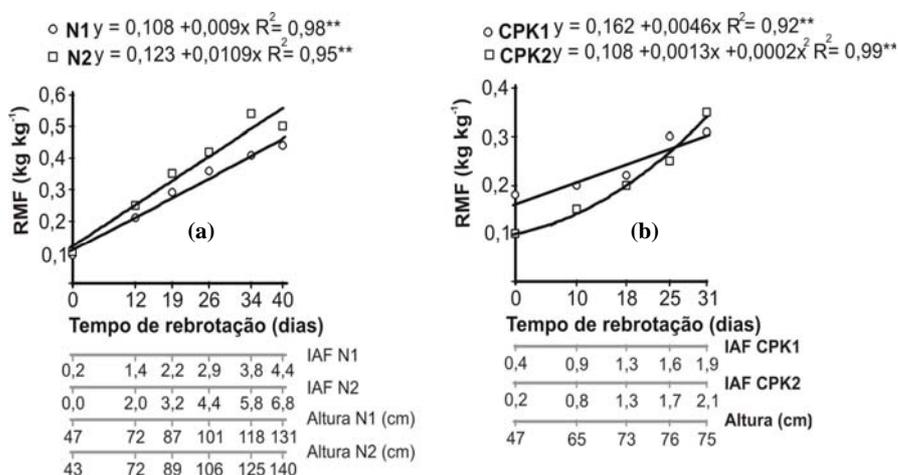


Figura 19 - Razão de massa de folhas (RMF) do capim-Tanzânia dentro das doses de nitrogênio no ciclo de pastejo de verão (a) e em cada dose de calcário, fósforo e potássio no ciclo de pastejo de outono (b) em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

4.7 Nutrição mineral do capim-Tanzânia

4.7.1 Concentração de macronutrientes nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia

Houve significância ($P < 0,01$) do tempo de rebrotação da pastagem para as concentrações dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) avaliados nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia em ambos os ciclos de pastejo avaliados. O efeito das doses de nitrogênio foi significativo ($P < 0,01$) para as concentrações de nitrogênio, magnésio e enxofre no ciclo de pastejo de verão e para a concentração de fósforo no ciclo de outono. Houve

significância ($P < 0,01$) das doses de calcário, fósforo e potássio para a concentração de fósforo no ciclo de outono.

Pela análise da Figura 20, pode ser verificado que as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio decresceram de forma linear quando ajustadas em função do tempo de rebrotação da pastagem no ciclo de pastejo de verão. As taxas de decréscimo nas concentrações foram de 0,291; 0,020 e 0,194 $\text{g kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no que diz respeito ao nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. As maiores concentrações desses elementos foram observadas aos 12 dias, que foi o primeiro tempo de rebrotação em que as folhas diagnósticas surgiram como categorias de folhas individuais³. As concentrações iniciais de nitrogênio e potássio foram de 28,9 e 28,3 g kg^{-1} , respectivamente. Entretanto, ao se analisar as taxas de decréscimo, pode-se verificar que as concentrações de nitrogênio sofreram decréscimos 1,5 vezes maiores do que as experimentadas pelas concentrações de potássio ao longo do tempo de rebrotação (Figura 20). As variações nas concentrações de cálcio, magnésio e enxofre foram representadas por modelo quadrático em função do tempo de rebrotação e as concentrações máximas foram obtidas aos 26 dias para o cálcio e o magnésio e aos 21 dias para o enxofre (Figura 20).

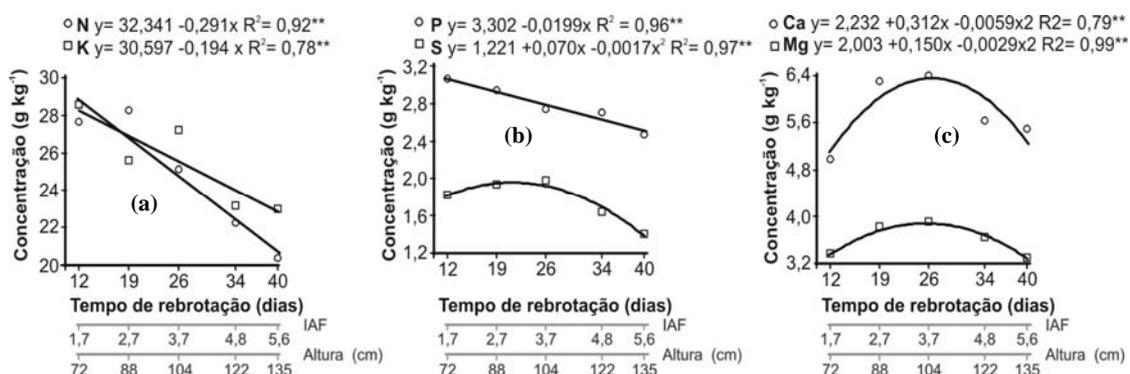


Figura 20 - Concentrações de nitrogênio e potássio (a), fósforo e enxofre (b), e cálcio e magnésio (c) nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

³ Considerou-se no primeiro tempo de rebrotação, após o corte de uniformização, todas as folhas remanescentes como lâminas de folhas maduras (LM), não ocorrendo, lâminas de folhas emergentes e de recém-expandidas, ou quando presentes, não foram separadas das LM devido à inexpressiva massa.

No ciclo de pastejo de outono, as alterações nas concentrações de potássio, cálcio, magnésio e enxofre com o tempo de rebrotação foram explicadas por equações polinomiais de primeiro grau, enquanto que as variações nas concentrações de nitrogênio e fósforo por equações de segundo grau (Figura 21). As concentrações de potássio e enxofre decresceram ao longo do tempo de rebrotação à taxa de 0,337 e 0,023 g kg⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, enquanto as concentrações de cálcio e magnésio aumentaram à taxa de 0,109 e 0,015 g kg⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Com relação ao comportamento das concentrações de cálcio e magnésio em ambos os ciclos (Figuras 20 e 21), é oportuno analisar as variações das concentrações desses nutrientes do ponto de vista dos valores de IAF e altura do dossel forrageiro. Assim, no primeiro crescimento, foram observados acréscimos das concentrações de cálcio e magnésio até os 26 dias da rebrotação, tempo que esteve associado ao IAF de 3,7 e à altura do dossel de 104 cm. Realizando a mesma análise no ciclo de pastejo de outono, verifica-se que os acréscimos nas concentrações ocorreram até os 31 dias de crescimento, que esteve associado ao IAF de 2,0 e à altura de 75 cm, ficando evidente que a velocidade dos processos de crescimento esteve maior no ciclo de verão. No outono, o tempo de rebrotação não foi suficientemente amplo para que as concentrações máximas de cálcio e magnésio pudessem ser expressas.

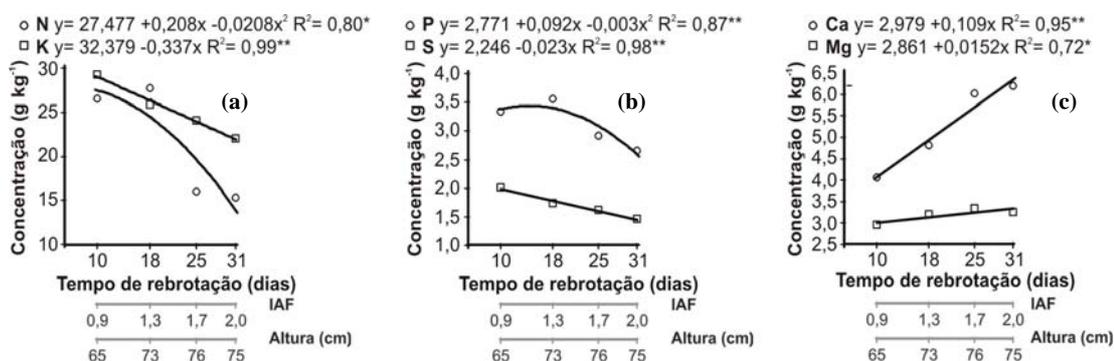


Figura 21 – Concentração de nitrogênio e potássio (a), fósforo e enxofre (b) e cálcio e magnésio (c) nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

Weber & Haag (1984), estudando o capim-Makueni (*Panicum maximum* cv. Makueni) submetido à dose de nitrogênio de 250 kg ha⁻¹ ano⁻¹, na forma de sulfato de amônio e avaliado aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias de rebrotação, relataram que as concentrações de nitrogênio na parte aérea das plantas variaram segundo modelo quadrático, com ponto de mínima concentração de 7,0 g kg⁻¹, aos 136 dias de rebrotação. Também, as concentrações de fósforo seguiram modelo quadrático, com decréscimo acentuado nas concentrações do elemento até 60

dias de rebrotação, tempo no qual foi obtida a mínima concentração de $0,03 \text{ g kg}^{-1}$. O comportamento quadrático relatado por Weber & Haag (1984) foi devido ao amplo período de avaliação do ciclo de rebrotação estudado. Caso as equações de regressão fossem ajustadas até 60 dias de rebrotação da pastagem, o comportamento das concentrações de nitrogênio e fósforo seguiriam decréscimo linear. A concentração de potássio, de acordo com Weber & Haag (1984), diminuiu linearmente com o tempo de rebrotação da pastagem, variando entre 28,8 e $7,6 \text{ g kg}^{-1}$ e à taxa de $0,14 \text{ g kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. As concentrações de cálcio e magnésio variaram segundo modelo quadrático, com ponto de máxima concentração aos 90 dias ($5,3 \text{ g kg}^{-1}$) e 120 dias ($4,7 \text{ g kg}^{-1}$), respectivamente. Desse breve relato dos resultados de Weber & Haag (1984), fica evidente o efeito de diluição nas concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, tanto ao se avaliar a parte aérea como um todo (Weber & Haag, 1984), como ao se avaliarem as folhas diagnósticas (Figuras 20 e 21), com a ressalva de que o tempo de rebrotação não seja extenso o suficiente para ocorrer acúmulo de material morto e de colmos+bainhas, com esta fração participando em maior proporção quando da determinação da concentração média de nutrientes na planta inteira. Essa assertiva encontra suporte no fato do nitrogênio, fósforo e potássio serem comprovadamente móveis quanto à redistribuição (Marschner, 1995) se deslocando das partes mais velhas das plantas, como material morto e senescente, para partes mais novas.

As concentrações de cálcio e magnésio, em função do tempo de rebrotação, seguiram o mesmo padrão de variação tanto no trabalho de Weber & Haag (1984) como nos resultados apresentados nas Figuras 20 e 21, não concordando com os padrões de variações observados por Vieira (1979) com capim-Colonião e Orellana & Haag (1982) com *Andropogon gayanus*, os quais relataram decréscimos lineares nas concentrações de cálcio e magnésio em função da idade da planta. Cecato et al. (2002), avaliando as concentrações de macronutrientes nas folhas do capim-Tanzânia manejado em quatro alturas, relataram decréscimo na concentração de fósforo, cálcio e magnésio com a altura das plantas.

Tamassia et al. (2000) estudaram o capim-de-Rhodes (*Chloris gayana*), adubado com sulfato de amônio na dose de 400 kg ha^{-1} e avaliado aos 20, 30, 40, 50, 60 e 70 dias após corte de uniformização, e mostraram que as variações nas concentrações dos macronutrientes foram sempre decrescentes com o avançar do tempo de rebrotação. As concentrações médias de nitrogênio na parte aérea do capim variaram de 21,37 a $6,53 \text{ g kg}^{-1}$. A concentração de fósforo decresceu com o tempo de rebrotação, variando entre $3,82 \text{ g kg}^{-1}$ aos 20 e $2,59 \text{ g kg}^{-1}$ aos 60 dias. As variações nas concentrações de potássio e enxofre foram lineares e as concentrações de cálcio e magnésio seguiram modelos quadráticos, com estabilização dos valores aos 40 dias de rebrotação.

Pinto et al. (2002) testaram três frequências de corte na composição mineral do capim-Tanzânia e relataram que a maior frequência de corte ocasionou concentrações mais

elevadas de macronutrientes na parte aérea das plantas, conseqüência dos menores intervalos de tempo entre cortes sucessivos.

Fagundes et al. (2000) avaliaram a concentração de macronutrientes no capim-Tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis*) avaliado aos 30, 60, 90 e 120 dias durante o período de outono-inverno. As concentrações de nitrogênio e potássio diminuíram de forma linear com taxas de 0,27 e 0,16 g kg⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, e os autores apontaram que alterações na relação folha:colmo, morte de folhas senescentes, diversidade no padrão de absorção dos elementos durante a rebrotação e sua redistribuição entre os vários órgãos da planta foram os fatores que explicariam a queda na concentração dos nutrientes, em consonância com os resultados de Sotomayor-Rios et al. (1976). Em relação ao fósforo, Fagundes et al. (2000) descreveram comportamento quadrático na concentração do elemento em função do tempo de rebrotação, corroborando os resultados de Palhano & Haddad (1992). Santos (1999), em relação à concentração crítica em fósforo, também relatou decréscimo em função do tempo de rebrotação, concordando com Herrera & Hernandez (1987), os quais atribuíram diminuição na concentração de fósforo em capim-Coastcross (*Cynodon dactylon*) à menor demanda do nutriente em estádios mais avançados de desenvolvimento. Fagundes et al. (2000) descreveram variação negativa e linear (entre 2,5 e 1,0 g kg⁻¹) da concentração de enxofre ajustada com o tempo de rebrotação, concordando com as variações desse nutriente observadas no ciclo de pastejo de outono (Figura 21). No experimento de Fagundes et al. (2000), com relação ao cálcio, não foram obtidos padrões de variação consistentes ao longo do período de rebrotação, uma vez que o nutriente, devido à sua pouca mobilidade quanto à redistribuição, acumula-se nas partes mais velhas da planta, não apresentando, de modo geral, tendência de alteração na concentração durante o ciclo vegetativo, além de exibir pequena amplitude de variação de 4,6 a 5,8 g kg⁻¹. Essa variação é mais pronunciada ao se analisar a parte aérea da planta, sendo que melhores ajustes são obtidos com as folhas diagnósticas, como observado nas Figuras 20 e 21, e discutido por Monteiro et al. (1995). Entretanto, a amplitude dos valores de concentrações de cálcio (Figuras 20 e 21) foi semelhante àquela relatada por Fagundes et al. (2000).

A dose de nitrogênio N2 proporcionou acréscimos na concentração de nitrogênio, magnésio e enxofre nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia em relação à N1 no ciclo de pastejo de verão (Tabela 1), os quais não concordam com os obtidos por Gomide et al. (1969). O aumento nas concentrações de nitrogênio e enxofre foi devido à maior disponibilidade de nitrogênio e enxofre causada pela dose de nitrogênio N2, a qual foi parcelada em duas vezes, com a primeira na forma de sulfato de amônio (21% N e 24% S) e a segunda na forma de uréia.

Tabela 1. Concentração de nitrogênio, magnésio e enxofre nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia submetido a doses de nitrogênio no ciclo de pastejo de verão

Nutriente	Concentração de nutrientes em cada dose de nitrogênio	
	N1	N2
Nitrogênio	22,39b	27,02a
Magnésio	3,19b	4,00a
Enxofre	1,63b	1,88a

Médias seguidas por letras diferentes, dentro de cada linha, diferem pelo teste de Tukey (P<0,05)

Gomide et al. (1969) estudaram seis espécies de gramíneas tropicais, dentre elas o *Panicum maximum*, submetidas a doses de nitrogênio de 100 e 200 kg ha⁻¹ e testemunha não adubada com nitrogênio, com avaliações aos 28, 48, 140, 196 e 252 dias de rebrotação. Relataram decréscimo nas concentrações de potássio, fósforo e magnésio com o aumento do tempo de rebrotação, sendo que as doses de nitrogênio não alteraram as concentrações dos macronutrientes estudados. Também, Sartain & Dudeck (1982) descreveram aumento na concentração de nitrogênio em *Cynodon dactylon* e *Lolium perenne* quando submetidos a doses de nitrogênio, com conseqüente diminuição na concentração de fósforo.

No ciclo de pastejo de outono, as doses de nitrogênio N1 e N2 proporcionaram concentrações de fósforo significativamente diferentes (Tukey, P<0,05) de 3,37 e 2,86 g kg⁻¹, respectivamente, não alterando as concentrações dos demais macronutrientes. As doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2 proporcionaram concentrações de fósforo de 2,85 e 3,38 g kg⁻¹, respectivamente, sendo essas médias significativamente diferentes (Tukey, P<0,05).

Mistura et al. (2002), estudando doses de nitrogênio e fósforo na composição mineral do capim-Elefante anão (*Pennisetum purpureum* cv. Mott) avaliado durante três cortes em intervalos de 56 dias, relataram significância da interação entre doses de nitrogênio e número de cortes para a concentração de fósforo na parte aérea e nas folhas do capim. A concentração de fósforo variou de forma inversa com as doses de nitrogênio no terceiro corte na planta inteira de 5,1 a 2,7 g kg⁻¹, na folha de 4,6 a 2,6 g kg⁻¹ e no colmo de 7,4 a 3,7 g kg⁻¹. Para a concentração de potássio não ocorreu efeito significativo (P>0,05) dos tratamentos, discordando de Paciullo (1997), que relatou decréscimo na concentração de potássio no capim-Elefante anão em função de doses de nitrogênio, com variação entre 30,1 e 22,9 g kg⁻¹. Nas concentrações de cálcio e magnésio, Mistura et al. (2002) encontraram aumentos em função de doses de nitrogênio, enquanto não verificaram alteração significativa em função de doses de fósforo.

Silva & Faria (1995) estudaram a variação sazonal de nutrientes em cinco leguminosas e quatro gramíneas forrageiras e concluíram que no final do período chuvoso as plantas forrageiras apresentaram concentrações mais elevadas de nutrientes, sendo que no início do mesmo período foram relatadas as concentrações mais baixas.

Primavesi et al. (1999), em estudo para verificar o efeito de doses de nitrogênio e regimes de corte na extração de nutrientes nos cultivares de aveia São Carlos (*Avena byzantina*) e UPF (*Avena sativa*), não relataram efeito das doses de nitrogênio (0, 40, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹, na forma de uréia e com calagem para elevar a porcentagem de saturação por bases a 70%) nas concentrações de macro e micronutrientes na forragem e na palha dos cultivares testados, com exceção das curvas de resposta da concentração de nitrogênio e enxofre no segundo corte de ambos os cultivares testados. Relataram redução na concentração dos nutrientes do primeiro para o segundo corte da forragem, em especial do potássio, como discutido por outros autores (Santos, 1997; Santos, 1999) e, ao que parece, este achado se explica pelo fato de haver maior quantidade de raízes e pontos de crescimento da parte aérea remanescentes do primeiro corte, favorecendo maior velocidade de crescimento e conseqüente efeito de diluição dos nutrientes na massa do tecido das plantas.

Dessa discussão fica evidente certa divergência quanto aos resultados da descrição do comportamento das concentrações de macronutrientes ao longo do crescimento de plantas forrageiras. Assim, decréscimos (Palhano & Haddad, 1992; Santos Junior, 2001), acréscimos (Cecato et al., 2002), estabilidade (Sotomayor-Rios et al., 1976) e ausência de padrão (Herrera & Hernandez, 1987) na variação da concentração de macronutrientes podem ser explicados principalmente por: a) utilização de concentrações referentes à parte aérea total das plantas, com contribuições variáveis das diversas partes da planta (colmos, categorias de folhas e material morto) e dependentes do estado atual do pasto por ocasião da amostragem, que, provavelmente, diferem entre as condições experimentais onde foram realizadas as avaliações e, principalmente; b) não descrição da estrutura do dossel, pois há empirismo intrínseco à variável independente tempo de rebrotação, que limita a aplicação dos resultados a condições de crescimento semelhantes às experimentadas pela comunidade de plantas. Nesses casos a descrição dos valores correspondentes, em cada tempo de rebrotação, dos atributos estruturais do pasto IAF, altura do dossel, massa de forragem, interceptação luminosa e dinâmica populacional de perfilhos, como caracterizadores do estado atual do pasto por ocasião das amostragens, tem freqüentemente possibilitado o entendimento entre respostas de plantas e de animais quando avaliadas no aspecto ecofisiológico de uma comunidade de plantas forrageiras (Hodgson, 1990) e tornado claros os motivos das variações de respostas entre diversos experimentos.

4.7.2 Acúmulo de macronutrientes

4.7.2.1 Nitrogênio

Para o acúmulo de nitrogênio nas folhas do capim-Tanzânia no ciclo de pastejo de verão, a interação entre as doses de nitrogênio e o tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$). No ciclo de outono, houve significância ($P < 0,01$) para a interação entre doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio e para a interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação da pastagem.

O acúmulo de nitrogênio nas folhas do capim-Tanzânia, em cada dose de nitrogênio, variou de forma linear com o tempo de rebrotação da pastagem no ciclo de pastejo de verão, com taxas de acréscimos de 2,56 e 1,33 $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ em relação às doses de nitrogênio N2 e N1, respectivamente (Figura 22). No ciclo de outono, o acúmulo do nutriente foi representado por equação quadrática na dose de calcário, fósforo e potássio CPK1, e por modelo linear na dose CPK2 (Figura 22). Assim, no ciclo de pastejo de outono, o potencial do tempo de rebrotação em acumular nitrogênio esteve menor do que o observado no ciclo de pastejo de verão, devido às condições climáticas menos favoráveis ao crescimento da planta forrageira.

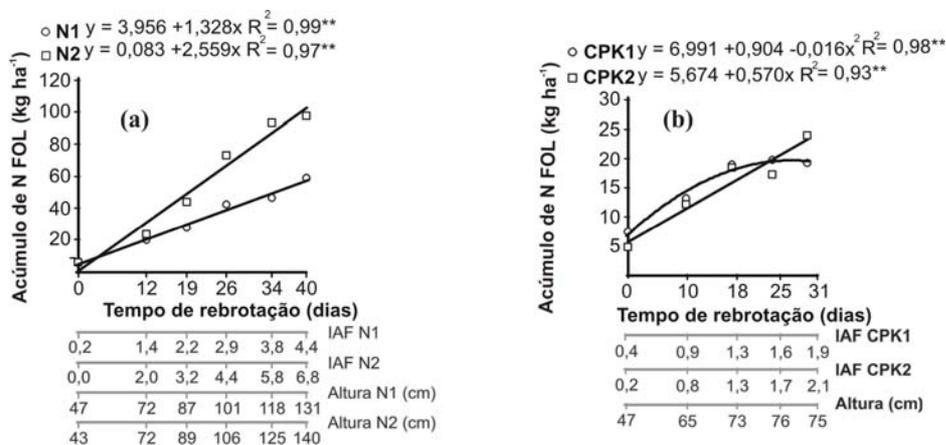


Figura 22 – Acúmulo de nitrogênio nas folhas (FOL) do capim-Tanzânia em cada dose de nitrogênio no ciclo de pastejo de verão (a), e dentro das doses de calcário, fósforo e potássio no ciclo de outono (b), em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

O acúmulo de nutrientes pela planta é obtido pelo produto entre a concentração do elemento e a produção de massa seca do tecido vegetal colhido. No caso do acúmulo de nitrogênio nas folhas, em ambos os crescimentos, verificou-se expressivo aumento de massa

das folhas (Figura 11) com o tempo de rebrotação. De maneira contrária, foi observado efeito de diluição na concentração de nitrogênio nas lâminas de folhas recém-expandidas (Figuras 20 e 21). Como as taxas de incremento na massa seca de folhas foram bem maiores do que a diluição do nutriente no tecido vegetal, o balanço entre produção de folhas e efeito de diluição resultou em incrementos no acúmulo de nitrogênio com o tempo de rebrotação (Figura 22).

Comparando-se as doses de nitrogênio dentro de cada tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão, verifica-se que na dose N2 o acúmulo de nitrogênio foi significativamente maior (Tukey, $P < 0,05$) que na dose N1, a partir dos 19 dias de rebrotação. O cálculo da razão entre as taxas de acúmulos nas duas doses de nitrogênio mostrou que na dose N2 a taxa de acúmulo foi duas vezes maior do que na dose N1. No ciclo de pastejo de outono, a dose de nitrogênio N2 dentro da dose de calcário, fósforo e potássio CPK1, proporcionou acúmulo de nitrogênio de $19,2 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto que na dose N1, esse acúmulo foi de $12,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 2). Com relação à comparação entre as doses de calcário, fósforo e potássio quanto ao acúmulo de nitrogênio nas folhas, não se constatou diferença significativa (Tukey, $P > 0,05$) ao longo do tempo de rebrotação do capim no ciclo de outono.

Tabela 2. Acúmulo de nitrogênio nas folhas do capim-Tanzânia submetido a doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio no ciclo de pastejo de outono

Tratamento	Doses de nitrogênio	
	N1	N2
	----- kg ha ⁻¹ -----	
CPK1	12,2Ba	19,2Aa
CPK2	14,5Aa	16,1Aa

Letras diferentes, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

No caso de utilização da pastagem no ciclo de pastejo de verão até os 19 dias de rebrotação (altura de 87 cm e 89 cm e IAF de 2,2 e 3,2 nas doses N1 e N2, respectivamente), a opção recairia na dose de nitrogênio N1, a qual apesar de proporcionar taxas de acúmulo de nitrogênio duas vezes menores ao longo de todo o ciclo estudado, somente se diferencia da dose N2 a partir desse tempo, altura e IAF. Em pastagens manejadas em lotação rotacionada, onde o período de descanso não é fixo, atenção deve ser dada na determinação do tempo, altura e IAF do dossel a partir do qual as doses de nitrogênio possam expressar nas plantas o potencial produtivo, sem esquecer do balanço entre o efeito residual mais prolongado e maiores taxas de perdas na aplicação de doses mais elevadas.

Em ambos os ciclos de pastejo avaliados, o efeito das doses de nitrogênio e do tempo de rebrotação da pastagem foi significativo ($P < 0,01$) para o acúmulo de nitrogênio em

colmos+bainhas do capim-Tanzânia. Também, houve significância ($P<0,01$) do tempo de rebrotação, no ciclo de pastejo de verão, e da interação entre as doses de nitrogênio, de calcário, fósforo e potássio e do tempo de rebrotação, no ciclo de pastejo de outono para o acúmulo de nitrogênio no material morto do capim-Tanzânia.

No ciclo de pastejo de verão, o acúmulo de nitrogênio em colmos+bainhas e no material morto do capim-Tanzânia variou segundo modelo quadrático em função do tempo de rebrotação (Figura 23). Aos 15 e 24 dias de crescimento foram obtidos os acúmulos de nitrogênio mínimo em colmos+bainhas e máximo no material morto, respectivamente. Também, no ciclo de outono a variação do acúmulo de nitrogênio nos colmos+bainhas foi representada por equação de segundo grau, com máximo acúmulo aos 13 dias de rebrotação (Figura 24). Dessa forma o comportamento do acúmulo do nutriente em colmos+bainhas entre os ciclos de verão e outono foi contrastante (Figuras 23 e 24) devido ao padrão de acúmulo da massa de colmos+bainhas ao longo da rebrotação do capim (Figuras 11 e 12). Em relação ao acúmulo de nitrogênio no material morto com o tempo de rebrotação, no ciclo de pastejo de outono somente foi obtida significância ($P<0,05$) das regressões polinomiais na combinação de dose de calcário, fósforo e potássio com dose de nitrogênio CPK1N1, em condição na qual a equação de regressão somente explicou 50% da variação ocorrida (Figura 24).

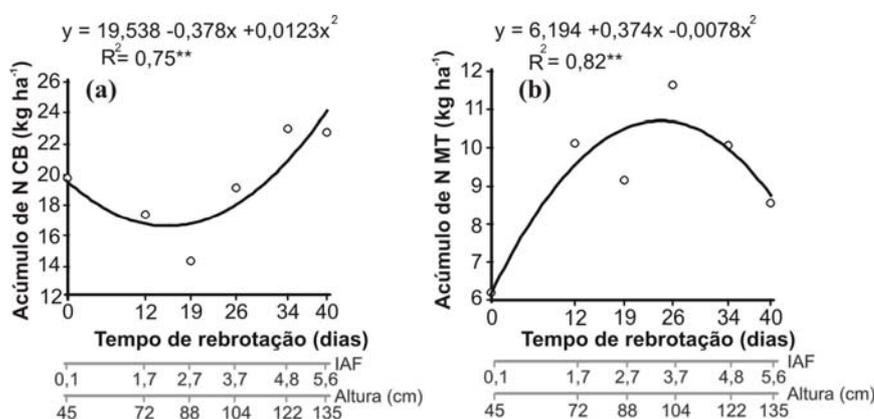


Figura 23 – Acúmulo de nitrogênio em colmos+bainhas - CB (a) e em material morto - MT (b) do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

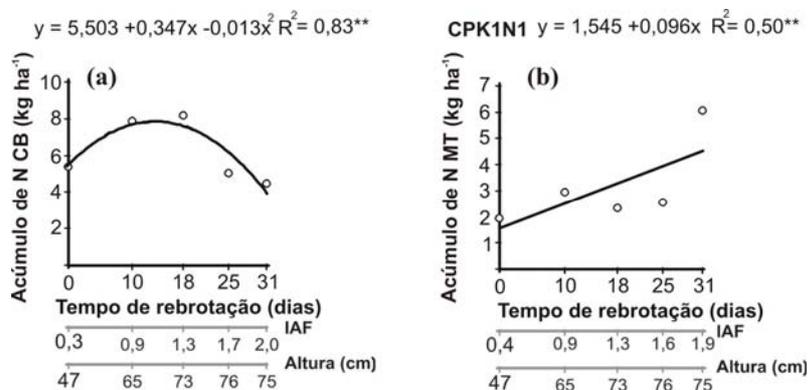


Figura 24 – Acúmulo de nitrogênio em colmos+bainhas - CB (a) e no material morto - MT (b) do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

Tendo em vista o ciclo de pastejo de verão, na dose de nitrogênio N2, o acúmulo de nitrogênio em colmos+bainhas foi de $22,52 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo significativamente diferente (Tukey, $P < 0,05$) do obtido na dose N1 de $16,23 \text{ kg ha}^{-1}$. No ciclo de outono, as doses de nitrogênio N1 e N2 proporcionaram acúmulos médios de $4,85$ e $7,51 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, acúmulos esses significativamente diferentes (Tukey, $P < 0,05$). Assim, no ciclo de pastejo de verão, o acúmulo na dose de nitrogênio N2 foi 1,4 vez maior que o acúmulo na dose N1 e, no ciclo de outono, 1,5 vez maior. Outro ponto a se destacar é o de que a contribuição do nitrogênio acumulado em colmos+bainhas em relação ao acúmulo de massa da parte aérea é maior no primeiro tempo de rebrotação devido à expressiva quantidade de massa dessa parte da planta. Com o avançar do tempo de rebrotação, além do incremento em massa de folhas, existe contribuição da redistribuição do nitrogênio para as partes mais novas da planta, principalmente para as folhas.

No ciclo de pastejo de verão, a interação entre doses de nitrogênio e tempo de rebrotação da pastagem foi significativa ($P < 0,01$) para o acúmulo de nitrogênio na parte aérea do capim-Tanzânia. No ciclo de outono houve significância ($P < 0,01$) da interação entre doses de nitrogênio, doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação da pastagem.

Na Figura 25 são apresentados os acúmulos de nitrogênio na parte aérea, em cada dose de nitrogênio, em função do tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão. As taxas de acúmulos foram de $2,9$ e $1,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nas doses de nitrogênio N2 e N1, respectivamente. Comparando essas taxas de acúmulo com as ocorridas nas folhas do capim-Tanzânia (Figura 22), verifica-se que são muito semelhantes, indicando mais uma vez, que a taxa de acúmulo do nutriente é quase que totalmente devida às folhas. Na comparação da participação relativa do

nitrogênio acumulado em cada parte da planta, determinada como proporção do nitrogênio acumulado na parte aérea aos 40 dias de rebrotação, independentemente das doses de nitrogênio, 71% do nitrogênio esteve localizado nas folhas (12%, 30% e 29%, nas FE, LR e LM, respectivamente), 21% em colmos+bainhas e 8% no material morto.

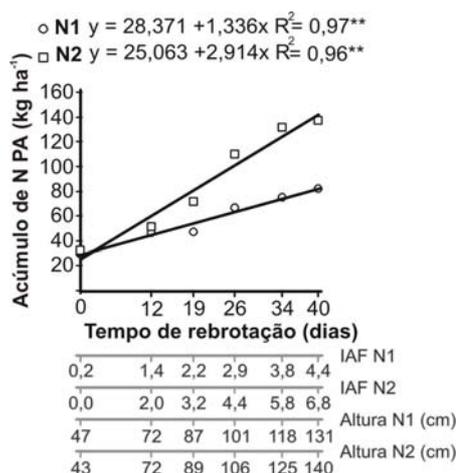


Figura 25 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea (PA) do capim-Tanzânia, em cada dose de nitrogênio, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

No ciclo de pastejo de outono, o acúmulo de nitrogênio na parte aérea variou de forma linear com o tempo de rebrotação da pastagem nas combinações de doses de calcário, fósforo e potássio com doses de nitrogênio CPK1N1 e CPK2N2, a taxas de 0,4 e 0,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente (Figura 26). O acúmulo do nutriente nas combinações CPK1N2 e CPK2N1 seguiu modelo quadrático, com máximos acúmulos aos 20 e 28 dias, respectivamente (Figura 26). Do total de nitrogênio acumulado na parte aérea, na combinação CPK1N1, 64% esteve localizado nas folhas (10%, 19% e 35%, nas FE, LR e LM, respectivamente), 14% em colmos+bainhas e 22% no material morto; na CPK1N2, 63% nas folhas (8%, 20% e 35%, nas FE, LR e LM, respectivamente), 16% em colmos+bainhas e 21% no material morto; na CPK2N1, 75% nas folhas (13%, 31% e 31%, nas FE, LR e LM, respectivamente), 12% em colmos+bainhas e 13% no material morto; na CPK2N2, 69% nas folhas (11%, 22% e 36% nas FE, LR e LM, respectivamente), 13% em colmos+bainhas e 18% no material morto do capim-Tanzânia. Assim, ficou evidente a redistribuição do nutriente entre as partes da planta, em ambos os ciclos de pastejo, sendo as folhas o dreno preferencial.

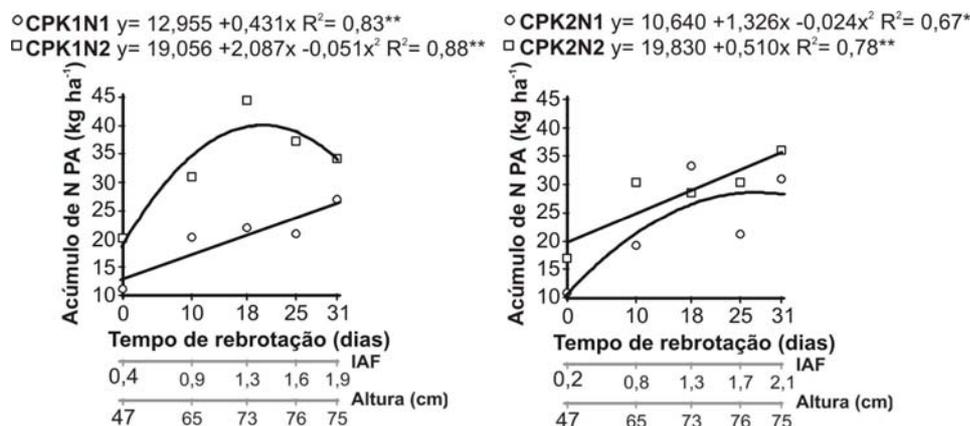


Figura 26 – Acúmulo de nitrogênio na parte aérea (PA) do capim-Tanzânia, em cada combinação de doses de nitrogênio com doses de calcário, fósforo e potássio, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

Weber & Haag (1984) relataram que a quantidade absorvida de nitrogênio no capim-Makueni foi acentuada no início da rebrotação, pois houve aumento de massa da parte aérea até o tempo de 112 dias, fazendo com que a concentração diminuísse. O balanço entre aumento da massa de tecidos e diminuição na concentração, devido a efeito de diluição, fez com que as quantidades acumuladas não variassem ao longo da rebrotação. Fagundes et al. (2000) observaram aumentos lineares no acúmulo de nitrogênio na parte aérea do capim-Tifton 68, com taxa de acúmulo de $0,9 \text{ kg ha}^{-1}$. Palhano & Haddad (1992) descreveram comportamento quadrático do acúmulo de nitrogênio em função do tempo de rebrotação no capim-Coastcross, com o máximo acúmulo ocorrendo aos 40 dias de rebrotação.

Na comparação entre as doses de nitrogênio, dentro de cada tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão quanto ao acúmulo de nitrogênio da parte aérea, comportamento semelhante ao acúmulo do elemento nas folhas foi observado, uma vez que a partir dos 19 dias de rebrotação é que o acúmulo promovido pela dose de nitrogênio N2 diferiu significativamente (Tukey, $P < 0,05$) do proporcionado pela dose N1. No ciclo de pastejo de outono foram obtidos significativos (Tukey, $P < 0,05$) acúmulos de nitrogênio na parte aérea na dose de nitrogênio N2, quando comparada à N1 aos 0, 10, 18 e 25 dias, na dose de calcário, fósforo e potássio CPK1, e aos 10 e 25 dias, na CPK2. Com relação à comparação entre os acúmulos de nitrogênio na

parte aérea entre as duas doses de calcário, fósforo e potássio, no ciclo de pastejo de outono foi observada diferença significativa (Tukey, $P < 0,05$) aos 18 dias tanto na dose de nitrogênio N1 como também na N2.

Primavesi et al. (2002) estudaram a extração de macronutrientes no capim-Coastcross submetido a cinco doses de nitrogênio e duas fontes (uréia e nitrato de amônio) e relataram que a interação entre as fontes e as doses de nitrogênio foi significativa para a extração do nitrogênio pela parte aérea das plantas. A extração do nitrogênio seguiu modelo quadrático em função das doses de nitrogênio (Primavesi et al., 2001). Quando da utilização de nitrogênio na dose de $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (dose na qual foi obtida a maior produção de forragem) aplicada com o uso das duas fontes nitrogenadas, verificaram aumento de sete vezes na extração em relação à testemunha não adubada. Em termos de valores absolutos, foram relatadas extrações de nitrogênio oscilando entre 40 e 429 kg ha^{-1} em relação a produções variando de 2700 a 14265 kg ha^{-1} .

4.7.2.2 Potássio

Para o acúmulo de potássio nas folhas do capim-Tanzânia, a interação entre as doses de nitrogênio e o tempo de rebrotação da pastagem foi significativa ($P < 0,01$) em ambos os ciclos de pastejo avaliados. No ciclo de verão, o efeito das doses de calcário, fósforo e potássio foi significativo ($P < 0,01$), enquanto que no ciclo de pastejo de outono foi significativa ($P < 0,01$) a interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação da pastagem.

O incremento no tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão, dentro de cada dose de nitrogênio, fez com que o acúmulo de potássio nas folhas do capim estudado seguisse modelo linear, com taxas de $1,76 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ na dose N1, e de $2,64 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ na dose N2 (Figura 27). Dessa forma, na dose de nitrogênio N2 a taxa de acúmulo foi 1,4 vez maior que na dose N1.

No ciclo de pastejo de outono, o acúmulo de potássio nas folhas também variou de forma linear com o tempo de rebrotação, dentro das doses de nitrogênio, com taxas de acúmulo de $0,85 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 27). O acúmulo do potássio, quando analisado dentro da dose de calcário, fósforo e potássio CPK2, foi representado por uma equação de segundo grau, enquanto que na dose CPK1 a variação foi linear, à taxa de $0,66 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 27). O acúmulo desse nutriente ao longo do tempo de rebrotação foi devido ao expressivo aumento de massa das folhas (Figura 11), uma vez que a concentração nas lâminas de folhas recém-

expandidas decresceu com o tempo de rebrotação à taxa de $0,19 \text{ g kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no ciclo de verão (Figura 20), e $0,34 \text{ g kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no ciclo de outono (Figura 21).

Comparando as médias do acúmulo de potássio nas folhas entre as doses de nitrogênio, verifica-se que o acúmulo na dose de nitrogênio N2 foi significativamente (Tukey, $P < 0,05$) maior do que na dose N1, a partir dos 26 dias do ciclo de pastejo de verão. No ciclo de outono, as doses de nitrogênio somente diferiram significativamente (Tukey, $P < 0,05$) aos 25 dias de rebrotação. Em relação à comparação do acúmulo de potássio no ciclo de pastejo de verão, os tratamentos CPK1 e CPK2 diferiram significativamente (Tukey, $P < 0,05$), com valores de 48 e 54 kg ha^{-1} , respectivamente (Tabela 3). No ciclo de outono, as doses de calcário, fósforo e potássio diferiram significativamente (Tukey, $P < 0,05$) aos 31 dias da rebrotação.

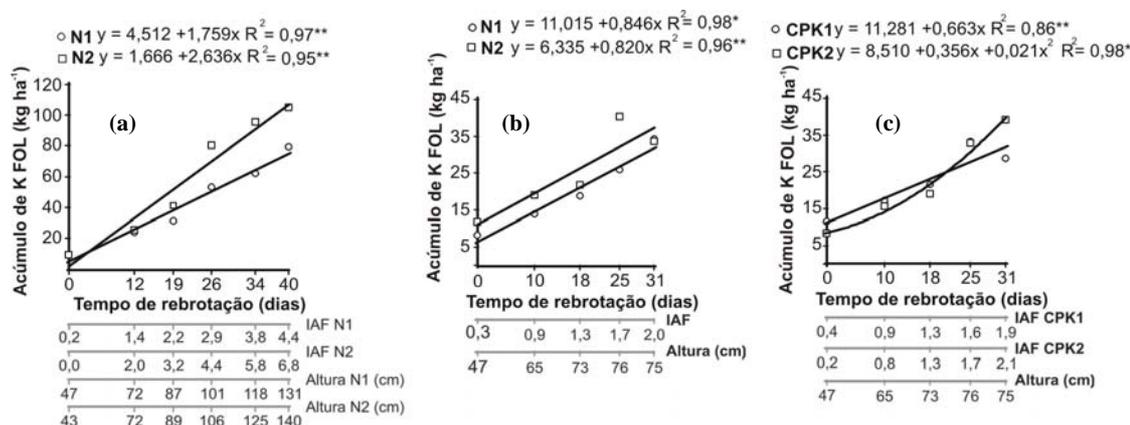


Figura 27 – Acúmulo de potássio nas folhas (FOL) do capim-Tanzânia em cada dose de nitrogênio, no ciclo de pastejo de verão (a) e de outono (b), e dentro das doses de calcário, fósforo e potássio no ciclo de outono (c) em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

Tabela 3. Acúmulo de potássio nas folhas, colmos+bainhas e material morto do capim-Tanzânia em cada dose de calcário, fósforo e potássio nos ciclos de pastejo de verão e outono

Parte da planta	Doses de calcário, fósforo e potássio	
	CPK1	CPK2
	-----kg ha ⁻¹ -----	
	Ciclo de pastejo de verão	
Folhas	48,10b	54,03a
Colmos+bainhas	86,50a	70,35b
Material morto	16,88b	17,59a
	Ciclo de pastejo de outono	
Colmos+bainhas	2,89a	2,23b
Material morto	1,56a	1,16b
Parte aérea	6,94a	5,91b

Médias seguidas por letras diferentes, dentro de cada linha, diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tanto no ciclo de pastejo de verão como no de outono, houve significância (P<0,01) do tempo de rebrotação e das doses de calcário, fósforo e potássio no acúmulo de potássio em colmos+bainhas da planta forrageira. A variação do acúmulo de potássio com o tempo de rebrotação da pastagem seguiu modelo quadrático em ambos os ciclos de pastejo (Figura 28). O mínimo acúmulo no ciclo de verão foi obtido aos 14 dias e o máximo acúmulo no ciclo de outono aos 15 dias de rebrotação. Da mesma forma que discutido para o acúmulo de nitrogênio, o comportamento contrastante do acúmulo de potássio entre os ciclos de pastejo foi devido à variação da massa de colmos+bainhas, o qual diferiu entre os ciclos avaliados (Figura 12). Também, na dose de calcário, fósforo e potássio CPK1 o acúmulo do potássio foi maior do que o observado na dose CPK2 (Tabela 3). Como o teor de potássio trocável no solo somente foi alterado pela profundidade de amostragem, mesmo tendo sido aplicadas quantidades do nutriente duas vezes maiores na dose CPK2 do que na dose CPK1, e as doses de calcário, fósforo e potássio alteraram a produção de colmos+bainhas, mudanças na concentração do nutriente no tecido vegetal explicam as diferenças no acúmulo, pois foi obtida concentração mais elevada em colmos+bainhas na dose CPK1.

Com relação ao acúmulo de potássio no material morto da pastagem, a interação entre doses de nitrogênio e tempo de rebrotação foi significativa (P<0,01) no ciclo de pastejo de verão. Também, houve significância (P<0,01) para as doses de calcário, fósforo e potássio em ambos os ciclos de pastejo, e para o tempo de rebrotação no ciclo de outono.

O tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão e na dose de nitrogênio N1 fez variar o acúmulo de potássio no material morto de acordo com modelo quadrático (Figura 28). A

variação do acúmulo dentro da dose N2 foi linear, com taxas de incremento de $0,42 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 28). No ciclo de pastejo de outono, a variação do acúmulo de potássio no material morto seguiu modelo quadrático, com acúmulo mínimo aos 11 dias de rebrotação (Figura 28).

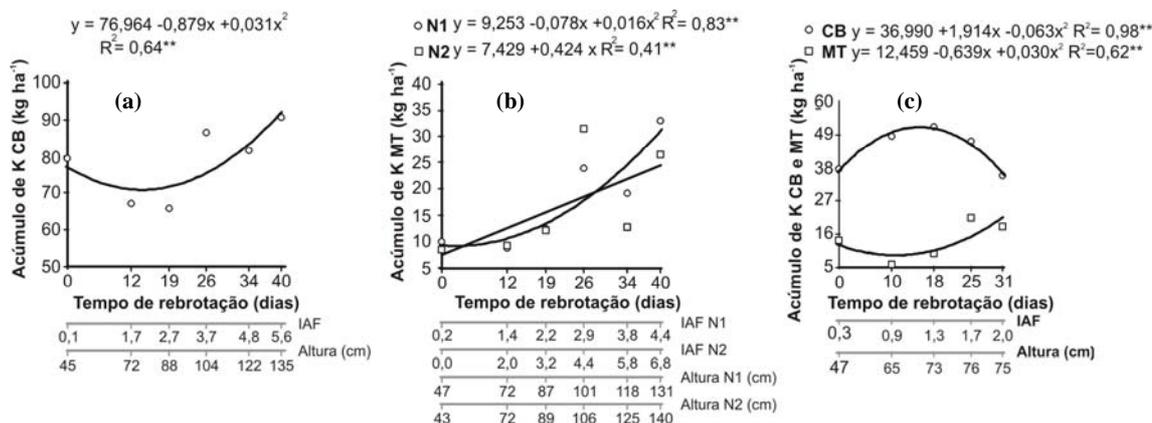


Figura 28 – Acúmulo de potássio em colmos+bainhas (CB) e no material morto (MT) do capim-Tanzânia nos ciclos de pastejo de verão (a; b) e de outono (c) em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

Efetuada a comparação para o acúmulo de potássio no material morto em relação às doses de nitrogênio em cada tempo de rebrotação do ciclo de verão, não foram observadas diferenças significativas (Tukey, $P > 0,05$). Na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 foi obtido maior acúmulo do potássio no material morto no ciclo de verão, e menor acúmulo no ciclo de pastejo de outono do que os verificados na dose CPK1 (Tabela 3).

Para o acúmulo de potássio na parte aérea, a interação entre doses de nitrogênio, doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$) no ciclo de pastejo de verão. No ciclo de outono, houve significância ($P < 0,01$) para doses de nitrogênio, doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação da pastagem.

No ciclo de pastejo de verão, para as combinações de doses de calcário, fósforo e potássio com doses de nitrogênio CPK1N1 e CPK2N2, o acúmulo de potássio na parte aérea das plantas variou linearmente com o tempo de rebrotação, com taxas de $1,95$ e $4,12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Figura 29). Nas combinações CPK1N2 e CPK2N1 o acúmulo seguiu modelo quadrático com valores mínimos aos 6 dias e 1 dia, respectivamente (Figura 29). No ciclo de pastejo de outono a variação do acúmulo de potássio na parte aérea com o tempo de rebrotação seguiu modelo linear, com taxa de $1,10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 29).

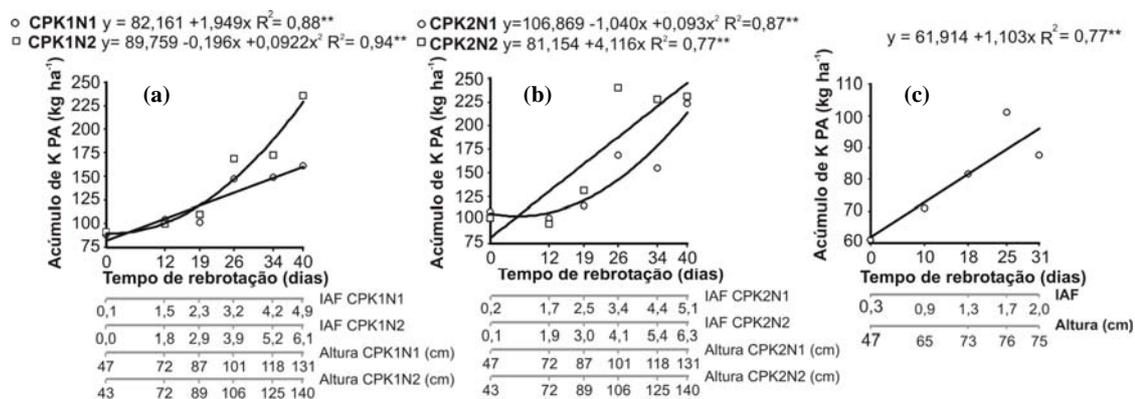


Figura 29 – Acúmulo de potássio na parte aérea (PA) do capim-Tanzânia nos ciclos de pastejo de verão (a; b) em cada combinação de doses de nitrogênio com doses de calcário, fósforo e potássio, e de outono (c), na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

Comparando as doses de nitrogênio no ciclo de pastejo de verão, a dose N2 foi significativamente superior (Tukey, $P < 0,05$) no acúmulo de potássio quando comparada à dose N1 aos 40 dias de rebrotação dentro de CPK1, e aos 26 e 34 dias dentro de CPK2. No ciclo de pastejo de outono, o acúmulo desse nutriente na dose de nitrogênio N2, na média do tempo de rebrotação e das doses de calcário, fósforo e potássio, foi de 86,6 kg ha⁻¹, sendo significativamente (Tukey, $P < 0,05$) diferente do observado na dose N1, situação em que o acúmulo foi de 74,1 kg ha⁻¹.

Para o acúmulo de potássio na parte aérea nas doses de calcário, fósforo e potássio e no ciclo de pastejo de verão, foi verificado que o tratamento CPK2 diferiu significativamente (Tukey, $P < 0,05$) do CPK1 aos 40 dias de rebrotação, na dose de nitrogênio N1, e aos 26 e 34 dias na dose N2. No ciclo de pastejo de outono, o acúmulo de potássio na parte aérea do capim-Tanzânia foi significativamente maior no tratamento CPK1 do que no CPK2 (Tabela 3).

Do total de potássio acumulado na parte aérea aos 40 dias do ciclo de pastejo de verão, 45% se localizou nas folhas (9% nas FE, 19% nas LR e 17% nas LM), 36% em colmos+bainhas e 19% no material morto na combinação de doses de calcário, fósforo e potássio CPK1N1; 46% nas folhas (9% nas FE 20% nas LR e 17% nas LM), 43% em colmos+bainhas e 11% no material morto na combinação CPK1N2; 39% nas folhas (6% nas FE, 13% nas LR e 20% nas LM), 45% em colmos+bainhas e 16% no material morto na combinação CPK2N1; 44% nas folhas (8% nas FE, 20% nas LR e 16% nas LM), 45% em colmos+bainhas e 11% no material morto do capim-Tanzânia na combinação CPK2N2. No ciclo de pastejo de outono, aos 31 dias, 39% esteve localizado nas folhas (7%, 12% e 20% nas FE, LR e LM,

respectivamente), 40% em colmos+bainhas e 21% no material morto das plantas, concordando com os resultados de Benetti & Monteiro (1999), os quais relataram grande acúmulo de potássio nos colmos e nas bainhas do capim-Tanzânia.

Os resultados apresentados na Figura 29 não concordam com Weber & Haag (1984), que relataram variação linear do acúmulo de potássio em função do tempo de rebrotação, com taxas de decréscimo de $0,14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Esses autores obtiveram diferenças na produção de massa total das plantas quando compararam o primeiro com o último tempo de rebrotação, de forma que o acúmulo de massa foi pequeno. Esse pequeno acúmulo associado ao efeito de diluição na concentração do nutriente resultou em decréscimo no acúmulo de potássio na parte aérea das plantas. Em capim-Tifton 68, Fagundes et al. (2000) reportaram incrementos no acúmulo de potássio de $0,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, tendo o aumento na massa da parte aérea das plantas sido apontado como o principal fator no incremento da quantidade de potássio absorvida pelas plantas.

4.7.2.3 Fósforo

No ciclo de pastejo de verão, houve significância ($P < 0,01$) para a interação entre doses de nitrogênio e tempo de rebrotação da pastagem e das doses de calcário, fósforo e potássio para o acúmulo de fósforo nas folhas. No ciclo de pastejo de outono, a interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$).

O tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão fez com que o acúmulo de fósforo nas folhas variasse de forma linear, independentemente das doses de nitrogênio. As taxas de acúmulo foram de $0,20$ e $0,27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nas doses N1 e N2, respectivamente (Figura 30). No ciclo de outono, o acúmulo de fósforo também seguiu modelo linear quando ajustado em função do tempo de rebrotação, com taxas de $0,08$ e $0,13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nas doses CPK1 e CPK2, respectivamente (Figura 30).

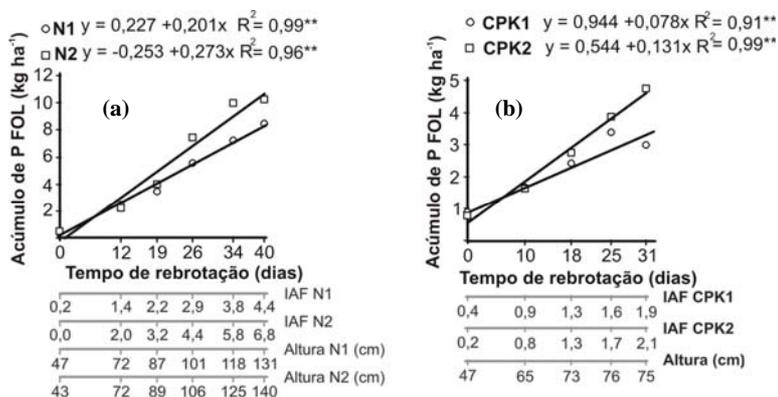


Figura 30 – Acúmulo de fósforo nas folhas (FOL) do capim-Tanzânia, em cada dose de nitrogênio no ciclo de pastejo de verão (a) e dentro das doses de calcário, fósforo e potássio no ciclo de outono (b), em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

Na dose de nitrogênio N2 o acúmulo de fósforo nas folhas do capim-Tanzânia foi significativamente (Tukey, $P < 0,05$) mais elevado do que o obtido na dose N1, a partir dos 26 dias do ciclo de pastejo de verão. No ciclo de outono, o efeito das doses de nitrogênio não foi significativo ($P > 0,05$). O acúmulo do nutriente no ciclo de verão no tratamento CPK1 foi de $4,52 \text{ kg ha}^{-1}$, o qual foi significativamente (Tukey, $P < 0,05$) diferente daquele de $5,81 \text{ kg ha}^{-1}$ na dose CPK2. No ciclo de pastejo de outono, diferenças significativas (Tukey, $P < 0,05$) entre as doses de calcário, fósforo e potássio somente foram obtidas no último tempo de rebrotação avaliado aos 31 dias.

Na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 foi aplicado anualmente o dobro da quantidade de fósforo da dose CPK1 e os teores de fósforo disponível no solo diferiram até os 7,5 cm de profundidade (Figura 4). Assim, devido a essa amplitude de variação, poderia parecer contraditória a pequena diferença nos acúmulos de fósforo nas folhas entre as doses de calcário, fósforo e potássio. Todavia, isto se explica pela extrema facilidade com que o fósforo se move na planta (Marschner, 1995), tendo como destino o dreno preferencial, ou seja, as folhas, as quais não são penalizadas pela planta em detrimento de outras partes, quando da redistribuição interna do nutriente.

Com relação ao acúmulo de fósforo em colmos+bainhas, a interação entre as doses de calcário, fósforo e potássio foi significativa ($P < 0,01$) no ciclo de verão. Houve significância ($P < 0,01$) das doses de nitrogênio em ambos os ciclos de pastejo e do tempo de rebrotação no ciclo de outono.

Na Figura 31 são mostrados os efeitos do tempo de rebrotação em cada dose de calcário, fósforo e potássio no acúmulo de fósforo em colmos+bainhas no ciclo de pastejo de verão. Esse acúmulo seguiu modelo quadrático, com valores mínimos observados aos 18 e 8 dias nas doses CPK1 e CPK2, respectivamente. A comparação das curvas de acúmulo de massa de colmos+bainhas (Figura 12) com as do acúmulo de fósforo (Figura 31) permite verificar a semelhança entre elas, sendo que os valores mínimos de massa seca dessa parte da planta foram obtidos aos 17 e 8 dias nas doses de CPK1 e CPK2, respectivamente. No ciclo de pastejo de outono, a variação do acúmulo de fósforo nos colmos+bainhas também foi representada por uma equação de segundo grau, com máximo acúmulo obtido aos 16 dias (Figura 31). Da mesma forma como relatado para o ciclo de pastejo de verão, o acúmulo do nutriente acompanhou o acúmulo de massa de colmos+bainhas (Figura 12).

Com relação ao ciclo de pastejo de verão, na dose de nitrogênio N2 foi obtido acúmulo de $3,46 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo em colmos+bainhas, acúmulo esse significativamente (Tukey, $P < 0,05$) diferente do observado na dose N1 com $4,31 \text{ kg ha}^{-1}$. Em cada tempo de rebrotação, a dose CPK2 proporcionou acúmulo significativamente (Tukey, $P < 0,05$) mais elevado do que em CPK1 aos 26 e 40 dias de rebrotação. O acúmulo obtido aos 34 dias, referente à CPK2, não manteve a mesma relação de dependência com os acúmulos nos demais tempos de rebrotação, com valor abaixo do esperado, explicando o menor coeficiente de determinação no ajuste da equação de segundo grau na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 (Figura 31). Assim, as doses de nitrogênio foram menos efetivas em promover o acúmulo do fósforo em colmos+bainhas, uma vez que não alteraram também a produção de massa seca dessa parte da planta, e o maior acúmulo de fósforo resultante da dose de nitrogênio N1 foi 1,7 vez menor que o maior acúmulo na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2. No ciclo de pastejo de outono, o efeito das doses de calcário, fósforo e potássio não foi significativo ($P > 0,05$). Entretanto, nas doses de nitrogênio N1 e N2 foram obtidos os acúmulos de fósforo em colmos+bainhas do capim-Tanzânia de $2,89$ e $2,23 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, os quais diferiram significativamente (Tukey, $P < 0,05$).

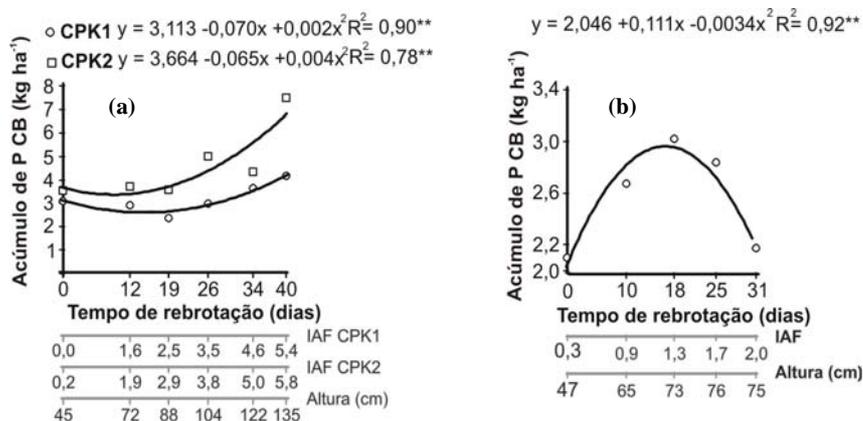


Figura 31 – Acúmulo de fósforo em colmos+bainhas (CB) do capim-Tanzânia, em cada dose de calcário, fósforo e potássio no ciclo de pastejo de verão (a) e na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio no ciclo de outono (b), em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

A interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$) para o acúmulo de fósforo no material morto no ciclo de pastejo de outono. Também, houve significância ($P < 0,01$) do tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão e das doses de nitrogênio no ciclo de outono.

O acúmulo de fósforo no material morto do capim-Tanzânia variou de forma linear com o tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão e à taxa de $0,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 32), acompanhando o incremento em massa seca nessa parte da planta (Figura 13). Como o nutriente é móvel na planta, o material morto acumulou somente $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo aos 40 dias de rebrotação (Figura 32). No ciclo de pastejo de outono, o acúmulo desse nutriente também seguiu modelo linear, com taxas de acúmulo de $0,02$ e $0,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nos tratamentos CPK1 e CPK2, respectivamente (Figura 32). Na dose de nitrogênio N2 foi observado acúmulo de $1,16 \text{ kg ha}^{-1}$, o qual foi significativamente (Tukey, $P < 0,05$) menor do que o observado na dose N1, de $1,56 \text{ kg ha}^{-1}$.

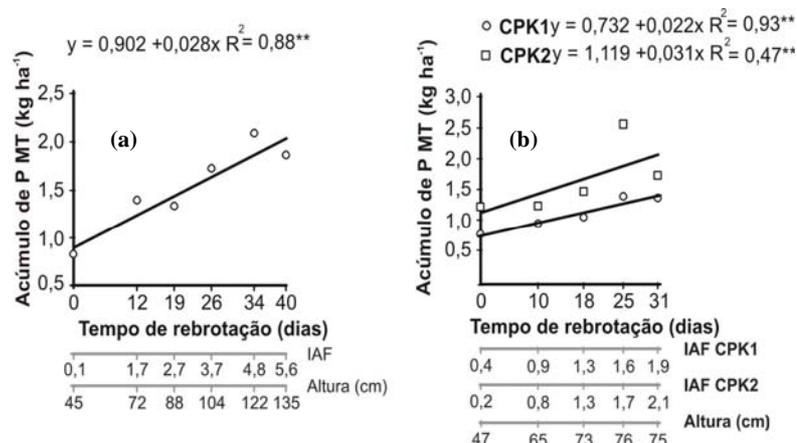


Figura 32 – Acúmulo de fósforo no material morto (MT) do capim-Tanzânia, na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio no ciclo de pastejo de verão (a) e dentro das doses de calcário, fósforo e potássio no ciclo de outono (b), em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

Para o acúmulo de fósforo na parte aérea do capim-Tanzânia, a interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$) no ciclo de pastejo de verão. O efeito das doses de nitrogênio e do tempo de rebrotação foi significativo ($P < 0,01$) no ciclo de outono. Não houve significância ($P > 0,05$) das doses de nitrogênio no ciclo de verão, e das doses de calcário, fósforo e potássio no ciclo de outono.

No ciclo de pastejo de verão, a variação linear do acúmulo de fósforo nas folhas e no material morto das plantas, em conjunto com a alteração segundo equação de segundo grau no acúmulo em colmos+bainhas quando ajustados em função do tempo de rebrotação resultou em incrementos lineares no acúmulo do nutriente pela parte aérea (soma do acúmulo nas folhas, colmos+bainhas e material morto) do capim-Tanzânia dentro de cada dose de calcário, fósforo e potássio (Figura 33). No tratamento CPK1 a taxa de acúmulo foi de $0,27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e no CPK2 foi de $0,37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. No ciclo de pastejo de outono, a variação do acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas seguiu modelo quadrático e o máximo dessa variável só seria atingido em tempo de rebrotação mais longo do que o avaliado (Figura 33).

As taxas de acúmulo de fósforo constantes ao longo do ciclo de pastejo de verão fizeram com que na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 o acúmulo de fósforo diferisse significativamente (Tukey, $P < 0,05$) do observado na dose CPK1 a partir dos 19 dias de rebrotação, indicando mais uma vez que até esse tempo de rebrotação associado à altura de 87 e 89 cm e IAF de 2,2 e 3,2 nas doses de nitrogênio N1 e N2, respectivamente, a dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 não expressou o potencial da planta em acumular fósforo. No

ciclo de pastejo de outono, na dose de nitrogênio N2, foi observado acúmulo de 5,91 kg ha⁻¹ e na dose N1 de 6,94 kg ha⁻¹, com diferenças significativas (Tukey, P<0,05) entre elas.

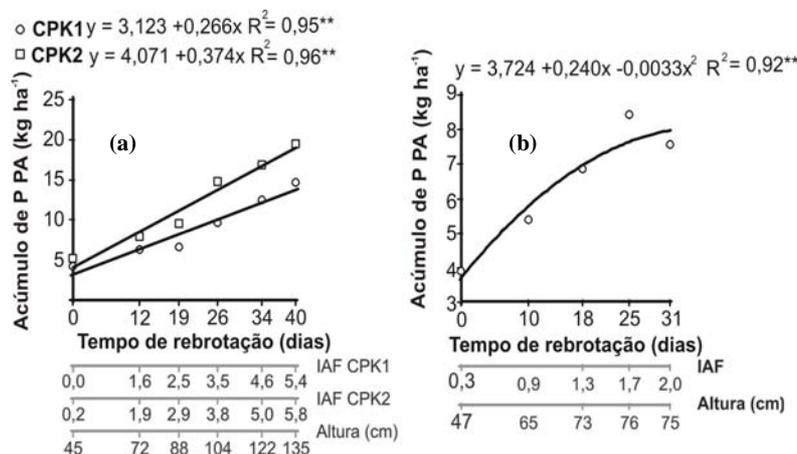


Figura 33 – Acúmulo de fósforo na parte aérea (PA) do capim-Tanzânia, em cada dose de calcário, fósforo e potássio no ciclo de pastejo de verão (a), e na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio no ciclo de outono (b), em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

A participação relativa do acúmulo fósforo de cada componente da parte aérea no ciclo de pastejo de verão permite verificar que os valores relativos às doses de calcário, fósforo e potássio CPK1 e CPK2 são: 60% (13%, 26% e 21% nas FE, LR e LM, respectivamente) e 50% (9%, 21% e 20% nas FE, LR e LM, respectivamente) nas folhas, 29% e 39% em colmos+bainhas e 11% no material morto. No ciclo de outono, aos 31 dias de rebrotação, 51% do fósforo estava localizado nas folhas (9%, 17% e 25% nas FE, LR e LM, respectivamente), 29% em colmos+bainhas e 20% no material morto.

Weber & Haag (1984) relataram efeito significativo ($P < 0,05$) do acúmulo de fósforo no capim-Makueni em função do tempo de rebrotação, com ajuste a modelo quadrático. O acúmulo foi máximo aos 90 dias, sendo que a velocidade de acúmulo foi acentuada entre 30 e 60 dias, para depois crescer lentamente até 90 dias, e decresceu com maior avanço no tempo de rebrotação. Os máximos acúmulos de fósforo apresentados por Weber & Haag (1984) em *Panicum maximum* são cerca de 11 e 15 vezes menores do que os observados no ciclo de pastejo de verão (Figura 33). Assim, mesmo se tratando da mesma espécie forrageira, o baixo potencial produtivo do cultivar testado por Weber & Haag (1984) resultou em menores acúmulos do nutriente. Fagundes et al. (2000) reportaram incrementos lineares do acúmulo de fósforo na

parte aérea do capim-Tifton 68, com taxas de $0,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, que foram quatro e três vezes menores do que as apresentadas na Figura 33. Palhano & Haddad (1992) reportaram variações nos acúmulos do capim-Coastcross entre $9,9$ e $15,8 \text{ kg ha}^{-1}$. Primavesi et al. (2001), também com capim-Coastcross, descreveram que as doses de nitrogênio de 250 e 300 kg ha^{-1} comparadas com a testemunha proporcionaram aumentos de três vezes na extração de fósforo, não concordando com o presente experimento em que as doses de nitrogênio não fizeram variar o acúmulo desse elemento na parte aérea da planta no ciclo de pastejo de verão, tendo alterado negativamente o acúmulo nos colmos+bainhas. No ciclo de pastejo de outono foi verificado efeito negativo da dose de nitrogênio, com decréscimo de $1,2$ vez no acúmulo de fósforo, em função da elevação da dose de nitrogênio.

4.7.2.4 Enxofre

Para o acúmulo de enxofre nas folhas no ciclo de pastejo de verão, a interação entre doses de nitrogênio e tempo de rebrotação foi significativa ($P < 0,01$), assim como o efeito das doses de calcário, fósforo e potássio. No ciclo de outono, houve significância ($P < 0,01$) para a interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação, enquanto o efeito das doses de nitrogênio não foi significativo ($P > 0,05$).

O acúmulo de enxofre nas folhas do capim-Tanzânia variou linearmente com o tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão, com taxas de acúmulo de $0,10$ e $0,18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nas doses de nitrogênio N1 e N2, respectivamente (Figura 34). No ciclo de pastejo de outono, a variação do acúmulo desse nutriente nas folhas, em cada dose de calcário, fósforo e potássio, também seguiu modelo linear, à taxa de $0,04$ e $0,07 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nas doses CPK1 e CPK2, respectivamente (Figura 34). O acúmulo desse nutriente aumentou com o tempo de rebrotação, tendo em vista o balanço entre o aumento da massa de folhas (Figuras 11) e o decréscimo da concentração de enxofre nas folhas com o avançar da idade das plantas (Figuras 20 e 21).

No ciclo de pastejo de verão, a dose de nitrogênio N2 resultou em acúmulos significativamente (Tukey, $P < 0,05$) mais elevados do que na dose N1 a partir dos 19 dias de rebrotação. Aos 40 dias da rebrotação do capim, o acúmulo proporcionado pela dose N2 foi $1,6$ vez maior que o observado na dose N1. Como metade da dose de nitrogênio foi aplicada na forma de sulfato de amônio, as adições de enxofre foram duas vezes maiores na dose de nitrogênio N2, tendo como consequência maior teor desse elemento no solo e maior concentração na planta. No tratamento CPK2 foi observado acúmulo de enxofre nas folhas de $3,67 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto que no CPK1 o acúmulo foi de $3,12 \text{ kg ha}^{-1}$, médias essas, que diferiram significativamente (Tukey $P < 0,05$). No ciclo de pastejo de outono, o acúmulo de enxofre nas

folhas na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 somente diferiu significativamente (Tukey, $P < 0,05$) do observado na dose CPK1 no último tempo de rebrotação (aos 31 dias).

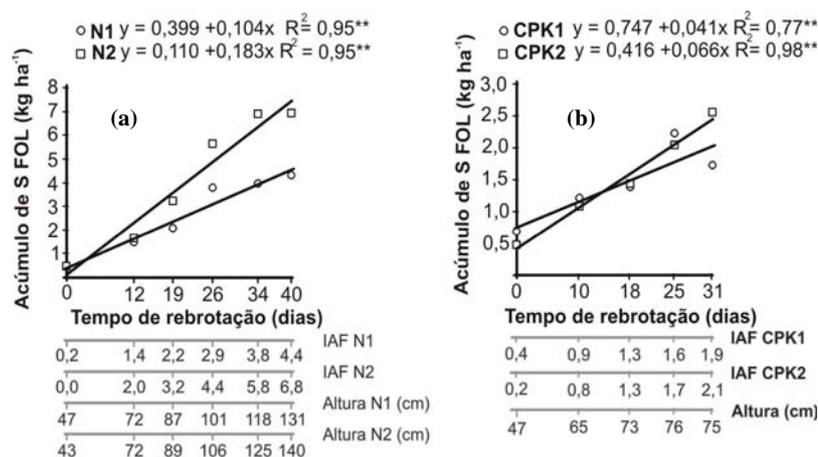


Figura 34 – Acúmulo de enxofre nas folhas (FOL) do capim-Tanzânia, em cada dose de nitrogênio no ciclo de pastejo de verão (a) e dentro das doses de calcário, fósforo e potássio no ciclo de pastejo de outono (b), em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

No ciclo de pastejo de verão, houve significância ($P < 0,01$) na interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação da pastagem para o acúmulo de enxofre em colmos+bainhas. O efeito do tempo de rebrotação foi significativo ($P < 0,01$) para o acúmulo do enxofre em colmos+bainhas no ciclo de outono e no material morto no ciclo de pastejo de verão. Houve significância ($P < 0,01$) das doses de calcário, fósforo e potássio para o acúmulo de enxofre no material morto no ciclo de outono.

O acúmulo de enxofre em colmos+bainhas na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 variou de forma linear com o tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão, com taxa de acúmulo de $0,04 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 35). Na dose CPK1 as equações polinomiais não foram significativas ($P > 0,05$). O acúmulo desse nutriente no material morto seguiu modelo quadrático, com o máximo acúmulo de $1,94 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 40 dias de rebrotação (Figura 35). No ciclo de pastejo de outono, a variação do acúmulo do enxofre em colmos+bainhas em função do tempo de rebrotação seguiu modelo quadrático, com máximo acúmulo observado aos 17 dias (Figura 36). O acúmulo de enxofre no material morto foi alterado de forma linear, à taxa de $0,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 36).

O acúmulo de enxofre em colmos+bainhas no tratamento CPK2 diferiu significativamente (Tukey, $P < 0,05$) do observado em CPK1 aos 34 e 40 dias do ciclo de pastejo

de verão. No ciclo de outono foram observados acúmulos de enxofre significativamente diferentes (Tukey, $P < 0,05$) no material morto, de 1,38 e 1,60 kg ha^{-1} para os tratamentos CPK1 e CPK2, respectivamente.

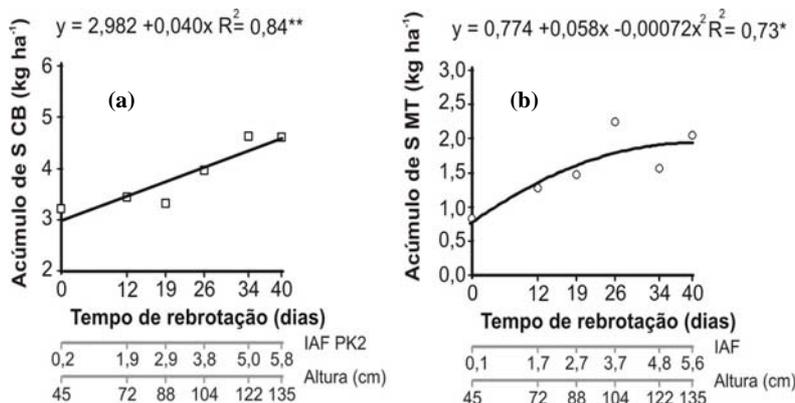


Figura 35 – Acúmulo de enxofre em colmos+bainhas - CB (a) e no material morto – MT (b) do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

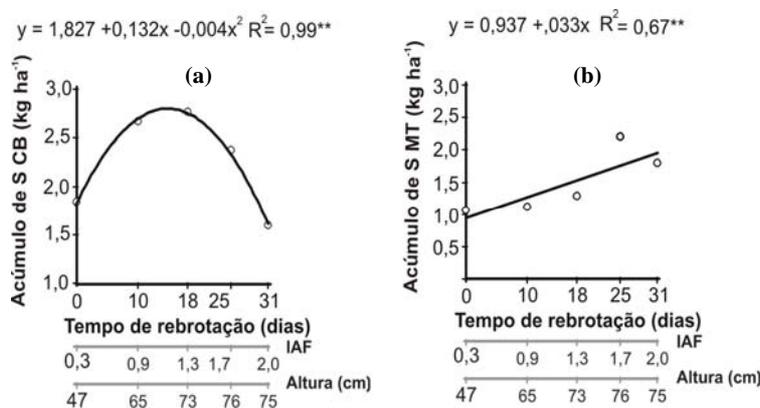


Figura 36 – Acúmulo de enxofre em colmos+bainhas - CB (a) e no material morto - MT (b) do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

Em relação ao acúmulo de enxofre na parte aérea do capim-Tanzânia, foi significativa ($P < 0,01$) a interação entre doses de nitrogênio e tempo de rebrotação em ambos os ciclos de pastejo avaliados. Houve significância ($P < 0,01$) da interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão.

O acúmulo de enxofre na parte aérea das plantas variou segundo uma equação de primeiro grau com o tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão e dentro de cada dose de calcário, fósforo e potássio e de doses de nitrogênio (Figura 37). Nos tratamentos CPK1 e CPK2 foram observadas taxas de acúmulo de 0,15 e 0,22 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, e nas doses de nitrogênio N1 e N2 taxas de acúmulo de 0,14 e 0,23 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Assim, o tempo de rebrotação alterou de maneira semelhante as taxas de acúmulo tanto dentro das doses de nitrogênio como nas de calcário, fósforo e potássio, uma vez que as quantidades iniciais de enxofre acumulado no primeiro tempo de rebrotação também eram semelhantes (Figura 37).

No ciclo de pastejo de outono, a variação do acúmulo de enxofre na parte aérea das plantas foi representado por uma equação de segundo grau, na dose de nitrogênio N2, e por uma equação de primeiro grau na dose N1 (Figura 37). Dessa forma, o tempo de rebrotação proporcionou que na dose de nitrogênio N2 fosse atingido o acúmulo máximo de 6,5 kg ha⁻¹, aos 21 dias de rebrotação. Tanto as doses de calcário, fósforo e potássio como as doses de nitrogênio, dentro do tempo de rebrotação no ciclo de verão, diferiram significativamente (Tukey, P<0,05) a partir dos 26 dias de rebrotação. No ciclo de pastejo de outono não foram observadas, dentro do tempo de rebrotação, diferenças significativas (Tukey, P>0,05) entre as doses de nitrogênio.

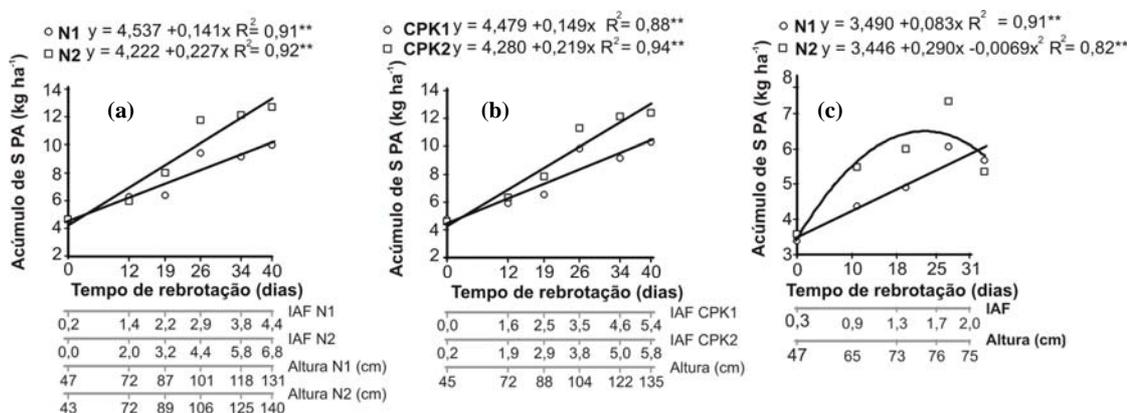


Figura 37 – Acúmulo de enxofre na parte aérea (PA) do capim-Tanzânia, dentro das doses de nitrogênio nos ciclos de pastejo de verão (a) e de outono (c) e em cada dose de calcário, fósforo e potássio no ciclo de verão (b), em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel

Do total de enxofre acumulado pela parte aérea aos 40 dias do ciclo de pastejo de verão e no tratamento CPK1, 52% se localizou nas folhas (9% nas FE, 23% nas LR e 20% nas LM), 27% em colmos+bainhas e 21% no material morto. Na dose CPK2, 47% nas folhas (7%

nas FE, 19% nas LR e 21% nas LM), 37% em colmos+bainhas e 16% no material morto. Com relação ao total acumulado na parte aérea aos 40 dias de rebrotação na dose de nitrogênio N1, 43% se localizou nas folhas (7% nas FE, 16% nas LR e 20% nas LM), 35% em colmos+bainhas e 22% no material morto. Na dose N2, 54% do enxofre acumulado estava nas folhas (9% nas FE, 24% nas LR e 21% nas LM), 31% em colmos+bainhas e 15% no material morto. No ciclo de pastejo de outono, aos 31 dias, 38% do enxofre acumulado na parte aérea e na dose de nitrogênio N1 estava localizado nas folhas (6%, 13% e 19% nas FE, LR e LM respectivamente), 25% em colmos+bainhas e 37% no material morto. Na dose de nitrogênio N2 40% do enxofre estava presente nas folhas (6%, 13% e 21% nas FE, LR e LM, respectivamente), 32% em colmos+bainhas e 28% no material morto.

4.7.2.5 Cálcio e magnésio

Houve significância ($P < 0,01$) da interação entre doses de nitrogênio e tempo de rebrotação da pastagem para o acúmulo de cálcio no ciclo de verão, e de magnésio, no ciclo de outono nas folhas do capim-Tanzânia. Para o acúmulo de cálcio no ciclo de pastejo de outono, houve significância ($P < 0,01$) da interação entre doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação. O efeito tanto das doses de nitrogênio como do tempo de rebrotação foi significativo ($P < 0,01$) para o acúmulo de magnésio nas folhas no ciclo de outono.

No ciclo de pastejo de verão, os acúmulos de cálcio e magnésio nas folhas do capim-Tanzânia, em cada dose de nitrogênio, variaram de forma linear com o tempo de rebrotação da pastagem (Figura 38). As taxas de acúmulo de cálcio foram superiores às taxas de acúmulo de magnésio. Enquanto que na dose de nitrogênio N1 as taxas de acúmulo de cálcio e magnésio foram de $0,46$ e $0,27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente, na dose N2 esses acúmulos foram de $0,73$ e $0,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Observado aos 40 dias de rebrotação, o acúmulo de cálcio foi maior que o de magnésio em 1,7 vez na dose de nitrogênio N1 e em 1,5 vez na dose N2.

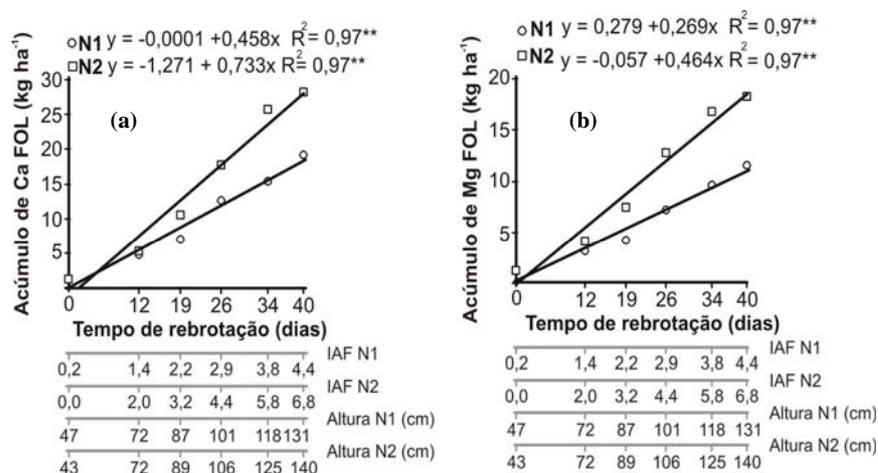


Figura 38 – Acúmulo de cálcio (a) e magnésio (b) nas folhas (FOL) do capim-Tanzânia, dentro das doses de nitrogênio, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

No ciclo de pastejo de outono, o acúmulo de cálcio nas folhas variou linearmente no tratamento CPK1, e segundo modelo quadrático na dose CPK2, quando ajustado em função do tempo de rebrotação da pastagem (Figura 39). Também o acúmulo de magnésio, na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, variou de forma linear, à taxa de $0,14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 39). Assim, aos 31 dias (último tempo de rebrotação avaliado) o acúmulo de cálcio nos tratamentos CPK1 e CPK2 foram 1,7 e 2,1 vezes maior, respectivamente, que o acúmulo de magnésio.

Os acúmulos de cálcio e magnésio nas folhas proporcionados pelas doses de nitrogênio no ciclo de pastejo de verão permitiram verificar que a dose de nitrogênio N2 resultou em mais elevados acúmulos de cálcio e magnésio que a dose N1 (Tukey, $P < 0,05$) a partir dos 19 dias de rebrotação, evidenciando grande efeito da massa de folhas no acúmulo do nutriente. No último tempo de rebrotação avaliado o acúmulo de cálcio na dose de nitrogênio N2 foi 1,5 vez maior que o proporcionado na dose N1, enquanto o acúmulo de magnésio na dose N2 foi 1,7 vez maior do que na dose N1.

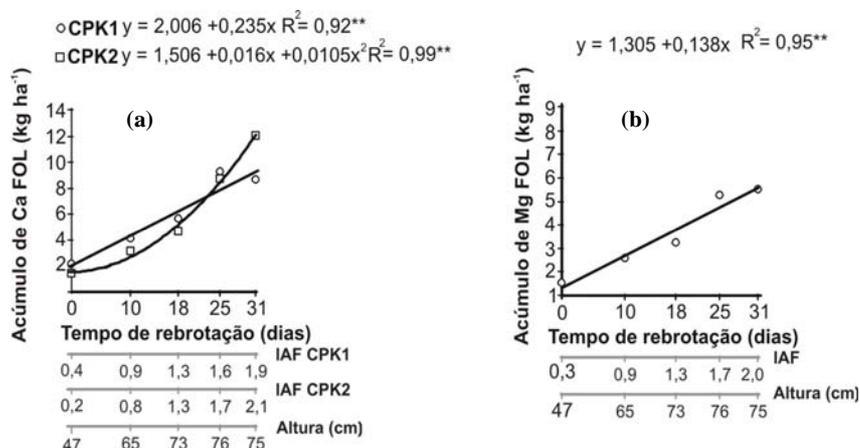


Figura 39 – Acúmulo de cálcio (a), dentro das doses de calcário, fósforo e potássio, e de magnésio (b), na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, nas folhas do capim-Tanzânia, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

No ciclo de pastejo de outono, diferenças significativas (Tukey, $P < 0,05$) entre as doses de calcário, fósforo e potássio foram observadas aos 31 dias de rebrotação para o acúmulo de cálcio nas folhas. Com relação ao acúmulo de magnésio, nas doses de nitrogênio N1 e N2 foram de 2,94 e 4,30 kg ha⁻¹, respectivamente, com diferenças significativas (Tukey, $P < 0,05$) entre si.

As concentrações de cálcio e magnésio nas folhas do capim estudado (Figuras 20 e 21) ao longo do tempo de rebrotação em ambos os ciclos de pastejo avaliados, apresentaram comportamento diferenciado dos ocorridos para o nitrogênio, fósforo e potássio, uma vez que tiveram suas concentrações aumentadas até os 26 dias da rebrotação no ciclo de pastejo de verão, e até o último tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de outono. Dessa forma, até esse tempo de rebrotação o incremento em massa de folhas foi acompanhado de aumentos nas concentrações de cálcio e magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas. No ciclo de pastejo de verão, somente a partir do tempo em que foram observadas máximas concentrações, o qual esteve associado às alturas de 101 e 106 cm e aos índices de área foliar de 2,9 e 4,4 nas doses de nitrogênio N1 e N2, respectivamente, é que o efeito de diluição passou a afetar negativamente o acúmulo de cálcio e magnésio nas folhas, não alterando as taxas de acúmulo desses nutrientes ao longo do tempo (Figura 38).

Nos colmos+bainhas do capim-Tanzânia no ciclo de pastejo de verão houve significância ($P < 0,01$) das doses de nitrogênio para o acúmulo de magnésio e da interação entre

doses de calcário, fósforo e potássio e tempo de rebrotação para o acúmulo de cálcio e de magnésio. No ciclo de pastejo de outono, os efeitos das doses de nitrogênio e do tempo de rebrotação foram significativos para o acúmulo de cálcio e de magnésio em colmos+bainhas. Com relação ao acúmulo de cálcio e magnésio no material morto do capim-Tanzânia, somente o efeito do tempo de rebrotação foi significativo ($P < 0,01$) em ambos os ciclos de pastejo avaliados.

No ciclo de pastejo de verão, o acúmulo de cálcio e magnésio em colmos+bainhas variou segundo equação do primeiro grau com o tempo de rebrotação no tratamento CPK2 (Figura 40). No tratamento CPK1 não foram obtidos ajustes significativos ($P > 0,05$) de regressões para o acúmulo desses dois nutrientes em função do tempo de rebrotação. As taxas de acúmulo de cálcio e magnésio no tratamento CPK2 foram de 0,08 e 0,10 $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente, de forma que a taxa de acúmulo de magnésio nos colmos+bainhas foi 1,3 vez maior que a taxa de acúmulo de cálcio.

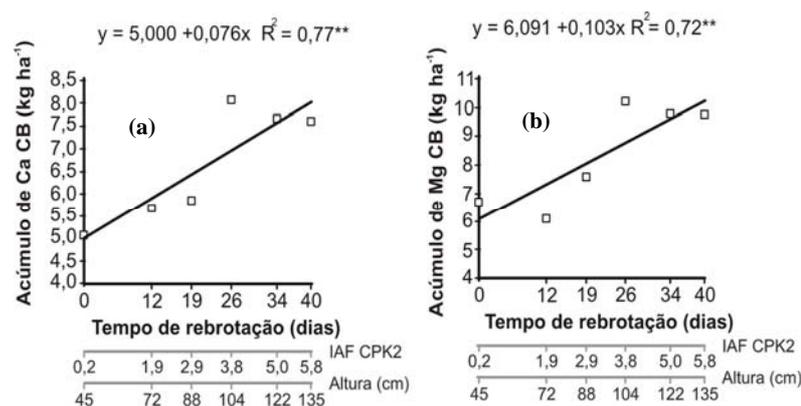


Figura 40 – Acúmulo de cálcio (a), na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, e de magnésio (b), na dose de calcário, fósforo e potássio CPK2, nos colmos+bainhas (CB) do capim-Tanzânia, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

A variação do acúmulo de cálcio e magnésio no material morto das plantas, quando ajustado em função do tempo de rebrotação, seguiu modelo linear (Figura 41). Foi observada idêntica taxa de acúmulo de cálcio e de magnésio com valor de 0,12 $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 41), semelhante à verificada em relação ao acúmulo desses nutrientes em colmos+bainhas (Figura 40). Apesar de possuírem a mesma taxa de acúmulo, a quantidade de cálcio acumulada no material morto no final do tempo de rebrotação foi 1,5 vez maior que a quantidade de magnésio, uma vez que o cálcio é muito pouco móvel na planta, o que não ocorre com o magnésio.

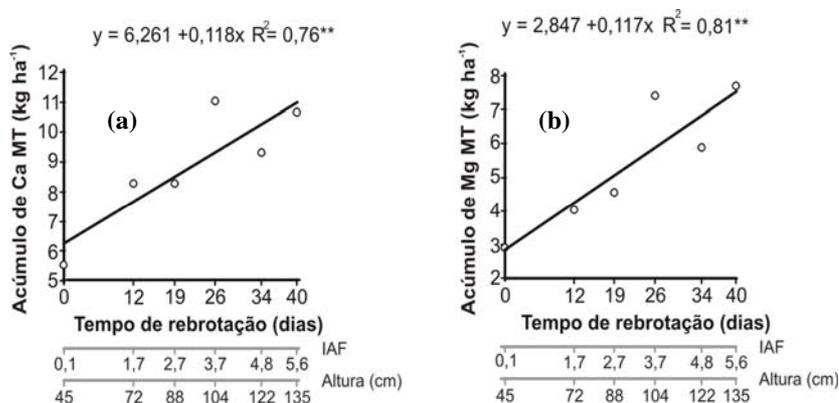


Figura 41 – Acúmulo de cálcio (a) e de magnésio (b) no material morto (MT) do capim-Tanzânia, na média das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

No ciclo de pastejo de outono, os acúmulos de cálcio e magnésio em colmos+bainhas foram representados por equações de segundo grau (Figura 42). Os máximos acúmulos de cálcio e magnésio foram observados aos 21 e 17 dias de rebrotação, respectivamente. As variações dos acúmulos de cálcio e magnésio no material morto seguiram modelos lineares e, diferentemente do observado no ciclo de pastejo de verão, a taxa de acúmulo de cálcio foi 1,3 vez maior do que a de magnésio (Figura 43).

O acúmulo de magnésio em colmos+bainhas, no ciclo de verão e na dose de nitrogênio N2, foi de 8,93 kg ha⁻¹ e diferiu significativamente (Tukey, P<0,05) do acúmulo de 6,97 kg ha⁻¹ na dose de nitrogênio N1. No ciclo de pastejo de outono, nas doses de nitrogênio N1 e N2, foram observados os acúmulos significativamente (Tukey, P<0,05) diferentes de magnésio de 5,33 e 7,54 kg ha⁻¹, respectivamente. Dessa forma, a dose de nitrogênio N2 favoreceu os acúmulos de cálcio e magnésio em colmos+bainhas do capim-Tanzânia. Dentro do tempo de rebrotação no ciclo de verão, o tratamento CPK2 proporcionou maior acúmulo do que em CPK1 nos tempos de rebrotação de 34 e 40 dias para o cálcio e a partir dos 26 dias para o magnésio.

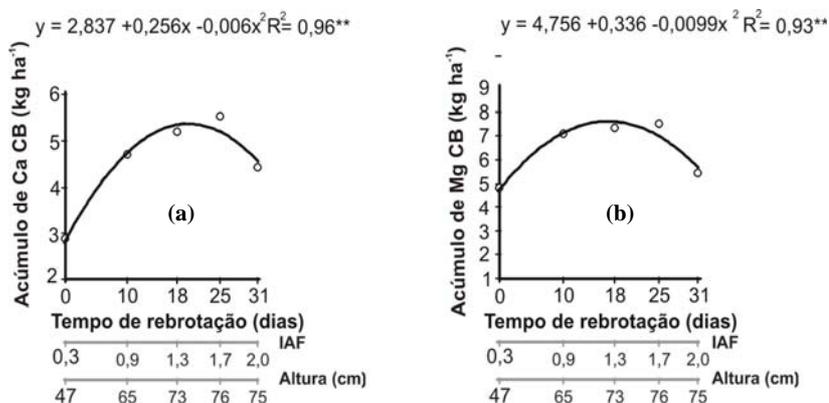


Figura 42 – Acúmulo de cálcio (a) e de magnésio (b) em colmos+bainhas (CB) do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

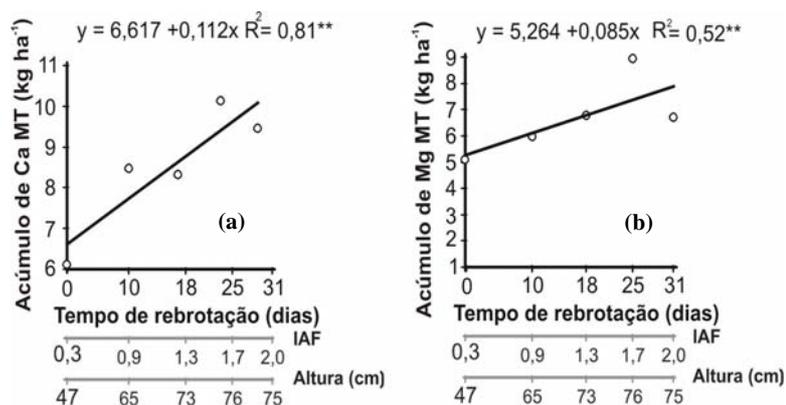


Figura 43 – Acúmulo de cálcio (a) e de magnésio (b) no material morto (MT) do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

A interação entre doses de nitrogênio e tempo de rebrotação da pastagem foi significativa ($P < 0,01$) para o acúmulo de cálcio e magnésio no ciclo de pastejo de verão, e de magnésio no ciclo de outono, na parte aérea do capim-Tanzânia. Houve significância ($P < 0,01$) do tempo de rebrotação para o acúmulo de cálcio na parte aérea das plantas no ciclo de outono.

No ciclo de pastejo de verão, o acúmulo de cálcio e magnésio na parte aérea das plantas, em cada dose de nitrogênio, variou de forma linear com o tempo de rebrotação. Na dose N1, a taxa de acúmulo de cálcio foi de $0,56 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e a de magnésio de $0,39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Na dose N2 a taxa de acúmulo na parte aérea para esses nutrientes foi de $0,94$ e

0,68 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 44). Assim, a taxa de acúmulo de cálcio, independentemente das doses de nitrogênio, foi 1,4 vez maior do que a de magnésio.

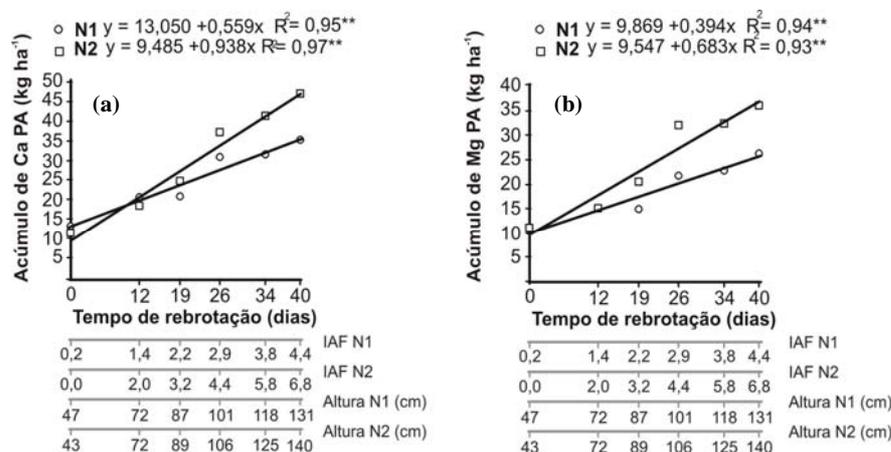


Figura 44 – Acúmulo de cálcio (a) e magnésio (b) na parte aérea (PA) do capim-Tanzânia, dentro das doses de nitrogênio, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de verão

No ciclo de pastejo de outono, a variação do acúmulo de cálcio na parte aérea com o tempo de rebrotação seguiu modelo linear, com taxa de acúmulo de 0,46 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 45). O acúmulo de magnésio também variou de forma linear dentro da dose de nitrogênio N1, e segundo modelo quadrático na dose de nitrogênio N2 (Figura 45). Assim, o tempo de rebrotação na dose N2 possibilitou que na parte aérea das plantas fosse obtido máximo acúmulo de magnésio de 21,94 kg ha⁻¹ aos 22 dias de rebrotação, comportamento não obtido na dose de nitrogênio N1.

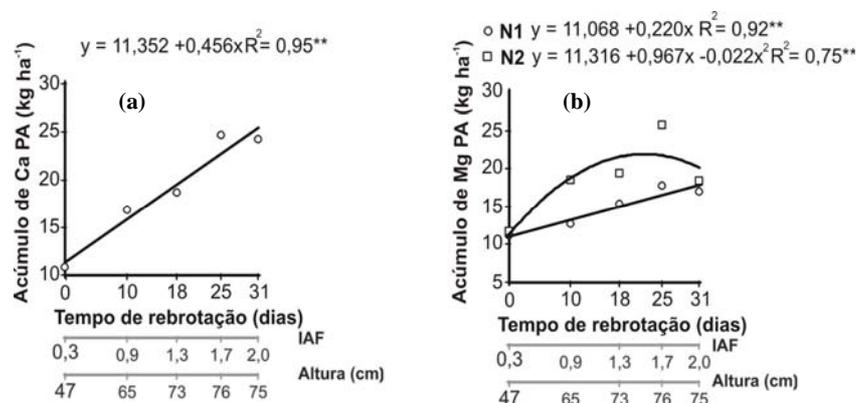


Figura 45 – Acúmulo de cálcio (a), na média das doses de nitrogênio e de fósforo e potássio, e de magnésio, em cada doses de nitrogênio, na parte aérea (PA) do capim-Tanzânia, em função do tempo de rebrotação da pastagem, com os valores correspondentes ao IAF e à altura do dossel no ciclo de pastejo de outono

Dentro de cada tempo de rebrotação no ciclo de pastejo de verão, verificou-se acúmulo de cálcio significativamente maior (Tukey, $P < 0,05$) na dose N2 quando comparada com a dose N1, a partir dos 26 dias de rebrotação, com as diferenças sendo ampliadas com o decorrer do tempo (Figura 44). O mesmo efeito foi observado no acúmulo de magnésio, em ambos os ciclos de pastejo (Figuras 44 e 45). Entretanto, a dose N2 proporcionou acúmulo de magnésio na parte aérea significativamente (Tukey, $P < 0,01$) maior do que a dose N1, já a partir dos 19 dias do ciclo de pastejo de verão e entre o décimo e o vigésimo quinto dia do ciclo de pastejo de outono. Os teores de cálcio no solo (Figura 4), proporcionados pelas duas doses de calcário, fósforo e potássio, não alteraram a quantidade absorvida desse elemento pelas plantas, uma vez que essa absorção é controlada geneticamente, sendo pouco afetada pelas concentrações no meio de crescimento em determinada amplitude de variação (Mengel & Kirkby, 2001). A dinâmica de absorção do magnésio é mais complexa, e mesmo estando em maior teor no solo (Figura 4), a quantidade absorvida (Figuras 44 e 45) é menor do que, por exemplo, a de potássio (Figura 29), e uma possível explicação para isso seria a falta de mecanismo de transporte específico do magnésio através da membrana plasmática (Mengel & Kirkby, 2001). Se por um lado as doses de calcário, fósforo e potássio alteraram significativamente as concentrações de cálcio e magnésio no solo, principalmente nas camadas superficiais (Figura 4), onde está a maior concentração de raízes, responsáveis pela maior parte da absorção dos nutrientes, por outro lado as doses de nitrogênio foram mais efetivas em favorecer o acúmulo de cálcio e magnésio na parte aérea (Figuras 44 e 45), que esteve

relacionado com o expressivo aumento em massa seca (Figuras 14 e 15) e variações nas concentrações desses nutrientes ao longo do período de rebrotação (Figura 20 e 21).

No ciclo de pastejo de verão, do total de cálcio acumulado na parte aérea aos 40 dias de rebrotação e na dose de nitrogênio N1, 55% se localizou nas folhas (6% nas FE, 19% nas LR e 30% nas LM), 17% em colmos+bainhas e 28% no material morto. Na dose de nitrogênio N2, 59% esteve localizado nas folhas (5% nas FE, 24% nas LR e 30% nas LM), 17% em colmos+bainhas e 24% no material morto. Com relação ao magnésio e na dose de nitrogênio N1, foram acumulados nas folhas 46% do total da parte aérea (4% nas FE, 15% nas LR e 27% nas LM), 27% em colmos+bainhas e 27% no material morto. Na dose N2, 50% nas folhas (6% nas FE, 19% nas LR e 25% nas LM), 28% em colmos+bainhas e 22% no material morto.

No ciclo de pastejo de outono, do total de cálcio absorvido pela parte aérea, 43% estava nas folhas (4%, 12% e 27% nas FE, LR e LM, respectivamente), 18% em colmos+bainhas e 39% no material morto. Com relação ao acúmulo de magnésio, na dose e nitrogênio N1, 30% situava-se nas folhas (3%, 9% e 18% nas FE, LR e LM, respectivamente), 28% em colmos+bainhas e 42% no material morto. Na dose de nitrogênio N2, 33% estava nas folhas (3%, 9% e 21% nas FE, LR e LM, respectivamente), 33% em colmos+bainhas e 34% no material morto.

Weber & Haag (1984) obtiveram, no capim-Makueni, o maior acúmulo de cálcio de $6,9 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 120 dias de rebrotação. Em relação ao acúmulo de magnésio, esses autores relataram comportamento quadrático em função do tempo de rebrotação, com máximo acúmulo de $6,4 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 120 dias. Como o período de rebrotação de 180 dias pode ser considerado extremamente longo, tendo em vista o melhor aproveitamento da forragem produzida, o padrão de acúmulo considerando-se apenas os primeiros 40 dias tende a ser linear, como os apresentados na Figuras 35 e 36, porém com taxas de acúmulo bem menores. Fagundes et al. (2000) reportaram que o acúmulo de cálcio no capim-Tifton 68 variou de acordo com modelo quadrático, enquanto que o de magnésio variou de forma linear com taxas de $0,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Primavesi et al. (2000 e 2001) relataram, na dose de nitrogênio de $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (dose de maior produção de forragem), aumentos na extração, em relação à testemunha, de quatro a seis vezes para o cálcio e de seis a sete vezes para o magnésio.

4.8 Considerações, implicações práticas e perspectivas

A baixa fertilidade natural dos solos do Cerrado associada ao pouco uso de fertilizantes pode ser considerada uma das maiores limitações para a intensificação da produção de bovinos a pasto, uma vez que os solos das regiões tropicais são em sua maioria ácidos e com baixos teores de fósforo, magnésio e cálcio trocáveis, relativamente elevados teores de alumínio trocável e baixa porcentagem de saturação por bases. Estudos realizados em solos de Cerrado têm demonstrado que a porcentagem de saturação por bases e a disponibilidade de fósforo são fatores diretamente relacionados à produtividade e à sustentabilidade do sistema. Uma vez feitas as correções desses problemas, a produtividade, em condições edafo-climáticas normais e mediante a inexistência de outra limitação, é altamente dependente da nutrição nitrogenada (Macedo et al., 1993).

Com relação às modificações dos atributos químicos do solo pelos tratamentos foi observado efeito mais pronunciado da dose de calcário, fósforo e potássio CPK2 em relação à dose CPK1 na primeira profundidade de amostragem (aos 2,5 cm), sendo verificadas alterações nos teores de matéria orgânica, pH em CaCl_2 e fósforo, cálcio e magnésio trocáveis. As aplicações superficiais do corretivo e de fertilizantes explicaram esse achado. A acidez potencial foi o atributo químico no qual o efeito das doses de calcário, fósforo e potássio foi observado em maior profundidade, até os 25 cm. As doses de nitrogênio alteraram no solo somente o teor de matéria orgânica, em função de adições de massa vegetal provenientes da parte aérea. Em nenhuma das quatro condições de fertilidade do solo foi verificado impedimento físico do solo para o desenvolvimento das plantas, o que pode ser corroborado pelo efeito não significativo dos tratamentos na massa de raízes aos 28 dias de rebrotação do ciclo de pastejo de verão, fortalecendo a importância das adições de material da parte aérea no incremento de matéria orgânica do solo. Entretanto, na dose de nitrogênio N2 foi observada maior resistência do solo à penetração do que na dose N1, resultado da maior taxa de lotação utilizada para o consumo da forragem produzida.

A carência de micronutrientes nos solos do Cerrado, notadamente zinco, em conjunto com o uso de fertilizantes de alta concentração, que contém menor quantidade de micronutrientes como impurezas, justificam a aplicação de micronutrientes em pastagens de alta produtividade como as de capim-Tanzânia. No presente experimento as aplicações de micronutrientes foram suficientes para manter as concentrações de cobre, ferro, manganês e zinco nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia na faixa de suficiência proposta por Werner et al. (1996), como mostrado na Tabela 4. O tempo de rebrotação alterou significativamente as concentrações dos micronutrientes avaliados, enquanto que os efeitos das doses de nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio não foram significativos. Assim, o aumento do pH em CaCl_2

verificado no tratamento CPK2 em relação ao CPK1 não diminuiu a disponibilidade dos micronutrientes avaliados no solo a ponto de serem observadas diferenças nas concentrações dos mesmos nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia. No solo os teores de cobre, manganês e zinco no extrator Mehlich-1 e na camada de 0-10 cm de profundidade foram de 10,3; 186,6 e 5,5 mg kg⁻¹, respectivamente. Esses teores são considerados altos (Souza & Lobato, 2004) e não foram alterados pelas doses nitrogênio e de calcário, fósforo e potássio.

Tabela 4. Concentração de micronutrientes (Y, em mg kg⁻¹) nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia em função do tempo de rebrotação (X, em dias) da pastagem, nos ciclos de pastejo de verão e outono

Micronutriente	Equação de regressão	R ²
Ciclo de pastejo de verão		
Cu	Y= 10,248 -0,066X	0,87**
Fe	Y= 221,566 -1,774X	0,67**
Mn	Y= 8,538 +9,636X -0,196X ²	0,75**
Zn	Y= 20,043 +0,324X -0,010X ²	0,81**
Ciclo de pastejo de outono		
Cu	Y= 16,742 -0,273X	0,83**
Fe	Y= 70,813 +12,623X -0,303X ²	0,62**
Mn	Y= 45,823 +7,157X -0,144X ²	0,85*
Zn	Y= 27,117 -0,465X	0,59**

A produção da parte aérea durante a rebrotação do capim-Tanzânia no ciclo de verão pode ser representada por três tipos de equações de regressão. A variação linear foi observada no tratamento CPK1N1, a variação quadrática nos tratamentos CPK1N2 e CPK2N1 e a variação sigmóide no tratamento CPK2N2. Ficaram claras as diferenças nas velocidades dos processos de crescimento do capim-Tanzânia, que em seqüência decrescente seriam representadas por: CPK2N2>CPK2N1=CPK1N2>CPK1N1. É pertinente ressaltar que em função dessas velocidades de crescimentos ficou demonstrado o caráter dinâmico dessa comunidade de plantas forrageiras, uma vez que ao se analisar os componentes da produção da parte aérea foi verificado que a partir dos 26 dias de rebrotação ocorreu aumento expressivo da massa de colmos+bainhas, pois a competição por luz e, mais no final da rebrotação, o início do estágio reprodutivo, fez com que as plantas alongassem seus colmos.

Tornou-se evidente o aumento da proporção de folhas em relação à de colmos+bainhas pelas doses de nitrogênio, bem como o expressivo efeito das doses de calcário, fósforo e potássio na produção de colmos+bainhas, indicando a necessidade de mais estudos do efeito de nutrientes na plasticidade morfológica do capim-Tanzânia, já que freqüentemente a

intensificação da adubação proporciona acréscimo na velocidade dos processos de crescimento, os quais fazem com que em menor tempo de rebrotação a luz passe a ser limitante à comunidade de plantas, obrigando-as a mudarem sua forma na busca de adaptação às novas condições do meio, o que implica em acúmulo de colmos e material morto. A não determinação da interceptação luminosa ao longo da rebrotação impediu a comprovação direta desse fato. As alterações na morfologia do dossel forrageiro em torno dos 20 a 26 dias de rebrotação do ciclo de verão puderam também ser verificadas pela análise da área foliar específica, a qual é inversamente relacionada com a espessura da folha, de forma que ocorreram decréscimos na espessura das folhas do capim-Tanzânia até o tempo de rebrotação onde os valores de área foliar específica foram máximos, aumentando após esse período, provavelmente, em virtude do auto-sombreamento.

Quanto ao acúmulo de macronutrientes pelo capim-Tanzânia foi observado expressivo efeito da massa de forragem, mesmo em situações onde o efeito de diluição foi acentuado como verificado para o nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre. Em ambos os ciclos de pastejo o acúmulo de macronutrientes foi em ordem decrescente: $K > N > Ca > Mg > P > S$. Em termos percentuais, do total acumulado em macronutrientes na parte aérea do capim-Tanzânia no ciclo de verão 50% foi relativo ao potássio, 27% ao nitrogênio, 10% ao cálcio, 8% ao magnésio, 4% ao fósforo e 1% ao enxofre. No ciclo de outono, 41% ao potássio, 21% ao nitrogênio, 16% ao cálcio, 12% ao magnésio, 5% ao fósforo e 4% ao enxofre. O acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas foi devido ao acúmulo do nutriente nas lâminas foliares enquanto que o potássio se acumulou em colmos+bainhas.

Dessa forma, a combinação dos fatores de produção doses de calcário, fósforo e potássio com doses de nitrogênio e, principalmente, avaliações realizadas ao longo da rebrotação, permitiram o melhor entendimento do caráter dinâmico de um ecossistema de pastagem, tornando claros os motivos das variações das respostas entre os tratamentos. Para tanto, a descrição dos valores de IAF e da altura do dossel forrageiro ao longo da rebrotação do capim-Tanzânia fez-se necessária e se mostrou ferramenta útil na interpretação de resultados onde o tempo é utilizado com variável independente, pois existe empirismo intrínseco a essa variável, o que sugere sua utilização em futuros experimentos como variável resposta.

5 CONCLUSÕES

As condições de fertilidade do solo proporcionadas pela aplicação de fósforo (P) e potássio (K) de 30 e 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, associado à calagem para elevar a saturação por bases a 50%, em conjunto com doses de nitrogênio de 150 ou 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ suprem as necessidades nutricionais do capim-Tanzânia para sustentar produções significativas de lâminas foliares no ciclo de pastejo de verão e atendem as necessidades nutricionais no ciclo de outono, onde a produção vegetal é limitada por aspectos climáticos.

O tempo de rebrotação da pastagem deve ser inversamente relacionado com a velocidade dos processos de crescimento para que não ocorram acúmulos excessivos de material morto e de colmos+bainhas na pastagem de capim-Tanzânia, diminuindo a qualidade da forragem e a facilidade de colheita pelos animais.

O acúmulo de macronutrientes pelo capim-Tanzânia é diretamente relacionado com o incremento em massa seca do tecido vegetal, superando em intensidade o efeito de diluição observado com o avançar do tempo de rebrotação.

A descrição da evolução dos atributos estruturais IAF e altura do dossel forrageiro é ferramenta auxiliar que se mostra útil no entendimento das respostas das plantas, tanto a fatores de crescimentos relacionados à nutrição mineral como a aspectos climáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J.B.R. Produção e nutrição dos capins Tanzânia-1 e Marandu em função de estádios de crescimento e adubação nitrogenada. Piracicaba, 1999. 99p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ALBUQUERQUE, R.F.; SIEWERDT, L.; COELHO, R.W. et al. Dinâmica de perfilhamento, área foliar e relação folha/colmo, com adubação nitrogenada e fosfatada, no capim elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Mott (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais**. Recife: SBZ, 2002.
- ALCÂNTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas Forrageiras**: Gramíneas e leguminosas. São Paulo: Nobel, 1988. 126p.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; LOPES, R.S. et al. Análise de crescimento do capim-elefante napier adubado e Irrigado (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Anais**. Viçosa: SBZ, 2000.
- ANDREW, C.S.; ROBINS, M.F. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition, and critical phosphorus percentages of some tropical pastures grasses. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.22, p.693-706, 1971.
- BARBOSA, R.A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; EUCLIDES, V.P.B. et al. Características morfogênicas e acúmulo de forragem do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em dois resíduos forrageiros pós-pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.583-593, 2002
- BARLEY, K.P. The root growth of irrigated perennial pastures and its effect on soil structure. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.4, p.283-291, 1953.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentration in plant and their evaluation: a review. **Soil Science**, v.112, p.116-128, 1971.
- BENETTI, I.; MONTEIRO, F.A. Doses de potássio na produção e composição química do capim-Vencedor. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 7., Piracicaba, 1999. **Anais**. Piracicaba: ESALQ, 1999. p.314.

- BENINCASA, M.M.P. **Análise do crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 41p.
- BOHM, W. **Methods of studying root system**. Berlin: Spring Verlag, 1979. 187p.
- BRÂNCIO, P.A.; EUCLIDES, V.P.B.; NACIMENTO JUNIOR, D. et al. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: disponibilidade de forragem, altura do resíduo pós-pastejo e participação de folhas, colmos e material morto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.55-63, 2003.
- BRISKE, D.D. Strategies of plant survival in grazed systems: a functional interpretation. In: HODGSON, J.; ILLIUS, W. (Ed.) **The ecology and management of grazing systems**. London: CAB International, 1996. p.37-67.
- BROUGHAM, R.W. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.9, p.39-52, 1957.
- BROWN, R.H.; BLASER, R.E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstract**, v.38, p.1-9, 1968.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. et al. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil & Tillage Research**, v.43, p.205-217, 1997.
- CANTARELLA, H.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, O. et al. Perdas diárias de amônia por volatilização, de duas fontes de adubo nitrogenado aplicadas na superfície de pastagem de capim Coastcross (*Cynodon dactylon* cv. Coastcross). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., Piracicaba, 2001. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.330-331.
- CANTARELLA, H.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, O. et al. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 19., Piracicaba, 2002. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. p.99-131.
- CARVALHO, M.M.; MARTINS, C. E.; SIQUEIRA, C. et al. Crescimento de uma espécie de braquiária, na presença da calagem em cobertura e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.69-74, 1992.
- CECATO, U.; CANO, C.C.; CANTO, M.W. et al. Disponibilidade de massa seca e conteúdo de minerais em capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) pastejado em diferentes alturas (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais**. Recife: SBZ, 2002.

- CECATO, U.; HERLING, V.R.; BRAGA, L.M. et al. Carboidratos, nitrogênio total e peso de raízes em capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq, cv. Tanzânia) adubado com diferentes doses de nitrogênio sob pastejo (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., Santa Maria, 2003. **Anais**. Santa Maria: SBZ, 2003.
- COLOZZA, M.T. Rendimento e diagnose foliar dos capins Aruana e Mombaça cultivados em Latossolo Vermelho Amarelo. Piracicaba, 1998. 127p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- 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, 1991. 83p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CORSI, M. Effects of nitrogen rates and harvesting intervals on dry matter production, tillering and quality of the tropical grass *Panicum maximum* Jacq. Ames, 1984. 125p. Thesis (Ph.D) – The Ohio State University.
- CORSI, M.; NUSSIO, L.G. Manejo de capim-elefante: correção e adubação do solo em sistemas intensivo de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 10., Piracicaba, 1992. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.87-116.
- CORSI, M.; MARTHA JUNIOR, G.B. Manutenção da fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.161-193.
- COSTA, N.L.; PAULINO, V.T. Produção de forragem e composição mineral de *Paspalum atratum* BRA-9610 em diferentes idades de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., Botucatu, 1998. **Anais**. Botucatu: SBZ, 1998. p.336-337.
- DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DAS PASTAGENS, 3., Jaboticabal, 1997. **Anais**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1997, p.1-62.
- DEREGIBUS, V.A., JACOBO, E.; ANSIN, O.E. Grassland use and plant diversity in grazed ecosystems. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.879-882.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.
- EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES FILHO, K.; COSTA, F.P. Animal production under intensive systems formed by a combination of *Panicum maximum* cv. Tanzânia, *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria brizantha* (compact disc). In: WORLD CONFERENCE ON ANIMAL PRODUCTION, 9.; REUNIÃO DA ASSOCIAÇÃO LATINO AMERICANA DE PRODUÇÃO ANIMAL, 18., Porto Alegre, 2003. **Proceedings**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- FAGUNDES, J.L.; HADDAD, C.M.; ROSSI, C. et al. Produção, teores e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de Tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) em função da idade de corte na época de inverno. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p.794-803, 2000.
- FAOSTAT. <http://faostat.fao.org>. (14 jun. 2004).
- FAVORETTO, V.; REIS, R.A.; VIEIRA, P.F.; MALHEIROS, E.B. Efeito da adubação nitrogenada ou de leguminosas no ganho de peso vivo de bovinos em pastagens de capim-Colômbio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, p.475-482, 1985.
- FERRAGINE, M.C. Combinação de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral de capim-braquiária. Piracicaba, 1998. 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FERRARI NETO, J. Limitações nutricionais para o colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) em Latossolo da região noroeste do Estado do Paraná. Lavras, 1991. 126p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- FISHER, M.J.; RAO, I.M.; AYARZA, M.A. et al. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. **Nature**, v.371, p.236-238, 1994.
- FONSECA, D.M. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. Viçosa, 1985. 146p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- FRANÇA, A.F.S.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. I. Carências nutricionais de capim-Tobiatã (*Panicum maximum* Jacq.). **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”**, v.62, p.83-95, 1985.

- FUKUYAMA, M.; SHIMAMURA, M.; USHIYIMA, M. et al. Comparisons of underground organs of some short grasses. **Journal of Japanese Grassland Society**, v.36, p.39-46, 1990.
- GIACOMINI, A.A. Produção de forragem, massa e crescimento de raízes dos capins Aruana e Tanzânia submetidos a doses de nitrogênio, em lotação rotacionada com ovinos. Piracicaba, 2003. 66p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: O autor, 2000. 477p.
- GOMIDE, C.A.M. Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* (Jacq.). Viçosa, 1997. 53p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.675-680, 1999.
- GOMIDE, J.A.; NOLLER, C.H.; MOTT, G.O. et al. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, v.61, p.120-123, 1969.
- GOMIDE, J.A.; ZAGO, C.P.; RIBEIRO, A.C. et al. Calagem, fontes e níveis de fósforo no estabelecimento e produção de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) no cerrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.15, p.241-246, 1986.
- GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.; QUEIROZ, D.S. et al. Fluxo de tecidos em *Brachiaria decumbens* (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., Juiz de Fora, 1997. **Anais**. Juiz de Fora: SBZ, 1997.
- GRASSELLI, L.C.P.; GOMIDE, C.A.M.; PACIULLO, D.S.C. et al. Características morfogênicas e estruturais de um relvado de *Brachiaria decumbens* sob lotação contínua (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Anais**. Viçosa:SBZ, 2000.
- HAYNES, R.J. Competitive aspects of the grass legume association. **Advances in Agronomy**, v.15, p.1-117, 1980.
- HERLING, V.R.; BRAGA, G.J.; LUZ, P.H.C. et al. Tobiatã, Tanzânia e Mombaça. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., Piracicaba, 2000. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2000. p.21-64.
- HERRERA, R.S.; HERNANDEZ, Y. Efecto de la edad de rebrote en algunos indicadores de la calidad de la Bermuda Cruzada-1. I. Componentes solubles. **Pastos y Forrajes**, v.10, p.160-168, 1987.

- HERRICK, J.E.; JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1320-1324, 2002.
- HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. New York: Longman, 1990, 203p.
- HOFFMANN, C.R. Nutrição mineral e crescimento da braquiária e do colônio, sob a influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em Latossolo da região noroeste do Paraná. Lavras, 1992. 204p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass short duration grazing system. **Plant and Soil**, v.219, p.161-168, 2000.
- JANK, L. Potencial do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, Campinas, 1994. **Anais**. s.l.: CBNA, 1994. p.25-31.
- JANK, L.; COSTA, J.C.G. Avaliação, seleção e lançamento de novas cultivares de gramíneas da espécie *Panicum maximum*. In: ENCONTRO SOBRE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE PLANTAS FORRAGEIRAS, 4., São José do Rio Preto, 1990. **Anais**. São José do Rio Preto: Associação Paulista dos Produtores de Sementes e Mudas, 1990. p.1-15.
- JANK, L.; SAVIDAN, Y.; SOUZA, M.T. et al. Avaliação do germoplasma de *Panicum maximum* introduzido da África. 1. Produção forrageira. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, p.433-440, 1994.
- KANNO, T.; FUKUYAMA, M.; SATO, S. Production structures and dry weight of underground organs of some temperate grasses under frequent defoliation. **Bulletin of Natural Grassland Research Institute**, v.49, p.1-16, 1994.
- KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; BONO, J.A. Growth responses of *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk and *Brachiaria brizantha* cv. Marandu to phosphorus supply, **Grassland Science**, v.45, p.1-8, 1999a.
- KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B. et al. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian savannas. **Grassland Science**, v.45, p.9-14, 1999b.
- KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; UOZUMI, S. et al. Development of grassland management technology for sustainable agropastoral systems in the Sub-Tropical zone in Brazil. **JIRCAS Working Report**, v.19, p.63-73, 2001.

- LEÃO, T.P. Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem. Piracicaba, 2002. 58p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.415-423, 2004.
- LEMAIRE, G. Ecophysiology of grasslands: Dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.29-37.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in graze plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, W. (Ed.) **The ecology and management of grazing systems**. London: CAB international, 1996. p.3-36.
- LEMAIRE, G.; MILLARD, P. An ecophysiological approach to modeling resource fluxes in competing plants. **Journal of Experimental Botany**, v.50, p.15-28, 1999.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Exatas, 2000. 509p.
- LINDSAY, W.I. Inorganic phase equilibrium of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.I. (Ed.). **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.
- LIPIEC, J.; HAKANSSON, I. Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. **Soil & Tillage Research**, v.53, p.87-94, 2000.
- LOBATO, E.; KORNELIUS, E.; SANZONOWICZ, C. Adubação fosfatada em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGEM, 1., Nova Odessa, SP, 1985. **Calagem e adubação de pastagem**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.145-174.
- LOUDA, S.V.; KEELER, K.H.; HOLT, R.D. Herbivore influences on plant performance and competitive interactions. In: PERSPECTIVES ON PLANT COMPETITION, San Diego, 1990. **Proceedings**. San Diego: Academic Press, 1990, p.414-443.

- LUPINACCI, A.V. Reservas orgânicas, índice de área foliar e produção de forragem em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a intensidade de pastejo por bovinos de corte. Piracicaba, 2002. 160p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- LUZ, P.H.C.; HERLING, V.R.; PETERNELLI, M. et al. Calagem e adubação no manejo intensivo do pastejo. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS. 2., Lavras, 2001. **Anais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. p.27-110.
- LUZ, P.H.C.; HERLING, V.R.; BRAGA, G.J. et al. Tipos de calcário nas características agrônômicas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã em função dos métodos de aplicação. **Scientia Agricola**, v.59, p.155-159, 2002.
- MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistemas Cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, Brasília, 1995. **Anais**. Brasília: SBZ, 1995. p.28-62.
- MACEDO, M.C.M. Sustainability of pasture production in the Savannas of Tropical America. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 18., Winnipeg, 1997. **Proceedings**. Winnipeg: International Grassland Congress Association, 1997. p.7-15.
- MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B.; OLIVEIRA, M.P. Seasonal changes in the chemical composition of cultivated tropical grasses in the savannas of Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., Rockhampton, 1993. **Proceedings**. Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. p.2001-2002.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MANARIN, C.A. Respostas fisiológicas, bioquímicas e produtivas do capim-Mombaça a doses de nitrogênio. Piracicaba, 2000. 58p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Berlin: Academic Press, 1995. 674p.
- MARTHA JÚNIOR, G.B. Produção de forragem e transformações do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia. Piracicaba, 2003. 149p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MARTIN, W.E.; MATOCHA, J.E. Plant analysis as an aid in the fertilization of forage crops. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.) **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p.393-426.

- MATTOS, W.T. Diagnose nutricional de potássio em duas espécies de braquiária. Piracicaba, 1997. 74p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.15, p.1409-1416, 1984.
- MEIRELLES, N.M.F.; WERNER, J.C.; ABRAMIDES, P.L.G. et al. Nível crítico de fósforo em capim-colonião cultivado em dois tipos de solos: Latossolo vermelho escuro e podzólico vermelho amarelo. **Boletim de Indústria Animal**, v.45, p.215-232, 1988.
- MELLO, A.C.L. Respostas morfofisiológicas do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada. Piracicaba, 2002. 67p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MISTURA, C.; KROLOW, R.; COELHO, R.W. et al. Doses de nitrogênio e fósforo na composição mineral do capim-elefante anão (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais**. Recife: SBZ, 2002.
- MITIDIERI, F. J. Respostas de cinco gramíneas forrageiras a níveis de calcário em um Latossolo vermelho-escuro. Piracicaba, 1995. 137p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo.
- MOLAN, L.K. Estrutura do dossel, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastos de capim-Marandu submetidos a alturas de pastejo por meio de lotação contínua. Piracicaba, 2004. 159p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo.
- MONTEIRO, F.A. Nutrição mineral e adubação. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.219-244.
- MONTEIRO, F.A. Adubação em áreas de *Cynodon* para pastejo e conservação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., Piracicaba, 1998. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.173-202.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Efeitos das adubações nitrogenadas e fosfatada em capim-colonião, na formação e em pasto estabelecido. **Boletim de Indústria Animal**, v.43, p.91-101, 1977.

- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 55-84.
- MONTEIRO, F.A.; MATTOS, W.T.; MARTIM, R.A. Partes das plantas e diagnose nutricional de fósforo em braquiária decumbens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.556-557.
- NABINGER, C. Manejo da desfolha. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 19., Piracicaba, 2002. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. p.133-158.
- NETER, J.; KUTNER, M.H.; NACHTSHEIM, C.J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. Chicago: Irwin, 1996. 1408p.
- NORRIS, K.H.; BARNES, R.F.; MOORE, J.E. et al. Predicting forage quality by near infrared reflectance spectroscopy. **Journal of Animal Science**, v.43, p.889-897, 1976.
- OLIVEIRA, M.A.; PEREIRA, O.G.; GOMIDE, J.A. et al. Análise do crescimento do capim-bermuda 'Tifton 85' (*Cynodon* spp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.1930-1938, 2000.
- OLIVEIRA, P.P.A. Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria* sp. em solos arenosos. Piracicaba, 2001. 110p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- ORELLANA, A.P.; HAAG, H.P. Nutrição mineral do *Andropogon gayanus* Kunth. var. bisquamulatus. I. Recrutamento de macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 39, p.11-47, 1982.
- PACIULLO, D.S.C. Produtividade e valor nutritivo do capim elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Mott) ao atingir 80 e 120 cm de altura sob diferentes doses de nitrogênio. Viçosa, 1997. 60p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- PALHANO, A.L.; HADDAD, C.M. Exigências nutricionais e valor nutritivo de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. cv. Coast-cross. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, p.1429-1438, 1992.
- PARSONS, A.J.; JOHNSON, I.R.; WILLIAMS, J.H.H. Leaf age structure and canopy photosynthesis in rotationally and continuously grazed swards. **Grass and Forage Science**, v.43, p.1-14, 1988.

- PEREIRA, W.L.M. Doses de potássio e magnésio em solução nutritiva para o capim-Mombaça. Piracicaba, 2001. 128p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- PINTO, J.C. Crescimento e desenvolvimento de *Andropogon gayanus*, *Panicum maximum* e *Seteria anceps* cultivadas em vasos, sob diferentes doses de nitrogênio. Viçosa, 1993. 149p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- PINTO, J.C.; MAIA, M.C.; SANTOS, I.P.A. et al. Composição mineral da forragem do milheto e do capim Tanzânia cultivados associados (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais**. Recife:SBZ, 2002.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; GODOY, R. Extração de nutrientes e eficiência nutricional de cultivares de aveia, em relação ao nitrogênio e à intensidade e corte. **Scientia Agricola**, v.56, p.613-620, 1999.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A. et al. Adubos nitrogenados aplicados em capim-coastcross: recuperação aparente do nitrogênio (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Anais**. Viçosa: SBZ, 2000.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A. et al. Effect of sources and rates of nitrogen on nutrients extraction in coastcross pastures (compact disc). In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A. et al. Extração de nutrientes em pastagem de capim-coastcross (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais**. Recife: SBZ, 2002.
- QUADROS, D.G. Produção e perdas de forragem em pastagens dos cultivares Tanzânia e Mombaça de *Panicum maximum* Jacq. adubadas com doses crescentes de NPK. Jaboticabal, 2001. 83p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, v.18, p.171-175, 1967.
- RAIJ, B.; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, p.547-566, 1986.
- RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

- RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; GARCIA, R. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. I. Differences in plant growth, nutrition acquisition and nutrient utilization among C₄ grasses and C₃ legumes. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, p.2135-2155, 1995.
- RAO, I.M.; BORRERO, V.; RICAURTE, J. et al. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. II. Differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. **Journal of Plant Nutrition**, v.19, p.322-352, 1996.
- RÊGO, F.C.A.; CECATO, U.; CANTO M.W. et al. Composição de folhas na estrutura de uma pastagem de capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Anais**. Viçosa: SBZ, 2000.
- RÊGO, F.C.A.; CECATO, U.; CANTO, M.W. et al. Características morfológicas e índice de área foliar do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) manejado em diferentes alturas, sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1931-1937, 2002.
- REGO, M.G.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.F. Phosphorus requirement for grasses establishment in five tropical soils. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 15., Kyoto, 1985. **Proceedings**. Kyoto: Japan, Japanese Society of Grassland Science, 1985. p.467.
- ROBSON, M.J. Potential production – what is it and can we increase it? In: WRIGHT, C.E. (Ed.) **Plant physiology and herbage production**. Nottingham: British Grassland Society, 1981. p.5-18.
- ROBSON, M.J.; RYLE, G.J.A.; WOLEDGE, J. The grass plant – its form and function. In: JONES, M.B.; LAZENBY, A. (Ed.). **The grass crop: the physiological basis of production**. London: Chapman and Hall, 1988. p.25-83
- RODRIGUES, A.C.G.; CADIMA-ZEVALLOS, A. Efeito da intensidade de pastejo sobre o sistema radicular da pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.439-445, 1991.
- SANTOS, A.R. Diagnose nutricional e respostas do capim-braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre. Piracicaba, 1997. 115p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, H.Q. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. Viçosa, 1999. 80p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- SANTOS, P.M. Controle do desenvolvimento de hastes no capim-Tanzânia: um desafio. Piracicaba, 2002. 98p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- SANTOS JUNIOR, J.D.G. Dinâmica do crescimento e nutrição do capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio. Piracicaba, 2001. 79p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SANTOS JUNIOR, J.D.G.; KANNO, T.; MACEDO, M.C.M. et al. Mineral acquisition and utilization strategy of three tropical forages at different phosphorus and nitrogen supply. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.188-189.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- SARTAIN, J.B.; DUDECK, A.E. Yield and nutrient accumulation of tifway bermudagrass and overseded ryegrass as influenced by applied nutrients. **Agronomy Journal**, v.74, p.488-491, 1982.
- SAS Institute Inc. SAS/STAT. **User's Guide**, version 8.0. Cary: SAS Institute, 2000.
- SCHIAVUZZO, P.F.; MONTEIRO, F.A.; LAVRES JUNIOR, J. Nitrogênio na produção e na nutrição da braquiária-Marandu. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Anais**. Viçosa: SBZ, 2000. p.107 .
- SILVA, A.A.; MATTOS, W.T.; MONTEIRO, F.A. Respostas de capim-Tanzânia-1 (*Panicum maximum* Jacq.) a níveis de potássio em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Anais**. Viçosa: SBCS, 1995. p.1046-1047.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1775-1781, 1994.
- SILVA, C.M.M.S.; FARIA, C.M.B. Variação estacional de nutrientes e valor nutritivo em plantas forrageiras tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.413-420, 1995.
- SIQUEIRA, C. Calagem para plantas forrageiras. In: MATTOS, H.B.; WERNER, J.C.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (Ed.). **Calagem e adubação de pastagens**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1986. p.77-91.
- SMITH, F.W. Tissue grass for assessing the phosphorus of green panic, buffel grass and setaria. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v.15, p.383-390, 1975.
- SORIA, L.G.T. Produtividade do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em função da lâmina de irrigação e de adubação nitrogenada. Piracicaba, 2002. 170p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- SOTOMAIOR-RIOS, A.; VÉLEZ-SANTIAGO, J.; TORRES-RIVERA, S. et al. Effects of three harvest intervals on yield and composition of nineteen forage grasses in the humid mountain region of Puerto Rico. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v.60, p.394-309, 1976.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792p.
- TAMASSIA, L.F.M.; HADDAD, C.M.; SUGISAWA, L. Composição mineral do capim de rhodes (*Chloris gayana* Kunth.) em diferentes idades (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Anais**. Viçosa: SBZ, 2000.
- ULRICH, A. Physiological basis for assessing the nutritional requirement of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.3, p.207-228, 1952.
- VICENTE-CHANDLER, J. Intensive grassland management in Puerto Rico. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.2, p.173-215, 1973.
- VIEIRA, J.D. Produção de matéria seca, coeficiente de digestibilidade e concentração de nutrientes no capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) em função dos cortes aos 30, 45, 60 e 75 dias. Piracicaba, 1979. 71p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- VILELA, L.; SOARES, W.V.; SOUZA, D.M. et al. **Calagem e adubação para pastagens na região do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 15p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 37).
- VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. Calagem e uso do gesso agrícola em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., Jaboticabal, 1997. **Anais**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1997. p. 63-111.
- WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. **Annals of Botany**, v.11, p. 41-76, 1947.
- WEBER, O.L.S.; HAAG, H.P. Nutrição mineral do *Panicum maximum* cv. Makueni I. Crescimento, concentração e extração dos macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v.41, p.761-793, 1984.

- WERNER, J.C. Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. Piracicaba, 1971. 95p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- WERNER, J.C. **Adubação de Pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (Instituto de Zootecnia. Boletim Técnico, 18).
- WERNER, J.C.; QUAGLIATO, J.L.; MARTINELLI, D. Ensaio de fertilização do colômbio com solo do "Noroeste". **Boletim de Indústria Animal**, v.24, p.159-167, 1967.
- WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A.; CARRIEL, J.M. Efeitos da calagem em capim-colômbio (*Panicum maximum*) estabelecido. **Boletim de Indústria Animal**, v.36, p.247-253, 1979.
- WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H. et al. Forrageiras. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. p.263-273.
- ZIMMER, A.H. Efeito de níveis de nitrogênio e de resíduos pós-pastejo sobre a produção, a estrutura e a qualidade das cultivares Aruana e Vencedor de *Panicum maximum* Jacq. Jaboticabal, 1999. 208p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.