**RELAÇÃO ENTRE COMPORTAMENTO ESPECTRAL, ÍNDICE
DE ÁREA FOLIAR E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA EM
CAPIM TANZÂNIA SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE
IRRIGAÇÃO E DOSES DE NITROGÊNIO**

CARLOS AUGUSTO HUNGRIA DA CUNHA

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: Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto - 2004

**RELAÇÃO ENTRE COMPORTAMENTO ESPECTRAL, ÍNDICE
DE ÁREA FOLIAR E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA EM
CAPIM TANZÂNIA SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE
IRRIGAÇÃO E DOSES DE NITROGÊNIO**

CARLOS AUGUSTO HUNGRIA DA CUNHA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **RUBENS ANGULO FILHO**

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: Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto - 2004

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

Cunha, Carlos Augusto Hungria da

Relação entre comportamento espectral, índice de área foliar e produção de matéria seca em capim Tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de nitrogênio/ Carlos Augusto Hungria da Cunha. -- Piracicaba, 2004.

154 p. : il.

Tese (doutorado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
Bibliografia.

1. Adubação nitrogenada 2. Capim Tanzânia 3. Irrigação 4. Pastagens 5. Reflectância espectral 6. Sensoriamento remoto I. Título

CDD 633.2

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

Aos meus queridos avós
Acácio Soares Hungria e Edina Assumpção Hungria,
eternamente vivos em meu coração,
ofereço.

As minhas queridas filhas **Cássia Fernanda e Alessandra,**
com todo o carinho e amor de um pai,
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela fé e esperança, e a São Francisco de Assis, a quem sempre recorri espiritualmente nos momentos mais difíceis;

A Esmeralda, por bem orientar as nossas filhas durante esse período, contribuindo assim para que esta pesquisa fosse desenvolvida em ambiente de paz e harmonia;

A minha mãe Leda, pela vida árdua e sofrida para criar e educar seus filhos.

Gostaria ainda de deixar os meus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), através do Departamento de Engenharia Rural, pelo apoio dispensado e pelo acolhimento;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos;

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Rubens Angulo Filho, que idealizou este trabalho, e que compreendeu que poderíamos desenvolver com méritos esta pesquisa;

Ao Dr. Alexandre Xavier e a pesquisadora Juliana Di Giorgio Giannotti, pessoas mais que especiais, que me ajudaram em um momento complexo desta pesquisa, dedicando-se com carinho e atenção, e indicando o melhor caminho para a continuação do trabalho;

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, pelo seu apoio, atenção e orientação durante o decorrer do experimento;

Ao Dr. Maurício Alves Moreira, pesquisador do INPE, pelos ensinamentos sobre a coleta e o processamento dos dados radiométricos, bem como pelas correções e sugestões apresentadas a esta pesquisa;

A Prof^a Dr. Sonia Maria de Stefano Piedade, do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, pelas análises estatísticas efetuadas, pelas idéias apresentadas, e pelo tempo dedicado a minha pessoa;

A Prof^a Célia Regina Rogero, da ETE Dr. José Coury / Rio das Pedras/SP, pelas revisões e correções ortográficas;

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi, pelas sugestões apresentadas e pelo convívio nestes bons tempos de universidade;

Aos alunos do curso Técnico em Pecuária da ETE Dr. José Coury - Rio das Pedras, Daniel Rolim Ciconello, Marcos Antônio Cerezer Zério, Rodrigo Largueza, Valter Antônio Pinto Filho e Evandro Ronney Sousa Filho, pela amizade, ajuda e incentivo, e principalmente pelo tempo dedicado à realização das práticas de campo, sem o qual este trabalho não seria possível;

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, pela ajuda e amizade cultivada no decorrer do convívio acadêmico;

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMO.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Características de gramíneas do gênero Panicum.....	4
2.1.1 O cultivar Tanzânia.....	5
2.2 Aspectos fisiológicos do crescimento livre de plantas forrageiras.....	6
2.3 Influência dos fatores climáticos no crescimento das gramíneas.....	8
2.3.1 Influência da temperatura.....	8
2.3.2 Influência da luz.....	9
2.3.3 Influência da água.....	10
2.4 A estacionalidade das pastagens.....	12
2.5 Utilização da adubação nitrogenada em pastagens.....	13
2.6 Utilização da irrigação em pastagens.....	16
2.7 Utilização da irrigação associada à adubação nitrogenada em pastagens...	18
2.8 Sensoriamento remoto.....	19
2.8.1 Propriedades ópticas da folha.....	19
2.8.1.1 Região do visível.....	21
2.8.1.2 Região do infravermelho próximo.....	22
2.8.1.3 Região do infravermelho médio.....	22
2.8.1.4 Fatores que influenciam as propriedades ópticas da folha.....	23

2.8.2 Comportamento espectral de gramíneas e outras forrageiras.....	27
2.8.3 Radiometria.....	28
2.8.4 Índices de vegetação.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 Área de estudo.....	36
3.1.1 Solo.....	37
3.1.2 Clima.....	38
3.1.3 Balanço Hídrico.....	39
3.2 Cultivares utilizados e manejo.....	41
3.2.1 Aplicação de água e fertilizantes nitrogenados.....	41
3.3 Índice de área foliar.....	43
3.4 Produção de forragem.....	45
3.5 Medidas radiométricas.....	46
3.6 Obtenção do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).....	50
3.7 Análise estatística.....	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1 Relação entre a produção de matéria seca (MS) e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio.....	54
4.2 Relação entre IAF e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio.....	61
4.3 Relação entre a produção de matéria seca (MS) e o IAF do capim Tanzânia....	70
4.4 Relação entre NDVI e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio.....	74
4.5 Relação entre o NDVI e a produção de matéria seca (MS) do capim Tanzânia.	84
4.6 Relação entre o NDVI e o IAF do capim Tanzânia.....	88
5 CONCLUSÕES.....	93
ANEXOS.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Assinatura espectral de uma folha verde.....	21
2 Relação inversa entre a reflectância de uma folha e a absorção de água.....	23
3 Curvas de reflectância espectral de folhas de plantas obtidas durante a fase de crescimento vegetativo e durante a senescência.....	26
4 Fotografia aérea do local em que foi instalado o experimento.....	36
5 Balanço hídrico mensal para Piracicaba, SP, determinado com valores médios de precipitação e temperatura dos anos de 1917 a 2001.....	40
6 Balanço hídrico mensal para Piracicaba,SP, determinado com valores médios de temperatura e precipitação durante o ano de 2001.....	40
7 Ângulos de visada e arranjo dos cinco detectores do LAI-2000.....	44
8 Configuração básica do SPECTRON SE-590.....	47
9 Superfície de resposta para a estimativa da produção de matéria seca (MS) no 3 ^o corte do capim Tanzânia (25/07/2001), em função das lâminas de água utilizadas (%CC) e das dosagens de nitrogênio empregadas (kg N.ha ⁻¹ .ano ⁻¹).....	56
10 Regressão dos valores da MS (kg.ha ⁻¹) com as dosagens de nitrogênio empregadas (kg N.ha ⁻¹ .ano ⁻¹), no 3 ^o corte do capim Tanzânia (25/07/2001).....	58
11 Regressão dos valores da MS (kg.ha ⁻¹) com as dosagens de nitrogênio empregadas (kg N.ha ⁻¹ .ano ⁻¹), no 7 ^o corte do capim Tanzânia (21/12/2001).....	59

12	Comportamento observado para os valores da produção de matéria seca (MS) (kg.ha^{-1}) do capim Tanzânia em 7 cortes no ano de 2001, sob influência de diferentes doses de nitrogênio ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).....	60
13	Superfície de resposta para a estimativa do IAF no 3 ^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001), em função das lâminas de água (%CC) e doses de nitrogênio empregadas ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).....	63
14	Valores observados para o IAF no 3 ^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001), em função das lâminas de água empregadas (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).....	64
15	Regressão dos valores do IAF com as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), no 3 ^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001).....	66
16	Regressão dos valores do IAF com as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), no 7 ^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001).....	68
17	Comportamento observado para o IAF do capim Tanzânia sob a influência de diferentes dosagens de nitrogênio ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), em 7 cortes no ano de 2001.....	69
18	Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg.ha^{-1}) com os valores observados para o IAF, no 3 ^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001).....	71
19	Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg.ha^{-1}) com os valores observados para o IAF, no 7 ^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001).....	73
20	Superfície de resposta para a estimativa do NDVI no 3 ^o corte do capim Tanzânia (23/07/2001), em função das lâminas de água (%CC) e das doses de nitrogênio empregadas ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).....	75
21	Regressão dos valores do NDVI com as dosagens de nitrogênio utilizadas ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), no 3 ^o corte do capim Tanzânia (23/07/2001).....	77

22 Regressão dos valores do NDVI com as dosagens de nitrogênio utilizadas ($\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), no 7 ^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001).....	79
23 Comportamento dos valores do NDVI em relação às dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), durante 7 cortes do capim Tanzânia em 2001.....	80
24 Fator de reflectância observado na banda TM_3 ao longo do período experimental, em relação as doses de nitrogênio utilizadas ($\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).....	81
25 Fator de reflectância observado na banda TM_4 ao longo do período experimental, em relação as doses de nitrogênio utilizadas ($\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).....	83
26 Regressão dos valores obtidos para o NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS) (kg.ha^{-1}), no 3 ^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001).....	86
27 Regressão dos valores obtidos para o NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS) (kg.ha^{-1}), no 7 ^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001).....	87
28 Regressão dos valores do NDVI com os valores observados para o IAF, no 3 ^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001).....	90
29 Regressão dos valores do NDVI com os valores observados para o IAF, no 7 ^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001).....	91

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Principais grandezas radiométricas.....	29
2 Índices de vegetação comumente utilizados.....	34
3 Características físicas do solo para as profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm da área em estudo.....	37
4 Análise química em amostras de solo retiradas nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm da área em estudo.....	38
5 Temperatura máxima (Tx); Temperatura mínima (Tm); Temperatura média (T); Precipitação total (P); Fotoperíodo (Nf); Radiação global total (Qg); Radiação líquida total (PAR), obtidas na estação meteorológica automática do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, Piracicaba, em função dos cortes no ano de 2001.....	39
6 Datas de mensuração do IAF no experimento (2001), empregando-se o medidor de área foliar LAI-2000.....	45
7 Datas e períodos correspondentes (ano de 2001), em que foram obtidas as medidas radiométricas no dossel da cultura do capim Tanzânia.....	47
8 Resultados da análise de regressão múltipla das relações entre a produção de matéria seca (MS) do capim Tanzânia e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio, em 7 cortes no ano de 2001.....	55
9 Equação de regressão polinomial quadrática e parâmetros observados para a relação obtida entre a produção de matéria seca (MS) e as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg.N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001.....	57

10 Resultados da análise de regressão múltipla das relações entre o IAF e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio, em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.....	62
11 Equação de regressão polinomial quadrática e parâmetros observados para a relação obtida entre o IAF e as doses de nitrogênio utilizadas ($\text{kg.N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001.....	65
12 Equação de regressão potencial e parâmetros para a relação observada entre a produção de matéria seca (MS) e o IAF, em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001.....	70
13 Resultados da análise de regressão múltipla das relações entre o NDVI e as variáveis lâminas de água e doses de N, em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.....	74
14 Equação de regressão polinomial quadrática e parâmetros observados para a relação obtida entre o NDVI e as dosagens de nitrogênio ($\text{kg.N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001.....	76
15 Equação de regressão potencial e parâmetros estatísticos para a relação observada entre o NDVI e a produção de matéria seca (MS), durante 7 cortes do capim Tanzânia em 2001.....	85
16 Equação de regressão potencial e parâmetros para a relação observada entre o NDVI e o índice de área foliar (IAF), em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- APAR - Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (MJ.m^{-2})
- banda - faixa espectral de um canal do instrumento de leitura de reflectância
- bar - unidade de pressão ($1 \text{ bar} = 100 \text{ KPa} = 0,9869 \text{ atm}$)
- C.C. - Capacidade de Campo
- F* - teste estatístico F (ANOVA)
- FR - Fator de Reflectância
- FRB - Fator de Reflectância Bidirecional
- ha - Hectare (10000 m^2)
- IAF - Índice de Área Foliar
- IVP - faixa do Infravermelho Próximo
- IVM - faixa do Infravermelho Médio
- J - Joule
- kg - Quilograma (1000 g)
- KPa - Kilo Pascal ($1 \text{ KPa} = 0,01 \text{ bar} = 0,009869 \text{ atm}$)
- mm - Milímetros
- MS - produção de Matéria Seca (kg.ha^{-1})
- N - Nitrogênio
- NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
- nm - Nanômetro (10^{-9} m)
- PAR - Radiação Fotossinteticamente Ativa (Radiação líquida total) (MJ.m^{-2})
- Qg - Radiação Global total (MJ.m^{-2})
- r - Coeficiente de Correlação de Pearson
- r^2 - Coeficiente de Determinação

SAVI - Índice de Vegetação Ajustado para a Influência do Solo

sr - Steradiano (unidade de ângulo)

t - Tonelada (1000 kg)

t - teste estatístico t de Student.

TM - sensor Thematic Mapper do satélite LANDSAT.

TM₃ - Fator de Reflectância medido na faixa espectral do Vermelho (630 a 700 nm)

TM₄ - Fator de Reflectância medido na faixa espectral do Infravermelho Próximo
(760 a 900 nm)

U.A. - Unidade Animal (450 kg de peso vivo)

V - faixa do Vermelho

μm - 10^{-6} m

RELAÇÃO ENTRE COMPORTAMENTO ESPECTRAL, ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA EM CAPIM TANZÂNIA SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE NITROGÊNIO

Autor: CARLOS AUGUSTO HUNGRIA DA CUNHA

Orientador: Prof. Dr. RUBENS ANGULO FILHO

RESUMO

O estudo do comportamento espectral de plantas de interesse agrônomo é de fundamental importância a atividades relacionadas a avaliações de produtividade via sensoriamento remoto. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência de diferentes níveis de irrigação e doses de adubação nitrogenada no comportamento espectral do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia), bem como na sua produção de matéria seca (MS) e nos valores do índice de área foliar (IAF). O experimento foi conduzido na “Fazenda Areão”, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, de março a dezembro de 2001. O delineamento experimental constou de um total de 25 parcelas, de 3m x 5m cada uma, instaladas em uma área contínua de 25m x 15m, com declividade média de 4%. A forrageira foi submetida a cinco níveis de irrigação (0, 30, 70, 100 e 150% da capacidade de campo) e cinco níveis de adubação nitrogenada (0, 100, 275, 756 e 2079 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹), aplicados por um sistema de fertirrigação por gotejamento. Foram ainda realizadas no decorrer do experimento, sete medidas radiométricas sobre o dossel

vegetal, com o espectrorradiômetro SPECTRON SE-590, nas faixas do visível e infravermelho próximo, com a finalidade de se obterem os valores do Fator de Reflectância (FR), em bandas equivalentes às TM_3 e TM_4 do satélite LANDSAT, e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que não houve efeito significativo das lâminas de irrigação aplicadas ($p < 0,05$) sobre os valores de MS, IAF e NDVI do capim Tanzânia, fato este relacionado ao elevado índice de precipitação ocorrido durante a fase experimental. Em relação as doses de nitrogênio empregadas, ocorreu efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,05$) sobre os valores de MS, IAF e NDVI da forrageira. As variáveis apresentaram ainda uma tendência de efeitos quadráticos para o uso de nitrogênio, com melhores correlações observadas no período de maior umidade; ou seja, quando foram notados os maiores índices pluviométricos. Por sua vez, dosagens de nitrogênio maiores que $756 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ não proporcionaram efeitos crescentes sobre os valores da MS, do IAF e do NDVI. Para dosagens superiores a $1500 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ existiu uma tendência de incremento negativo das variáveis estudadas, possivelmente em virtude de efeitos secundários causados pelo excesso de nitrogênio na produção vegetal. Percebeu-se ainda que os valores de MS, IAF e NDVI, independentemente das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio empregadas, foram menores no período seco e maiores no período úmido, permitindo-se concluir que fatores climáticos (radiação solar e a temperatura) influenciaram os resultados encontrados para as variáveis estudadas, caracterizando ainda a “estacionalidade” da forrageira. A produção de MS do capim Tanzânia foi afetada significativamente pelo IAF, relação esta que ficou mais definida nos cortes relativos a períodos úmidos. Ainda, em todo o período experimental, houve uma correlação significativa entre a produção de MS e NDVI; também entre IAF e NDVI, evidenciando a eficiência do índice na estimativa dessas variáveis.

RELATIONSHIP BETWEEN SPECTRAL BEHAVIOR, LEAF AREA INDEX AND DRY MATTER PRODUCTION IN TANZANIA GRASS UNDER DIFFERENT IRRIGATION LEVELS AND NITROGEN RATES

Author: CARLOS AUGUSTO HUNGRIA DA CUNHA

Adviser: Prof. Dr. RUBENS ANGULO FILHO

SUMMARY

The study of the spectral behavior of plants of agronomic interest is of fundamental importance for the activities related to productivity evaluations through remote sensing. This present research had as a purpose to analyze the influence of different irrigation levels and nitrogen fertilization doses on the spectral behavior of the Tanzania grass (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia), as well as on its dry matter production (DM) and on the values of the leaf area index (LAI). The experiment was carried out in “Areão Farm”, of the “Luiz de Queiroz” Agriculture School, in Piracicaba, São Paulo, from March to December of 2001. The trial consisted of a total of 25 plots, each one with 3m x 5m, installed in a continuous area of 25m x 15m, with a mean slope of 4%. The grass was submitted to five irrigation depths (0, 30, 70, 100 and 150% of the field capacity), and five nitrogen rates (0, 100, 275, 756 and 2079 kg N.ha⁻¹.year⁻¹), applied by a drip fertirrigation system. During the experiment, seven spectroradiometric measurements were carried out on Tanzania grass field, with the spectroradiometer

SPECTRON SE-590, in the visible and near infrared bands, with the purpose of obtaining the values of the Reflectance Factor (RF), in bands equivalent to TM₃ and TM₄ of the satellite LANDSAT, and of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). According to the results obtained, it was possible to verify that the different irrigation depths did not have significant effect, at 5% of probability, on the values of DM, LAI and NDVI of the Tanzania grass, fact related to the excess of rain during the experimental phase. In relation to the used nitrogen rates, there was a significant effect of the treatments ($p < 0,05$) on the values of DM, LAI and NDVI of the grass. The variables still presented a tendency of quadratic effects for the use of nitrogen, with better correlations observed in the period of higher moisture; when there were recorded the largest pluviometric indices. Nitrogen rates higher than $756 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$, did not provide increasing effects on the values of DM, LAI, and NDVI. For nitrogen levels higher than $1500 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$, it was observed a tendency of negative increment of the studied variables, possibly due to the secondary effects caused by the excess of nitrogen in the plant production. It was also observed that the values of DM, LAI, and NDVI, independently of the irrigation depths and nitrogen rates, were lower in the dry period, and higher in the humid period, allowing to conclude that climatic factors (solar radiation and temperature) influenced the results for the studied variables, still characterizing the “seasonality” of the grass. The dry matter production of Tanzania grass (DM) was significantly affected by the LAI, relationship this that was more defined in the crops related to the humid periods. Still, in the whole experimental period, there was a significant correlation between DM and NDVI; also between LAI and NDVI, evidencing the efficiency of the index in estimating those variables.

1 INTRODUÇÃO

A importância do pasto como principal fonte nutricional para os bovinos no Brasil é fato conhecido, sendo frequentemente observado em diversos trabalhos de pesquisa, tais como aqueles desenvolvidos por Gomide (1994), Arruda (1997), Aguiar (1998), Almeida et al. (2000).

Ainda, a importância das forrageiras na produção de bovinos no Brasil pode ser evidenciada pela grande extensão de terra ocupada por estas, sendo de 75% da superfície utilizada pela agricultura, o que corresponde a aproximadamente 20% da área total do país (Brasil, 2002). No Estado de São Paulo, as pastagens ocupam um espaço equivalente a 52% da área agrícola cultivada (São Paulo, 1997), percentagem esta que também pode ser considerada bastante significativa.

Além do aspecto físico, as forrageiras são importantes pelo papel que desempenham na alimentação dos bovinos, uma vez que 88% da carne produzida no país advém de rebanhos mantidos exclusivamente a pasto (Arruda, 1997).

Porém, apesar do grande potencial das espécies forrageiras tropicais, nota-se que a produção de massa verde, o valor nutritivo, a qualidade da forragem produzida, as taxas de lotação praticadas e a produtividade animal apresentada pela agropecuária brasileira, são bastante inferiores aos níveis possíveis de serem obtidos, tanto do ponto de vista biológico como do ponto de vista operacional. Pesquisas que visam identificar os pontos de estrangulamento desses sistemas de produção têm potencial para embasar o aumento da eficiência e da viabilidade do processo produtivo, já que o pasto é a forma mais econômica de alimentação animal (Mello, 2002).

Nabinger (1997) observa ainda em relação ao desenvolvimento das gramíneas, que na região Sudeste do país, a produção ao longo do ano é obtida de maneira bastante

irregular, sendo que o percentual máximo concentra-se no período quente e chuvoso do ano (outubro a março) com 75% do total, enquanto no período mais frio (abril a setembro) fica reduzido a 25%. Dessa forma, durante os meses de menor temperatura e precipitação pluviométrica, a produção de forragem não acompanha as necessidades nutricionais dos animais; com a falta de pasto, o gado perde peso, retardando seu crescimento ou engorda.

Algumas técnicas básicas podem ser recomendadas para equilibrar a produção de matéria verde ao longo do ano; tais como, a escolha correta das espécies forrageiras adaptadas às condições locais, o plantio de leguminosas para estabelecimento de um banco de proteínas, o uso da técnica de fenação para a fitomassa produzida em excesso na época das águas, a adubação nitrogenada (visando um aumento de produção na época de menor precipitação pluviométrica) e a irrigação.

Por outro lado, em virtude da evolução do conhecimento das relações existentes entre a energia eletromagnética e as culturas, bem como das técnicas disponíveis, evidencia-se cada vez mais a possibilidade de múltiplos meios de utilização do sensoriamento remoto em agricultura. Assim sendo, percebe-se uma tendência crescente para o uso de dados multiespectrais de sensoriamento remoto, empregados por sua vez na coleta de informações do dossel da cultura, como também na estimativa de parâmetros agrícolas relacionados à produtividade de plantas.

Todavia, segundo Moreira (1997), a caracterização de alvos agrícolas por meio de dados espectrais coletados por sensores a bordo de satélites orbitais, se mostra ainda sujeita a uma série de erros amostrais, tendo como causa principal a complexidade do comportamento espectral do dossel agrícola.

Dessa forma, o estudo do comportamento espectral de plantas por meio da radiometria de campo, pode contribuir para uma melhor compreensão das variações observadas nas imagens de satélites, como também para a obtenção de uma maior precisão nos modelos gerados pelo sensoriamento remoto, quando utilizados na estimativa e análise de variáveis agrônômicas do dossel; tais como, o índice de área foliar (IAF) e a produção de matéria seca (MS).

Com base neste contexto é que se enquadra a presente pesquisa, assumindo-se a hipótese de que variáveis espectrais e variáveis agronômicas guardam boas relações entre si e que, se usados racionalmente, os parâmetros espectrais podem servir como descritores das condições gerais de vigor e de desenvolvimento do capim Tanzânia.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a utilização de técnicas de sensoriamento remoto, particularmente a espectrorradiometria de campo, na estimativa de parâmetros biofísicos (MS e IAF) da cultura do capim Tanzânia, quando submetida à influência de diferentes níveis de irrigação e nitrogênio.

Por sua vez, os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) pesquisar o efeito ocasionado pelo uso de diferentes doses de nitrogênio e lâminas de água, em relação aos valores observados para a produção de matéria seca (MS) e IAF do capim Tanzânia; também sobre os resultados encontrados para o NDVI da forrageira;
- b) analisar o comportamento espectral do capim Tanzânia durante 7 cortes no ano de 2001, procurando-se identificar os fatores responsáveis por alterações na resposta espectral da cultura;
- c) estabelecer relações concretas entre parâmetros derivados de dados de sensoriamento remoto ótico e as variáveis biofísicas do capim Tanzânia (IAF e MS), utilizando-se de modelo estatístico de análise de regressão;
- d) avaliar a relação notada entre a MS e o IAF da forrageira, empregando-se o modelo de regressão adequado para explicar a relação em estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características de gramíneas do gênero *Panicum*

As pastagens do gênero *Panicum* pertencem à família Gramínea, tribo *Paniceae*, apresentando cerca de 81 gêneros e mais de 1460 espécies, no qual o capim do gênero *Panicum maximum* Jacq., planta de origem africana, é tido como uma das gramíneas mais difundidas no Brasil, sendo em área a principal gramínea cultivada em pastagens. No Estado de São Paulo, no ano de 1995, sua área de cultivo era de aproximadamente 395.799 hectares, valor inferior àquele encontrado no ano de 1978 de 2.950.000 hectares (correspondente a 32 % da área total de pastagem), redução esta causada possivelmente pela substituição por capins do gênero *Brachiaria*. (Soria, 2002).

Os capins pertencentes ao gênero *Panicum* originam da África, onde são encontrados praticamente em todas as regiões. No Brasil, têm-se introduzido muitos cultivares e ecotipos desse gênero, tais como o capim Aruana, Búfalo, Centenário, Colônia, “Gatton Panic”, “Green Panic”, Guiné, Guinezinho, Makueni, Mombaça, Tanzânia, Tobiatã e Vencedor (Beretta et al., 1999).

Das pastagens do gênero *Panicum*, o *Panicum maximum* cv. Colônia já foi o capim mais utilizado para a engorda de bovinos, era um dos mais expressivos em extensão de área de pastagem cultivada no Brasil. No entanto, se por um lado o capim Colônia contribui para o maior ganho de peso por animal, sua baixa adaptabilidade a solos de baixa fertilidade e a sua baixa tolerância à seca, fez com que ele fosse substituído por outras gramíneas menos produtivas, porém mais adaptadas a estas condições. Dessa forma, como resultado da busca por maior produtividade e eficiência, aumentou o interesse pela utilização de outros cultivares de *Panicum maximum*,

principalmente os cultivares: Tobiatã, Tanzânia e Mombaça, que são mais adaptados aos solos de média fertilidade ou apresentam maior facilidade de manejo, ou ainda respondem melhor a fertilização do que a cv. Colonião (Euclides et al., 1997).

Assim, entre as alternativas para melhorar a eficiência dos sistemas de produção de bovinos de corte, está a utilização de gramíneas de estação quente, melhores adaptadas às condições de meio ambiente da região, com elevadas produções de matéria seca, e alto valor nutritivo. Entre os cultivares do gênero *Panicum maximum*, o capim Tanzânia possui todas as características descritas anteriormente, o que o torna uma forrageira altamente promissora para ser utilizada sob pastoreio (Barbosa, 1998; Gerdes et al., 2000).

2.1.1 O cultivar Tanzânia

O capim Tanzânia foi inicialmente pesquisado pelo “Institut Français de recherche Scientifique pour le Développement en Coopération” (ORSTOM) em Korogwe, na Tanzânia. No Brasil, o lançamento a nível comercial dessa forrageira foi em 1990, após um longo trabalho de seleção coordenado pela Embrapa (Jank, 1995).

O capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzânia) é uma gramínea com plantas de até 1,30 m de altura, as folhas e bainhas não apresentam pilosidade nem cerosidade. Os colmos são suavemente arroxeados, as inflorescências são panículas com espiguetas arroxeadas, sem pilosidade e semelhantes às do capim Colonião. O Tanzânia requer solos de média a alta fertilidade; mostra-se exigente quanto ao fósforo, nitrogênio e potássio. É capaz de obter em torno de 37% do nitrogênio necessário ao seu crescimento via fixação biológica. Em solos com valores de 5 a 8 ppm de fósforo, apresenta excelente vigor no estabelecimento, com rápido fechamento da vegetação. Seu rendimento de matéria seca varia de 16 a 20 t. ha⁻¹.ano⁻¹. Apresenta teores de proteína bruta entre 8% e 13% ao longo do ano, digestibilidade da matéria seca de 55% a 70%, uma alta percentagem de folhas (cerca de 80%). Produz ainda durante o período seco cerca de 10% de seu rendimento anual de forragem, desempenho este três vezes superior ao do Colonião comum. Devido ao seu porte médio e menor fibrosidade dos colmos, não

apresenta muita rejeição de consumo, como ocorre com as touceiras de Tobiatã e Colônia após o crescimento (Costa et al., 1996).

O potencial de utilização deste capim pode ser verificado pelos resultados obtidos durante a avaliação dos acessos no banco de germoplasma da Embrapa Gado de Corte. O Tanzânia produziu $33 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de matéria seca total, sendo $26 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de matéria seca foliar (80%), obtendo em média 12,7% de proteína bruta nas folhas e 9% nos colmos (Savidan et al., 1990; Jank, 1995).

O capim Tanzânia apresenta ainda, tal qual outras gramíneas de clima quente, uma elevada estacionalidade de produção. Assim, em um trabalho de campo conduzido por Cecato et al. (1996), onde os cortes eram feitos a cada 35 dias no verão e 70 no inverno, a produção por corte no verão foi de $7441 \text{ kg MS.ha}^{-1}$; no inverno foi de $2711 \text{ kg MS.ha}^{-1}$. Também, Santos et al. (1999) observaram que a taxa de acúmulo de matéria seca do Tanzânia aumentou de $80 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em setembro/novembro, para $150 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em janeiro/fevereiro, caindo para $96 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em fevereiro/abril. Para os autores, a grande variação no nível de produção de matéria seca ao longo do ano (estacionalidade), pode ser um dos principais motivos para a baixa produtividade de algumas áreas do país.

Em relação ao primeiro “pastoreio” do capim Tanzânia, Costa et al. (1996) afirmam que este deve ser realizado de 90 a 126 dias após o plantio. Observam ainda que pastagens bem formadas e manejadas apresentam uma capacidade de suporte de 1,5 a $2,5 \text{ UA.ha}^{-1}$ no período chuvoso, e de 0,8 a $1,0 \text{ UA.ha}^{-1}$ no período seco; assim sendo, o ganho de peso.animal⁻¹.dia⁻¹ pode variar de 500 a 800 g no período chuvoso, e de 200 a 400 g no período seco.

2.2 Aspectos fisiológicos do crescimento livre de plantas forrageiras

A taxa de crescimento forrageiro (C) é definido como sendo o produto do índice de área foliar (dm^2 de folha/ dm^2 de solo) pela eficiência fotossintética das folhas ($\text{g/dm}^2/\text{dia}$) (Gomide, 1989).

Por sua vez, o crescimento vegetal das gramíneas pode ser expresso em termos lineares, em que se mede o aumento em altura, ou ponderal, quando se mede o acúmulo de matéria seca. Esta última forma é mais objetiva por apresentar ganhos reais de substância orgânica, devendo, pois ser preferida. O crescimento ponderal resulta do aumento de área foliar e conseqüente produção de assimilados, como também do número de perfilhos e posterior alongamento dos respectivos caules (Gomide, 1994).

O índice de área foliar (IAF) aumenta com a idade da planta, que então se capacita a interceptar, progressivamente, maior proporção de luz solar incidente. Assim, a partir da formação das folhas, o IAF aumenta progressivamente até que se atinja um valor “crítico” em que 95% da luz incidente são interceptados pelas folhas. Continuando o aumento do IAF, as folhas inferiores são progressivamente sombreadas, tornando-se, conseqüentemente, menos efetivas no processo fotossintético da comunidade vegetal (Brown & Blaser, 1968).

Se a taxa respiratória da folha for independente de luz, haverá um valor de IAF “ótimo” em que a taxa de crescimento é máxima, quando a relação taxa de fotossíntese/taxa respiratória, é máxima. Além desse valor de IAF ótimo, haverá um número cada vez maior de folhas sombreadas; dessa forma, a produtividade forrageira vai caindo, de vez que as folhas inferiores se tornam fotossinteticamente menos eficientes, devido ao sombreamento e sua idade avançada (Alberda, 1966).

Com base nesse conceito, pode ser elaborado um manejo de pastagens em que ocorra uma pronta recuperação das plantas “pastejadas”. Embora reconhecendo que a manutenção de um IAF ótimo sob condições de “pastejo” seja praticamente impossível, é razoável admitir que o crescimento da plantas será reduzido com a manutenção de um IAF baixo, devido à inadequada interceptação de luz pelas plantas. Por outro lado, o acúmulo de matéria seca também será reduzido com a manutenção de valores elevados de IAF em decorrência do aumento na atividade respiratória e da acelerada senescência de folhas (Hodgson, 1990).

Em relação à eficiência fotossintética das folhas, pode-se afirmar que esta varia com sua disposição na planta (ângulo de inserção), idade, grupo anatômico, etc. Assim, em relação ao ângulo de inserção, as folhas de gramíneas apresentam uma maior

eficiência no aproveitamento da luz solar, por apresentarem um ângulo agudo em relação ao caule; quanto à idade das folhas, sabe-se que as folhas novas apresentam máxima eficiência de assimilação de CO_2 , as folhas velhas se mostram pouco eficientes. Em relação ao grupo anatômico, as forrageiras se reúnem em 2 grandes grupos, sendo que o primeiro pelas suas características, reúne a maioria das gramíneas tropicais e apresenta uma maior eficiência fotossintética das folhas (C_4); o segundo é representado pela maioria das forrageiras temperadas, apresentando uma menor eficiência fotossintética (C_3) (Gomide, 1994).

2.3 Influência dos fatores climáticos no crescimento das gramíneas

Os ciclos de crescimento das gramíneas são influenciados por fatores climáticos, tais como: a temperatura, a luminosidade e a água, que determinam todo o desenvolvimento dessas plantas (sem levar em conta o potencial genético da planta).

2.3.1 Influência da temperatura

A temperatura afeta principalmente o crescimento das gramíneas no decorrer das estações do ano através de sua variação temporal, no qual com a sua diminuição nos períodos de outono e inverno, vem influenciar de modo direto e indireto o metabolismo das plantas, afetando principalmente a fotossíntese e a evapotranspiração da planta, e conseqüentemente os processos de absorção e translocação de nutrientes, que por sua vez se tornam menos ativos (Silva, 1995).

Por sua vez, as gramíneas de clima tropical e subtropical se distinguem das forrageiras temperadas por apresentarem mais alto ponto de saturação de luz, mais baixo ponto de compensação de CO_2 , ausência de fotorrespiração, e fotossíntese máxima a temperaturas entre 30-35 $^{\circ}\text{C}$ e mínima à temperatura de 15 $^{\circ}\text{C}$ (Gomide, 1994).

Assim sendo, em relação à temperatura e seu efeito sobre os vegetais de clima tropical, nota-se que sob condições de temperaturas médias anuais de verão superiores a 29 $^{\circ}\text{C}$, e de inverno acima de 15 $^{\circ}\text{C}$, características das regiões tropicais e subtropicais, o fator temperatura perde importância, e as condições hídricas assumem papel

preponderante na fenologia das plantas. Entretanto, em regiões onde as temperaturas médias anuais apresentam valores situados entre 10 °C a 20 °C no período de verão, e entre 5 °C e 15 °C no período de inverno, a temperatura exerce papel tão importante quanto à umidade presente no solo (Burkart, 1975).

Ainda de acordo com Weigand (1997), citado por Pinheiro(2002), a diminuição de produção das gramíneas na época seca (inverno), é muito influenciada pelas menores temperaturas de inverno e o menor fotoperíodo. Assim, em função do metabolismo da planta variar na razão direta da temperatura, quanto mais intenso o frio, menor o crescimento. Para as gramíneas de clima tropical, nota-se que se a temperatura for menor que 15 °C, o crescimento praticamente cessa.

2.3.2 Influência da luz

O princípio básico da produção de forrageiras é a transformação da energia solar em compostos orgânicos, via fotossíntese. Nesse processo, a umidade do solo, o CO₂ do ar, a capacidade fotossintética das folhas além, naturalmente da luz solar, constituem os fatores capitais (Gomide,1989).

Assim sendo, a luz solar afeta e muito o desenvolvimento e florescimento das gramíneas, de modo que o seu efeito pode ser dividido em três diferentes componentes: a) resposta ao comprimento de radiação recebida (fotoperiodismo); b) qualidade de luz (comprimento de ondas); c) irradiação (energia radiante). Esses três componentes interagem durante todo o crescimento da planta, principalmente no momento de florescimento (Soria, 2002).

Em geral, as plantas forrageiras “C₄”, das quais as representantes do gênero *Panicum* fazem parte, promovem a fotossíntese tanto mais eficientemente quanto mais elevada for a intensidade luminosa, porém sem apresentar uma saturação na assimilação do CO₂, tal como ocorre nas gramíneas “C₃” (características de clima temperado), em condições de iluminação relativamente baixa; isto é, as gramíneas “C₄” não atingem a saturação com aumento da intensidade luminosa e apresentam o dobro da eficiência fotossintética daquela observada nas gramíneas de clima temperado. Nota-se também

que a massa de folhas por perfilho é relativamente constante sob todos os níveis de radiação para as espécies C₃, enquanto que as C₄ responderam positivamente aos incrementos em radiação (Ferri, 1985).

Diferentes experiências realizadas sob as mais diversas condições climáticas, atestam a importância da adequação da luz solar para o pleno desenvolvimento de gramíneas; assim sendo, no Estado de Kansas, Estados Unidos, em áreas montanhosas e sujeitas a idênticas condições climáticas, as pastagens situadas em locais com menor intensidades de luz, apresentaram um desenvolvimento lento, comparados aos terrenos onde a insolação era mais forte. Nestes pastos, melhores favorecidos pela radiação solar, o crescimento do capim foi vigoroso, rápido, mais volumoso e com maior presença de hidratos de carbono, tornando a forragem mais palatável aos animais. Porém, deve-se frisar que os efeitos da luz solar nem sempre são homogêneos, já que a quantidade de energia liberada pela radiação solar pode variar bastante em razão da topografia, posição do terreno, época do ano e localização geográfica (Carvalho, 1994).

Analizando ainda a influência de fatores climáticos (radiação solar, temperatura, e água) na produção de matéria seca de gramíneas tropicais, Costa & Monteiro (1997) observam que, as maiores produções concentradas no período de primavera-verão, principalmente em dosséis não irrigados, devem-se principalmente a maior precipitação no período (por ser a água neste caso o fator limitante); porém, nos cultivos irrigados, a distribuição irregular na produção de forragem está associada à variação de temperatura e luminosidade durante o ano. Por sua vez, Mannetje & Pritchard (1974) afirmam que a associação de baixas temperaturas e curtos fotoperíodos, deve ser o principal fator climático limitante do crescimento de plantas forrageiras irrigadas.

2.3.3 Influência da água

A água é de vital importância para as plantas, pois é veículo de transporte de nutrientes para os vegetais; a água dá turgidez aos tecidos e mantém em equilíbrio a

temperatura na planta; ela transporta como seiva os nutrientes para todas as partes da planta (Galeti, 1982).

Muitos processos fisiológicos na planta forrageira, como a expansão e o alongamento de folhas, a abertura e fechamento estomático, a fotossíntese, e vários outros, são principalmente regulados pela pressão de turgescência das células (Taiz & Zeiger, 1991).

A falta estacional de água parece ser um dos mais importantes fatores climáticos limitando a produção de gramíneas nos trópicos e subtropicais. Assim sendo, as gramíneas do gênero *Panicum*, apresentam maiores produtividades em regiões cujos índices pluviométricos anuais são superiores a 1000 mm. Por apresentarem raízes não profundas, com predominância a 60 cm, são plantas que não toleram secas intensas, apresentando às vezes maior demanda por água do que culturas agrícolas (Skerman & Riveros, 1992).

Por sua vez, o consumo de água pelas forrageiras é determinado basicamente pela demanda evaporativa da atmosfera, tipo de solo, e pelas características da planta (área foliar; distribuição e profundidade do sistema radicular; posição no dossel vegetativo). Entretanto, o suprimento de água às forrageiras, é determinado também pela habilidade destas em utilizar a água armazenada no solo e à capacidade de controlar as perdas pelo mecanismo estomático (Matzenauer & Sutili, 1983). Assim, o comportamento de uma planta cultivada em situação de déficit hídrico, dependerá do estágio de desenvolvimento, do genótipo, da duração e severidade do déficit (Wenkert et al., 1978; Petry et al., 1999).

Dias Filho (1986) trabalhando com o capim Tobiatã, percebeu boa correlação entre expansão foliar e nível de umidade do solo. A gramínea em condições normais de umidade apresentou expansão foliar de 7 cm.dia^{-1} , enquanto que sob “déficit” hídrico moderado, esse valor foi reduzido em torno de 60%. Turner & Begg (1978) afirmam também que o crescimento em extensão é mais sensível ao “déficit” hídrico, que ao mecanismo de fechamento dos estômatos. Assim, sob “déficit” hídrico, antes da ocorrência do fechamento estomático, o crescimento da planta já está prejudicado.

Analisando ainda o efeito do “déficit” hídrico em pastagens, Rodrigues & Rodrigues (1987) relatam que o ecossistema de pastagens é basicamente regulado por três processos interagentes: assimilação e alocação de carbono, assimilação e alocação de nitrogênio, e evapotranspiração. Com isso, além de afetar os processos fisiológicos e as características morfológicas da gramínea, o estresse hídrico pode prejudicar o crescimento da pastagem, ao estimular a redução na absorção de nitrogênio.

2.4 A estacionalidade das pastagens

O crescimento das pastagens não é uniforme ao longo do ano. Via de regra é maior na estação quente/chuvosa, e reduzido (podendo até cessar) na estação fria/seca. Essa alternância de produtividade é definida como estacionalidade de produção. Dentre os fatores que geram a estacionalidade de uma espécie forrageira estão suas características fisiológicas determinadas geneticamente, tais como a temperatura base, e a sensibilidade ao fotoperíodo (Medeiros et al., 2002).

Essa diminuição de qualidade de pastagem no inverno (seca), é decorrência natural das alterações de crescimento da pastagem determinada pelo clima. Com o rareamento das chuvas, a diminuição da temperatura, e o encurtamento dos dias (menor fotoperíodo), a taxa de crescimento das forrageiras é diminuída. Isso faz com que a renovação destas seja diminuída, tornando-se a população de plantas mais "velha". Apesar de todos esses fatores atuarem em conjunto, o principal limitante parece ser a temperatura, sendo pequenas as vantagens de se irrigar pastagens tropicais em locais em que o abaixamento da temperatura no inverno é significativo (Barcelos, 2003).

Assim, a pesquisa tem buscado selecionar representantes do gênero *Panicum maximum* que não apresentem problemas de estacionalidade, o que tem sido difícil, uma vez que as máximas produções no período seco do ano são de 14% em relação ao total da produção anual (Jank, 1995).

Outras alternativas e técnicas de manejo também são utilizadas com o intuito de suplantarem as diferenças observadas entre o verão e inverno; porém, todas tendem a

amenizar o problema, sem que nenhuma delas efetivamente o resolva como um todo (Pinto, 2000).

Dentre as opções avaliadas com o intuito de se diminuir a estacionalidade na produção de forrageiras tropicais, o uso da irrigação tem sido empregado como um elemento regulador da produção e diminuído o efeito da estacionalidade nas pastagens; porém, a resposta quanto o uso da irrigação para aumento da produção de matéria seca, parece estar mais ligada às condições climáticas presentes no momento do experimento e a frequência de irrigação, que relacionada as características das espécies de gramíneas (Coelho, 1999).

Experiências diversas atestam a ocorrência da estacionalidade da produção do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzânia) na região de Piracicaba, São Paulo. Assim sendo, Pinheiro (2002) durante nove cortes realizados no ano de 2001, verificou uma variação estacional compreendendo dois períodos distintos: período de inverno (meses de maio, junho, julho, agosto e setembro), período de verão (nos meses restantes do ano). Enquanto no período de verão a produção da forrageira foi máxima, no período de inverno a produção foi bastante reduzida. Afirma o autor que fatores climáticos como a disponibilidade hídrica, a temperatura ambiente, e a luminosidade presente (comprimento do dia), influenciam de maneira determinante os ciclos de crescimento do capim Tanzânia.

Trabalhando ainda com o capim Tanzânia e na mesma região, Soria (2002) afirma que nesse local, a estacionalidade da forrageira está bem definida, onde o efeito da irrigação como manejo complementar, e o emprego de nitrogênio visando o aumento da produção no período seco (inverno), não se mostram capazes de diminuir o efeito significativo dos fatores climáticos.

2.5 Utilização da adubação nitrogenada em pastagens

Em relação às adubações de pastagens, autores como Rocha (1981); Carvalho & Saraiva (1987); Corrêa (2002), salientam que a fertilização apesar de aumentar pouco o valor nutritivo das pastagens, pode elevar significativamente a produção de forragens,

permitindo maior lotação e resultando assim em maior produção de leite e carne por unidade de área utilizada.

Além do mais, a adubação traz também outras vantagens adicionais que melhoram a eficiência do sistema como um todo, pois evita uma maior degradação das pastagens, permite sobras de forragem que poderão ser vedadas nas águas ou conservadas na forma de feno ou silagem para uso na seca, bem como aumenta a disponibilidade de forragem no início das secas e no início das águas. Nota-se ainda que a maior reciclagem dos nutrientes em sistemas intensivos faz com que a adubação seja diminuída com o decorrer do tempo, sem afetar a produção. (Gomide, 1989).

De maneira geral, o elemento nitrogênio influencia positivamente a produção de matéria seca e a síntese de proteínas nas gramíneas, possibilitando assim a maior capacidade de suporte destas, conforme atestam vários autores (Werner et al., 1968; Buller et al., 1972; Olsen, 1974; Corsi, 1980; Rocha, 1981; Carvalho & Saraiva, 1987; Cadisch, 1994; Forni et al., 2000; Queiroz Neto, 2001).

Segundo Vicente-Chandler et al. (1962), as gramíneas forrageiras tropicais são capazes de responder a níveis de até $1800 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; porém a adubação nitrogenada de pastagens pode apresentar resultados econômicos duvidosos se boa parte da forragem disponível for perdida, ou se for baixa a recuperação do nitrogênio aplicado.

Por sua vez Soria (2002), ao analisar o efeito da aplicação de diferentes doses de nitrogênio e lâminas de água na cultura do capim Tanzânia, mostrou que o uso de doses de nitrogênio superiores a $756 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, não permitiu efeitos crescentes sobre a produção de massa seca da forrageira, sendo que os percentuais de incrementos nas produções proporcionadas pelo uso do nutriente em relação à produção de massa seca total, mostraram ser de 15%, 19%, 29% e 20%, quando usado às doses de 100, 275, 756 e $1.769 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Nabinger (1997), ao estudar a influência do nitrogênio nos valores observados do IAF das gramíneas Tifton 85 e Marandu, notou ainda que a elevação dos níveis de nitrogênio contribuiu para que maiores valores do IAF fossem observados. Segundo o autor, a razão para o fato observado está ligada ao favorecimento do nitrogênio na

produção de folhas novas e na melhoria da eficiência fotossintética, favorecendo assim a formação da parte aérea das gramíneas em estudo.

O efeito negativo do excesso de nitrogênio para o desenvolvimento vegetal, tem por sua vez sido notado por vários autores. Assim, Vicente-Chandler et al. (1962), ao trabalhar com doses de N de até 1793 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹ em *Panicum maximum*, afirmam que doses de nitrogênio superiores a 600 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹, provocam a diminuição na quantidade do nutriente recuperado pela planta (em virtude da maior desnitrificação do elemento, bem como a indução de toxidez na planta provocada pelo excesso de N). Da mesma forma, Wilson & Manetje (1978), ao estudar pastagens de *Cenchrus ciliaries* cv. Biloela (capim Buffel) e *P. maximum* var. trichoglume cv. Petri (Green Panic) na Austrália, constatam que fatores como excesso de nitrogênio ou períodos de estresses hídricos, contribuem e muito para o aumento da senescência na pastagem.

Martha Júnior (2003) percebe também que durante o verão, e para níveis de adubação superiores a 80 kg N.ha⁻¹, a combinação de elevada umidade do solo e alta temperatura, pode determinar no sistema solo-planta uma baixa recuperação de nitrogênio (mais notada na forma NH₃; valores menores que 35% do N aplicado), bem como elevadas perdas por volatilização (> 40% do N aplicado).

É importante ainda frisar que a maior eficiência na utilização do nitrogênio, assim como respostas em produção animal, somente ocorrerão quando os demais nutrientes estiverem em níveis adequados no solo e as condições ambientais forem favoráveis (água, temperatura e luz), bem como realizado o manejo adequado das pastagens (Corrêa, 2002).

Assim sendo, a resposta do pasto por quilograma de adubo nitrogenado aplicado é maior no verão do que no inverno. Isto ocorre por causa de temperatura e fotoperíodo. O ideal seria então aproveitar esta maior eficiência de produção observada no período úmido, para conservar alimento na forma de silagem ou feno para a época de déficit (Junqueira Junior, 2003).

2.6 Utilização da irrigação em pastagens

No passado, alguns trabalhos que compararam a produção da pastagem irrigada e não irrigada nas estações de outono/inverno, chegaram à conclusão que era economicamente inviável irrigar pastagens nesta época, porque a baixa intensidade luminosa e as baixas temperaturas dos ambientes, limitavam a resposta da planta forrageira à irrigação. Esses resultados acabaram levando os produtores e técnicos a abandonarem o uso da irrigação de pastagens por muito tempo. Entretanto, pesquisas recentes e resultados de campo, têm demonstrado a possibilidade de se conseguir manter em pastagens irrigadas no período da seca, de 40 a 50% da taxa de lotação animal que é mantida na primavera/verão; índice este muito bom se considerarmos que em pastagens não irrigadas, apenas se consegue manter de 10 a 20 % da taxa de lotação obtida no período úmido (Alvares, 2001).

Porém, a irrigação de pastagens feita de forma isolada, não deve ser vista como a solução para a seca, e tampouco substituto do confinamento na bovinocultura de corte. Como em qualquer outra cultura, a irrigação de pastagens, mais do que trazer a possibilidade de obtenção de produtos na entressafra, representa a segurança de um sistema mais estável, mesmo para o período das águas, de forma que a adubação e o manejo possam ser executados com maior certeza de resultados (Junqueira Junior, 2003).

Deve-se esclarecer ainda que a irrigação somente deve ser usada, quando o produtor já chegou no terceiro nível de intensificação do uso da pastagem, onde a limitação para explorar ainda mais o potencial de produção da forrageira é a falta de água. Muitos erros têm sido cometidos a campo, tais como a aplicação da mesma lâmina por todo o ciclo da planta, sendo freqüente irrigar muito ou pouco, o que causa sérios problemas na produção de forragem. Nota-se ainda o desconhecimento da evapotranspiração para a reposição de água, bem como o emprego de baixos níveis de adubação e desequilíbrio de nutrientes, além de erros em ajustar a taxa de lotação animal (Aguiar, 1998).

Um fato importante a ser considerado, é que para se ter resultados positivos com a irrigação de pastagens tropicais, a temperatura ambiente não pode estar abaixo de 15°C, sendo este o fator ambiental que mais limita a resposta da planta forrageira à irrigação. A luminosidade só influencia em 10% a produção de forragem. A melhor resposta ocorre no verão, quando a temperatura é alta, possibilitando aumentos de 20 a 30% na produção de forragem (Corsi, 1990).

Vários trabalhos publicados na literatura atestam a importância da irrigação suplementar ou complementar para as forrageiras, contribuindo esta prática para um aumento da produção de matéria verde, bem como permitindo maior capacidade de lotação dos pastos, tanto no período seco do ano, como no período úmido.

Dessa forma, Alvim et al. (1986) irrigou 11 espécies de forrageiras e conseguiu produção de inverno com valor de 30% da produção anual (a média anterior era de 15%), obteve ainda uma relação inverno/verão de 44%, valor este considerado muito bom pelo autor.

Em relação a maior capacidade de lotação das pastagens de capim Tanzânia em decorrência do uso da irrigação, Corsi & Martha Júnior (1998) citam que, em uma fazenda em Penápolis, SP, ao se utilizar dessa prática, tornou-se possível manter 3,5 UA.ha⁻¹ no inverno, lotação esta que representou 50% da obtida no verão, bem acima daquela obtida sem irrigação (25%).

Por sua vez, Vilela & Alvim (1996) observam que em capim Coast-Cross, a irrigação realizada com 25 a 30 mm de água a cada 15 dias, possibilitou carregar uma lotação de 5,9 e 3,0 vacas.ha⁻¹ nos períodos de verão e inverno, respectivamente. Obteve-se assim uma relação inverno/verão de 51%.

Analisando o fator “benefício/custo” de um sistema de irrigação na pecuária leiteira, Vilela et al. (1997) concluem que, com a introdução da irrigação em uma fazenda leiteira, foi possível manter quase o mesmo custo do leite durante as duas estações do ano (R\$ 0,171/litro no verão; R\$ 0,175/litro no inverno), e uma redução de 18% no custo total do leite durante a seca.

Porém, nota-se que apesar dos vários estudos realizados, os quais comprovam as diversas vantagens proporcionadas pelo uso da irrigação em forrageiras, em qualquer

período do ano, ainda se torna necessário pelo lado da pesquisa responder e validar muitas perguntas, tais como aquelas referentes a dados específicos da necessidade de água de forrageiras (mm/kg de matéria seca); quanto à necessidade específica de água nas diferentes fases do ciclo da planta; em relação à eficiência obtida na utilização da fertirrigação; quanto a viabilidade do emprego de modelos de gerenciamento da produção de carne em sistemas irrigados; entre várias outras (Aguilar, 1998).

2.7 Utilização da irrigação associada à adubação nitrogenada em pastagens

Resposta à associação entre adubação nitrogenada e irrigação, tem sido observada tanto no período seco, como no período chuvoso, quando visam evitar períodos de déficit hídrico.

Assim sendo, Ladeira et al. (1966) estudando a produção dos capins Sempre Verde (*Panicum maximum* Jacq.), Gordura (*Melinis minutiflora*), e Pangola (*Digitaria decumbens*), no município de Viçosa (MG), encontraram no período seco para o uso conjunto de adubação nitrogenada (45 kg N.ha^{-1}) e irrigação, valores de produções de massa verde sendo 24% superiores a testemunha.

Por sua vez no Brasil Central, a técnica de irrigação em pastagens durante o "inverno" associada à adubação, tem mostrado aumento na produção entre 20 a 70% em relação à testemunha, para um período de 150 dias (Corsi, 1980).

No período úmido, o aumento na produção da matéria seca de forrageiras proporcionada pela interação entre nitrogênio e irrigação, foi comentado por Quilan et al. (1981), Donaghy et al. (1997), e Wales et al. (1998), os quais obtiveram valores de produções de massa verde maiores do aquele obtido pela testemunha (de 12% a 22%).

Na região de Piracicaba, São Paulo, o efeito da interação entre nitrogênio e irrigação, bem como a influência desta sobre algumas características agronômicas e na produção de matéria seca do capim Tanzânia, foi motivo de pesquisa para alguns autores. Assim sendo, Penatti (2002) notou que as proporções existentes de hastes, de folhas, e a relação folha/haste, foram algumas das características morfológicas da forrageira afetadas pelos tratamentos e pelas épocas do ano. Por sua vez, Prada Neto et

al. (2001) também observaram diferenças significativas entre as doses de nitrogênio aplicadas e a densidade das touceiras existentes na área; porém, em relação às lâminas de irrigação, não notaram influências significativas no desenvolvimento da forrageira, em virtude do excesso de chuvas que ocorreu durante a condução do experimento.

Afirmção semelhante é feita por Pinheiro (2002), o qual obteve em relação a adubação nitrogenada do capim Tanzânia, uma resposta linear para a produção de fitomassa, fato este atribuído ao incremento da área foliar da forrageira, maximizando assim a produção em condições climáticas favoráveis. Em relação às lâminas de irrigação usadas, tal como observado por Prada Neto et al. (2001), percebeu que estas não influenciaram os valores do índice foliar e a produtividade de matéria seca da forrageira, em decorrência do excesso de chuvas presente no ano experimental.

Ainda na região de Piracicaba, São Paulo, Soria (2002) estudando o efeito de diferentes lâminas de água aplicadas e da adubação nitrogenada e suas interações, no crescimento do Tanzânia, notou que os valores de eficiência de uso de água (EUA) dentro das lâminas de irrigação aplicadas, mostraram uma redução com as maiores lâminas de irrigação, sendo o tratamento de 70% CC aquele que proporcionou os maiores valores de EUA nas coletas efetuadas. Observou ainda que os valores de EUA nas diferentes doses de nitrogênio empregadas, apresentaram uma tendência de redução na medida em que maiores lâminas eram usadas, efeito este atribuído a uma maior lixiviação do nitrogênio e de outros nutrientes essenciais aplicados no solo (efeito deletério da irrigação excessiva), ou ainda devido à mudança da porcentagem de aeração, em virtude da diminuição na porosidade no solo.

2.8 Sensoriamento remoto

2.8.1 Propriedades ópticas da folha

Vane & Goetz (1988) afirmam que para se compreender as interações da radiação solar com o dossel vegetativo, deve-se inicialmente estudar as propriedades ópticas da folha, por ser esta o principal componente da vegetação a interagir com a radiação solar.

As folhas são os elementos da vegetação que mais contribuem para o sinal detectado pelos sensores óticos, sendo que as propriedades espectrais de uma única folha são função de sua composição química, morfologia e estrutura interna (Colwell, 1974).

Os três principais mecanismos que influenciam a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas são os pigmentos existentes, os espaços ocupados pela água e ar, e as estruturas celulares internas das folhas (Gates, 1980).

Assim, a radiação solar que chega na superfície da Terra (radiação global), ao atingir a planta, interage com a mesma e resulta em três frações, em que: uma parte dessa radiação é absorvida pelos pigmentos contidos na folha. Essa quantidade que é absorvida participa na síntese de compostos ricos em energia (fotossíntese), altera estruturas moleculares (fotoconversão), acelera reações como por exemplo a foto-oxidação das xantofilas, ou ainda destrói estruturas moleculares. A parte absorvida corresponde a aproximadamente 50% do total que chega até a planta. Outra parte é refletida pelas folhas, fenômeno denominado de reflexão. Finalmente, uma terceira parte sofre o processo de transmissão, processo realizado através das camadas de folhas que compõem a copa, adentrando os componentes que constituem a folha, tais como a cutícula, o parênquima lacunoso e o paliçádico. A parte mais importante do ponto de vista fisiológico e bioquímico para a produtividade da planta, é a parte absorvida, mas devido à complexidade em medi-la para a grande maioria dos sensores de sensoriamento remoto, a energia refletida pela vegetação têm sido a mais utilizada, pois é nessa faixa do espectro que se dispõe da maior quantidade de sensores orbitais e sub-orbitais capazes de registrar informações da superfície terrestre (Moreira, 2001).

Em relação à fração da energia solar absorvida pelas plantas (400 a 700 nm), Rodrigues (1995) afirma que esta é a responsável pela fotossíntese vegetal, a qual ocorre em função da presença de pigmentos fotossintéticos; isto é, clorofilas, carotenóides, e em alguns casos as ficobilinas. Os pigmentos fotossintéticos presentes e a sua abundância variam de acordo com a espécie. Existem, entretanto, dois tipos de clorofila que diferem entre si devido a detalhes de sua estrutura molecular, e também nas propriedades específicas de absorção. A clorofila *a* ocorre em todos os eucariontes fotossintetizantes e

nas cianobactérias, sendo considerada essencial para o tipo de fotossíntese realizada por estes grupos. A clorofila *b* é um pigmento acessório, ou seja, um pigmento que serve para ampliar a faixa de luz que pode ser utilizada na fotossíntese. Nas folhas das plantas verdes, a clorofila *b* constitui cerca de um quarto do conteúdo total de clorofila. As duas outras classes de pigmentos que estão envolvidas na captação de energia luminosa são os carotenóides e as ficobilinas.

Analisando ainda o espectro reflectivo, Moreira (1997) cita que o comportamento espectral da vegetação apresenta manifestações distintas em três regiões espectrais, que são: (a) região do visível (400 a 700 nm); (b) região do infravermelho próximo (700 a 1300 nm); (c) região do infravermelho médio (1300 a 2500 nm). A Figura 1 mostra as principais características da resposta espectral de uma folha verde, nessas três regiões.

Figura 1 - Assinatura espectral de uma folha verde

Fonte: Moreira (1997)

2.8.1.1 Região do visível

A região do visível do espectro situa-se na faixa espectral entre 400 nm a 700 nm. Essa faixa é denominada de radiação fotossinteticamente ativa, no inglês é denominada de “Photosynthetically Active Radiation” (PAR), sendo que a maior parte da PAR que incide sobre o dossel vegetativo é absorvida no mesófilo das folhas pelos

pigmentos fotossintetizantes existentes nos cloroplastos, predominantemente as clorofilas *a* e *b*, embora os carotenóides, as xantofilas e antocianinas, contribuam em menor intensidade nessa absorção, tal como comentado anteriormente (Moreira, 1997).

Novo (1989) afirma ainda que nessa região a reflectância é baixa ($< 20\%$), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos das plantas em 480 nm (clorofilas e carotenóides), e em 620 nm (clorofila). Em 560 nm há um pequeno aumento do coeficiente de reflectância, porém não atingindo níveis superiores a 10%.

2.8.1.2 Região do infravermelho próximo

Didaticamente esta região situa-se na faixa espectral entre 700 a 1300 nm. Nesta região, a radiação incidente ao interagir com uma vegetação sadia apresenta uma maior percentagem de energia refletida e transmitida, e uma menor percentagem de radiação absorvida, se comparada com a região do visível (Moreira, 1997).

Assim, pode-se notar um gradiente acentuado que marca a transição para uma elevada reflectância no infravermelho próximo, a qual corresponde a aproximadamente 40 a 60% da radiação incidente, mantendo-se alta até cerca de 1300 nm. A elevação na reflectância nesta faixa é consequência do espalhamento de radiação no mesófilo, que ocorre por força da interação entre a radiação e a estrutura interna das folhas (Patel et al., 1985; Walter-Shea et al., 1991; Law & Waring, 1994).

2.8.1.3 Região do infravermelho médio

A região do infravermelho médio do espectro eletromagnético situa-se na faixa espectral entre 1300 nm a 3000 nm; neste caso, a reflectância da vegetação sofre um decréscimo dos valores da energia refletida, devido principalmente ao conteúdo da água líquida presente na folha (Guyot, 1990).

Observa-se ainda na região do IVM, que a reflectância foliar é relacionada inversamente com a quantidade total de água presente nas folhas (Bauer et al., 1980);

nota-se também que a água absorve mais a radiação nos comprimentos próximos a 1400 nm; 1900 nm; e 2500 nm (Figura 2).

Figura 2 - Relação inversa entre a reflectância de uma folha e a absorção de água

Fonte: Bauer et al. (1980)

2.8.1.4 Fatores que influenciam as propriedades ópticas da folha

Os fatores morfológicos e fisiológicos da planta, que por sua vez estão diretamente envolvidos na interceptação e absorção da radiação fotossinteticamente ativa, podem ser reunidos em dois grupos: (a) morfológicos: aqueles relacionados com a organização espacial dos elementos envolvidos na captação da luz (principalmente as folhas), e (b) aqueles de caráter fisiológico ou funcional (Moreira, 2001).

(a) - Fatores morfológicos

Entre os fatores morfológicos, os mais importantes estão relacionados à organização espacial das folhas, ou seja, densidade de cobertura vegetal, distribuição horizontal e vertical de folhas, e ângulo de inserção foliar. Em relação à cobertura vegetal, pode-se dizer que o melhor parâmetro que tem sido usado para estimá-la é o

índice de área foliar (IAF), que é dado pela área foliar existente em relação à superfície do solo ocupada pela planta. Nas plantas de ciclo curto, entre elas as culturas agrícolas, a taxa de produção de fotossintetizados aumenta em função do aumento do IAF. Entretanto, a absorção da energia luminosa não aumenta indefinidamente com o aumento do IAF, sendo limitada pelo auto-sombreamento que as folhas superiores exercem sobre as inferiores (Moreira, 2001).

Cunha (2000), ao analisar o comportamento espectral da cultura do feijão irrigada por meio de assimilação das bandas espectrais TM₃ (vermelho) e TM₄ (infravermelho próximo) do satélite LANDSAT, cita que a medida em que esta cultura vai se desenvolvendo, em virtude do aumento da fitomassa e do índice de área foliar (IAF), nota-se um decréscimo do fator de reflectância na banda TM₃. Este fato ocorre devido ao aumento de quantidade de clorofila das folhas e conseqüente maior absorção de radiação por parte destas. Outros autores como Thomas & Oerther (1972); Patel et al. (1985); Formaggio (1989); Jensen et al. (1990); Fernández et al. (1994), fazem a mesma observação. Segundo ainda o autor, para a banda TM₄ o comportamento é inverso; isto é, a reflectância aumenta com o acréscimo de folhas (maior fitomassa e maiores valores do IAF), o que provoca um crescimento dos efeitos multiplicativos da reflexão até se atingir um determinado ponto máximo. Assim sendo, verifica-se uma relação entre o aumento da fitomassa e do IAF, de maneira concordante com o aumento nos valores de reflectância na banda TM₄, ocorrendo o oposto na banda TM₃. Observação semelhante foi feita por: Ma et al. (1996); Moreira (1997); Fonseca et al. (2002).

Moraes (1996) observa que na região do visível, o aumento da camada de folhas não acarreta em aumento indefinido da energia refletida; porém, a energia absorvida aumenta exponencialmente até um IAF de valores compreendidos entre 2 e 3. Na região do infravermelho próximo, uma vez que a absorção é mínima, o aumento do IAF implica no aumento do espalhamento e no conseqüente aumento da reflectância da vegetação, até que o IAF atinja valores compreendidos entre 6 e 8.

Chance & Lemaster (1977) afirmam ainda que, para o algodão, a reflectância do dossel torna-se insensível a mudanças do IAF quando este excede 2,2 (para a região do visível), e 6,2 (para o infravermelho).

(b) - Fatores fisiológicos ou funcionais:

(b.1.). *Tipo e espessura das folhas*

A reflectância no infravermelho próximo é geralmente afetada pela estrutura anatômica das folhas; depende dos estratos celulares, do tamanho das células, e da espessura do mesófilo esponjoso; assim, as folhas de dicotiledôneas possuem reflectância maior do que as de monocotiledôneas para uma mesma espessura, porque as primeiras têm um mesófilo esponjoso mais desenvolvido (Guyot, 1990).

(b.2.). *Conteúdo de água na folha:*

Na região do infravermelho próximo (700 nm a 1300 nm), a absorção da água é geralmente baixa e a assinatura espectral é quase constante. Ao contrário, as regiões existentes entre as bandas de absorção do infravermelho médio, são fortemente influenciadas pelo conteúdo de umidade das folhas; neste caso, como já comentado anteriormente, nota-se que a reflectância foliar é inversamente relacionada com a quantidade total de água presente nas folhas (Bauer et al., 1980).

(b.3.). *Nutrientes:*

Sabe-se que a deficiência de nutrientes no vegetal afeta de forma significativa as propriedades ópticas das folhas. A deficiência de nitrogênio provoca uma clorose (amarelecimento das folhas), a qual é responsável pelo aumento da reflectância na região do visível, tendo como causa o decréscimo do conteúdo de clorofila (menor número de pigmentos); além disso, ocorre ainda um decréscimo da reflectância na região do infravermelho próximo e do infravermelho médio, fato este atribuído à diminuição do número de camadas das folhas (Thomas et al., 1971).

Jensen et al. (1990) e Fernández et al. (1994) citam que na medida em que se aumentam os níveis de N aplicados na adubação, ocorre uma diminuição na reflectância em todos os comprimentos de onda da porção visível do espectro, bem como um aumento da reflectância nos comprimentos de onda da região do infravermelho próximo, fato este ocasionado pelo incremento da quantidade de folhas e cloroplastos para interagir com a radiação.

Bauer (1975), citado por Moreira (1997), mostra ainda a influência exercida nas propriedades ópticas das folhas pela deficiência de outros nutrientes, como o fósforo e o cálcio, cujos baixos teores influenciam a menor absorção da energia na região do infravermelho próximo, em relação às folhas que não apresentam deficiência nutricional.

(b.4.). *Idade da planta:*

Na região do visível tem-se observado que a reflectância de uma folha na fase de senescência é maior do que aquela observada na folha jovem (Figura 3), pelas razões descritas anteriormente (menor número de pigmentos fotossensibilizantes).

Figura 3 - Curvas de reflectância espectral de folhas de plantas obtidas durante a fase de crescimento vegetativo e durante a senescência

Fonte: Moreira (1997)

(b.5.). *Doenças e pragas:*

Alguns fungos e insetos podem ainda influenciar a assinatura espectral de folhas infestadas por estes. Em relação aos fungos, Moraes (1996) cita que Colwell (1956) e Kumar (1972) verificaram para a região do visível, que a reflectância nas folhas doentes era maior do que aquela observada nas folhas saudáveis, o que poderia ser explicado pela perda de clorofila em virtude da proliferação dos microorganismos.

2.8.2 Comportamento espectral de gramíneas e outras forrageiras

Várias pesquisas publicadas na literatura mundial afirmam que a análise da reflectância é um bom indicador das mudanças que ocorrem em um dossel. Assim, os aumentos na quantidade de fitomassa do dossel, provocam diminuição da reflectância na porção visível do espectro, e aumento na porção do infravermelho, como atestam os trabalhos relativos a *Lepedium sativum* L. (Curran & Milton, 1983); arroz (*Oryza sativa*) (Patel et al., 1985); cevada (*Hordeum vulgare* L.) (Jensen et al., 1990); milho (*Zea mays* L.) (Peñuelas et al., 1997) e trigo (*Triticum aestivum* L.) (Moreira, 1997).

Ainda, outros trabalhos clássicos e relacionados ao comportamento espectral de gramíneas em pradarias e campo seco podem ser citados, como aqueles realizados por Pearson et al. (1976) no Colorado (EUA) e Girard (1982) na França, os quais por meio do emprego da radiometria de campo, obtiveram boas correlações entre as reflectâncias observadas nas faixas do vermelho e infravermelho-próximo, e a respectiva fitomassa.

O estudo da assinatura espectral de forrageiras permite também a diferenciação de espécies que apresentam arquiteturas e comportamentos fisiológicos diferentes (Girard, 1982). Assim sendo, Batista (1990) nota que é possível reconhecer áreas cobertas por pastagens, bem como identificar algumas de suas características, pela análise de produtos TM/LANDSAT.

Em relação à resposta por parte do dossel vegetativo a aplicação de diferentes dosagens de nitrogênio, sabe-se que esta pode ser identificada por meio de sensores remotos instalados a nível orbital ou terrestre. A razão para isso consiste no fato do nitrogênio influenciar tanto a taxa de expansão, quanto à divisão celular, determinando assim o tamanho final das folhas, o que faz com que seja um dos fatores determinantes da taxa de acúmulo de fitomassa. Assim sendo, à medida que se processa o aumento dos níveis de nitrogênio por meio da adubação, observa-se um aumento da fitomassa do dossel, com conseqüente diminuição na reflectância em todos os comprimentos de onda da porção visível do espectro, e provocado pelo aumento da quantidade de folhas e cloroplastos para interagir com a radiação (Jensen et al., 1990; Fernández et al., 1994). Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores em experimentos com

gramíneas, tais como: arroz (*Oryza sativa*) (Patel et al.,1985); milho (*Zea mays*) (Ma et al.,1996); sorgo forrageiro (*Sorghum vulgare*) (Mani et al.,1991).

Ainda pode ser citado o trabalho desenvolvido por Fonseca et al. (2002), que realizaram um experimento de campo com o objetivo de caracterizar a reflectância da grama forquilha (*Paspalum notatum* Flüggé var.*notatum*) sob três níveis de adubação nitrogenada (0, 200 e 400 kg N.ha⁻¹), e sob a influência da irrigação por aspersão. Perceberam os autores a existência de uma relação quase linear entre níveis de N e produção de fitomassa. Quanto a reflectância na região do visível (370 a 700 nm), os menores valores foram encontrados para parcelas com maior produção de fitomassa (devido a maiores quantidades de pigmentos fotossintetizantes presentes na folhas). Na região espectral compreendida entre 700 a 950nm (IVP), o comportamento da reflectância foi oposto daquele observado no visível, ou seja, maiores valores da reflectância foram observados para parcelas com maior nível de adubação nitrogenada e conseqüentemente, com maior produção de matéria seca.

2.8.3 Radiometria

A radiometria é a mensuração da energia eletromagnética refletida ou emitida por um objeto, em um determinado intervalo de comprimento de onda. Os sistemas que medem essas quantidades de energia são denominados radiômetros, os quais são capazes de mensurar as grandezas radiométricas (Steffen, 1996).

Segundo Steffen & Moraes (1993), das grandezas radiométricas (Tabela 1), a mais fundamental é a Energia radiante (Q), cuja unidade é o Joule (J); é a partir dela que todas as outras grandezas são calculadas, tais como:

- a) Fluxo radiante (Φ);
- b) Irradiância (E);
- c) Radiância (L);
- d) Exitância (M);
- e) Intensidade radiante (I).

Tabela 1. Principais grandezas radiométricas

<i>Grandeza Radiométrica</i>	<i>Unidade de Medida</i>	<i>Conceito</i>
Energia Radiante	Joules (J)	Energia transportada - forma de REM
Fluxo Radiante	Watt (W)	Variação de energia radiante no tempo
Irradiância	Watt por metro quadrado (W.m ⁻²)	Fluxo incidente sobre uma superfície por unidade de área
Excitância	Watt por metro quadrado (W.m ⁻²)	Fluxo radiante sobre uma superfície por unidade de área
Radiância	Watt por metro quadrado por esterradianos (W.m ⁻² .sr ⁻¹)	Razão entre fluxo radiante por unidade de área e por unidade de ângulo sólido na direção considerada
Absortância	adimensional	Razão entre o fluxo absorvido e o fluxo incidente numa superfície
Reflectância	adimensional	Razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente numa superfície
Transmitância	adimensional	Razão entre o fluxo transmitido e o fluxo incidente numa superfície

Fonte: Costa (2002)

Dessa forma, a energia radiante (fluxo radiante) ao atingir a superfície dos objetos sobre a superfície terrestre, interage com os mesmos resultando num fracionamento da seguinte maneira: (a) uma parte do fluxo é refletida, (b) outra parte do fluxo é absorvida pelos elementos da superfície do objeto, (c) quando o objeto ou alvo é transparente a radiação solar, parte do fluxo é transmitida através do objeto (Jackson & Huete, 1991). Esse fracionamento pode ser expresso de acordo com a seguinte lei de conservação da energia (Equação 1):

$$\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t \quad (1)$$

em que: ϕ_i , ϕ_r , ϕ_a e ϕ_t são os fluxos radiantes incidente, refletidos, absorvidos, e transmitido.

Normalizando a Equação 1 em relação ao fluxo incidente (ϕ_i), teremos a Equação 2:

$$1 = \rho + \alpha + \tau \quad (2)$$

onde: ρ é denominada de reflectância; α de absortância, e τ de transmitância.

Em relação a reflectância, para medi-la na prática utiliza-se do conceito de superfície perfeitamente difusa, superfície esta com reflectância unitária e que reflete uma radiância constante independente do ângulo de visada. Utiliza-se para simular tal superfície uma placa referência (padrão), recoberta com Sulfato de Bário (BaSO_4) ou Óxido de Magnésio (MgO). Assim, na prática, utiliza-se um radiômetro e mede-se a radiância relativa a placa padrão; em seguida, mede-se a radiância relativa ao alvo em estudo, calculando-se assim o Fator de Reflectância Bidirecional (FRB), que por sua vez é a razão final entre a radiância refletida por essas duas superfícies, nas mesmas condições de iluminação, como consta na Equação 3 (Steffen, 1996).

$$R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r, \lambda) = \frac{dL_a(\theta_r, \varphi_r, \lambda)}{dL_p(\theta_i, \varphi_i, \lambda)} * k(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r, \lambda) \quad (3)$$

em que: $R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r, \lambda)$ é o fator de reflectância bidirecional espectral; $dL_a(\theta_r, \varphi_r, \lambda)$ é a radiância espectral do alvo; $dL_p(\theta_i, \varphi_i, \lambda)$ é a radiância espectral da placa de referência; $k(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r, \lambda)$ é o fator de calibração da placa de referência.

Por sua vez, a espectrorradiometria de campo pode ser definida como a técnica de sensoriamento remoto ao nível de campo, onde são utilizados sensores para mensurar a radiação solar refletida de objetos na superfície terrestre em determinadas faixas espectrais. Por utilizar a radiação solar como fonte de energia, a técnica é classificada como passiva (Deering, 1980).

A espectrorradiometria de campo é bastante utilizada na agricultura, pois permite obter medidas ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas, sob condições bem mais favoráveis em termos de influência da atmosfera, do que aquelas adquiridas por sensores remotos a bordo de plataformas orbitais (Deering, 1980).

Por meio dessas medidas é possível ainda estabelecer a relação significativa entre parâmetros agronômicos da cultura e a energia refletida ou emitida por ela, em diferentes faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnético (Henderson & Badhwar, 1984). Assim sendo, as relações podem então ser implementadas em modelos de estimativa de crescimento e produtividade agrícola (Bauer et al., 1980).

Epiphany (1989) menciona algumas das características essenciais e vantagens das medidas radiométricas obtidas a campo:

- (a) os dados são obtidos próximos à superfície com influência mínima da atmosfera;
- (b) os espectrorradiômetros são sensores que geralmente possuem um número maior de bandas espectrais (alta resolução espectral) do que os sensores a bordo de satélite ou de aeronave;
- (c) devido a maior proximidade do alvo-sensor, existe para este caso uma maior precisão, nas relações obtidas entre as medidas espectrais e os parâmetros biofísicos do local.

Na definição de um sistema para medidas radiométricas de campo, deve-se considerar prioritariamente as características dos espectros que se pretende obter, principalmente o seguinte: (a) resolução e intervalo espectrais das medidas; (b) campo de visada necessária para a amostragem; (c) acessibilidade das amostras. Assim, em virtude das características desejadas, para o trabalho de campo é recomendada ainda a utilização de equipamentos que possuam: (i) peso e volume reduzidos; (ii) unidade detectora separada da unidade controladora; (iii) suprimento de energia por bateria recarregável; (iv) sistema de armazenamento de dados; (v) pequeno tempo de aquisição e comunicação com computador. Assim sendo, existem atualmente vários sistemas de medição espectral disponíveis comercialmente que satisfazem ao menos parcialmente esses requisitos (Steffen, 1996).

Segundo Novo (1989), os equipamentos empregados para medir a radiação solar refletida dos objetos (reflectância), podem ser classificados em duas categorias:

- (a) *radiômetros de banda*: produzem informações sobre a resposta do alvo em faixas largas do espectro; tal como o EXOTECH;
- (b) *espectrorradiômetros*: os quais distinguem-se dos radiômetros de banda, porque operam em faixas espectrais estreitas e possuem sistema de dispersão, que decompõe a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda; como o ESPECTRON SE-590.

2.8.4 Índices de vegetação

O conhecimento das relações entre energia eletromagnética e as culturas, aliado a várias técnicas, permite múltiplos meios de utilização do sensoriamento remoto em agricultura. Dessa forma, os sistemas sensores utilizados atualmente para esse fim, apresentam a disponibilidade de várias bandas espectrais, o que permite a exploração mais eficiente das características espectrais dos alvos, em conjunto com os modos de operação dos vários sistemas sensores. Quanto mais bandas espectrais dispuser um sistema sensor, mais possibilidade de extração de informações ele fornece. Entretanto, quando o número de bandas espectrais aumenta, há um concomitante acréscimo de dificuldade de integração dos múltiplos dados. Uma abordagem para reduzir a dimensionalidade dos dados e aumentar a eficiência de extração de informações, tem sido o uso de índices espectrais de vegetação (Epiphanio & Formaggio, 1991).

Um índice espectral de vegetação é a integração de duas ou mais bandas espectrais, segundo procedimento determinado, cuja finalidade é realçar características da vegetação como biomassa, vigor vegetativo, índice de área foliar, etc., em relação aos solos (Moreira, 1997).

De uma forma geral, o emprego de índices de vegetação para caracterizar e quantificar um determinado parâmetro biofísico de culturas agrícolas, apresenta duas grandes vantagens: (a) permite reduzir a dimensão das informações multiespectrais através de um simples número, minimizando o impacto das condições de iluminação e

visada; (b) fornece um número altamente correlacionado aos parâmetros agrônômicos (Chen et al., 1986).

Na sua grande maioria os índices utilizados atualmente, são obtidos de medidas da reflectância nas faixas espectrais do V e IVP; além do mais, estas bandas espectrais estão presentes em quase todos os satélites de sensoriamento remoto, bem como contêm mais de 90% da informação espectral da vegetação (Huete & Jackson, 1988).

Pearson & Miller (1972) foram os primeiros a notar a existência de uma correlação linear negativa entre o fator de reflectância e a vegetação verde no comprimento de onda de 680 nm (V), e uma correlação linear positiva em 780 nm (IVP). A partir desse momento, os pesquisadores começaram a desenvolver vários índices de vegetação, com o intuito de caracterizar alguns dos parâmetros biofísicos da vegetação.

Segundo Moreira (2001), os índices de vegetação têm sido empregados com grande sucesso nos estudos que procuram caracterizar parâmetros biofísicos da vegetação; tais como: índice de área foliar verde (Holben et al., 1980; Asrar et al., 1984; Hatfield et al., 1985; Clevers, 1989); fitomassa (Tucker, 1979; Gallo et al., 1985; Green, 1987; Prince, 1991); APAR (Wiegand et al., 1974; Asrar et al., 1984; Hatfield et al., 1984; Seller, 1985); e produtividade (Asrar et al., 1985).

Na literatura são encontrados mais de 50 índices de vegetação, entretanto, os dois mais comumente usados são: Razão Simples (RVI) e o Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI) (Moreira, 2001).

Do ponto de vista matemático, esses dois índices apresentem equivalências funcionais, entretanto, o NDVI é mais sensível a vegetação esparsa do que o RVI (Jackson & Huete, 1991).

Moreira (2001) cita ainda que os índices de vegetação existentes podem ser agrupados em duas grandes classes, cujas definições se encontram na Tabela 2:

(a) índices na forma de razão, como exemplo: “*Ratio Vegetation Index*” (RVI); “*Normalized Difference Vegetation Index*” (NDVI); “*Soil Adjusted Vegetation Index*” (SAVI); (b) índices caracterizados pela distância ortogonal, como por exemplo: “*Perpendicular Vegetation Index*” (PVI); “*Weighted Difference Vegetation Index*” (WDVI); “*Greenness Vegetation Index*” (GVI).

Tabela 2. Índices de vegetação comumente utilizados

Índice	Referência	Ano	Definição *
RVI	Person e Miller	1972	IVP / V
NDVI	Deering et al.	1975	$(IVP-V) / (IVP+V)$
SAVI	Huete	1988	$[(IVP - V) / (IVP+V+L)] * (1+L)$
TSAVI	Baret et al.	1989	$\frac{[a * (IVP - a*V - b)]}{\{(a* IVP) + r - (a* b) + [X * (1 + a^2)]\}}$
PVI	Richardson e Wiegand	1977	$[IVP - (a*V) - b] / [\sqrt{(a^2+1)}]$
WDVI	Baret e Guyot	1991	$IVP - (a * V)$

Fonte: Moreira (2001)

* V, IVP... refere-se a reflectância na faixa espectral do visível e do infravermelho próximo respectivamente; a e b ..refere-se a coeficientes da linha do solo; L..é uma constante para minimizar a influência do solo

Moreira (1997), ao empregar o NDVI para detectar os efeitos do estresse de água na cultura do trigo, concluiu que este índice foi mais consistente do que a análise das informações espectrais de bandas individuais simuladas do sensor TM do LANDSAT-5; utilizando o NDVI foi possível também perceber as diferenças nos valores do FR tanto na banda TM₃, quanto na banda TM₄, ocorridas em datas diferentes. Outros pesquisadores como Turner et al. (1992), Souza & Ponzoni (1996), Rudorff et al. (1997), Cunha (2000), fazem a mesma notação.

Holben (1980), ao analisar a relação NDVI-IAF para a cultura da soja, usando ainda de modelos lineares de regressão, observou boa correlação entre as variáveis ($r = 0,79$); notou que o NDVI aumentou mais rapidamente para menores valores de IAF, tendendo a se estabilizar para maiores valores deste índice. Tal comportamento foi ainda

observado por outros autores, dentre eles Turner et al. (1999), que usando de regressão do tipo potência, observaram em vegetação de clima temperado, a saturação do índice NDVI ocorrendo em IAF situado entre 3 e 5.

Asrar et al. (1984) em estudo da cultura do trigo, perceberam que mudanças no valor do NDVI estavam principalmente relacionadas ao IAF da cultura. Para valores de IAF menores que 3, o NDVI foi influenciado principalmente pela reflectância do solo; mas para valores de IAF maiores que 3, o NDVI tornou-se mais dependente da reflectância da vegetação no IVP; isto é, cresceu quase que proporcionalmente aos valores observados do IAF, até o momento em que este apresentou valores próximos de 6, onde então ocorreu a estabilização da curva. Segundo ainda os autores, neste platô assintótico, para valores altos do IAF ocorrem mudanças muito pequenas do NDVI, em razão da ocorrência de mudanças ainda menores no FR obtido no dossel.

Gleriani (1994), por sua vez, buscou entender o comportamento do NDVI, do Índice Perpendicular de Vegetação (PVI), e do Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), em um experimento com a cultura do feijão no município de Pindamonhangaba, SP, em três solos espectralmente distintos. Quanto às relações observadas entre os parâmetros agrônômicos e os índices de vegetação, o NDVI foi aquele que apresentou o melhor coeficiente de determinação ($r^2 = 0,99$), em relação aos parâmetros índice de área foliar e fitomassa, embora apresentasse uma tendência de saturação elevada para valores de IAF maiores do que 3.

Xavier (2002), ao estudar a relação entre o IAF e os índices de vegetação: RVI; NDVI e SAVI, em culturas estabelecidas numa área correspondente a microbacia rural do Ribeirão dos Marins, Piracicaba, SP, notou que o padrão geral das curvas obtidas nas relações estudadas foi similar, e que o modelo de regressão potencial foi aquele que obteve ajuste mais adequado às relações IAF-IVs. Observou ainda nas relações IAF-NDVI e IAF-SAVI, que os valores do NDVI e SAVI aumentaram mais rapidamente para menores valores de IAF, mas tenderam a se estabilizar para maiores valores deste índice. Os coeficientes de determinação encontrados das relações IAF-SR, IAF-NDVI e IAF-SAVI foram: 0,70, 0,72 e 0,56 respectivamente, mostrando que o IAF apresentou melhor relação com o índice de vegetação NDVI.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O experimento foi realizado na Fazenda Areão no período de 30 de março a 21 de dezembro de 2001, área esta pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, SP. Foram avaliados 7 cortes da forrageira no período de estudo. A pesquisa também fez parte do projeto temático denominado "Produtividade do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em função da lâmina de irrigação e doses de nitrogênio".

O local está situado a 576 m de altitude, apresentando coordenadas aproximadas de: 22°42'30" S e 47°38'30" W. O experimento foi instalado em área contínua de 25m x 15m (Figura 4), equivalente a uma área total de 375 m², declividade média de 4%, com um total de 25 parcelas, cada uma destas possuindo área igual a 15 m² (3m x 5 m). O capim Tanzânia foi por sua vez submetido a cinco regimes de irrigação (0, 30, 70, 100 e 150% da capacidade de campo), e cinco níveis de adubação nitrogenada (0, 100, 275, 756 e 2079 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹).

Figura 4 - Fotografia aérea do local em que foi instalado o experimento

3.1.1 Solo

O solo no qual foi instalado o experimento é classificado em nível de grande grupo (classificação de 1966) como Terra Roxa Estruturada eutrófica, A moderado, textura argilosa, solos profundos e permeáveis, apresentando textura argilosa em todo perfil, com um incremento de argila no horizonte B; segundo ainda o Novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos elaborado pelo Comitê de Classificação de Solos (18/03/1999), um Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Foram realizadas análises em 3 profundidades (0-20; 20-40 e 60-80 cm), para determinar:

(a) densidade e granulometria do solo (Tabela 3): utilizando na coleta das amostras indeformadas os cilindros de Uhland com $344,77 \text{ cm}^3$; na análise granulométrica do solo, o método de Bouyoucos.

(b) curva de retenção de água do solo: elaboradas por secamento em amostras do solo com estrutura indeformada, utilizando funil de placa e a membrana de pressão.

(c) caracterização química do solo utilizando amostras extraídas em 15/12/1999, com determinação da análise da fertilidade do solo no laboratório do Departamento de Solos e Nutrição das Plantas, ESALQ, USP, Piracicaba (Tabela 4).

Tabela 3. Características físicas do solo para as profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm da área em estudo

Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Classe Textural	Densidade Global (g/cm^3)	Porosidade (%)
	Argila	Silte	Areia			
0-20	49	20	31	Argilosa	1,64	40
20-40	61	19	20	Argilosa	1,47	45
40-60	59	16	25	Argilosa	1,38	49

Tabela 4. Análise química em amostras de solo retiradas nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm da área em estudo

Profund. (cm)	P ($\mu\text{g}.\text{cm}^3$)	M.O. ($\text{g}.\text{dm}^3$)	K	Ca ($\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^3$)	Mg ($\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^3$)	H+Al	pH (CaCl_2)	S	T	V(%)
0 - 20	10	20	3,9	39	19	38	4,7	61,9	99,9	62
20 - 40	10	15	1,8	39	18	31	5,0	58,8	99,9	62
40 - 60	5	14	1,3	32	14	28	4,6	47,3	75,3	63

3.1.2 Clima

Segundo o sistema Köppen, o clima do local é do tipo mesotérmico, Cwa, isto é, subtropical úmido com estiagem no inverno, cujas chuvas do mês mais seco não atingem a 30 mm, mês mais quente com temperatura média superior a 22°C e mês mais frio com temperatura média inferior a 18°C.

A precipitação média anual é da ordem de 1278 mm. As temperaturas médias mensais variam de 24,9°C no verão, a 17,1°C no inverno, com média anual de 21,4°C (Sentelhas et al., 1998).

No presente experimento, os dados meteorológicos diários [temperatura, precipitação, radiação global (Qg) e radiação líquida (PAR)] foram obtidos de uma estação meteorológica automática (EMA), instalada no Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, Piracicaba, SP, (Latitude: 22° 42' 30" S; Longitude: 47° 38' 30" W), situada em local próximo da área experimental. Os valores relativos aos parâmetros climáticos se encontram na Tabela 5.

A radiação global (Qg) foi estimada na EMA por um piramômetro de fotodiodo de silício; a radiação líquida (PAR) foi estimada para a região de Piracicaba, SP, a partir de Qg, segundo relações empíricas propostas por Sentelhas et. al. (1997).

Tabela 5. Temperatura máxima (T_x); Temperatura mínima (T_m); Temperatura média (T); Precipitação total (P); Fotoperíodo (N_f); Radiação global total (Q_g); Radiação líquida total (PAR), obtidas na estação meteorológica automática do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, Piracicaba, (Latitude: $22^{\circ} 42' 30''$ S; Longitude: $47^{\circ} 38' 30''$ W), no ano de 2001

Corte	Ano: 2001 (Período)	n (dias)	T_x ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	P (mm)	N_f (horas)	Q_g (MJ.m^{-2})	PAR (MJ.m^{-2})
1 ^o	30/03 - 04/05	36	30,2	17,2	23,7	45,1	11,1	622,2	297,7
2 ^o	11/05 - 15/06	36	25,2	13,4	19,3	53,6	10,6	435,4	208,0
3 ^o	20/06 - 25/07	36	25,2	10,5	17,9	33,9	10,4	431,2	202,8
4 ^o	27/07 - 31/08	36	26,5	12,3	19,4	55,0	10,8	537,9	258,7
5 ^o	03/09 - 08/10	36	27,3	15,1	21,1	132,8	12,4	610,9	349,8
6 ^o	10/10 - 14/11	36	29,4	16,9	23,1	175,0	13,1	752,0	429,0
7 ^o	16/11 - 21/12	36	29,6	19,1	24,4	151,6	13,4	758,1	437,6

3.1.3 Balanço Hídrico

Sabe-se que o balanço hídrico do solo é a contabilidade de todas as adições e retiradas de água que realmente ocorreram em um perfil de solo, durante um intervalo de tempo (Δt). A equação do balanço é dada abaixo (Equação 4):

$$\Delta A_L = P + I - ET - D_s - D + \Delta M \quad (4)$$

em que:

ΔA_L ..variação no armazenamento de água no perfil de solo considerado (mm); P .. precipitação acumulada (mm); I .. lâmina total de irrigação (mm); ET .. evapotranspiração total (mm); D_s ..escoamento superficial (mm); D ...drenagem em profundidade (mm); ΔM .. água armazenada no perfil do solo (mm).

Villa & Soria (2002), ao analisar os valores obtidos para o balanço hídrico na região de Piracicaba, SP, durante os anos de 1917 a 2001, afirmam que a região

apresenta historicamente dois períodos de déficit hídrico característicos, um menor em abril, e o principal entre maio a setembro (Figura 5).

Figura 5 - Balanço hídrico mensal para Piracicaba, SP, determinado com valores de precipitação e temperatura dos anos de 1917 a 2001

Fonte: Villa & Soria (2002)

Porém, ao avaliar o balanço hídrico da região de Piracicaba, SP, relativo ao ano de 2001, afirmam a ocorrência de uma precipitação atípica (maior) em quase todos os meses do ano, tal como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Balanço hídrico mensal para Piracicaba, SP, determinado com valores médios de temperatura e precipitação durante o ano de 2001

Fonte: Villa & Soria (2002)

3.2 Cultivares utilizados e manejo

No experimento foi utilizada a espécie de pastagem pertencente à família gramínea, *Panicum maximum* Jacq., cultivar Tanzânia. Após o período de descanso adotado para o capim de 36 dias, procedeu-se a coleta da matéria verde em cada uma das parcelas, em uma área correspondente a 2 m². Para isso, empregou-se uma roçadeira lateral, que procedeu aos cortes necessários a uma altura de 25 cm do solo.

Em seguida ao corte, a área experimental foi aberta ao “pastoreio” intensivo por um período de 2 a 3 dias, tendo como objetivo a simulação da condição de alimentação natural dos bovinos, até o momento em que a altura de resíduo presente se encontrasse próxima a 15 cm. Logo após, foi usada uma roçadeira lateral na uniformização final, para homogeneizar toda a área.

Posteriormente, no início de cada ciclo (após o corte da forrageira e retirada dos bovinos), realizou-se a adubação nitrogenada, utilizando-se o Nitrato de Amônia (NH₄NO₃) via fertirrigação, nas dosagens pré-determinadas.

3.2.1 Aplicação de água e fertilizantes nitrogenados

A aplicação de água nos períodos em que se notou a presença de um déficit hídrico no solo foi realizada com o auxílio de irrigação localizada por gotejamento. Neste sistema a água foi aplicada ao solo, sob a forma de “ponto forte” diretamente sobre a região radicular, em pequenas intensidades, porém com alta frequência, permitindo ainda manter a umidade do solo na zona radicular, próxima à “capacidade de campo”, quando assim requerido.

Bernardo (1989), cita que entre as principais vantagens da irrigação por gotejamento em relação aos outros sistemas de irrigação estão: (a) maior eficiência no uso da água; (b) maior produtividade em geral das culturas; (c) maior eficiência da adubação; (d) maior eficiência no controle fitossanitário; (e) não interfere com as práticas culturais; (f) adapta-se a diferentes tipos de solos e topografia; (g) pode ser usada com águas salinas ou em solos salinos; (h) economia de mão de obra.

No experimento utilizou-se gotejadores autocompensantes, com vazão de 1,6 litros.hora⁻¹, os quais por sua vez foram distribuídos sobre a superfície do solo, de forma a respeitar um espaçamento entre si de 50 cm ao longo do tubo gotejador e de 70 cm entre essas linhas de tubos. Assim, fizeram-se presentes um total de 7 linhas de tubulações flexíveis para cobrir cada uma das parcelas do experimento, que por sua vez apresentava um espaçamento igual a 5,0 x 3,0 m.

Dispondo-se ainda do mecanismo de distribuição de água via gotejamento, foi realizada também no início de cada ciclo e logo após a retirada dos bovinos a adubação nitrogenada nas parcelas, aplicando-se o Nitrato de Amônia (NH₄NO₃) dissolvido em água por meio de um sistema denominado de fertirrigação.

Para o controle da necessidade de irrigação, empregou-se a metodologia baseada em tensiometria, cujos tensiômetros escolhidos foram os digitais de punção. Estes por sua vez foram instalados em 4 baterias tensiométricas, posicionadas na parcela correspondente a 100% da capacidade de campo e na dose de 756 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹, com seis unidades cada uma, possibilitando monitorar a umidade nas camadas com profundidades de: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm.

A frequência da irrigação e a quantidade de água aplicada nas parcelas foram determinadas em função da variação do potencial mátrico do solo. Assim sendo, procedeu-se a irrigação sempre que a leitura média observada nos tensiômetros posicionados a 20 cm de profundidade, registrasse um valor de tensão próximo a -0,20 bar. Dessa forma, aplicou-se uma lâmina de água de tal forma a corrigir a umidade do solo para um ponto próximo da capacidade de campo (-0,10 bar). A partir da determinação dessa lâmina correspondente a 100% CC (padrão), se fez a irrigação dos outros tratamentos experimentais, considerando-se as porcentagens de 30%, 70% e 150% da lâmina padrão.

O monitoramento da fertirrigação foi realizado tendo-se como base a condutividade elétrica e o pH da solução (condutivímetro e pHmetro digital e portátil), instrumentos estes que foram posicionados ao lado de cada bateria de tensiômetros, em 3 profundidades distintas (20cm, 40cm, e 60 cm).

3.3 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi determinado antes de cada corte da forrageira, por meio de um método não destrutivo, em que foi utilizado o medidor de área foliar LI-COR, modelo LAI- 2000. (LI-COR, 1992).

O LAI-2000 é um sensor passivo, desenvolvido para estimar o IAF de dosséis de vegetação, sendo muito prático para uso em áreas vegetadas. Como característica básica, apresenta medidas mais rápidas do que aquelas obtidas por outros métodos indiretos (Moreira, 2001).

O aparelho por sua vez é composto por duas unidades: uma contendo o coletor e o sensor (LAI-2050) e outra chamada de unidade controladora (LAI-2070).

A unidade controladora contém um processador que registra os dados coletados no sensor, ligado a uma unidade por meio de uma interface (RS-232).

Entre as principais características do LAI-2000, pode-se citar: (a) faixa de operação: 320 a 490 nm; (b) memória RAM: 64 K bytes; (c) interface de ligação sensor datalogger: RS - 232C; (d) erro tolerável do sistema óptico: 1%; (e) rejeição a radiação: $490 - 650 \text{ nm} < 1\%$ e $> 650 \text{ nm} < 0,1\%$.

Segundo LI-COR (1992), o LAI-2000 utiliza um sensor de luz que mede a radiação difusa em 5 bandas angulares distintas ($0-13^\circ$, $16-28^\circ$, $32-43^\circ$, $47-58^\circ$ e $61-74^\circ$). O sensor por sua vez é constituído de cinco fotodiodos, cujas superfícies ativas estão arranjadas em anéis concêntricos (Figura 7). A imagem desta visão é projetada dentro destes anéis, permitindo para cada intervalo angular, a medição da radiação na banda e no ângulo zenital conhecido. Um filtro óptico restringe ainda a transmissão radiativa para comprimentos de onda menores que 490 nm.

Na prática, a fração de abertura em 5 ângulos zenitais pode ser obtida realizando-se uma medição de referência externa ao dossel e uma ou mais leituras abaixo do dossel.

Figura 7 - Ângulos de visada e arranjo dos cinco detectores do LAI-2000

Fonte: LI-COR (1992)

A razão entre as leituras obtidas abaixo do dossel e as obtidas fora do dossel, é usada para criar-se uma estimativa da fração de abertura nos cinco ângulos. Analiticamente é apresentada a Equação 5, como sugerida por Welles (1990).

$$IAF = 2 \int_0^{\pi/2} -\ln(T(\theta)) \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (5)$$

em que: $T(\theta)$ é a probabilidade da não interceptação da radiação difusa para um dado ângulo de visada (θ).

O LAI-2000 resolve a Equação (5) numericamente, desde que se tenha fixado cinco ângulos zenitais, processo este que permite a formação da Equação 6:

$$IAF = 2 \sum_{i=1}^5 \frac{-\ln(T_i)}{S_i} W_i \quad (6)$$

em que: T_i são as 5 frações de abertura; W_i equivale a $\sin \theta d\theta$ para cada um dos cinco ângulos de visada do LAI-2000; e $S_i = 1/\cos \theta$.

No experimento foram realizadas 10 repetições dentro e uma acima do dossel, no sentido diagonal, a fim de minimizar o erro amostral. As medições foram realizadas com pontos ao acaso, respeitando uma distância equivalente a 3,5 m da borda (para que o detector de 74° não medisse a outra parcela). A altura de medição foi de aproximadamente 20 cm.

Para evitar subestimativa nas medidas do IAF, buscou-se ainda realizar as medições em dias nublados. Quando isto não foi possível, as medições foram realizadas nos períodos do dia em que o ângulo de elevação solar era menor (antes das 9 horas e depois das 16 horas), mantendo-se assim o sensor constantemente sombreado.

As datas de mensuração do índice de área foliar (IAF) no experimento, empregando-se o medidor de área foliar LAI-2000, são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Datas de mensuração do IAF no experimento (2001), empregando-se o medidor de área foliar LAI-2000

Corte	Período Correspondente	Data IAF
1 ^o	30/03 - 04/05	26/04
2 ^o	11/05 - 15/06	11/06
3 ^o	20/06 - 25/07	20/07
4 ^o	27/07 - 31/08	30/08
5 ^o	03/09 - 08/10	06/10
6 ^o	10/10 - 14/11	12/11
7 ^o	16/11 - 21/12	17/12

3.4 Produção de forragem

Os dados relativos a produção de matéria seca do capim Tanzânia, diferentemente dos dados de outras variáveis que constam deste experimento, foram obtidos de Pinheiro (2002), o qual realizou seu delineamento no mesmo período e mesma área em que se desenvolveu esta pesquisa. A metodologia utilizada por Pinheiro (2002), procedimento conforme Garcia (1993), a seguir é comentada.

Após o período de descanso de 36 dias para a forrageira, coletou-se a matéria verde em cada uma das parcelas, em uma área útil correspondente a 2 m², utilizando-se de uma roçadeira motorizada lateral, a qual procedeu aos cortes da forragem a uma altura próxima de 25 cm do solo.

Em seguida, objetivando a determinação da matéria verde, pesou-se a forragem no campo. Como procedimento posterior, obteve-se as amostras de matéria verde (aproximadamente 0,5 kg de matéria verde) representativas de cada parcela, que por sua vez foram identificadas e colocadas em um saco de papel, para procedimento posterior de pré-secagem em estufa com circulação forçada de ar (temperatura de 65 °C por 72 horas até se atingir o peso seco constante). Logo após, os materiais foram pesados (balança semi-analítica), moídos em moinho tipo Wiley, passaram por peneira de diâmetro equivalente a 1 mm de diâmetro, para posterior acondicionamento e secagem em frascos de vidro. A seguir, realizou-se uma secagem final; para isso, foram utilizadas amostras de cinco gramas cada uma do material pré-seco, amostras estas que foram transferidas para uma estufa e submetidas a uma temperatura de 105°C por 24 horas. Por fim, foi feita a pesagem final do material usando uma balança de aproximação de 0,1mg, determinando-se a seguir a quantidade de matéria seca (M.S), como se nota na Equação 7.

$$\text{Produção M.S. (kg.ha}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{Produção Matéria Verde}) \times (\% \text{ M.S. da Forragem})}{100} \quad (7)$$

3.5 Medidas radiométricas

As medidas radiométricas foram obtidas no experimento por meio da utilização do espectrorradiômetro portátil SPECTRON SE-590 (Figura 8). O aparelho consiste de duas unidades básicas: uma controladora (data logger/CE500) e outra detectora (SE-390WB), a qual é ligada a unidade controladora por meio de cabos de conexão.

Figura 8 - Configuração básica do SPECTRON SE-590

Adaptado de Moreira (2001)

Durante os meses de março a dezembro de 2001 foram realizadas 7 campanhas radiométricas no dossel da cultura do capim Tanzânia, nas datas observadas na Tabela 7.

Tabela 7. Datas e períodos correspondentes (ano de 2001), em que foram obtidas as medidas radiométricas no dossel da cultura do capim Tanzânia

Corte	Período Correspondente	Data da Radiometria (2001)
1 ^o	30/03 - 04/05	30/04
2 ^o	11/05 - 15/06	11/06
3 ^o	20/06 - 25/07	23/07
4 ^o	27/07 - 31/08	31/08
5 ^o	03/09 - 08/10	06/10
6 ^o	10/10 - 14/11	12/11
7 ^o	16/11 - 21/12	17/12

As medidas radiométricas foram realizadas no período compreendido entre 12:00 e 13:00 horas (tendo em vista a padronização das coletas), preferencialmente em dias claros e com ausência de nuvens, possibilitando assim condições de céu aberto para se obter o máximo de radiação solar incidente.

O procedimento adotado em cada uma das 7 campanhas realizadas foi o seguinte:

- (a) obteve-se o par de medidas da radiância, usando-se a placa de referência (Sulfato de Bário), a qual foi direcionada para cada uma das duas unidades detectoras;
- (b) em seguida, a placa de referência foi redirecionada para a cabeça correspondente a 6° , onde permaneceu até o final da coleta dos dados radiométricos;
- (c) o mastro contendo as duas cabeças sensoras foi então dirigido para uma determinada posição dentro da parcela, de forma a se poder obter medidas intercaladas da radiância do dossel da cultura (cabeça sensora de 15°), com as medidas da placa de referência (cabeça sensora de 6°), procedimento este que foi repetido para todas as parcelas analisadas. O local da tomada das medidas foi ainda marcado por piquetes, para que estas fossem sempre feitas nos mesmos pontos.

Assim, em cada uma das 25 parcelas do delineamento experimental deu-se um total de 3 leituras, sendo que uma delas correspondia à leitura na placa de referência de Sulfato de Bário, e as outras duas correspondiam à leituras no dossel do capim (alvos). Obteve-se então ao final do processo um total de 75 espectros (correspondentes às leituras das parcelas) e dois outros espectros (provenientes das leituras das duas cabeças sensoras na placa de referência), perfazendo assim um total de 77 espectros para cada uma das campanhas realizadas no campo.

A seguir, os dados obtidos no campo e gravados em fita cassete foram transferidos via interface serial RS-232C, para um computador Pentium. Para isso, utilizou-se do programa “ESPECTRO” desenvolvido pelo Laboratório de Radiometria do INPE (LARAD), programa este que realiza a transferência e manipulação dos dados coletados pelo SPECTRON SE-590.

O procedimento adotado para a manipulação dos dados obtidos no campo por radiometria, quando do uso do programa “ESPECTRO”, foi o seguinte:

(a) **Calibração dos dados**: esta opção permitiu calibrar os espectros obtidos do alvo (capim Tanzânia), com os espectros obtidos da placa de referência (Sulfato de Bário). Consistiu em dividir a medida da radiância obtida sobre o dossel da cultura do Tanzânia, pela medida da radiância da placa de referência, obtendo assim o fator de reflectância (FR) de cada ponto amostral, como observado na Equação 3.

(b) **Intercalibração**: após a calibração foi feita a intercalibração, com o objetivo de corrigir as diferenças de sensibilidade de resposta entre os dois sensores utilizados. Dessa forma, efetuou-se a divisão do fator de reflectância calibrado (FR), pelo fator K_i . O fator K_i por sua vez, foi obtido pela razão das radiâncias medidas com as duas cabeças sensoras, segundo a Equação 8:

$$K_i = \frac{L_{p1}(\lambda)}{L_{p2}(\lambda)} \quad (8)$$

em que: K_i é o fator de intercalibração entre as duas cabeças sensoras; $L_{p1}(\lambda)$ é a radiância da placa de referência medida no sensor 1 ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$); $L_{p2}(\lambda)$ é a radiância da placa de referência medida no sensor 2 ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$).

(c) **Fator de reflectância médio**: calculado a seguir, com o intuito de se obter um único espectro que representasse a medida radiométrica obtida na parcela. Assim, ao final de todo esse processo foram percebidos 25 espectros, cada um deles representativo de uma parcela analisada.

(d) **Simulação das bandas TM_3 e TM_4 do LANDSAT**: Por fim, foi efetuada a simulação das bandas relativas ao vermelho (TM_3) e ao infravermelho próximo (TM_4) do sensor TM do satélite LANDSAT, usando para isso uma opção existente no programa “ESPECTRO”. Dessa forma, a partir do valor do fator de reflectância médio e representativo da parcela, foram obtidos os valores dos fatores de reflectância, correspondentes as duas bandas do sensor TM (TM_3 e TM_4).

3.6 Obtenção do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Após a obtenção dos valores de FR relativos as bandas TM_3 e TM_4 do sensor TM do LANDSAT, foi determinado o valor do NDVI, como consta na Equação 9 :

$$NDVI = \frac{(TM_4 - TM_3)}{(TM_4 + TM_3)} \quad (9)$$

em que: TM_4 é o fator de reflectância medida na faixa espectral do infravermelho próximo (760 a 900 nm) e, TM_3 é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm).

A opção neste experimento de usar o NDVI ao invés do SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), foi em virtude de que nos momentos de coleta dos dados espectrais, o capim Tanzânia se apresentava com aproximadamente 40 dias e recobria boa parte do dossel em estudo (excetuando-se os cortes 2 e 3, representativos de um período seco). Assim sendo, foi notada pouca influência do solo sobre os valores obtidos do FR na maioria das análises efetuadas; além do mais, não foi percebida no transcorrer do experimento, variação excessiva no brilho do solo (devido à presença de maior umidade, sombreamento, ou excesso de matéria orgânica) que justificasse o emprego do SAVI.

Dessa forma, o NDVI pareceu na presente pesquisa ser suficiente na avaliação radiométrica do dossel, fato este que foi corroborado posteriormente, durante a avaliação e análise dos resultados obtidos para este índice.

3.7 Análise estatística

As variáveis estudadas no experimento foram submetidas à análise estatística de regressão, com o objetivo de verificar a existência de correlação significativa entre duas ou mais delas, de forma a perceber se as alterações sofridas em uma das variáveis eram acompanhadas por modificações nas outras (relação funcional entre uma variável e as restantes).

Dessa forma, foram analisado em relação à cultura do capim Tanzânia, os seguintes modelos de regressão:

Ordem	Modelo de Regressão
I	$MS = f(\text{lâminas, doses N})$
II	$IAF = f(\text{lâminas, doses N})$
III	$MS = f(IAF)$
IV	$NDVI = f(\text{lâminas, doses N})$
V	$NDVI = f(MS)$
VI	$NDVI = f(IAF)$

onde: MS é a produção de matéria seca do capim Tanzânia (kg.ha^{-1}); IAF é o índice de área foliar; NDVI é o índice de vegetação por diferença normalizada; lâminas são as lâminas de irrigação utilizadas (%C.C.); doses N são as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).

Assim sendo, procurando caracterizar a relação existente entre duas ou mais variáveis, utilizando para isso da equação que melhor explicasse os dados obtidos, foram realizadas análises de regressão para identificar quais as variáveis independentes que efetivamente contribuíam para a formação da variável dependente, de acordo com os modelos apresentados abaixo:

Modelo de Regressão	Equação de Regressão	
(a) Linear Simples	$y = a + (b*x)$	(10)
(b) Linear Múltipla	$y = a + (b_1*x_1) + (b_2*x_2) + \dots (b_n*x_n)$	(11)
(c) Potencial	$y = b*x^a$	(12)
(d) Polinomial Quadrática	$y = a + (b*x) + (c*x^2)$	(13)

em que: y é a variável dependente; a, b, b_1, b_2, b_n, c . são os parâmetros de regressão;

x, x_1, x_2, x_n . são as variáveis independentes.

A equação de regressão do tipo potencial foi utilizada devido à natureza assintótica que algumas relações em estudo poderiam apresentar. O modelo polinomial quadrático foi testado em função da possibilidade de diminuição dos valores da variável dependente, com o aumento dos valores da variável independente.

A avaliação das equações de regressão, bem como a melhor relação entre as variáveis, foi realizada por meio da determinação do valor de p ($p < 0,05$) para a estatística “ F ” da equação de regressão obtida; da significância de p ($p < 0,05$) para a estatística “ t ” da variável independente analisada; também pelo valor do coeficiente de correlação linear de Pearson (r) observado. Realizou-se ainda a análise de resíduo.

Assim sendo, para se avaliar a confiabilidade das relações encontradas nos modelos testados, calculou-se inicialmente o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), pela Equação 14:

$$r = \frac{n \sum x_i \cdot y_i - (\sum x_i) (\sum y_i)}{\sqrt{[n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] [n \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (14)$$

Como esse coeficiente pode variar entre -1 e +1, a correlação foi considerada perfeita se apresentasse valor igual a 1 ou -1; um valor igual a zero indicou ausência de correlação.

A seguir, a partir do coeficiente r calculado, obteve-se o coeficiente de determinação de Pearson (r^2), para se conhecer o percentual da variância de uma das variáveis que poderia ser explicado a partir do valor da outra; isto é, a indicação do percentual da variação total que seria comum aos elementos constituintes dos pares analisados.

Pretendendo-se ainda determinar a significância do coeficiente de regressão b ; utilizou-se o teste baseado na estatística t de Student. Para este teste, o parâmetro estatístico calculado, t_{calc} , deveria ser maior que o tabelado, $t_{(n-k-1)}$, onde k correspondeu ao número de regressores e n ao tamanho da amostra. Sempre que $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$ rejeitou-se a hipótese nula de não significância do parâmetro, com os níveis de significância sendo indicados em cada regressão apresentada ($p < 0,05$).

A Equação 15, mostra a estatística t_j utilizada para cada coeficiente b_j testado:

$$t_j = b_j / s(b_j) \quad (15)$$

Onde: t_j é a razão entre o coeficiente (b_j) e seu desvio padrão $s(b_j)$.

Por sua vez, o desvio padrão $s(b_j)$ foi calculado pela Equação 16:

$$s(b_j) = \left\{ \frac{[n \sum (y_i - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - \dots - b_k x_k)^2 / (n - k - 1)]}{[n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2]} \right\}^{0.5} \quad (16)$$

- * As hipóteses testadas foram as seguintes:

- Hipótese da nulidade (H_0); $H_0: b_j = 0$, se $|t_j| \leq t_{(1-\alpha/2; n-k-1)}$.
- Hipótese alternativa (H_a); $H_a: b_j \neq 0$, se $|t_j| > t_{(1-\alpha/2; n-k-1)}$

As análises estatísticas foram realizadas usando os pacotes de software estatísticos denominados “Statistical Analysis System” (SAS Institute, 1990); “Sistema para Análises Estatísticas” (SAEG, 2002); e “Xlstatistics” (Carr, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relação entre a produção de matéria seca (MS) e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio

Para se conhecer a correlação existente no período experimental entre a produção de matéria seca (MS) do capim Tanzânia e as diversas lâminas de água empregadas e dosagens de nitrogênio utilizadas, foi efetuada uma regressão linear múltipla entre as variáveis, cujas equações constam na Tabela 8.

Dessa forma, percebe-se na análise de variância (ANOVA) do modelo obtido (teste de hipótese do conjunto), para todos os 7 cortes testados, que o valor de p para a estatística F da regressão é menor que 0,01 ($p < 0,01$), indicando assim a existência de uma relação estatística significativa entre as variáveis, a um nível de confiança de 99%.

Porém, ao se aplicar o teste estatístico “ t ” para se avaliar a importância individual dos coeficientes obtidos no modelo (Tabela 8), constata-se a influência não significativa da variável denominada lâminas de água ($p < 0,05$) em todas as 7 análises efetuadas. Esta afirmação pode estar relacionada à precipitação pluviométrica atípica (maior) observada em todo o período experimental (Tabela 5), que por sua vez deve ter contribuído para a minimização do efeito significativo das lâminas de água no processo, tal como citado por Prada Neto et al. (2001) e Pinheiro (2002).

Ilustrando o fato, é apresentada ainda a Figura 9, a qual idealiza o modelo matemático tridimensional para a estimativa da MS no 3^o corte da forrageira (25/07/2001), tendo como base as diversas doses de nitrogênio empregadas e as lâminas de água utilizadas.

Tabela 8. Resultados da análise de regressão múltipla das relações entre a produção de matéria seca (MS) do capim Tanzânia e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio, em 7 cortes no ano de 2001

Corte	Data	teste F	Parâmetros de Regressão			
			Nome	Coefficiente	t	r ²
1º corte	04/05	17,10 **	lâminas	-1,5369	0,84 ^{NS}	0,60
			doses N	0,7285	5,78 **	
			constante	1535,2452		
2º corte	15/06	18,01 **	lâminas	-1,6170	2,87 ^{NS}	0,62
			doses N	0,2041	5,27 **	
			constante	642,9428		
3º corte	25/07	23,78 **	lâminas	-0,3766	0,74 ^{NS}	0,68
			doses N	0,2383	6,85 **	
			constante	420,2297		
4º corte	31/08	28,82 **	lâminas	1,5979	1,49 ^{NS}	0,72
			doses N	0,5476	7,44 **	
			constante	389,3511		
5º corte	08/10	28,94 **	lâminas	2,4396	1,39 ^{NS}	0,72
			doses N	0,9029	7,48 **	
			constante	423,3750		
6º corte	14/11	33,69 **	lâminas	0,1380	0,05 ^{NS}	0,75
			doses N	1,3179	8,21 **	
			constante	1277,2158		
7º corte	21/12	31,22 **	lâminas	0,9093	0,36 ^{NS}	0,74
			doses N	1,3791	7,93 **	
			constante	1401,6473		

teste F = análise de variância; t = teste "t" estatístico; r² = coeficiente de determinação;

^{NS} .. não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

** ..significativo ao nível de 1% de probabilidade

Figura 9 - Superfície de resposta para a estimativa da produção de matéria seca (MS) no 3^o corte do capim Tanzânia (25/07/2001), em função das lâminas de água utilizadas (%CC) e das dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)

Dessa forma, após se constatar na análise de regressão múltipla realizada anteriormente, a não significância das lâminas de água, procedeu-se a eliminação desta variável do modelo, efetuando-se posteriormente a análise de regressão polinomial quadrática entre a produção de matéria seca (MS) e as doses de nitrogênio empregadas, com o objetivo de se conhecer a relação existente entre as variáveis em questão, nos vários cortes do capim Tanzânia.

A decisão de se optar pela regressão quadrática foi tomada em virtude do modelo apresentar em todos os cortes realizados, ajuste mais adequado às relações em estudo (maiores valores do coeficiente de correlação (r); valores significativos para o teste estatístico F ; entre outros), se comparado aos demais modelos testados (regressão linear simples e regressão potencial); além do mais, em todos os momentos da pesquisa, as variáveis em estudo apresentaram correlação significativa ($p < 0,01$), como consta na Tabela 9.

Tabela 9. Equação de regressão polinomial quadrática e parâmetros observados para a relação obtida entre a produção de matéria seca (MS) e as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg.N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001

Corte	Data ¹	t (N)	t (N ²)	Equação de Regressão	r	r ²
1º corte	04/05	5,51 **	3,94 **	$MS = 1130,317 + (2,4139*N) + (-0,00078*N^2)$	0,87	0,76
2º corte	15/06	3,40 **	2,93 **	$MS = 456,5770 + (0,6188*N) + (-0,00019*N^2)$	0,76	0,58
3º corte	25/07	3,10 **	2,79 **	$MS = 301,2077 + (0,7635*N) + (-0,00024*N^2)$	0,72	0,52
4º corte	31/08	7,36 **	5,14 **	$MS = 295,0813 + (1,7159*N) + (-0,00054*N^2)$	0,92	0,86
5º corte	08/10	8,49 **	6,03 **	$MS = 235,2021 + (2,9373*N) + (-0,00095*N^2)$	0,93	0,88
6º corte	14/11	11,02 **	7,69 **	$MS = 791,7283 + (4,1243*N) + (-0,00131*N^2)$	0,96	0,93
7º corte	21/12	12,63 **	9,02 **	$MS = 906,9526 + (4,5438*N) + (-0,00147*N^2)$	0,97	0,94

¹.. Data do corte da forrageira; t = teste "t" estatístico; r = coeficiente de correlação;

r² = coeficiente de determinação; ** .significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Observando-se a Tabela 9, excetuando-se os cortes 2 e 3, constata-se valores altos para o coeficiente de correlação (r) e para o coeficiente de determinação (r²), indicando uma forte correlação entre as variáveis em estudo, bem como uma boa concordância entre os dados e o modelo proposto. Nos últimos 4 cortes, nota-se que de 86% (corte 4) a 94% (corte 7) da variância da MS do capim Tanzânia é explicada pelas doses de nitrogênio utilizadas, valores estes considerados bem significativos.

Para melhor esclarecer a relação encontrada entre a MS e as doses de nitrogênio empregadas, as Figuras 10 e 11 contém os gráficos relativos à análise de regressão polinomial quadrática entre essas variáveis, em dois períodos diferentes analisados pela pesquisa; isto é, um período seco classificado como inverno e um período úmido definido como verão. O Anexo A por sua vez, contém para cada um dos cortes analisados, as figuras representativas da relação em estudo.

Figura 10 - Regressão dos valores da MS ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) com as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), no 3º corte do capim Tanzânia (25/07/2001)

A Figura 10 representa um período considerado como seco (25/07/2001), no qual foram obtidos os menores valores da produção de MS do capim Tanzânia no experimento para todas as doses utilizadas (variação entre 200 a 1000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), bem como o menor coeficiente de determinação ($r^2 = 0,52$), mostrando que apenas 52% da variância da MS, pode ser atribuída à dosagem de nitrogênio utilizada. Essa constatação pode estar associada ao fato de que fatores climáticos (temperatura e radiação solar), não estando presentes em quantidades adequadas no período, acabaram por apresentar uma maior influência no desenvolvimento da forrageira do que o nitrogênio, contribuindo assim para a obtenção de uma baixa correlação entre a MS e o nutriente nitrogênio, tal como observado por Mannetje & Pritchard (1974).

Analisando-se ainda a Figura 10, constata-se que a MS aumenta mais rapidamente para menores doses de N (quase linear até a dose de 756 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, atingindo valores próximos a 750 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Para doses situadas entre 756 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e 1500 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, apenas um pequeno aumento é percebido, como também o maior valor para a MS (próximo de 900 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) na dosagem de 1500 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

A partir da dosagem de $1500 \text{ kg N.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$, uma ligeira tendência de decréscimo na produção da MS pode ser observada, a qual diminui de forma quase proporcional ao aumento das dosagens de N utilizadas.

Em resumo, a curva de regressão contida na Figura 10, mostra que o uso de dosagens de nitrogênio superiores a $756 \text{ kg N.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$, não proporcionou efeitos crescentes sobre a produção de matéria seca, sendo que os percentuais de incrementos nas produções (MS) ocasionados pelo uso do nutriente, mostram ser de 22%, 25%, 58%, 19% e -7%, quando usado as doses de 100, 275, 756, 1500 e $2079 \text{ kg N.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$.

O fato observado de que dosagens situadas acima de $1500 \text{ kg N.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$, apresentaram uma tendência de incrementar negativamente os valores da MS, pode estar relacionado a uma possível influência negativa do excesso de N, contribuindo para uma alta desnitrificação do nutriente (Vicente-Chandler et al., 1962); para maior volatilização do elemento (Martha Júnior, 2003); para o aumento da senescência da pastagem (Wilson & Manetje, 1978); também na indução de toxidez na planta (Vicente-Chandler et al., 1962). Observação semelhante é feita por Soria (2002), onde afirma que o uso de doses de nitrogênio superiores a $756 \text{ Kg N.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, não proporcionaram efeitos positivos sobre a produção de massa seca no capim Tanzânia.

Figura 11 - Regressão dos valores da MS (kg.ha^{-1}) com as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$), no 7º corte do capim Tanzânia (21/12/2001)

A Figura 11, relacionada a um período considerado como úmido (21/12/2001), mostra valores maiores da produção de matéria seca (MS) do que aqueles obtidos no período seco (valores situados entre 700 a 4300 kg.ha⁻¹), para todas as dosagens de N utilizadas e inclusive a testemunha; um alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,85$) ainda é presenciado, o que leva a supor a existência de uma boa correlação entre as duas variáveis. A curva obtida por meio do modelo polinomial quadrático neste caso, é semelhante à obtida na Figura 10, de maneira que as observações feitas anteriormente também são válidas para esta análise.

Complementando a relação, é apresentada a seguir a Figura 12, a qual representa em um gráfico de dispersão, o comportamento observado durante todo o período experimental dos valores médios da MS do Tanzânia, tendo ainda em vista as dosagens de nitrogênio utilizadas.

Figura 12 - Comportamento observado para os valores da produção de matéria seca (MS) (kg.ha⁻¹) do capim Tanzânia em 7 cortes no ano de 2001, sob influência de diferentes dosagens de nitrogênio (kg N.ha⁻¹ano⁻¹)

Nota-se ao analisar as curvas contidas na Figura 12, que em todos os cortes ocorre o aumento dos valores médios da produção de matéria seca (MS), quando maiores doses de nitrogênio são empregadas; também que as dosagens de 756 e 2079 kg N.ha⁻¹ ano⁻¹ apresentam curvas com valores muito próximos entre si durante toda a fase experimental, evidenciando o fato de que dosagens superiores a 756 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹, não proporcionaram efeitos positivos sobre a MS, tal como já discutido anteriormente.

A constatação relacionada ao aumento da fitomassa quando do incremento das dosagens de nitrogênio pode ser explicada, em virtude do nitrogênio melhorar a síntese de proteínas na gramínea (Buller et al., 1972); promover uma produção maior de folhas novas (Pinheiro, 2002), o que favorece a formação da parte aérea (Nabinger, 1997), a eficiência fotossintética do vegetal (Queiroz Neto, 2001), maior número de perfilhos na planta e maiores relações entre folha/haste (Penatti, 2002). Outros pesquisadores como Forni et al. (2000) e Soria (2002), apresentam conclusões semelhantes em seus respectivos trabalhos.

Ainda na Figura 12, observa-se que os valores da MS independente das doses de N empregadas, são menores no período seco e maiores no período úmido, fato este relacionado à chamada “estacionalidade” da forrageira ao longo do ano e que evidencia a influência de fatores climáticos (como a radiação solar e a temperatura) sobre os valores obtidos para a MS; notação similar é feita por Silva (1995), Soria (2002), e Pinheiro (2002).

4.2 Relação entre IAF e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio

Para se conhecer a relação existente durante o período experimental, entre o IAF do capim Tanzânia e as diversas lâminas de água e dosagens de nitrogênio empregadas, efetuou-se uma regressão linear múltipla entre as variáveis (Tabela 10), de acordo com a proposta: $IAF = f(\text{lâminas de água, doses de nitrogênio})$.

Tabela 10. Resultados da análise de regressão múltipla das relações entre o IAF e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio, em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001

Corte	Data IAF	teste F	Parâmetros de Regressão			
			Nome	Coefficiente	t	r ²
1º corte	26/04	9,75 **	lâminas	-0,001289	-0,71 ^{NS}	0,58
			doses N	0,000541	4,35 **	
			constante	4,195340		
2º corte	11/06	13,07 **	lâminas	-0,000385	-0,25 ^{NS}	0,60
			doses N	0,000531	5,10 **	
			constante	2,482240		
3º corte	20/07	7,20 **	lâminas	0,001482	0,66 ^{NS}	0,65
			doses N	0,000573	3,73 **	
			constante	1,574810		
4º corte	30/08	28,43 **	lâminas	0,000979	0,48 ^{NS}	0,69
			doses N	0,001054	7,52 **	
			constante	2,512200		
5º corte	06/10	28,92 **	lâminas	0,002141	0,89 ^{NS}	0,70
			doses N	0,001236	7,55 **	
			constante	3,082200		
6º corte	12/11	17,54 **	lâminas	-0,000426	-0,15 ^{NS}	0,73
			doses N	0,001096	5,92 **	
			constante	4,283730		
7º corte	17/12	17,66 **	lâminas	-0,000065	-0,02 ^{NS}	0,72
			doses N	0,000973	5,94 **	
			constante	4,519960		

teste F = análise de variância; t = teste "t" estatístico; r² = coeficiente de determinação; ^{NS}.. não significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** ..significativo ao nível de 1% de probabilidade

Assim sendo, percebe-se na análise de variância (ANOVA) do modelo obtido (Tabela 10), para todos os 7 cortes testados, que o valor de *p* para a estatística *F* da regressão é menor que 0,01, mostrando a existência de uma relação estatística significativa entre as variáveis em estudo, a um nível de significância de 1% (*p*<0,01).

Porém, ao se aplicar o teste “*t*”, com o objetivo de se avaliar a importância individual dos coeficientes no modelo de regressão, evidencia-se a não significância da variável denominada lâminas de água ($p < 0,05$) em todos os períodos analisados, tal como notado para a produção de matéria seca. Este fato pode ser explicado novamente pelo elevado índice de precipitação presente no ano de condução do experimento, não permitindo influências significativas da irrigação.

Como ilustração é apresentada a Figura 13, a qual idealiza o modelo matemático tridimensional para a estimativa do IAF no 3º corte da forrageira (20/07/2001), tendo como referência as diversas doses de nitrogênio empregadas e as diferentes lâminas de água utilizadas.

Figura 13 - Superfície de resposta para a estimativa do IAF no 3º corte do capim Tanzânia (20/07/2001), em função das lâminas de água (%CC) e doses de nitrogênio empregadas ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)

Visando ainda representar a relação percebida entre o IAF e as diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio empregadas no experimento, foram elaborados gráficos de coluna para todos os cortes (observados no Anexo B). A Figura 14 a seguir, mostra por meio de um gráfico de dispersão, algumas das características básicas da relação em estudo.

Figura 14 - Valores observados para o IAF no 3^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001), em função das lâminas de água empregadas (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas ($\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)

A Figura 14 (período seco) representativa do 3^o corte do Tanzânia (20/07/2001), mostra variações nos valores do IAF situadas entre 1,00 a 3,50. Percebe-se a tendência das maiores doses de nitrogênio ocuparem as curvas superiores do gráfico em questão, para todas as lâminas. Um fato que chama a atenção é que para todas as dosagens de nitrogênio empregadas, a lâmina correspondente a 30% da CC apresenta os maiores valores do IAF, permitindo-se assim supor a influência de fatores climáticos nesta observação (o fotoperíodo e a temperatura sendo mais limitantes do que a água), como também a imaginar que a precipitação atípica (maior) do período, interpolada as maiores lâminas aplicadas, promoveram uma determinada lixiviação do nitrogênio aplicado no solo (efeito deletério da irrigação excessiva), como relatado por Soria (2002). Por sua vez, as lâminas correspondentes a 70%, 100% e 150% da CC, apresentam valores do IAF menores e muito próximos entre si, mostrando graficamente a pouca influência destas, sobre os valores do índice da forrageira.

Em resumo, em vista da constatação de que dentro de uma mesma dosagem de nitrogênio existam valores menores do IAF para as lâminas maiores, bem como o fato da lâmina testemunha apresentar maiores valores do IAF, em vários momentos da pesquisa (Anexo B), pode-se supor que as condições ambientais presentes no momento exerceram uma influência significativa sobre os valores observados; isto é, a inadequação dos fatores climáticos (temperatura média e radiação líquida disponível para a fotossíntese vegetal) limitou o desenvolvimento da forrageira; também, a precipitação excessiva ocorrida (Tabela 5), pode ter contribuído para “mascarar” o efeito das lâminas de água empregadas, bem como colaborado para a lixiviação de parte do N aplicado ao solo.

Dessa forma, após se constatar na análise de regressão múltipla anterior, a não significância da variável lâminas de água, esta foi dispensada do modelo, e a seguir efetuada a regressão polinomial quadrática entre o IAF e as dosagens de nitrogênio (Tabela 11), com o objetivo de se obter nos vários cortes do capim Tanzânia, a relação existente entre estas.

Tabela 11. Equação de regressão polinomial quadrática e parâmetros observados para a relação obtida entre o IAF e as doses de nitrogênio ($\text{kg.N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001

Corte	Data ¹	t (N)	t (N ²)	Equação de Regressão	r	r ²
1º corte	26/04	4,53 **	-3,22 **	$\text{IAF} = 3,8923 + (0,00173*\text{N}) + (-0,0000005*\text{N}^2)$	0,83	0,69
2º corte	11/06	3,52 **	-2,49 **	$\text{IAF} = 2,2423 + (0,00174*\text{N}) + (-0,0000005*\text{N}^2)$	0,75	0,57
3º corte	20/07	3,39 **	-2,52 **	$\text{IAF} = 1,4131 + (0,00208*\text{N}) + (-0,0000007*\text{N}^2)$	0,72	0,52
4º corte	30/08	9,96 **	-7,11 **	$\text{IAF} = 2,1560 + (0,00346*\text{N}) + (-0,0000011*\text{N}^2)$	0,95	0,91
5º corte	06/10	10,77 **	-7,76 **	$\text{IAF} = 2,7167 + (0,00416*\text{N}) + (-0,0000013*\text{N}^2)$	0,96	0,92
6º corte	12/11	11,73 **	-7,91 **	$\text{IAF} = 3,7081 + (0,00419*\text{N}) + (-0,0000014*\text{N}^2)$	0,97	0,94
7º corte	17/12	8,07 **	-6,06 **	$\text{IAF} = 4,0475 + (0,00362*\text{N}) + (-0,0000012*\text{N}^2)$	0,92	0,85

¹.. Data da coleta do IAF; t = teste "t" estatístico; r = coeficiente de correlação;

r² = coeficiente de determinação; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O modelo de regressão polinomial quadrático foi adotado nesta análise, em virtude de apresentar para todos os cortes analisados um ajuste mais adequado às relações em estudo (valores maiores do coeficiente de correlação (r), assim como valores significativos para os testes estatísticos “ F ” e “ t ”), quando comparado aos outros dois modelos testados (regressão linear simples e regressão potencial).

Assim, em todos os períodos analisados, as variáveis em estudo apresentaram correlação significativa ($p < 0,01$), tal como consta na Tabela 11. Nota-se também pela mesma tabela, excetuando-se os cortes 2 e 3, valores relativamente altos para o coeficiente de correlação (r) e para o coeficiente de determinação (r^2), principalmente nos últimos 4 cortes, indicando uma forte correlação entre as variáveis em estudo, e mostrando uma boa concordância entre os dados e o modelo proposto. Ainda nos últimos 4 cortes, de 85% (corte 7) a 94% (corte 6) da variância do IAF do Tanzânia, pode ser explicada pelas doses de nitrogênio utilizadas.

Ilustrando a relação percebida entre o IAF e as dosagens de N empregadas, as Figuras 15 e 16 contêm os gráficos relativos à análise de regressão polinomial quadrática entre essas variáveis, em dois momentos distintos do experimento.

Figura 15 - Regressão dos valores do IAF com as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), no 3º corte do capim Tanzânia (20/07/2001)

A Figura 15 representa um período seco (20/07/2001), no qual foram obtidos os menores valores do IAF nesta pesquisa, para todas as doses de N utilizadas; valores situados aproximadamente entre 1,0 a 3,5. Observa-se também neste corte o menor coeficiente de determinação ($r^2 = 0,52$), mostrando que somente 52% da variância do IAF pode ser explicada pela dosagem de nitrogênio utilizada.

Tal como percebido para a produção de matéria seca (MS), pode-se supor novamente que fatores climáticos importantes para o desenvolvimento do Tanzânia, como a temperatura ambiente e a radiação líquida, presentes em quantidades não suficientes no período, muito influenciaram o desenvolvimento da gramínea, contribuindo assim para a baixa correlação observada entre o IAF e as dosagens de N empregadas. Este comportamento é semelhante ao encontrado por outros autores, como Burkart (1975) e Corrêa (2002).

Analizando ainda a curva obtida pelo modelo de regressão (Figura 15), vê-se que o IAF aumenta mais rapidamente para menores doses de N (de forma quase linear até a dose de $756 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), quando mostra um valor próximo de 2,5. A seguir, para as dosagens situadas entre 756 e $1500 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, um ligeiro aumento no seu índice é percebido, quando atinge um valor máximo e próximo de 3,0. Por fim, a partir deste ponto, e no intervalo correspondente as dosagens situadas entre 1500 e $2079 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, uma tendência de diminuição do IAF é notada.

Analogamente ao que já se verificara no mesmo corte (3^o corte) para a produção de MS, o uso de doses de N maiores que a $756 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, não permitiu efeitos crescentes sobre os valores do índice, sendo que os percentuais de incremento para o IAF foram de: 20%, 22%, 30%, 15% e -10%, quando usado às doses de: 100, 275, 756, 1500 e $2079 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

O incremento negativo relacionado à dosagem de $2079 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (-10%), aparenta novamente estar relacionado à influência negativa do excesso de nitrogênio no aumento da senescência da pastagem, na maior volatilização e desnitrificação do nutriente, como também numa possível indução de toxidez na planta.

Figura 16 - Regressão dos valores do IAF com as dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), no 7º corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

A Figura 16, relacionada a um período considerado como úmido (17/12/2001), mostra valores maiores do IAF do que aqueles obtidos no período seco (valores situados aproximadamente entre 3,0 a 7,0), para todas as dosagens de N utilizadas e inclusive a testemunha. Há ainda um alto coeficiente de correlação ($r = 0,92$) e de determinação ($r^2 = 0,85$), o que leva a supor a existência de uma boa relação entre as duas variáveis, bem como a concluir que 85% da variância do IAF pode ser explicada pelas doses de nitrogênio empregadas.

A curva observada neste corte (Figura 16) é semelhante à obtida anteriormente (Figura 15), de forma que as observações feitas anteriormente também se enquadram para este caso. Recomenda-se ainda para melhor esclarecimento do tópico, a leitura do Anexo C, o qual contém as figuras relativas a regressão dos valores do IAF com as dosagens de nitrogênio, para todos os 7 cortes realizados.

A seguir é apresentada a Figura 17, que por sua vez representa o comportamento dos valores médios do IAF do Tanzânia em relação às doses de nitrogênio utilizadas durante todo o período experimental.

Figura 17- Comportamento observado para o IAF do capim Tanzânia sob a influência de diferentes doses de nitrogênio ($\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), em 7 cortes no ano de 2001

Examinando-se as curvas contidas na Figura 17, pode-se notar que em todos os cortes realizados, o resultado encontrado para o IAF é maior para as maiores doses de N, tal como presenciado para a produção de matéria seca. Essa observação pode estar relacionada ao fato do nutriente promover uma melhor síntese de proteína, um desenvolvimento foliar maior, bem como uma alta produção de folhas novas (favorecendo a formação da parte aérea). As dosagens de 756 e 2079 $\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ apresentam ainda curvas com valores próximos entre si, evidenciando o fato de que doses de N superiores a 756 $\text{kg N.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, não proporcionaram efeitos crescentes sobre os valores do IAF, como observado por Soria (2002).

A Figura 17 mostra-nos também, que os valores do IAF independente das doses empregadas, são menores no período considerado como seco e maiores no úmido, fato relacionado à “estacionalidade” da forrageira ao longo do ano, evidenciando a influência de outros fatores de crescimento nos valores do IAF, como a radiação solar e a temperatura, tal como comentado por Beretta et al.(1999) e Pinheiro (2002).

Em virtude da semelhança apresentada no presente experimento, entre os comportamentos observados da relação IAF-DosesN (Figura 17), e da relação MS-DosesN (Figura 12), pode-se pressupor a existência de uma relação positiva entre MS-IAF, fato este que será abordado a seguir.

4.3 Relação entre a produção de matéria seca (MS) e o IAF do capim Tanzânia

Com o objetivo de conhecer a relação existente entre a MS e o IAF, nos 7 cortes do capim Tanzânia, foram testados os modelos de análise de regressão simples, polinomial quadrática e potencial, sendo que o modelo linear e o potencial foram os que apresentaram melhor adequação para explicar a relação.

Assim, na comparação dos dois modelos, optou-se na presente pesquisa pelo modelo potencial, pois apresentou em 4 dos 7 cortes analisados valores maiores do coeficiente de determinação (r^2); além do mais, para a totalidade das análises, as variáveis apresentaram comportamento estatístico significativo ($p < 0,01$), como consta na Tabela 12.

Tabela 12. Equação de regressão potencial e parâmetros para a relação observada entre a produção de matéria seca (MS) e o IAF, em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001

Corte	Data ¹	teste F	t	Equação de Regressão	r	r ²
1º corte	04/05	33,22 **	5,76 **	MS = 56,86101*IAF ^{2,3081}	0,78	0,60
2º corte	25/07	24,80 **	4,97 **	MS = 269,4478*IAF ^{0,9437}	0,75	0,57
3º corte	15/06	31,03 **	5,57 **	MS = 173,7435*IAF ^{1,2651}	0,72	0,52
4º corte	31/08	157,09 **	12,53 **	MS = 59,2817*IAF ^{2,1602}	0,93	0,87
5º corte	08/10	329,10 **	18,14 **	MS = 14,3047*IAF ^{3,0150}	0,96	0,93
6º corte	14/11	739,37 **	27,19 **	MS = 28,7540*IAF ^{2,6255}	0,98	0,96
7º corte	21/12	358,88 **	18,94 **	MS = 15,9664*IAF ^{2,9860}	0,96	0,93

¹.. Data do corte; teste F = análise de variância; t = teste "t" estatístico;
r = coeficiente de correlação; r² = coeficiente de determinação;
** .. significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Na Tabela 12, vê-se principalmente nos últimos quatro cortes, altos valores para o coeficiente de correlação linear (r) (valores variando entre 0,93 a 0,98), indicando uma forte correlação positiva entre as variáveis. Assim, pode-se concluir que no respectivo experimento foi percebida a existência de uma relação positiva entre MS e IAF, sendo que os modelos potenciais definidos apresentaram ajustes adequados para o estudo dessa relação, permitindo de maneira significativa a estimativa da produção de matéria seca (MS) a partir dos resultados encontrados para o IAF. Uma maior correlação foi notada nos últimos 4 cortes (coeficientes de determinação variando de 87% a 96%).

A observação está de acordo com Moreira (1997), quando afirma que na avaliação da cobertura vegetal do dossel (massa verde), o melhor parâmetro usado para estimá-la é o índice de área foliar (IAF), que por sua vez é dado pela área foliar existente, em relação à superfície do solo ocupada pela planta. Mesma notação é feita por Soria (2002), afirmando ainda que o crescimento das gramíneas é determinado a partir de uma relação de balanço líquido, que por sua vez envolve o aumento de sua área foliar, descontando-se a senescência e o tecido aéreo destacado.

Figura 18 - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) com os valores observados para o IAF, no 3º corte do capim Tanzânia (20/07/2001)

O diagrama de dispersão (Figura 18) foi obtido com dados relativos ao 3^o corte (período seco), época em que também foram notados os menores valores do IAF (entre 1,5 e 3,7), e os menores valores de MS (entre 200 a 1000 kg.ha⁻¹).

A razão para essa observação, parece novamente estar associada às condições ambientais do período, isto é, radiação solar e temperatura não estando presentes em quantidades adequadas para o pleno desenvolvimento da gramínea, acabaram por influenciar a produção menor de fitomassa e a obtenção de reduzidos valores para o IAF. A observação está de acordo com Mannetje & Pritchard (1974) e Silva (1995), quando afirmam que a associação de baixas temperaturas e curtos fotoperíodos deve ser o principal fator climático limitante do crescimento de plantas forrageiras, por influenciar de modo direto e indireto o metabolismo das plantas, afetando principalmente a fotossíntese (diminuição), a absorção de água e nutrientes e a translocação de nutrientes.

Evidencia-se ainda ao analisar a Figura 18, que os valores da MS crescem de forma quase proporcional com os valores observados do IAF, como se a relação representasse uma regressão linear. Observa-se também neste corte, o menor valor do coeficiente de determinação de todo o período experimental ($r^2 = 0,52$), índice este inferior aos obtidos nos cortes subsequentes (representativos de períodos do ano em que a radiação líquida e a temperatura se encontram em condições mais favoráveis), indicando ainda que apenas 52% da variância da MS do capim Tanzânia é explicada pelos resultados encontrados para o IAF.

A explicação para que a relação MS-IAF não apresentasse uma boa correlação neste corte, e conseqüentemente mostrasse um baixo coeficiente de determinação ($r^2 = 0,52$), está relacionada às condições climáticas não adequadas no período; assim, em decorrência da interferência negativa dos fatores do clima no desenvolvimento vegetal, que ao influenciar os resultados de modo mais significativo do que o proporcionado pelas lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas, colaboraram para a observação de baixos valores para a MS e para o IAF, também para uma maior desuniformidade na organização do dossel, não permitindo assim que se estabelecesse uma relação mais significativa entre as variáveis, tal como comentado por Pinheiro (2002).

Figura 19 - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) com os valores observados para o IAF, no 7º corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

A Figura 19, mostra a curva de regressão obtida com os dados representativos de um período úmido (17/12/2001). Supõem-se para este caso, que fatores como a temperatura e a radiação solar estiveram adequados para o desenvolvimento da cultura; assim, foram observados altos valores para a MS (entre 700 a 4300 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e para o IAF (entre 3,0 a 7,0), números maiores do que aqueles notados no período seco. Há ainda um alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,93$), indicando uma boa relação entre as variáveis. As figuras representativas de todos os cortes se encontram no Anexo D.

Conclui-se por fim, que no período úmido, as maiores quantidades de luz e calor presentes, colaboraram para que se notasse um aumento nos valores da MS e IAF (em relação ao corte de 20/07/2001), ainda proporcionaram uma maior uniformidade na estrutura do dossel, de forma que acabaram por influenciar a ocorrência de uma melhor relação entre MS-IAF nessa época. Esta afirmação está conforme Medeiros et al.(2002), quando afirma que em virtude da influência dos fatores climáticos sobre os ciclos de crescimento das gramíneas, as melhores relações entre MS-IAF são notadas em períodos úmidos, quando os agentes climáticos de encontram em proporções ideais, pouco interferindo sobre os resultados obtidos.

4.4 Relação entre NDVI e as variáveis lâminas de água e doses de nitrogênio

Para se conhecer a relação existente entre o NDVI e as variáveis lâminas de água e doses de N, efetuou-se para todos os cortes do período experimental, a análise de regressão linear múltipla, como observado na Tabela 13.

Tabela 13. Resultados da análise de regressão múltipla das relações entre o NDVI e as variáveis lâminas de água e doses de N, em 7 cortes do Tanzânia em 2001

Corte	Data Leitura	teste F	Parâmetros de Regressão			
			Nome	Coeficiente	t	r ²
1º corte	30/04	24,93 **	lâminas	0,000096	1,96 ^{NS}	0,69
			doses N	0,000023	6,78 **	
			constante	0,824441		
2º corte	11/06	19,84 **	lâminas	0,000256	3,11 ^{NS}	0,64
			doses N	0,000030	5,44 **	
			constante	0,753484		
3º corte	23/07	28,76 **	lâminas	0,000205	4,01 **	0,72
			doses N	0,000023	6,43 **	
			constante	0,728229		
4º corte	31/08	21,76 **	lâminas	0,000104	1,44 ^{NS}	0,66
			doses N	0,000032	6,43 **	
			constante	0,770945		
5º corte	06/10	38,59 **	lâminas	0,000019	0,42 ^{NS}	0,77
			doses N	0,000027	8,77 **	
			constante	0,791814		
6º corte	12/11	31,85 **	lâminas	0,000050	0,87 ^{NS}	0,74
			doses N	0,000031	7,93 **	
			constante	0,807011		
7º corte	17/12	24,60 **	lâminas	0,000099	1,60 ^{NS}	0,69
			doses N	0,000029	6,82 **	
			constante	0,823093		

teste F = análise de variância; t = teste "t" estatístico; r² = coeficiente de determinação;

^{NS} ...não significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** ..significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Assim sendo, percebe-se em todos os 7 cortes (Tabela 13), na análise de variância (ANOVA) dos modelos obtidos, que o valor de p para a estatística F da regressão é menor que 0,01. Dessa forma, pode-se supor que em todos os momentos ocorreu uma relação significativa entre as variáveis em estudo, a um nível de confiança de 99% ($p < 0,01$). Porém, ao se avaliar por meio do teste “ t ”, a influência individual dos coeficientes dos modelos de regressão, presencia-se a não significância da variável denominada lâminas de água ($p < 0,05$) em 6 cortes efetuados. Esta constatação pode estar associada à elevada precipitação que ocorreu no período experimental, restringindo assim a possibilidade de influências significativas da irrigação.

Avaliando-se ainda a Tabela 13, nota-se que somente o 3º corte (23/07) apresenta significância ao nível de 1% de probabilidade (teste t) para o fator lâminas; isto pode ser explicado pelo motivo deste corte representar o período de menor precipitação no experimento (igual a 33,90 mm), possibilitando assim notar a influência significativa das lâminas empregadas na relação em estudo.

Como ilustração é apresentada a Figura 20, a qual idealiza o modelo matemático tridimensional para a estimativa do NDVI, em relação as dosagens de nitrogênio e lâminas de água utilizadas, no 3º corte do capim Tanzânia (23/07/2001).

Figura 20 - Superfície de resposta para a estimativa do NDVI no 3º corte do capim Tanzânia (23/07/2001), em função das lâminas de água (%CC) e das dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)

Por fim, após constatar através de análise de regressão múltipla (Tabela 13), a não significância da variável denominada lâminas de água em 6 cortes realizados, efetuou-se uma nova análise de regressão entre o NDVI e as dosagens de nitrogênio, sendo que o modelo polinomial quadrático foi o escolhido, em virtude de apresentar o melhor ajuste às relações em estudo em todos os cortes analisados (quando comparado aos modelos de regressão linear simples e potencial); ainda neste caso e para todos os períodos estudados, as variáveis apresentaram correlação significativa ($p < 0,01$), tal como consta na Tabela 14.

Tabela 14. Equação de regressão polinomial quadrática e parâmetros observados para a relação obtida entre o NDVI e as dosagens de nitrogênio ($\text{kg.N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), em 7 cortes do capim Tanzânia no ano de 2001

Corte	t (N)	t (N ²)	Equação de Regressão	r	r ²
1º corte	6,68 **	-4,80 **	$\text{NDVI} = 0,8217 + (0,0000762 * \text{N}) + (-0,00000002 * \text{N}^2)$	0,91	0,82
2º corte	4,68 **	-3,51 **	$\text{NDVI} = 0,7568 + (0,0001126 * \text{N}) + (-0,00000004 * \text{N}^2)$	0,84	0,70
3º corte	4,78 **	-3,50 **	$\text{NDVI} = 0,7325 + (0,0000792 * \text{N}) + (-0,00000003 * \text{N}^2)$	0,83	0,69
4º corte	5,67 **	-3,97 **	$\text{NDVI} = 0,7661 + (0,0001003 * \text{N}) + (-0,00000003 * \text{N}^2)$	0,88	0,78
5º corte	5,35 **	-3,09 **	$\text{NDVI} = 0,7870 + (0,0000614 * \text{N}) + (-0,00000002 * \text{N}^2)$	0,91	0,84
6º corte	9,62 **	-6,74 **	$\text{NDVI} = 0,7987 + (0,0000978 * \text{N}) + (-0,00000003 * \text{N}^2)$	0,95	0,91
7º corte	8,11 **	-5,93 **	$\text{NDVI} = 0,8173 + (0,0001008 * \text{N}) + (-0,00000003 * \text{N}^2)$	0,93	0,87

t = teste "t" estatístico; r = coeficiente de correlação; r² = coeficiente de determinação; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A tabela 14 acima, revela altos valores para o coeficiente de correlação (r) e para o coeficiente de determinação (r²), principalmente nos últimos 3 cortes, indicando uma forte correlação entre as variáveis em estudo e mostrando uma boa concordância entre os dados e o modelo proposto. Observa-se ainda na análise de todo o período experimental, que de 69% (corte 3) a 91% (corte 6) da variância do NDVI do capim Tanzânia, é explicada pelas doses de nitrogênio utilizadas.

Este resultado está conforme Jensen et al. (1990); Fernández et al. (1994); Fonseca et al. (2002), que também obtiveram em suas respectivas pesquisas, uma relação positiva entre os valores do NDVI e as doses de nitrogênio empregadas. Afirmam ainda os autores que à medida que aumentam os níveis de N aplicados na adubação, pela razão deste nutriente influenciar tanto a taxa de expansão, quanto a divisão celular (determinando assim o tamanho final das folhas), ocorre um aumento da reflectância nos comprimentos de onda da região do infravermelho próximo, com conseqüente aumento nos valores do NDVI, fato este que pode ser atribuído ao aumento da quantidade de folhas (fitomassa) para interagir com a radiação.

Para melhor ilustrar a relação encontrada na presente pesquisa entre o NDVI e doses de nitrogênio utilizadas, são apresentadas as Figuras 21 e 22, que contém os gráficos relativos à análise de regressão polinomial quadrática entre as variáveis, em dois momentos distintos do experimento.

Figura 21- Regressão dos valores do NDVI com as dosagens de nitrogênio utilizadas (kg N.ha⁻¹.ano⁻¹), no 3^o corte do capim Tanzânia (23/07/2001)

A Figura 21 representa um período classificado como seco (3^o corte) (23/07/2001), onde foram obtidos os menores valores do NDVI no experimento para todas as doses utilizadas (valores situados entre 0,71 a 0,80), como também o menor

coeficiente de determinação ($r^2 = 0,69$), mostrando que apenas 69% da variância do NDVI pode ser explicada pela dosagem de nitrogênio utilizada.

Esta constatação (baixo valor de r^2) pode ser explicada pela ação de fatores climáticos essenciais para o desenvolvimento do Tanzânia, como a temperatura e a radiação global incidente, que presentes em quantidades não suficientes nesse período, tornaram-se mais limitantes para o desenvolvimento da gramínea do que o nitrogênio, exercendo assim uma maior influência sobre as variações notadas do NDVI.

Por sua vez, os baixos valores do NDI neste corte podem ser explicado novamente pela influência dos fatores climáticos (luz e temperatura), em quantidades não suficientes para o desenvolvimento ideal da forrageira, contribuindo em muito para que se observasse neste caso, para todas as dosagens de N avaliadas, a menor produção de fitomassa de toda a fase experimental (Figura 12). Dessa forma, baixos valores do FR avaliados pela banda TM₄ também foram obtidos, fato que acabou por influenciar a obtenção de também baixos valores para o NDVI. Além do mais, não se pode desprezar a hipótese de uma possível influência da reflectância do solo, em virtude da menor fitomassa presente, a qual deve ter contribuído para a obtenção de maiores valores do FR na banda TM₃, favorecendo assim a observação de decréscimo no índice.

Analogamente ao que já se verificara com a MS e o IAF, o NDVI (Figura 21) aumenta mais rapidamente para menores doses de N (de forma quase linear até a dose de 756 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹, atingindo valores próximos de 0,78); a seguir, revela um pequeno aumento entre esta dosagem e a de 1500 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹ (onde atinge o maior valor experimental e próximo de 0,79). A partir deste ponto apresenta uma ligeira tendência na diminuição dos seus valores, até atingir finalmente um valor próximo de 0,78 e correspondente a maior dosagem empregada (2079 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹).

Por meio da curva de regressão obtida na Figura 21, é possível ainda perceber que o uso de dosagens de nitrogênio superiores a 756 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹, não proporcionou efeitos crescentes sobre os valores do NDVI, sendo que os percentuais de incrementos neste índice e proporcionados pelo uso do nitrogênio, mostram ser de 1,0%, 1,9%, 4,1%, 1,5% e -1,1%, quando usado às doses de 100, 275, 756, 1500 e 2079 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹.

Mais uma vez, tal como notado nas análises relativas à influência das dosagens de nitrogênio sobre os valores da MS e IAF, pode-se observar que dosagens situadas acima de $1500 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, apresentam uma tendência de incrementar de modo decrescente os valores do NDVI, em virtude de uma possível influência negativa dos fatores relacionados ao excesso de N, que ao contribuírem para o aumento da senescência da pastagem e para uma maior volatilização e desnitrificação do nutriente, acabaram por influenciar negativamente a produção de matéria seca do capim Tanzânia, como também os valores do FR observados na banda TM_4 .

Figura 22 - Regressão dos valores do NDVI com as dosagens de nitrogênio utilizadas ($\text{kg N.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), no 7º corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

A Figura 22 representa um período considerado como úmido (17/12/2001), onde são observados valores do NDVI maiores do que aqueles obtidos no período seco (valores situados aproximadamente entre 0,81 a 0,89), e para todas as dosagens de N utilizadas (inclusive a testemunha). Um alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,87$) também é notado, o que leva a supor a existência de uma boa correlação entre as variáveis neste corte.

O resultado pode ser explicado em virtude de que fatores climáticos, como temperatura e radiação líquida se encontram neste período em quantidades consideradas “ideais” para o pleno desenvolvimento do Tanzânia, permitindo assim uma melhor resposta às dosagens de nitrogênio pela gramínea, com conseqüente aumento da fitomassa do dossel; para este caso, pode ser descaracterizada a influência da reflectância do solo.

Por fim, pode ser notado na análise gráfica da Figura 22, que a curva obtida é semelhante à da Figura 21; assim, as observações feitas anteriormente também são válidas para esta análise. O Anexo E por sua vez, apresenta as figuras relativas à regressão dos valores do NDVI com as doses de N empregadas, para todos os cortes realizados.

Figura 23 - Comportamento dos valores do NDVI em relação às dosagens de nitrogênio empregadas ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), durante 7 cortes do capim Tanzânia em 2001

A Figura 23 representa o comportamento observado em todo o período experimental dos valores médios do NDVI, em relação às doses de nitrogênio utilizadas no experimento.

Examinando-se as curvas que ilustram a Figura 23, obtidas com base nos valores médios do NDVI nos respectivos cortes, confirma-se para todos os casos que os valores do NDVI são maiores para as maiores doses de N; também que as dosagens de 756 e 2079 kg N.ha⁻¹ ano⁻¹ apresentam curvas com valores muito próximos entre si, indicando a pouca influência da maior dosagem nos valores obtidos do índice.

Esta constatação, de maneira análoga ao notado para a produção de matéria seca (MS) e para o IAF, se explica pelo fato do nitrogênio favorecer o aumento da fitomassa do dossel; em consequência, maiores valores da reflectância serão obtidos na região do infravermelho próximo, resultando por sua vez em maiores valores do NDVI.

Ainda na Figura 23, é possível concluir para todas as dosagens de N empregadas, que o comportamento dos valores do NDVI no transcorrer do experimento, de modo similar ao observado para os valores do IAF e MS, apresentou menores valores no período considerado como seco e maiores no úmido, evidenciando assim a eficiência deste índice na identificação da “estacionalidade” da forrageira ao longo do ano. Destaca-se também a importância de fatores climáticos como a radiação solar e a temperatura ambiente, que ao influenciar de maneira significativa a MS durante todo o período experimental, acabaram também por interferir sobre os valores do NDVI.

Figura 24 - Fator de reflectância observado na banda TM₃ ao longo do período experimental, em relação as doses de nitrogênio utilizadas (kg N.ha⁻¹ano⁻¹)

Para melhor ilustrar a relação NDVI-DosesN, a Figura 24 representa ao longo do período experimental para as diferentes dosagens de N avaliadas, o comportamento observado do FR nas bandas TM₃ do satélite LANDSAT

Assim sendo, o gráfico de dispersão obtido, mostra que as maiores doses de nitrogênio e em todos os cortes, ocupam as porções inferiores da figura (menores valores do FR); doses menores ocupam as regiões superiores (maiores valores), o que leva a supor a existência de uma influência significativa das doses de nitrogênio empregadas nos valores observados do fator de reflectância na banda TM₃.

Tal como notado na análise do NDVI e em outras realizadas (MS e IAF), as dosagens de 756 e 2079 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentam curvas muito próximas entre si, o que permite supor que doses anuais de N maiores que 756 kg.ha⁻¹ não proporcionam efeitos crescentes sobre os valores da fitomassa do Tanzânia e, conseqüentemente pouco influenciam os valores do FR na banda TM₃.

Analisando ainda a Figura 24, é possível notar que o FR é máximo no período classificado como corte 3 (25/07), época seca e período em que foram observados os menores valores do IAF e da MS do Tanzânia no experimento; em contraposição, este fator é mínimo nos períodos classificados como cortes 1 (04/05) e corte 7 (21/12), época úmida e onde se obteve os maiores valores para o IAF e MS.

Assim sendo, pode-se concluir que de maneira geral, ao se aumentar a dosagem de nitrogênio (dentro dos limites estabelecidos), observou-se um efeito crescente da quantidade de fitomassa e do índice de área foliar (IAF), fato este que proporcionou uma diminuição na reflectância em todos os comprimentos de onda da porção visível do espectro, em virtude do aumento da absorção de radiação pelo dossel (maior quantidade de folhas e cloroplastos).

Mesma afirmação é feita por Thomas & Oerther (1972), Patel et al. (1985), Jensen et al. (1990), Fernández et al. (1994), Ma et al. (1996) e Fonseca et al. (2002).

Figura 25 - Fator de reflectância observado na banda TM₄ ao longo do período experimental, em relação às doses de nitrogênio utilizadas (kg N.ha⁻¹.ano⁻¹)

A Figura 25 por sua vez apresenta o comportamento espectral obtido no período experimental dos valores do fator de reflectância na banda TM₄ do satélite LANDSAT, em relação às diversas dosagens de N utilizadas. Conclui-se assim, que em todo o período experimental, as diferentes dosagens apresentam um comportamento próximo entre si, assemelhando-se a uma “parábola” (como observado para os valores do NDVI na Figura 23, e de forma oposta ao percebido na Figura 24 para os valores do FR na banda TM₃). Evidencia-se ainda para este caso, que as maiores doses de nitrogênio e em todos os cortes, ocupam as porções superiores da figura (maiores valores do FR); doses menores ocupam as regiões inferiores (menores valores do FR), levando-se a supor que as diferentes doses de nitrogênio empregadas no experimento, acabaram por influenciar os valores observados do FR na banda TM₄.

Percebe-se ainda que as dosagens de 756 e 2079 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentam curvas muito próximas entre si (tal como já visto para o NDVI e para a banda TM₃); assim sendo, as notações feitas para o NDVI e para a banda TM₃, também são válidas para este caso.

Analisando o comportamento do FR (banda TM₄) em relação as diferentes doses de nitrogênio empregadas (Figura 25), observa-se que os maiores valores do FR neste caso e para todos os tratamentos, ocorrem nas datas de 04/05 (corte 1), 14/11 (corte 6), e 21/12 (corte 7), períodos úmidos e onde foram notados os maiores valores da fitomassa e do IAF na pesquisa. Por sua vez, os menores valores do FR estão relacionados aos cortes 2 (15/06) e 3 (25/07), datas representativas de períodos secos e correspondentes aos menores valores de todo o período experimental para a fitomassa e para o IAF. O mesmo comportamento foi presenciado para as variáveis: MS, IAF e NDVI, e de forma oposta foi percebido para a variável TM₃.

Por fim, conclui-se que na medida em que se elevou a dosagem de nitrogênio no experimento, houve um acréscimo nos valores da fitomassa e do IAF do capim Tanzânia (dentro de limites e pelas razões já descritas), fato este que proporcionou um aumento da reflectância em todos os comprimentos de onda da porção do infravermelho-próximo, em função das reflectâncias múltiplas ocasionadas pelo maior número de camadas de folhas sobrepostas no dossel. Observação semelhante é feita por Mani et al. (1991) e Fonseca et. al. (2002).

4.5 Relação entre o NDVI e a produção de matéria seca (MS) do capim Tanzânia

Tendo em vista a determinação da relação existente entre o NDVI e a produção de matéria seca do capim Tanzânia (MS) no período experimental, testou-se os modelos de regressão simples, polinomial quadrático e potencial, sendo que o modelo de regressão potencial foi aquele que pareceu mais adequado para explicar a relação em estudo, em virtude de apresentar valores significativos de p para a estatística F da equação de regressão ($p < 0,01$) em todos os casos analisados, além de conter na maioria das análises realizadas, os maiores valores do coeficiente de determinação (r^2), quando comparado aos outros modelos.

As equações de regressão obtidas em cada um dos 7 cortes analisados e os respectivos parâmetros estatísticos, podem ser observadas na Tabela 15.

Tabela 15. Equação de regressão potencial e parâmetros estatísticos para a relação observada entre o NDVI e a produção de matéria seca (MS), durante 7 cortes do capim Tanzânia em 2001

Corte	Data ¹	teste F	t	Equação de Regressão	r	r ²
1º corte	30/04	31,30 **	5,59 **	NDVI = 0,5979*MS ^{0,0464}	0,75	0,57
2º corte	11/06	19,73 **	4,44 **	NDVI = 0,5168*MS ^{0,0660}	0,69	0,48
3º corte	23/07	10,02 **	3,16 **	NDVI = 0,5531*MS ^{0,0504}	0,67	0,46
4º corte	31/08	30,06 **	5,48 **	NDVI = 0,5773*MS ^{0,0495}	0,82	0,67
5º corte	06/10	84,15 **	9,17 **	NDVI = 0,6868*MS ^{0,0245}	0,88	0,78
6º corte	12/11	228,01 **	15,09 **	NDVI = 0,5584*MS ^{0,0528}	0,95	0,90
7º corte	17/12	194,46 **	13,94 **	NDVI = 0,5672*MS ^{0,0529}	0,94	0,89

¹.. Data da leitura radiométrica; teste F = análise de variância; t = teste "t" estatístico;

r = coeficiente de correlação; r² = coeficiente de determinação;

** .. significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A Tabela 15 dada acima, excetuando-se os cortes 2 (r = 0,69) e 3 (r = 0,67), representativos de um período seco, mostra altos coeficientes de correlação linear (r), principalmente nos últimos 4 cortes (valores variando entre 0,82 a 0,95), indicando uma forte correlação positiva entre as variáveis em estudo, e mostrando que os modelos potenciais definidos apresentaram ajustes adequados para as relações NDVI-MS.

O resultado concorda com Pearson et al. (1976), Girard (1982), Turner et al. (1992) e Moreira (1997), que também notaram em seus respectivos trabalhos, a existência de uma relação positiva entre o NDVI e a MS. Afirmam ainda os autores que os valores do NDVI nesta relação, estão mais relacionados com as diferenças obtidas nos valores do FR na banda TM₄ (infravermelho próximo).

Assim sendo, pode-se supor que o aumento do número de folhas e a maior fitomassa presente no dossel do capim Tanzânia, ocasionou um provável crescimento dos efeitos multiplicativos da reflectância da vegetação (perceptível na banda TM₄), fato este que deve ter persistido até se atingir um determinado ponto máximo (quando

ocorreu a estabilização do FR relativo à banda TM₄), e que contribuiu para que maiores valores do NDVI fossem notados, na medida em que se procedia o incremento da fitomassa do dossel.

Figura 26 - Regressão dos valores obtidos para o NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS) (kg.ha⁻¹), no 3^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001)

O diagrama de dispersão e a equação de regressão contidas na Figura 26, mostram que os dados relativos ao 3^o corte (período seco), estão associados aos menores valores do NDVI de todo o período experimental (entre 0,70 e 0,80), bem como aos menores valores de MS (200 a 1000 kg.ha⁻¹), fato este melhor evidenciado nas figuras representativas do Anexo F. Os baixos valores observados neste caso podem ainda estar relacionados às condições ambientais inerentes ao período em que a menor radiação solar incidente e as baixas temperaturas presentes, ocasionaram uma menor produção de fitomassa; conseqüentemente, baixos valores da reflectância no infravermelho próximo também foram obtidos, levando assim a menores valores do NDVI (se comparado aos meses de maior precipitação e temperatura).

O fato presenciado desta análise apresentar o menor coeficiente de determinação ($r^2 = 0,46$) de todo o período experimental (Tabela 15), pode ser explicado pela presença de uma maior influência da reflectância do solo nos valores obtidos do NDVI, em detrimento a reflectância da vegetação, contribuindo assim para que o índice não avaliasse adequadamente a fitomassa presente.

Figura 27 - Regressão dos valores obtidos para o NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS) ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), no 7º corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

A Figura 27, por sua vez, mostra a curva de regressão obtida com os dados relacionados ao corte do capim Tanzânia num período úmido (17/12/2001). Neste caso, supõem-se que os fatores climáticos como a temperatura e a radiação líquida disponível, presentes em quantidades adequadas para o desenvolvimento da cultura, influenciaram na obtenção de altos valores para o NDVI (0,80 a 0,89) e para a produção de matéria seca (MS) (entre 700 a 4300 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), valores estes superiores a aqueles observados no período seco. Além disso, há também um coeficiente maior de determinação ($r^2 = 0,89$), indicando uma alta correlação entre as variáveis analisadas.

A observação desses resultados leva a concluir que no período úmido, com o aumento da quantidade de radiação e temperatura, ocorreu uma produção maior de

fitomassa em relação ao corte de 20/07/2001, conseqüentemente uma menor reflectância do solo, o que permitiu a obtenção de valores também maiores para o NDVI. Em relação ainda a alta correlação encontrada entre o NDVI e a MS neste período, o fato está de acordo com Turner et al. (1992) e Chaves et al. (2001), que notam em suas pesquisas que o NDVI ao avaliar quantidades maiores de fitomassa, é mais influenciado pela reflectância da vegetação (menos dependente da reflectância do solo), apresentando valores que tendem a ser altamente correlacionados com a fitomassa presente.

Por fim, a Figura 27 mostra ainda a inexistência de um ponto de saturação do NDVI, embora se presencie neste corte, e em todos os outros realizados (Anexo F), um aumento mais rápido do índice para valores menores da fitomassa.

4.6 Relação entre o NDVI e o IAF do capim Tanzânia

Para se avaliar no período experimental, a existência de uma possível relação entre o NDVI e o IAF do capim Tanzânia, foram testados os modelos de análise de regressão simples, polinomial quadrática e potencial.

O modelo de regressão quadrática não foi aprovado, em virtude de que em todas as 7 análises realizadas, o valor de p para a estatística t dos coeficientes de regressão obtidos, não se mostrou significativo ao nível de 5% de probabilidade. Além do mais, na análise preliminar dos dados, não foi observada diminuição do NDVI com o aumento do IAF.

Os modelos denominados linear e potencial mostraram assim um comportamento mais adequado para explicar a relação em estudo, sendo que a opção pelo modelo potencial foi tomada em virtude de apresentar na maioria das 7 análises realizadas, valores maiores do coeficiente de determinação (r^2), quando comparado ao modelo linear. Além do mais, a possibilidade da natureza assintótica que a relação poderia apresentar, contribui também para a escolha do modelo.

Notou-se então, por meio da análise de regressão potencial, que em todos os cortes analisados, as variáveis apresentaram comportamento significativo ($p < 0,05$), como consta na Tabela 16.

Tabela 16. Equação de regressão potencial e parâmetros para a relação observada entre o NDVI e o índice de área foliar (IAF), em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001

Corte	Data ¹	teste F	t	Equação de Regressão	r	r ²
1º corte	30/04	28,91 **	5,37 **	NDVI = 0,6900*IAF ^{0,1369}	0,74	0,55
2º corte	11/06	21,35 **	4,62 **	NDVI = 0,6817*IAF ^{0,1463}	0,69	0,48
3º corte	23/07	14,70 **	3,83 **	NDVI = 0,7285*IAF ^{0,0576}	0,62	0,39
4º corte	31/08	47,98 **	6,92 **	NDVI = 0,7000*IAF ^{0,1151}	0,82	0,67
5º corte	06/10	88,35 **	9,38 **	NDVI = 0,7235*IAF ^{0,0834}	0,89	0,79
6º corte	12/11	132,39 **	10,91 **	NDVI = 0,6693*IAF ^{0,1364}	0,92	0,85
7º corte	17/12	85,11 **	9,22 **	NDVI = 0,6621*IAF ^{0,1528}	0,88	0,78

¹.. Data da leitura radiométrica; teste F = análise de variância; t = teste "t" estatístico; r = coeficiente de correlação; r² = coeficiente de determinação;

** .. significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A Tabela 16 por sua vez, excetuando os cortes 2 e 3, mostra altos coeficientes de correlação linear (r), principalmente nos últimos 4 cortes (valores variando entre 0,82 a 0,92), indicando assim uma forte correlação positiva entre as variáveis.

Examinando-se parâmetros de regressão obtidos (Tabela 16), pode-se afirmar que, no presente experimento e dentro das condições estabelecidas, foi percebida a existência de uma relação positiva entre o NDVI e IAF. Os modelos potenciais definidos apresentaram por sua vez ajustes adequados para as relações NDVI-IAF, permitindo assim e de maneira significativa, a estimativa do NDVI a partir dos resultados encontrados para o IAF; ainda uma correlação maior foi observada nos últimos 4 cortes (coeficientes de determinação variando de 67% a 85%).

Foi notado também neste trabalho, em todos os momentos avaliados, um aumento dos valores do NDVI à medida em que os valores do IAF foram acrescidos. Esta constatação está de acordo com Moraes (1996), quando afirma que na região do I.V.P., uma vez que a absorção é mínima, o aumento do IAF implica no aumento do espalhamento e no conseqüente aumento da reflectância da vegetação nessa região do espectro, contribuindo assim para que também maiores valores do NDVI sejam observados (atingindo a estabilidade em valores do IAF situados entre 6 e 8).

Relação positiva entre essas variáveis foi ainda presenciada por outros autores, tais como Holben et al.(1980); Gleriani (1994), Turner et al.(1999) e Xavier (2002), que comentam ainda sobre a natureza assintótica que a relação pode apresentar; isto é, um aumento mais rápido do NDVI para menores valores de IAF, com tendência de se estabilizar para maiores valores do índice. Entretanto, no presente experimento, não foi notada a existência de saturação do NDVI, embora se perceba em todas as análises realizadas (Anexo G), um aumento mais rápido do NDVI para menores valores de IAF.

Figura 28 - Regressão dos valores do NDVI com os valores observados para o IAF, no 3^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001)

O diagrama de dispersão e a equação de regressão contidos na Figura 28 foram por sua vez obtidos com dados relativos ao 3^o corte (período seco), época em que foram notados os menores valores do IAF (entre 1,0 e 3,5), assim como os menores valores do NDVI (0,70 a 0,80). Estes resultados, como discutidos anteriormente, foram afetados pelas condições ambientais, isto é, radiação solar e temperatura. Em outras palavras, a menor radiação solar e as baixas temperaturas acarretaram menor produção de fitomassa, menor IAF e, conseqüentemente baixos valores da reflectância no infravermelho próximo (banda TM₄), levando assim a obtenção de menores valores para o NDVI, em relação aos meses de maiores precipitações e temperaturas.

Foi ainda notado neste corte, o menor coeficiente de determinação ($r^2 = 0,39$) (Tabela 16), ou seja, apenas 39% da variância do NDVI pode ser explicada pelo IAF do Tanzânia. Este resultado concorda com Asrar et al. (1984), quando afirmam que para valores de IAF menores que 3 (maioria das observações feitas nesse corte), o NDVI é bastante influenciado pela reflectância do solo (torna-se menos dependente da reflectância da vegetação), fato este que contribui para que o índice não estime adequadamente os valores do IAF.

Figura 29 - Regressão dos valores do NDVI com os valores observados para o IAF, no 7º corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

A regressão que consta na Figura 29 está relacionada ao corte do capim Tanzânia num período úmido (17/12/2001), onde fatores climáticos como a temperatura ambiente e a radiação líquida disponível foram adequadas para o desenvolvimento da cultura., contribuindo assim para uma maior produção de fitomassa e para a obtenção de altos valores do IAF (entre 3,0 a 7,0), superiores aos obtidos no período seco (inverno).

Pode-se ainda perceber neste corte, a ocorrência de valores bastante significativos para o NDVI (situados entre 0,79 a 0,89), bem maiores do que aqueles observados no período seco, em virtude de que as condições climáticas se encontravam

de forma adequada no período, o que contribuiu para uma maior produção de fitomassa e menor reflectância do solo, para a observação de maiores valores do fator de reflectância na banda TM₄, e conseqüentemente, para um maior NDVI.

Constata-se ainda nesta análise, um alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,78$), indicando que 78% da variância do NDVI é explicada pelos valores encontrados para o IAF. Esta observação está de acordo com Asrar et al. (1984), os quais afirmam que o NDVI, na presença de quantidades maiores de fitomassa, com valores do IAF situados entre 3 a 6, torna-se mais dependente da reflectância da vegetação e pouco dependente da reflectância do solo, apresentando assim uma maior sensibilidade e precisão na avaliação do IAF.

5 CONCLUSÕES

- Em capim Tanzânia, o uso da irrigação e a aplicação de adubos nitrogenados nos períodos mais secos e frios do ano, não se mostram capazes de compensar o efeito desfavorável causado pelos agentes do clima (temperatura e radiação solar) na produção vegetal.
- As diferentes lâminas de irrigação não influenciaram os valores de MS, IAF e NDVI da forrageira, possivelmente em virtude da elevada precipitação notada em todo o período experimental.
- Pastagens de capim Tanzânia submetidas à adubação nitrogenada, apresentam um melhor equilíbrio na produção de matéria verde ao longo do ano, maximizando a produção em condições climáticas favoráveis de radiação solar e de temperatura.
- Os modelos potenciais definidos se mostram adequados para explicar a relação MS-IAF do capim Tanzânia, com melhores correlações em períodos úmidos.
- A resposta espectral do capim Tanzânia segue os padrões típicos da vegetação verde, sendo alterada conforme as variações na quantidade de biomassa do dossel, causadas pela influência das doses de nitrogênio.
- No dossel do capim Tanzânia é possível estabelecer relações significativas entre variáveis espectrais obtidas por sensoriamento remoto e variáveis agronômicas da cultura, corroborando a hipótese de que parâmetros espectrais, podem servir como bons descritores das condições de vigor e de desenvolvimento da forrageira.
- O uso do NDVI é eficiente na estimativa de MS e de IAF para o capim Tanzânia.

ANEXOS

ANEXO A

Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com as dosagens de nitrogênio, em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.

Figura 1A - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg/ha) do capim Tanzânia com os valores das doses de nitrogênio empregadas (kg N/ha/ano), no 1^o corte da forrageira (04/05/2001)

Figura 2A - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg/ha) do capim Tanzânia com os valores das doses de nitrogênio empregadas (kg N/ha/ano), no 2^o corte da forrageira (15/06/2001)

Figura 3A - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg/ha) do capim Tanzânia com os valores das doses de nitrogênio empregadas (kg N/ha/ano), no 3^o corte da forrageira (25/07/2001)

Figura 4A - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg/ha) do capim Tanzânia com os valores das doses de nitrogênio empregadas (kg N/ha/ano), no 4^o corte da forrageira (31/08/2001)

Figura 5A - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg/ha) do capim Tanzânia com os valores das doses de nitrogênio empregadas (kg N/ha/ano), no 5^o corte da forrageira (08/10/2001)

Figura 6A - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg/ha) do capim Tanzânia com os valores das doses de nitrogênio empregadas (kg N/ha/ano), no 6^o corte da forrageira (14/11/2001)

Figura 7A - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) (kg/ha) do capim Tanzânia com os valores das doses de nitrogênio empregadas (kg N/ha/ano), no 7^o corte da forrageira (21/12/2001)

ANEXO B

Valores observados do IAF, em função das lâminas de água e dosagens de nitrogênio, em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.

Figura 1B – Valores observados do IAF em função das lâminas de água (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas (kg N/ha/ano), relativos ao 1^o corte (26/04/2001)

Figura 2B – Valores observados do IAF em função das lâminas de água (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas (kg N/ha/ano), relativos ao 2^o corte (11/06/2001)

Figura 3B – Valores observados do IAF em função das lâminas de água (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas (kg N/ha/ano), relativos ao 3^o corte (20/07/2001)

Figura 4B – Valores observados do IAF em função das lâminas de água (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas (kg N/ha/ano), relativos ao 4^o corte (30/08/2001)

Figura 5B – Valores observados do IAF em função das lâminas de água (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas (kg N/ha/ano), relativos ao 5^o corte (06/10/2001)

Figura 6B – Valores observados do IAF em função das lâminas de água (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas (kg N/ha/ano), relativos ao 6^o corte (12/11/2001)

Figura 7B – Valores observados do IAF em função das lâminas de água (% CC) e doses de nitrogênio utilizadas (kg N/ha/ano), relativos ao 7^o corte (17/12/2001)

ANEXO C

**Regressão dos valores do índice de área foliar (IAF) com as dosagens de nitrogênio,
em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.**

Figura 1C - Regressão dos valores do índice de área foliar (IAF) com os valores das dosagens de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 1^o corte do capim Tanzânia (26/04/2001)

Figura 2C - Regressão dos valores do índice de área foliar (IAF) com os valores das dosagens de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 2^o corte do capim Tanzânia (11/06/2001)

Figura 3C - Regressão dos valores do índice de área foliar (IAF) com os valores das dosagens de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 3^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001)

Figura 4C - Regressão dos valores do índice de área foliar (IAF) com os valores das dosagens de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 4^o corte do capim Tanzânia (30/08/2001)

ANEXO D

**Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com os valores do IAF,
em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.**

Figura 1D - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com os valores do IAF, no 1^o corte do capim Tanzânia (26/04/2001)

Figura 2D - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com os valores do IAF, no 2^o corte do capim Tanzânia (11/06/2001)

Figura 3D - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com os valores do IAF, no 3^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001)

Figura 4D - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com os valores do IAF, no 4^o corte do capim Tanzânia (30/08/2001)

Figura 5D - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com os valores do IAF, no 5^o corte do capim Tanzânia (06/10/2001)

Figura 6D - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com os valores do IAF, no 6^o corte do capim Tanzânia (12/11/2001)

Figura 7D - Regressão dos valores da produção de matéria seca (MS) com os valores do IAF, no 7^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

ANEXO E

Regressão dos valores observados do NDVI com as dosagens de nitrogênio utilizadas, em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.

Figura 1E - Regressão dos valores do NDVI com as doses de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 1^o corte do capim Tanzânia (30/04/2001)

Figura 2E - Regressão dos valores do NDVI com as doses de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 2^o corte do capim Tanzânia (11/06/2001)

Figura 3E - Regressão dos valores do NDVI com as doses de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 3^o corte do capim Tanzânia (23/07/2001)

Figura 4E - Regressão dos valores do NDVI com as doses de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 4^o corte do capim Tanzânia (31/08/2001)

Figura 5E - Regressão dos valores do NDVI com as doses de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 5^o corte do capim Tanzânia (06/10/2001)

Figura 6E - Regressão dos valores do NDVI com as doses de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 6^o corte do capim Tanzânia (12/11/2001)

Figura 7E - Regressão dos valores do NDVI com as doses de nitrogênio (kg N/ha/ano), no 7^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

ANEXO F

Regressão dos valores observados do NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS), em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.

Figura 1F - Regressão dos valores do NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS), no 1^o corte do capim Tanzânia (26/04/2001)

Figura 2F - Regressão dos valores do NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS), no 2^o corte do capim Tanzânia (11/06/2001)

Figura 3F - Regressão dos valores do NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS), no 3^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001)

Figura 4F - Regressão dos valores do NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS), no 4^o corte do capim Tanzânia (30/08/2001)

Figura 5F - Regressão dos valores do NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS), no 5^o corte do capim Tanzânia (06/10/2001)

Figura 6F - Regressão dos valores do NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS), no 6^o corte do capim Tanzânia (12/11/2001)

Figura 7F - Regressão dos valores do NDVI com os valores da produção de matéria seca (MS), no 7^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

ANEXO G

Regressão dos valores observados do NDVI com os valores do índice de área foliar (IAF), em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.

Figura 1G - Regressão dos valores do NDVI com os valores do índice de área foliar (IAF), no 1^o corte do capim Tanzânia (26/04/2001)

Figura 2G - Regressão dos valores do NDVI com os valores do índice de área foliar (IAF), no 2^o corte do capim Tanzânia (11/06/2001)

Figura 3G - Regressão dos valores do NDVI com os valores do índice de área foliar (IAF), no 3^o corte do capim Tanzânia (20/07/2001)

Figura 4G - Regressão dos valores do NDVI com os valores do índice de área foliar (IAF), no 4^o corte do capim Tanzânia (30/08/2001)

Figura 5G - Regressão dos valores do NDVI com os valores do índice de área foliar (IAF), no 5^o corte do capim Tanzânia (06/10/2001)

Figura 6G - Regressão dos valores do NDVI com os valores do índice de área foliar (IAF), no 6^o corte do capim Tanzânia (12/11/2001)

Figura 7G - Regressão dos valores do NDVI com os valores do índice de área foliar (IAF), no 7^o corte do capim Tanzânia (17/12/2001)

ANEXO H

Dados referentes ao fator de reflectância (FR) das bandas TM₃ e TM₄ do satélite LANDSAT; valores do NDVI; valores do índice de área foliar (IAF) e da produção de matéria seca (MS), observados em 7 cortes do Tanzânia no ano de 2001.

Corte 1

Período avaliado: 30/03 a 04/05/2001

Laminas	DosesN	TM3	TM4	NDVI	IAF	MS
0	0	0,0430	0,4190	0,8139	4,01	816,12
0	100	0,0390	0,4210	0,8304	4,16	1190,38
0	275	0,0390	0,4420	0,8378	4,21	1367,85
0	756	0,0363	0,4760	0,8583	4,28	2728,12
0	2079	0,0350	0,4890	0,8664	4,70	2939,76
30	0	0,0420	0,4040	0,8117	4,25	1142,56
30	100	0,0400	0,4340	0,8312	4,90	1779,78
30	275	0,0375	0,4450	0,8446	4,78	1683,47
30	756	0,0363	0,4720	0,8572	5,42	2856,78
30	2079	0,0352	0,4880	0,8654	5,12	2249,45
70	0	0,0420	0,3740	0,7981	3,56	1269,67
70	100	0,0400	0,4220	0,8268	3,79	2084,45
70	275	0,0360	0,4120	0,8393	3,64	1613,34
70	756	0,0350	0,4870	0,8659	5,03	2668,45
70	2079	0,0330	0,5040	0,8771	5,35	3200,76
100	0	0,0410	0,4230	0,8233	3,42	1267,55
100	100	0,0390	0,4390	0,8368	4,34	1524,34
100	275	0,0360	0,4530	0,8528	5,03	2236,78
100	756	0,0364	0,4890	0,8614	4,72	2052,34
100	2079	0,0350	0,5020	0,8696	5,35	3081,29
150	0	0,0400	0,4120	0,8230	3,32	607,45
150	100	0,0380	0,4550	0,8458	3,94	1021,01
150	275	0,0340	0,4570	0,8615	4,39	1596,14
150	756	0,0340	0,4580	0,8618	4,64	2151,25
150	2079	0,0320	0,5250	0,8851	4,95	2255,72

Obs:

- Lâminas: lâmina de água = % da capacidade de campo (CC);
- DosesN: dosagem de nitrogênio = (kg N. ha⁻¹ ano⁻¹);
- TM3: é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm);
- TM4: é o fator de reflectância medida na faixa do infravermelho próximo (760 a 900 nm);
- NDVI: é o índice de vegetação por diferença normalizada = (TM4-TM3) / (TM4+TM3);
- IAF: é o índice de área foliar;
- MS: é a produção de matéria seca = (kg MS.ha⁻¹)

Corte 2

Período avaliado: 11/05 a 15/06/2001

Laminas	DosesN	TM3	TM4	NDVI	IAF	MS
0	0	0,0490	0,3170	0,7322	1,95	607,34
0	100	0,0450	0,3250	0,7568	2,11	724,13
0	275	0,0430	0,3740	0,7938	2,64	926,04
0	756	0,0413	0,3680	0,7982	3,24	1005,45
0	2079	0,0420	0,4120	0,8150	3,24	1047,97
30	0	0,0470	0,3220	0,7453	2,25	390,26
30	100	0,0460	0,3370	0,7598	2,87	539,35
30	275	0,0420	0,3220	0,7692	2,77	499,56
30	756	0,0410	0,3980	0,8132	3,68	1037,34
30	2079	0,0412	0,3260	0,7756	3,38	739,56
70	0	0,0470	0,3320	0,7520	2,33	558,36
70	100	0,0460	0,3870	0,7875	2,71	573,63
70	275	0,0430	0,3470	0,7795	2,91	655,42
70	756	0,0410	0,3890	0,8093	3,49	704,46
70	2079	0,0400	0,4640	0,8413	3,82	810,90
100	0	0,0480	0,3370	0,7506	2,70	461,27
100	100	0,0480	0,3460	0,7563	1,82	328,69
100	275	0,0420	0,3860	0,8037	2,48	422,67
100	756	0,0424	0,4340	0,8220	2,53	661,75
100	2079	0,0410	0,4640	0,8376	2,99	876,53
150	0	0,0480	0,3570	0,7630	2,16	345,56
150	100	0,0440	0,4020	0,8027	2,31	378,20
150	275	0,0420	0,4160	0,8166	2,61	469,82
150	756	0,0420	0,4630	0,8337	3,26	709,80
150	2079	0,0380	0,4910	0,8563	3,64	1045,45

Obs:

- Lâminas: lâmina de água = % da capacidade de campo (CC);
- DosesN: dosagem de nitrogênio = (kg N. ha⁻¹ ano⁻¹);
- TM3: é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm);
- TM4: é o fator de reflectância medida na faixa do infravermelho próximo (760 a 900 nm);
- NDVI: é o índice de vegetação por diferença normalizada = (TM4-TM3) / (TM4+TM3);
- IAF: é o índice de área foliar;
- MS: é a produção de matéria seca = (kg MS.ha⁻¹).

Corte 3

Período avaliado: 20/06 a 25/07/2001

Laminas	DosesN	TM3	TM4	NDVI	IAF	MS
0	0	0,0540	0,3120	0,7049	1,16	357,44
0	100	0,0500	0,3240	0,7326	1,22	454,07
0	275	0,0500	0,3450	0,7468	1,33	472,23
0	756	0,0450	0,3460	0,7698	1,45	622,67
0	2079	0,0470	0,3550	0,7662	1,61	764,64
30	0	0,0530	0,3110	0,7088	1,95	397,97
30	100	0,0510	0,3360	0,7364	2,26	411,47
30	275	0,0485	0,3390	0,7497	2,51	425,89
30	756	0,0460	0,3330	0,7573	3,61	987,82
30	2079	0,0450	0,3620	0,7789	3,44	793,54
70	0	0,0520	0,3380	0,7333	1,19	288,05
70	100	0,0510	0,3490	0,7450	1,53	365,13
70	275	0,0480	0,3430	0,7545	1,98	477,89
70	756	0,0470	0,3760	0,7778	2,58	820,56
70	2079	0,0470	0,3870	0,7834	2,95	857,71
100	0	0,0520	0,3680	0,7524	1,24	292,86
100	100	0,0530	0,3460	0,7343	1,57	315,46
100	275	0,0460	0,3520	0,7688	1,95	548,47
100	756	0,0474	0,3770	0,7766	2,57	624,95
100	2079	0,0440	0,3610	0,7827	2,77	864,39
150	0	0,0510	0,3610	0,7524	1,43	225,59
150	100	0,0500	0,3450	0,7468	1,39	224,93
150	275	0,0460	0,3560	0,7711	2,21	593,60
150	756	0,0450	0,3880	0,7921	2,56	627,79
150	2079	0,0430	0,3970	0,8045	2,71	856,48

Obs:

- Lâminas: lâmina de água = % da capacidade de campo (CC);
- DosesN: dosagem de nitrogênio = (kg N. ha⁻¹ ano⁻¹);
- TM3: é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm);
- TM4: é o fator de reflectância medida na faixa do infravermelho próximo (760 a 900 nm);
- NDVI: é o índice de vegetação por diferença normalizada = (TM4-TM3) / (TM4+TM3);
- IAF: é o índice de área foliar;
- MS: é a produção de matéria seca = (kg MS.ha⁻¹).

Corte 4

Período avaliado: 27/07 a 31/08/2001

Laminas	DosesN	TM3	TM4	NDVI	IAF	MS
0	0	0,0490	0,3630	0,7468	2,49	181,55
0	100	0,0450	0,3650	0,7671	2,64	363,44
0	275	0,0480	0,4120	0,7874	3,10	886,10
0	756	0,0370	0,3830	0,8195	4,20	974,99
0	2079	0,0350	0,4580	0,8532	4,34	1062,09
30	0	0,0480	0,3540	0,7612	2,38	364,04
30	100	0,0490	0,3670	0,7644	2,31	376,85
30	275	0,0450	0,3720	0,7821	2,88	657,20
30	756	0,0410	0,3940	0,8032	3,72	1211,10
30	2079	0,0420	0,3890	0,8051	3,85	1338,89
70	0	0,0480	0,3440	0,7732	2,02	234,17
70	100	0,0480	0,3710	0,8054	2,76	684,07
70	275	0,0370	0,3640	0,8155	2,78	711,25
70	756	0,0420	0,4320	0,8228	4,02	1392,45
70	2079	0,0420	0,5030	0,8459	4,79	1851,45
100	0	0,0460	0,3590	0,7728	1,96	232,56
100	100	0,0490	0,3620	0,7616	2,34	390,12
100	275	0,0480	0,4390	0,7925	3,16	935,24
100	756	0,0380	0,4220	0,8268	3,94	1018,69
100	2079	0,0370	0,4470	0,8282	4,73	1652,53
150	0	0,0490	0,3420	0,7674	2,02	322,52
150	100	0,0480	0,3710	0,7709	2,18	378,56
150	275	0,0440	0,4020	0,8108	3,37	862,18
150	756	0,0440	0,4760	0,8324	4,73	1615,79
150	2079	0,0400	0,5090	0,8505	4,74	1621,88

Obs:

- Lâminas: lâmina de água = % da capacidade de campo (CC);
- DosesN: dosagem de nitrogênio = (kg N. ha⁻¹ ano⁻¹);
- TM3: é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm);
- TM4: é o fator de reflectância medida na faixa do infravermelho próximo (760 a 900 nm);
- NDVI: é o índice de vegetação por diferença normalizada = (TM4-TM3) / (TM4+TM3);
- IAF: é o índice de área foliar;
- MS: é a produção de matéria seca = (kg MS.ha⁻¹).

Corte 5

Período avaliado: 03/09 a 08/10/2001

Laminas	DosesN	TM3	TM4	NDVI	IAF	MS
0	0	0,0480	0,3680	0,7908	2,48	187,65
0	100	0,0440	0,3910	0,7977	2,61	214,91
0	275	0,0450	0,4040	0,7996	3,98	1004,43
0	756	0,0410	0,4290	0,8255	5,01	1448,69
0	2079	0,0410	0,4830	0,8435	5,16	1467,97
30	0	0,0500	0,3570	0,7895	2,98	544,86
30	100	0,0460	0,3770	0,7895	3,14	632,89
30	275	0,0420	0,4070	0,8129	3,37	705,16
30	756	0,0440	0,4270	0,8178	4,87	1862,15
30	2079	0,0380	0,4750	0,8519	5,01	2033,76
70	0	0,0450	0,3570	0,7761	2,67	236,35
70	100	0,0480	0,3760	0,7736	3,61	923,94
70	275	0,0460	0,3990	0,7933	3,24	785,06
70	756	0,0370	0,4380	0,8422	5,29	2117,23
70	2079	0,0420	0,4750	0,8409	5,91	2541,56
100	0	0,0460	0,3760	0,7820	2,86	252,34
100	100	0,0450	0,3890	0,7844	3,12	338,61
100	275	0,0430	0,4080	0,8045	4,41	1135,59
100	756	0,0440	0,4310	0,8147	4,99	2073,89
100	2079	0,0390	0,4570	0,8427	5,33	2377,27
150	0	0,0380	0,3690	0,8133	2,64	208,32
150	100	0,0420	0,3870	0,7981	3,14	372,02
150	275	0,0440	0,4020	0,8062	3,66	937,41
150	756	0,0420	0,4350	0,8239	5,29	2224,46
150	2079	0,0400	0,4650	0,8450	5,87	2717,89

Obs:

- Lâminas: lâmina de água = % da capacidade de campo (CC);
- DosesN: dosagem de nitrogênio = (kg N. ha⁻¹ ano⁻¹);
- TM3: é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm);
- TM4: é o fator de reflectância medida na faixa do infravermelho próximo (760 a 900 nm);
- NDVI: é o índice de vegetação por diferença normalizada = (TM4-TM3) / (TM4+TM3);
- IAF: é o índice de área foliar;
- MS: é a produção de matéria seca = (kg MS.ha⁻¹).

Corte 6

Período avaliado: 10/10 a 14/11/2001

Laminas	DosesN	TM3	TM4	NDVI	IAF	MS
0	0	0,0420	0,3890	0,8009	3,87	845,87
0	100	0,0420	0,4030	0,8112	4,05	992,15
0	275	0,0408	0,4250	0,8270	5,14	2098,84
0	756	0,0384	0,4890	0,8516	6,87	4020,82
0	2079	0,0364	0,4870	0,8585	5,64	3305,28
30	0	0,0440	0,3760	0,7905	4,03	975,62
30	100	0,0423	0,3910	0,8048	3,89	930,56
30	275	0,0412	0,3920	0,8098	4,85	1611,14
30	756	0,0378	0,4390	0,8414	5,75	2946,66
30	2079	0,0364	0,4890	0,8645	5,89	3365,04
70	0	0,0420	0,3870	0,7958	3,25	713,02
70	100	0,0430	0,3960	0,8170	4,22	1343,95
70	275	0,0400	0,4280	0,8305	4,88	1886,24
70	756	0,0374	0,5100	0,8569	5,54	2652,24
70	2079	0,0374	0,5110	0,8673	6,14	3620,26
100	0	0,0420	0,3870	0,7872	2,88	592,13
100	100	0,0410	0,4120	0,8150	4,75	1540,76
100	275	0,0410	0,4700	0,8395	5,02	1908,27
100	756	0,0390	0,4790	0,8494	5,84	3298,90
100	2079	0,0345	0,5270	0,8737	6,66	4063,84
150	0	0,0450	0,3860	0,7912	3,62	814,47
150	100	0,0420	0,3890	0,8051	4,18	1189,57
150	275	0,0410	0,4530	0,8415	4,69	1598,23
150	756	0,0373	0,4950	0,8563	5,73	2887,68
150	2079	0,0369	0,5370	0,8730	6,56	4122,22

Obs:

- Lâminas: lâmina de água = % da capacidade de campo (CC);
- DosesN: dosagem de nitrogênio = (kg N. ha⁻¹ ano⁻¹);
- TM3: é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm);
- TM4: é o fator de reflectância medida na faixa do infravermelho próximo (760 a 900 nm);
- NDVI: é o índice de vegetação por diferença normalizada = (TM4-TM3) / (TM4+TM3);
- IAF: é o índice de área foliar;
- MS: é a produção de matéria seca = (kg MS.ha⁻¹).

Corte 7

Período avaliado: 16/11 a 21/12/2001

Laminas	DosesN	TM3	TM4	NDVI	IAF	MS
0	0	0,0420	0,3960	0,8082	4,19	915,12
0	100	0,0400	0,3880	0,8131	4,28	1100,23
0	275	0,0372	0,4280	0,8421	5,25	2223,23
0	756	0,0363	0,5380	0,8723	6,82	4211,23
0	2079	0,0345	0,5120	0,8737	5,85	3690,34
30	0	0,0400	0,3890	0,8091	4,36	1000,38
30	100	0,0400	0,3680	0,8039	4,32	998,34
30	275	0,0395	0,4390	0,8349	5,02	1889,78
30	756	0,0364	0,4920	0,8638	5,67	3212,12
30	2079	0,0345	0,5070	0,8726	5,76	3680,45
70	0	0,0400	0,3990	0,8178	3,82	930,44
70	100	0,0384	0,4480	0,8421	4,55	1475,33
70	275	0,0372	0,4660	0,8521	5,24	2123,45
70	756	0,0364	0,5540	0,8754	5,42	2845,34
70	2079	0,0346	0,5910	0,8894	6,11	3845,44
100	0	0,0400	0,4210	0,8265	3,36	711,23
100	100	0,0384	0,4660	0,8477	4,64	1723,34
100	275	0,0374	0,4830	0,8563	5,22	2299,98
100	756	0,0364	0,5490	0,8756	6,21	3501,23
100	2079	0,0334	0,5660	0,8878	6,57	4289,87
150	0	0,0420	0,4010	0,8133	3,92	964,34
150	100	0,0400	0,4180	0,8253	4,25	1432,34
150	275	0,0370	0,4670	0,8532	5,01	1715,23
150	756	0,0370	0,5480	0,8724	5,78	3698,89
150	2079	0,0343	0,5680	0,8861	6,89	4289,56

Obs:

- Lâminas: lâmina de água = % da capacidade de campo (CC);
- DosesN: dosagem de nitrogênio = (kg N. ha⁻¹ ano⁻¹);
- TM3: é o fator de reflectância medida na faixa espectral do vermelho (630 a 700 nm);
- TM4: é o fator de reflectância medida na faixa do infravermelho próximo (760 a 900 nm);
- NDVI: é o índice de vegetação por diferença normalizada = (TM4-TM3) / (TM4+TM3);
- IAF: é o índice de área foliar;
- MS: é a produção de matéria seca = (kg MS.ha⁻¹).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.P.A. **Manejo de pastagens**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1998. 139p.

ALBERDA, L. The responses of grasses to temperature and light. **Queenland Journal of Agricultural and Animal Sciences**, v. 23, n. 4, p. 210-212, 1966.

ALMEIDA, E.X.; MARASCHIN, G.E.; HARTHMANN, O.E.L. Oferta de forragem de Capim-Elefante Anão “Mott” e a dinâmica da pastagem. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.5, p.1281-1287, 2000.

ÁLVARES, J.A.S. Caracterização e análise zootécnica e financeira de um sistema de produção de leite com pastagens tropicais irrigadas na microrregião de Governador Valadares, Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001. 75p. Tese (Doutorado) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais.

ALVIM, M.J.; BOTREL, M.A.; NOVELLY, P.E. Produção de gramíneas tropicais e temperadas irrigadas na época da seca. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.15, n.5, p.384-392, 1986.

ARRUDA, Z.J. A pecuária bovina de corte no Brasil e resultados econômicos de sistemas alternativos de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE PECUÁRIA DE CORTE, 4., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba:FEALQ, 1997. p.259-273.

- ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E.T. et al. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, v.76, p.300-306, 1984.
- BARBOSA, M.A.F. Influência da adubação nitrogenada e das frequências de corte na produção e nas variáveis morfogênicas do Capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq) cv. Mombaça. Maringá, 1998. 53p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, PR.
- BARCELOS, A.M. Como obter ganho de peso, mesmo com o pasto seco. **Revista Agrobyte**. São Paulo. <<http://agrobyte.com.br/pastagens.htm>> (12 set. 2003).
- BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D.J. Crop biomass evaluation using radiometric measurements. **Photogrametria**, v.43, n.5, p.241-256, Jun. 1989.
- BATISTA, G.T. Avaliação de produtos HRV/SPOT e TM/LANDSAT na discriminação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.3, p.379-386, mar. 1990.
- BAUER, M.E.; VANDERBILT, V.C.; ROBINSON, B.F. et al. Spectral properties of agricultural crops and soils measured from space, aerial, field and laboratory sensors. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY PHOTOGRAMETRY, 16., Hamburg, 1980. **Proceedings**. Hamburg, 1980. p.56-73.
- BERETTA, L.G.R.; KANNO, T.; MACEDO, M.C.M. et al. Morfogênese foliar e taxas de crescimento de pastagens de *Panicum maximum* cv. Tanzânia em solos dos cerrados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., Porto Alegre, 1999. **Anais**. . Porto Alegre: SBZ, 1999. p.133-137.

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 596p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas da agricultura brasileira**. <<http://www.agricultura.gov.br>> (15 jan. 2002).
- BROWN, R.H.; BLASER, R.E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstracts**, v.38,n.1, p.1-9, 1968.
- BULLER, R.E.; STEEMMEIFER, N.P.; QUINN, L.R. et al. Comportamento de gramíneas perenes recentemente introduzidas no Brasil Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Zootecnia, Itaguaí, v.7, p.17-21,1972.
- BURKART, A . Evolution of grasses and grasslands in South América. **Taxon**, v.24, n.1, p.53-66, 1975.
- CADISCH, G.; SCHUNKE, R.M.; GILLER, K.E. Nitrogen cycling in a pure grass pasture and a grass-legume mixture on a red latosol in Brazil. **Tropical Grassland**, v.28, n.1, p. 43- 52, 1994.
- CARR, R. **Xlstatistics**: version 2. Warnambool : Deakin University, 2002.
- CARVALHO, M. Luz, a força invisível dos pastos. **Guia Rural: Criação Animal**, Editora Abril, p.80-83, 1994.
- CARVALHO, M.M.; SARAIVA, O.F. Resposta do capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv) a aplicações de nitrogênio em regime de corte. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.16, n.5, p.442-454, 1987.

- CECATO, U.; MARCO, A.A.F.B; SAKAGUTI, E.S. et al. Avaliação de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., Fortaleza, 1996. **Anais**. Fortaleza: SBZ, 1996. p.403-406
- CHANCE, J.E.; LEMASTER, E.W. Suits reflectance models for wheat and cotton: theoretical and experimental tests. **Applied Optics**, v.16, n.2, p.407-412, 1977.
- CHAVES, J.S.; MOREIRA, L.; SANO, E.E. et al. Uso da Técnica de Segmentação na identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado (compact disc). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. Foz do Iguaçu: INPE, 2001.
- CHEN, C.S.; TAARDIN, A .T.; BATISTA, G.T. **Índice de vegetação e sua aplicação na agricultura**. São José dos Campos: INPE, 1986. 24p.
- COELHO, R.D. **Relatório sobre o projeto de produtividade do capim Tanzânia em função da lâmina de irrigação e doses de nitrogênio**. Piracicaba: LER/ ESALQ, Depto. Engenharia Rural, 1999. 15p. (Relatório técnico apresentado à FAPESP, São Paulo).
- COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing Environment**, v.3, n.3, p.175-183, 1974.
- CORRÊA, L.A. Produção intensiva de carne bovina a pasto. **Boletim**. Embrapa Pecuária Sudeste. <<http://www.florestasite.com.br/pasto.htm>> (12 jan.2002).
- CORSI, M. Parâmetros para intensificar o uso das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 6., Piracicaba, 1980. **Anais**. Piracicaba: ESALQ, 1980. p.214-240.

- CORSI, M. Produção e qualidade de forragens tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, Viçosa, 1990. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1990. p.69-85.
- 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, 1998. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.161-192.
- COSTA, C.; MONTEIRO, A.L.G. Alfafa como forrageira para corte e pastejo In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., Jaboticabal, 1997. **Anais**. Jaboticabal: FCAV, 1997. p. 297-317.
- COSTA, J.A. **Radiação eletromagnética**. Centro de Ensino Tecnológico do Pará. <<http://planeta.terra.com.br/arte/jamer/sr001a.html>> (13 dez.2002).
- COSTA, N. L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A. et al. Manejo de pastagens de capim Tanzânia na Amazônia Ocidental. **Resumo expandido**. Manaus, EMBRAPA, Amazônia Ocidental, 1996. 2p.
- CURRAN, P.J.; MILTON, E.J. The relationships between the chlorophyll concentration, LAI and reflectance of a simple vegetation canopy. **International Journal of Remote Sensing**, v.4, n.2, p.247-255, 1983.
- CUNHA, C. A. H. da. Comportamento espectral e características agronômicas da cultura do feijão irrigada com diferentes lâminas de água. Piracicaba, 2000. 120p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

DEERING, D.W. Field measurements of bidirecional reflectance. In: ASRAR, G., ed. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley & Sons, 1980. p.14 - 61.

DIAS FILHO, M.B. Efeito do estresse hídrico em alguns aspectos agronômicos e fisiológicos do capim Tobiatã (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã) em casa de vegetação. Piracicaba, 1986. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

DONAGHY, D.J.; SCOTT, J.M.; FULKERSON, W.J. Effects of desfoliation frequency and summer irrigation on survival of perennial (*Lolium perenne*) and biennial (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the subtropics. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.37, p.537-545, 1997.

EPIPHANIO, J.C.N. Metodologia de aquisição de dados ao nível terrestre. In: ASSUNÇÃO, G.V. (Ed.) **Sensoriamento remoto na agricultura: conceitos básicos, metodologia e aplicações**. São José dos Campos, INPE, 1989. p.53-73.

EPIPHANIO, J.C.N; FORMAGGIO, A.R. Sensoriamento remoto de três parâmetros agronômicos de trigo e de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 10, p. 1615-1624, out. 1991.

EUCLIDES, V.P.B.; EUCLIDES FILHO, K. Avaliação de forrageiras sob pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 1., Maringá, 1997. **Anais**. Maringá: Cooper Artes Gráfica, 1997. p. 85-111.

FERNÁNDEZ, S.; VIDAL, D.; SIMÓN, E. et al. Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n.9, p.1867-1884, 1994.

FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. São Paulo: EPU, 1985. 362p.

FONSECA, E.L.; ROSA, L.M.G.; FONTANA, D.C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* (grama forquilha) em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 365-371, mar. 2002.

FORMAGGIO, A.R. Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão. Piracicaba, 1989. 161p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FORNI, S.; MICHEL FILHO, I.C.; FAVORETTO, V. et al. Efeito de estratégias de adubação com NPK sobre a produção, qualidade e estrutura das cultivares Tanzânia e Mombaça de *Panicum maximum* Jacq. (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Anais**. Viçosa: SBZ, 2000.

GALETI, P.A. **Conservação do solo**; reflorestamento; clima. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1982. 286p.

GARCIA, J.A.R. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a cultura da aveia irrigada por inundação temporária. Lavras, 1993. 71p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.

GATES, D.M. **Biophysical ecology**. New York: Springer-Verlag, 1980. 611p.

GERDES, L.; WERNER, J.C.; COLOZZA, M.T. et al. Avaliação de Características Agronômicas e Morfológicas das Gramíneas Forrageiras Marandu, Setária e Tanzânia aos 35 Dias de Crescimento nas Estações do Ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.4, p.947-954, 2000.

- GIRARD, C.M. Estimation of phenological stages and physiological states of grassland from remote sensing data. **Vegetation**, v.48, p.219-226, 1982.
- GLERIANI, J.M. Influencia do solo de fundo e da geometria da radiação na resposta espectral da cultura do feijão. São José dos Campos, 1994. 87p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.
- GOMIDE, J.A. Aspectos biológicos e econômicos da adubação das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 24., Jaboticabal, 1989. **Anais**. Jaboticabal: UNESP, 1989, p.237-270.
- GOMIDE, J. A. Fisiologia do crescimento livre de plantas forrageiras. In: PEIXOTO, A.R.; et al. (Ed.) **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 1- 12.
- GUYOT, G. Optical properties of vegetation canopies. In: STEVEN, M.D.; CLARK, J.A., (Ed.). **Applications of remote sensing in agriculture**. London: Butterworths, 1990. cap.2, p.19-43.
- HENDERSON, K. E.; G.D. BADHWAR. 1984. An initial model for estimating soybean development stages from spectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.21, n.14, p.55-63, 1984.
- HODGSON, J.G. **Grazing management: science into practice**. Essex: Longman Scientificand Technical, 1990. 203p.
- HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J.; FAN, C.J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.46, p.651-656, 1980.

- HUETE, A.R.; JACKSON, R.D. Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies. **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.1, p.89-105, June 1988.
- JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v.11, n.2, p.185-200, 1991.
- JANK, L. Melhoramento e seleção de variedade de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba:FEALQ, 1995. p. 21-58.
- JENSEN, A.; LORENZEN, B.; ESTERGARD, H.S. et al. Radiometric estimation of biomass and nitrogen content of barley grown at different nitrogen levels. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, n.10, p.1809-1820, 1990.
- JUNQUEIRA JUNIOR, J.U. Pivôs com bois: vale a pena? **Artigos Via Verde**. Ribeirão Preto, Via Verde Consultoria Agropecuária em Sistemas Tropicais. <<http://www.viaverde.agr.br/>> (12 jul.2003).
- LADEIRA, N.P.; SYKES, D.J.; DAKER, A. et al. Estudos sobre produção e irrigação dos capins pangola, sempre verde e gordura, durante o ano de 1965. **Revista Ceres**, v.12, n.74, p.105 -116, 1966.
- LAW, B.E.; WARING, R.H. Remote sensing of leaf area index and radiation intercepted by under story vegetation. **Ecological Applications**, v.4, n.2, p.272-279, 1994.
- LI-COR. **LAI-2000 plant canopy analyser**: manual. Nebraska, 1992. 166p.

- MA, B.L.; MORRISON, M.J.; DWYER, L.M. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize. **Agronomy Journal**, v.88, p.915-920, 1996.
- MANI, S.; CHELLAMUTHU, V.; PALANIVEL, A. et al. Spectral reflectance of sorghum crop as influenced by nutrient, irrigation and plant canopy. **Agropedology**, v.1, p.91-96, 1991.
- MANNETJE, L.T.; PRITCHARD, A.J. The effect of daylength and temperature on introduced legumes and grasses for tropics and subtropics of Coastal Australia. Dry matter production, tillering and leaf area. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v.14, p. 173-181, 1974.
- 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.
- MATZENAUER, R.; SUTILI, R. A água na cultura do milho. **IPAGRO**, n.26, p. 17-32, 1983.
- MEDEIROS, H.R.; PEDREIRA, C.G.S; VILLA NOVA, N.A. Temperatura base de gramíneas forrageiras estimadas através do conceito de unidade fototérmica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais**. Recife:SBZ, 2002. p. 90-93.
- 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.

- MORAES, E.C. Radiometria óptica espectral: comportamento espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 1996. **Anais**. Salvador, 1996. p.1-22.
- MOREIRA, M.A. Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agronômicos. Piracicaba, 1997. 142p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.
- NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 13, Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1997. p.15-95.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308 p.
- OLSEN, F.J. Effect of nitrogen fertilizer on yield and protein content of *Brachiaria mutica* (Forsk) Stapf, *Cynodon dactylon* (L.) Pers, and *Setaria splendida* Stapf in Uganda. **Tropical Agriculture**, v.51, n.4, p.523-529, 1974.
- PATEL, N.K.; SINGH, T.P.; SAHAI, B. et al. Spectral response of rice crop and its relation to yield and yield attributes. **International Journal of Remote Sensing**, v.6, n.5, p.657-664, 1985.
- PEARSON, R.L.; MILLER, R.D. Remote mapping of starting crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, 1972. **Proceedings**. Ann Arbor: MI, ERIM, 1972. v.2, p.1355-1373.

- PEARSON, R.; MILLER, L.D.; TUCKER, C.J. A handheld spectroradiometer to estimate gramineous biomass. **Applied Optics**, v.15, p.416-418, 1976.
- PENATTI, M.A. Estudo do desempenho animal e produção do capim Tanzânia (*Panicum maximum*, Jacq.) em um sistema rotacionado de pastejo sob irrigação em três níveis de resíduo pós pastejo. Piracicaba, 2002. 117p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- PETRY, M.T.; CARLESSO, R.; WOLSCHICK, D. et al. Consumo de água e rendimento de grãos de sorgo granífero cultivado em diferentes classes de solo (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, Pelotas, 1999. **Resumos**. Pelotas: CONBEA, 1999.
- PINHEIRO, V.D. Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil. Piracicaba, 2002. 85p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- PINTO, L.F.M. Pasto o ano todo. **Horse Business**, v.59, p.32-36, 2000.
- PRADA NETO, I.; PINHEIRO, V.D.; LOURENÇO, L.F. et al. Densidade de touceiras em função da adubação nitrogenada e lâminas de irrigação em *Panicum maximum* Jacq cv. Tanzânia (compact disc). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 9, Piracicaba, 2001. **Resumos**. Piracicaba:ESALQ, 2001.
- QUEIROZ NETO, F.; MARTHA JR., G.B.; PENATI, M.A. et al. Impact of increasing nitrogen fertiliser rates upon an irrigated tanzania grass pasture.1.Dry matter yield. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p.209-210.

- QUINLAN, T.J.; SHAW, K.A.; WARRELL, L.A. The effect of nitrogen on growth and chemical composition of irrigated *Panicum maximum* var. trichoglume cv. Petrie, *Neonotonia wightii* cv. Tinaroo on the Atherton Tableland, north Queensland. **Tropical Grassland**, v.15, n.1, p.27-30, 1981.
- ROCHA, G. L.; et al. Animal production from brazilian tropical pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 14., Lexington, 1981. **Proceedings**. Boulder: Westview, 1983. p.771-774.
- RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção Agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 203-230.
- RODRIGUES, M.A. Fotossíntese e fotoinibição em *Laminaria abyssalis* e *Laminaria digitata* (Phaeophyta). Rio de Janeiro, 1995. 123p. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- RUDORFF, B.F.T.; MOREIRA, M.A.; OVIEDO, A.F.P. et al. **Efeito do nitrogênio e do déficit hídrico na resposta espectral de cultivares de trigo**. São José dos Campos; INPE, 1997. 8p.
- SANTOS, P.M.; BALSALOBRE, M.A.A.; CORSI, M. Efeito da frequência de pastejo e da época do ano sobre a produção e a qualidade em *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.244-249, 1999.
- SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. **LUPA** (Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola). São Paulo, 1997. 4v.
- S.A.S. INSTITUTE. **SAS User's guide : Statistics**. Cary, 1990. 956p.

- SAVIDAN, Y.H.; JANK, L.; COSTA, J.C.G. **Registro de 25 acessos selecionados de *Panicum maximum***. Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1990. 68p. (EMBRAPA. CNPGC. Documentos, 44).
- SENTELHAS, P.C.; MORAES, S.O.; PIEDADE, S.M.S. et al. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.2, p.215-221, 1997.
- SENTELHAS, P.C.; MARIN, F.R.; PEREIRA, A.R. et al. **Análise dos dados climáticos e do balanço hídrico climatológico de Piracicaba**. Piracicaba: ESALQ, DFM, 1998. 81 p.
- SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. Rome: FAO, 1992. 849 p. (FAO - Producción y protección vegetal, 23)
- SILVA, S.C. da. Condições edafo-climáticas para a produção de *Panicum* sp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 12., Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.129-146.
- 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.
- SOUZA, C.L.; PONZONI, F.J. Considerações sobre transformação de dados orbitais para estimativas do Índice de Área Foliar (IAF). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 1996. **Anais**. Salvador, 1996. p.108-122.

- STEFFEN, C.A.; MORAES, E.C. Tutorial de radiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. p. 2-12.
- STEFFEN, C.A. Fundamentos de radiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. p.1-17.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City: Benjamin Cummings Publishing Company, 1991. 565 p.
- THOMAS, J.R.; OERTHER, G.F. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurement. **Agronomy Journal**, v.64, n.1, p.11-13, 1972.
- THOMAS, J.R.; NAMKEN, L.N.; OERTHER, G.F. et al. Estimating leaf water content by reflectance measurements. **Agronomy Journal**, v.63, n.6, p.845-847, 1971.
- TURNER, C.L.; SEASTEDT, T.R.; DYER, M.I. et al. Effects of management and topography on the radiometric response of a tallgrass prairie. **Journal of Geophysical Research**, v.97, n.17, p.18855-18866, 1992.
- TURNER, D.P.; COHEN, W.B.; KENNEDY, R.E. et al. Relationships between leaf area index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across three temperate zone sites. **Remote Sensing of Environment**, v.70, p.52-68, 1999.
- TURNER, N.C.; BEGG, J.E. Responses of pasture plants to water deficits. In: WILSON, J.E. (Ed.). **Plant relations in pastures**. Melbourne: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1978. p. 50-66.

- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Departamento de Estatística. **SAEG:** sistemas para análises estatísticas (software). Viçosa: DE/UFV, 2002.
- VANE, G.; GOETZ, A.F.H. Terrestrial imaging spectrometry. **Remote Sensing of Enviroment**, v.24, p.1-29, 1988.
- VICENTE-CHANDLER, J.; SILVA, S.; FIGARELLA, J. Effect of frequency of application on response of Guinea grass to nitrogen fertilization. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v.46, n.4, p.343-349, 1962.
- VILELA, D.; ALVIM, M.J. Produção de leite em pastagem de *Cynodon dactylon*, (L. pers, cv. coast-cross). In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GENERO CYNODON, Juiz de Fora, 1996. **Anais**. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1996. p.77-91.
- VILELA, D.; ALVIM, M.J.; CAMPOS, O.F. et al. Produção de leite de vacas holandesas em confinamento ou em pastagem de Coast-Cross. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.25, n.6, p.1228-1244, 1997.
- VILLA, A.R.; SORIA, L.G.T. Utilização da termometria a infravermelho na determinação do índice de estresse hídrico em capim Tanzânia irrigado (compact disc). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 10., Piracicaba, 2002. **Resumos**. Piracicaba: ESALQ, 2002.
- XAVIER, A.C. Estimativa da dinâmica do índice de área foliar em uma microbacia hidrográfica por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Piracicaba, 2002. 111p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- WALES, W.J.; DOYLE, P.T.; DELLOW, D.W. Dry matter intake and nutrient selection by lactating cows grazing irrigated pastures at different pasture allowances in summer and autumn. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.38, p.451-460, 1998.
- WALTER-SHEA, E.A.; NORMAN, J.M.; BLAD, B.L. et al. Leaf reflectance and transmittance in soybean and corn. **Agronomy Journal**, v.83, p.631-636, 1991.
- WELLES, J.M. Some indirect methods of estimating canopy structure. In: GOEL, N.S.; NORMAN, J.M. **Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions**. London: Harwood Academy, 1990. cap.5, p.31-43.
- WENKERT, W., LEMON, E. R., SINCLAIR, T. R. Leaf elongation and turgor pressure in field-grow soybean. **Agronomy Journal**, v.70, p.761-769, 1978.
- WERNER, J.C.; GOMES, F.P.; KALIK, E.B. et al. Fontes de nitrogênio e seus efeitos na produção forrageira. **Boletim da Indústria Animal**, v.25, n. único, p.151-159, 1968.
- WILSON, J.R.; MANNETJE, L. Senescence, digestibility and carbohydrate content of Buffel grass and Green Panic leaves in Swards. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.29, p.503-516, 1978.