

AVALIAÇÃO DE PRODUTOS HRV/SPOT E TM/LANDSAT NA DISCRIMINAÇÃO DE CULTURAS¹

GETÚLIO T. BATISTA², ANTONIO T. TARDIN, SHERRY C. CHEN³ e JEAN F. DALLEMAND⁴

RESUMO - O objetivo do trabalho foi avaliar os dados do SPOT HRV e do Landsat TM na discriminação das culturas de café (*Coffea arabica* L.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e pastagem (várias espécies) no noroeste do estado do Paraná. Informações sobre variedade, data de plantio, estágio fenológico, altura de plantas, espaçamento e orientação de plantio, percentagem de cobertura do solo, etc., foram obtidas durante o período da tomada das imagens (três cenas do SPOT e uma cena do TM). Os resultados mostraram que não houve diferença significativa na identificação visual das culturas, ao nível de 95% entre os produtos analisados. No entanto, verificou-se uma significativa diferença entre os produtos considerando cada cultura isoladamente. Os resultados da análise digital, não mostrou diferença significativa ao nível de 95% quando eram analisados dados multiespectrais do SPOT ou bandas equivalentes do TM. A inclusão de uma banda do TM na região do infravermelho médio em substituição à segunda banda no visível melhorou sensivelmente o desempenho obtido na análise digital.

Termos para indexação: Satélite SPOT, imagens SPOT e TM, sensoriamento remoto.

EVALUATION OF HRV/SPOT AND TM/LANDSAT PRODUCTS FOR CROP DISCRIMINATION

ABSTRACT - The objective of this experiment was to evaluate SPOT and TM data for the discrimination of coffee (*Coffea arabica* L.), sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), and pasture (several species) in the northwest of Paraná State. Information on variety, planting date, phenological stage, plant height, row spacing and orientation, percent soil cover, etc. was collected in the field during the SPOT and TM data acquisitions (three SPOT and one Landsat scenes). Results showed that considering the four crops jointly, no identification difference was observed among the four products at the 95% significance level. However, for individual crop category there was a significant difference among the analyzed products. The results of digital analysis considering all crop types jointly using SPOT or the three equivalent bands of TM were not statistically different at 95% level. However, results obtained when replacing one of the visible bands of the TM by the middle infrared band 5 improved the classification results.

Index terms: SPOT satellite, SPOT and TM imagery, remote sensing.

INTRODUÇÃO

O primeiro satélite para avaliação de recursos naturais foi lançado pelos Estados Unidos em 16 de julho de 1972, então denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite) e posteriormente Landsat, como é conhecido

¹ Aceito para publicação em 28 de abril de 1989.

² Eng. - Agr., Ph.D., Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, Caixa Postal 515, CEP 12201 São José dos Campos, SP.

³ Eng. - Agr., M.Sc., INPE.

⁴ Eng. - Agr., M.Sc., Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); Room F-1005, Via Delle Terme di Caracalla, 00100 - Roma, Itália.

até o momento. Estes satélites sofreram sensíveis mudanças tecnológicas ao longo do tempo, principalmente as referentes às resoluções espacial e espectral dos sensores.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos nos últimos 15 anos com o objetivo de avaliar o potencial de dados obtidos pelos satélites da série Landsat na detecção, identificação e mapeamento de áreas de culturas e, mais recentemente, na estimativa de rendimento agrícola.

Neste contexto, podem ser citadas linhas de pesquisas e desenvolvimento voltadas a inventários canavieiro e orizícola (Mendonça et al. 1986, Moreira & Crossetti 1988), classificação de áreas de trigo e culturas de verão (Moreira 1983, Chen 1988), avaliação de danos causados por geada (Tardin et al. 1975 e 1976), avaliação de áreas preparadas para plantio (Assunção & Duarte 1983), e estimativa de produtividade (Rudorff & Batista 1988), entre outros.

Em 22 de fevereiro de 1986, a França lançou o primeiro satélite SPOT (Systeme Proatoire d'Observation de la Terre).

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da primeira avaliação de produtos SPOT em comparação com o TM/Landsat na discriminação de culturas no sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O satélite SPOT

O SPOT, segundo o Guide des Utilisateurs de Données SPOT (1986), está colocado em uma órbita quase polar, elíptica e heliossíncrona ou seja, o satélite passa sobre um determinado ponto do terreno sempre à mesma hora local. O período nominal de revolução do SPOT é de 101,4 minutos, o que permite completar mais de 14 revoluções em torno da terra por dia. A cobertura completa do planeta é feita a cada 26 dias. O satélite cruza o equador nas órbitas descendentes às 10 horas e 30 minutos, com uma tolerância de 15 minutos e 3 km de precisão no solo. A altitude nominal aproximada do SPOT no equador é de 830 km, com uma velocidade aparente no ponto subsatélite de 6,7 km/seg. Dentre os subsistemas, o satélite apresenta instrumentos de imageamento denominados HRV (Haute Résolution Vi-

sible). O satélite carrega dois HRV idênticos; cada um, por sua vez, é dotado de dois sensores: um multiespectral, de três bandas, e outro, pancromático.

As grandes inovações do SPOT, em comparação com outros sistemas orbitais em operação para fins pacíficos, referem-se ao sistema de imageamento que possui o recurso de obter imagens em visada lateral, o que permite aumentar a frequência de observações de uma determinada área de interesse, além de permitir a visão estereoscópica. Além disso, houve uma substancial melhoria da resolução espacial.

O sistema de varredura (imageamento) é eletrônico e feito por câmeras denominadas de CCD (Charge Coupled Device), que amostram, simultaneamente, todos os elementos de resolução contidos em uma linha imageada, o que conduz a uma maior confiabilidade da geometria interna da imagem (menor distorção) quando comparado ao MSS e ao TM do Landsat, de varredura mecânica.

O modo pancromático (PAN) apresenta resolução espacial de 10 m, e o modo multiespectral (XS), de 20 m (o TM do Landsat possui resolução espacial de 30 m). A possibilidade de visadas oblíquas, de até 27°, tanto no sentido leste quando oeste, permite que, em um ciclo de 26 dias, se tenha uma alta repetitividade de imageamento de uma mesma área (até sete vezes no equador), aspecto relevante em regiões de alta frequência de cobertura de nuvens. Também a possibilidade de imageamento em visada lateral permite a elaboração de bases cartográficas plani-altimétricas, por restituição, as quais eram feitas a partir de fotografias aéreas convencionais.

O modo multiespectral opera em três bandas do espectro eletromagnético: duas no visível (500 - 590 nm e 610 - 690 nm) e uma no infravermelho próximo (790 - 890 nm), enquanto que o modo pancromático, de um canal, é sensível à radiação compreendida entre 510 e 730 nm.

O instrumento HRV, operando na vertical, permite imagear duas faixas de 60 km cada, com 3 km de superposição entre elas (Fig. 1a). O imageamento em visada lateral máxima de 27° permite obter imagens de 81 km de largura e distantes 475 km da vertical para o leste ou oeste (Fig. 1b).

Área-teste

Para a investigação do uso do SPOT na discriminação de culturas no sul do Brasil, foi escolhida uma área-teste correspondente a uma cena SPOT com dimensões aproximadas de 60 km x 60 km. Localizada no noroeste do estado do Paraná, ela se caracteriza por intensa atividade agrícola, destacando-se as

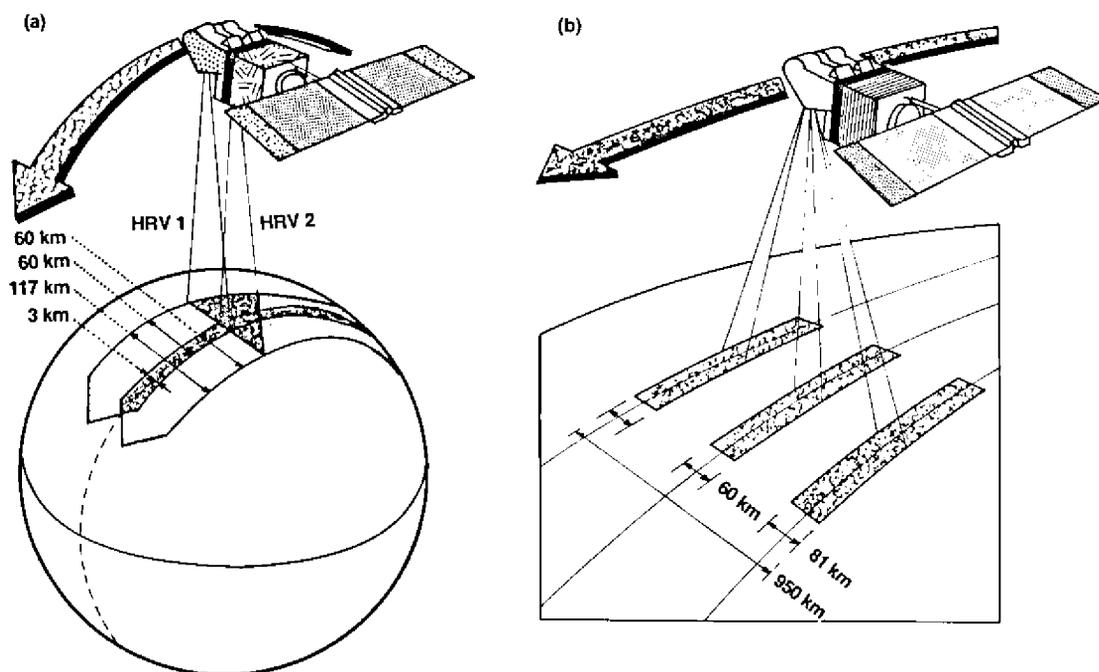


FIG. 1. Esquema de imageamento vertical (a) e em visada lateral (b) do satélite SPOT.

culturas de trigo (*Triticum aestivum* L.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), café (*Coffea arabica* L.), e pastagem (várias espécies). A maior parte da área possui solos de grande potencial agrícola (Latosolo Roxo), cultivados com alto nível tecnológico, incluindo sistemas avançados de práticas conservacionistas.

Produtos de satélites e dados de campo

Foram utilizadas duas aquisições do SPOT de 10.07.86 (visada de 5,3°) e 15.07.86 (visada de 12,8°), ambas para leste, e uma do TM de 02.08.86. As imagens foram analisadas tanto na forma analógica (análise visual) quanto na forma digital (análise automática). Produtos analógicos eram disponíveis em papel na escala de 1:100.000 e em transparências na escala de 1:400.000. Somente as bandas 2, 3, 4 e 5 do TM foram investigadas, em face de redundâncias apresentadas pelas bandas 1 e 7 para alvos agrícolas (Chen et al. 1986). A banda no infravermelho térmico (banda 6), com resolução espacial de 120 m, não foi considerada neste experimento, uma vez que a interpretação e o tratamento de seus dados são bem mais complexos. Uma descrição detalhada das ca-

racterísticas do TM/Landsat é apresentada por American Society of Photogrammetry (1983).

Informações de campo referentes a variedade, data de plantio, estágio fenológico, espaçamento, orientação de plantio, percentagem de cobertura do solo, etc., foram coletadas durante o ciclo de crescimento das culturas.

Análise visual e digital

A interpretação visual foi conduzida utilizando-se 150 talhões agrícolas, dos quais 50 foram selecionados para treinamento de quatro fotointérpretes com experiência anterior, porém, sem conhecimento da área-teste ou dos produtos SPOT. Do total de 50 talhões, 30 corresponderam às culturas de café, cana-de-açúcar, e pastagem (dez cada uma) e 20 para o trigo. Quatro produtos foram analisados: dois, do modo multiespectral (XS); um, do modo pancromático (PAN); e um, do Landsat- TM. Os produtos do modo multiespectral e do TM foram imagens apresentadas na forma de composições coloridas, obtidas a partir de combinações de diferentes filtros aplicados em imagens transparentes de canais originais em branco-e-preto. Cada intérprete recebeu treina-

mento sobre os produtos do SPOT e TM antes de se iniciar a interpretação dos 100 talhões restantes.

Técnica de análise digital foi aplicada aos dados do SPOT e do TM utilizando um sistema interativo de análise de imagens multispectrais denominado Image-100. Setenta e cinco talhões (15 para cada categoria de café, pastagem, e cana-de-açúcar e 30 para trigo) foram selecionados para análise. Média e variância foram obtidas para cada banda espectral e cultura. A separabilidade entre as culturas foi determinada utilizando um classificador de máxima verossimilhança. Em ambas as análises, foram calculadas as percentagens de identificação e classificação corretas e os erros de inclusão para todas as culturas e produtos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise visual

A Tabela 1 mostra as matrizes de classificação para cada produto analisado. A percen-

tagem de identificação correta (PIC) e o erro de inclusão (EI) foram computados talhão por talhão, isto é, cada campo de cultivo era aceito como uma determinada cultura ou não. Pode-se verificar, por esta tabela, que, considerando todas as culturas juntas, não houve muita diferença do desempenho total entre os produtos analisados; a PIC variou de 68% a 77%. No entanto, quando uma cultura específica é considerada, pode-se ver que existe uma grande diferença entre os produtos.

A Tabela 2 mostra os resultados da percentagem de identificação correta obtida da análise visual para cada produto, considerando os quatro intérpretes conjuntamente, uma vez que não houve diferença no desempenho dos diversos intérpretes. Embora a visada lateral (SPOT de 15.07.86) apresentasse um melhor desempenho, ao se examinar a PIC total e a estatística Kappa (K) dos produtos, não foi

TABELA 1. Matrizes de identificação visual mostrando a percentagem de identificação correta (PIC) e o erro de inclusão (EI), considerando todos os intérpretes e 100 talhões testes para as culturas de café (CF), pastagem (P), trigo (T), e cana-de-açúcar (C).

Classes	SPOT XS (15.07.86)					Classes	TM (02.08.86)				
	1	2	3	4	EI		1	2	3	4	EI
1-CF	63,8	0,0	27,5	3,8	23,6	1-CF	57,5	0,0	42,5	0,0	13,2
2-P	0,0	82,5	2,5	15,0	22,4	2-P	0,0	81,3	0,0	18,8	35,6
3-T	6,9	8,8	81,3	3,1	20,7	3-T	4,4	17,5	74,4	3,8	26,1
4-C	7,5	6,3	12,5	73,8	25,3	4-C	0,0	10,0	10,0	80,0	24,7
PIC = 77%						PIC = 73%					
Classes	SPOT XS (10.07.86)					Classes	SPOT PAN (10.07.86)				
	1	2	3	4	EI		1	2	3	4	EI
1-CF	47,5	1,3	50,0	1,3	9,5	1-CF	38,8	1,3	57,5	2,5	36,7
2-P	0,0	82,5	1,3	16,3	32,0	2-P	1,3	83,8	3,8	11,3	16,2
3-T	1,3	12,5	77,5	8,8	26,6	3-T	6,9	3,1	78,1	11,9	34,2
4-C	2,5	12,5	5,0	80,0	30,4	4-C	7,5	8,8	20,0	63,8	37,0
PIC = 73%						PIC = 68%					

TABELA 2. Percentagem de identificação visual correta (PIC) e estatística Kappa (K) para todos os produtos analisados, correspondentes às culturas de café (CF), pastagem (P), trigo (T), e cana-de-açúcar (C).

Produtos	PIC (%)				
	CF	P	T	C	K
SPOT XS (15.07.86)	69	83	81	74	0,68
TM 2, 3, 4	58	81	74	80	0,63
SPOT XS (10.07.86)	48	83	78	80	0,62
SPOT PAN	39	84	78	64	0,55

encontrada diferença significativa ao nível de 95%.

Análise digital

A Tabela 3 mostra as respostas espectrais (contagem digital) das culturas obtidas de todos os produtos analisados, no formato de fitas compatíveis com computador (CCTs). A Fig. 2 apresenta graficamente as respostas espectrais dos diferentes tipos de cultura estudados. Embora a cultura do trigo apresentasse grande variação nas datas de plantio, as duas classes, definidas em função do estágio de desenvolvimento (T1 = fase vegetativa e T2 = floração e início de frutificação), foram consideradas como uma, pois não apresentavam diferenças espectralmente.

As bandas no infravermelho próximo, tanto do SPOT quanto do TM, foram as mais informativas (maiores variâncias). No entanto, individualmente, a banda 2 do SPOT e a correspondente do TM, banda 3, foram as melhores na discriminação das culturas analisadas neste trabalho. Espectralmente, pastagem foi a classe mais discernível de todas as demais culturas, mas não foi possível discriminá-la de cana-de-açúcar ao analisar uma única banda. Observa-se, neste experimento, que não houve mudança sensível nas respostas espectrais obtidas

TABELA 3. Respostas espectrais (contagem digital) das bandas SPOT e TM de todos os produtos analisados para as culturas de café (CF), pastagem (P), trigo (T1 e T2) e cana-de-açúcar (C).

Classes	SPOT XS (15.07.86)					
	X ₁	S ₁ ²	X ₂	S ₂ ²	X ₃	S ₃ ²
CF	24,0	2,2	17,0	7,6	47,4	15,6
P	31,9	4,1	28,4	8,1	46,1	24,4
T1	26,7	1,2	18,7	5,1	50,8	55,7
T2	26,3	1,9	18,6	8,0	53,6	60,3
C	29,2	3,4	20,5	6,0	59,9	67,4

Classes	SPOT XS (10.07.86)						
	X ₁	S ₁ ²	X ₂	S ₂ ²	X ₃	S ₃ ²	X _{PAN}
CF	23,3	2,4	16,2	6,8	48,1	27,3	23,8
P	30,6	3,6	26,2	8,6	46,6	22,8	33,9
T1	25,6	1,4	17,0	5,4	51,8	70,8	24,5
T2	28,2	1,6	16,6	5,6	55,4	73,5	24,1
C	28,2	3,9	19,2	5,1	61,1	88,6	28,3

Classes	TM (02.08.86)						
	X ₂	S ₂ ²	X ₃	S ₃ ²	X ₄	S ₄ ²	X ₅
CF	18,3	1,1	17,4	7,2	44,3	21,4	37,8
P	25,9	2,2	33,6	8,7	41,9	21,6	78,6
T1	20,4	2,9	20,7	15,2	40,4	34,4	34,8
T2	22,0	5,7	25,1	28,7	38,2	42,8	38,9
C	24,0	2,5	24,5	10,7	58,0	76,9	52,4

OBS.: subscrito indica a banda do sensor.

nas duas passagens do SPOT (diferença de cinco dias), o mesmo não acontecendo com dados do TM, que foram adquiridos 23 dias após a primeira passagem do SPOT. Esta diferença foi mais acentuada para a classe T2 na banda 4, provavelmente em decorrência de uma maior exposição do solo, ocasionada pelo amadurecimento (senescência) da cultura e, conseqüentemente, maior absorção da energia nesta faixa do infravermelho próximo, em de-

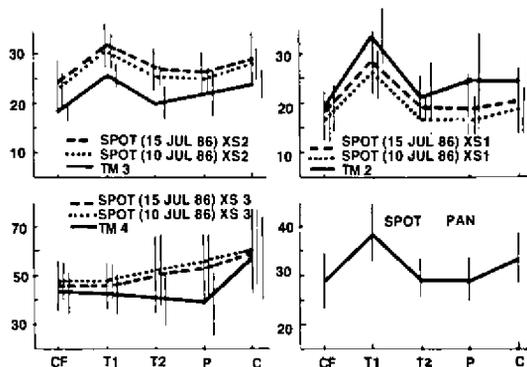


FIG. 2. Respostas espectrais (média e intervalo de confiança ao nível de 95%) das culturas de café (CF), trigo (T1 e T2), pastagem (P), e cana-de-açúcar (C) de todos os produtos analisados.

corrência da presença de teores elevados de óxido de ferro destes solos.

A Tabela 4 mostra a percentagem de classificação correta de diferentes combinações de bandas de todos os produtos analisados, consideradas todas as culturas conjuntamente. Pode-se verificar que a discriminação de culturas usando uma única banda é bastante limitada. Um melhor desempenho já é observado quando são tratadas duas bandas, mas o melhor desempenho de classificação foi obtido quando se utilizaram três bandas do TM (uma no visível, uma no infravermelho próximo e outra no infravermelho médio), o que confirma resultados alcançados por Chen et al. (1986).

Os resultados da Tabela 5 devem ser interpretados em base relativa, pois não houve esforço no sentido de aumentar a exatidão de classificação, mas somente comparar os níveis de discriminação obtidos para as culturas ao analisar os diferentes produtos nas diferentes combinações de bandas.

A Tabela 6 resume os resultados da análise digital, mostrando a percentagem de classificação correta (PCC) para todos os produtos e culturas analisados, onde se pode verificar a importância de uma banda no infravermelho

TABELA 4. Classificação correta global (%) obtida de diferentes combinações de bandas para todos os produtos e culturas.

Combinações de bandas	SPOT HRV		LANDSAT TM	
	10.07.86	15.07.86	02.08.86	Combinações de bandas
1	71,6	66,1	2	69,8
2	47,1	52,0	3	58,3
3	42,4	40,8	4	50,0
PAN	64,7	-	5	62,9
23	75,6	77,6	3,4	78,1
123	83,5	85,1	2,3,4	84,7
123 PAN	85,3	-	2,4,5	94,5
-	-	-	2,3,4,5	93,9

médio para efeito de discriminação das culturas analisadas neste trabalho.

CONCLUSÕES

Análise visual

1. Não foi observada diferença significativa no nível de 95% entre os quatro produtos analisados, para todas as culturas, bem como não se verificou efeito da visada oblíqua de 12,8° em relação à vertical.

2. Considerando cada cultura individualmente, café foi melhor discriminado com SPOT (10.07.86) XS e TM, pastagem com SPOT PAN, trigo com SPOT (15.07.86) XS e TM e a cana-de-açúcar apresentou bons desempenhos com SPOT (10.07.86 e 15.07.86) e TM.

Análise digital

3. Individualmente, as bandas do visível, tanto do SPOT quanto do TM, foram melhores do que os canais do infravermelho próximo na discriminação espectral de café e pastagem.

TABELA 5. Matrizes de classificação mostrando as percentagens de classificação correta (PCC) e os erros de inclusão (EI) para todos os produtos e as culturas de café (CF), pastagem (P), trigo (T), e cana-de-açúcar (C).

TABELA 5. Matrizes de classificação mostrando as percentagens de classificação correta (PCC) e os erros de inclusão (EI) para todos os produtos e as culturas de café (CF), pastagem (P), trigo (T), e cana-de-açúcar (C).

TM (02.08.86) 2,4,5						SPOT HRV (10.07.86) 1,2,3 PAN					
Classes	1	2	3	4	EI	Classes	1	2	3	4	EI
1-CF	83,5	0,0	16,4	0,0	1,8	1-CF	78,7	0,2	19,3	1,8	12,9
2-P	0,0	96,4	0,0	3,5	3,7	2-P	0,7	90,4	1,1	7,6	8,4
3-T	1,5	1,5	96,2	0,8	18,3	3-T	7,9	2,3	86,4	3,3	26,6
4-C	0,0	2,2	5,2	92,6	4,4	4-C	3,1	5,8	11,0	79,9	13,7
PCC = 94,5%						PCC = 85,3%					

SPOT HRV (10.07.86) 1,2,3						TM (02.08.86) 2,3,4					
Classes	1	2	3	4	EI	Classes	1	2	3	4	EI
1-CF	76,6	0,3	22,6	0,3	12,4	1-CF	81,9	0,0	18,1	0,0	10,2
2-P	0,2	88,3	4,6	6,8	9,0	2-P	0,0	92,4	5,0	2,5	13,2
3-T	7,4	2,6	88,0	2,0	35,8	3-T	9,3	8,2	81,0	1,4	27,7
4-C	3,2	5,8	21,8	69,1	11,6	4-C	0,0	5,9	8,0	86,1	4,3
PCC = 83,5%						PCC = 84,7%					

SPOT HRV (15.07.86) 1,2,3						SPOT HRV (10.07.86) PAN					
Classes	1	2	3	4	EI	Classes	1	2	3	4	EI
1-CF	79,8	0,4	19,6	0,2	6,7	1-CF	36,9	1,1	39,4	22,6	37,6
2-P	0,4	90,5	3,5	5,5	9,1	2-P	0,0	84,3	0,3	15,4	23,4
3-T	5,0	3,8	88,0	3,4	33,5	3-T	18,1	2,0	63,5	16,4	45,9
4-C	0,5	4,9	21,2	73,4	11,0	4-C	4,1	22,7	14,2	59,0	48,0
PCC = 85,1%						PCC = 64,7%					

TABELA 6. Percentagem de classificação correta (PCC) para todos os produtos e culturas analisados.

Produtos	PCC (%)				
	CF	P	T	C	Global*
TM 2,4,5	84	96	96	93	95
TM 2,3,4	82	92	81	86	85
SPOT (10.07.86) XS, PAN	79	90	86	80	85
SPOT (15.07.86) XS	80	91	88	73	85
SPOT (10.07.86) XS	77	88	88	69	84
SPOT (10.07.86) PAN	37	84	64	59	65

* Considerando as quatro categorias de culturas conjuntamente e usando o número de pixels de cada classe na ponderação.

4. O desempenho global (considerando todas as categorias de culturas conjuntamente) foi similar entre o SPOT (85,1%) e o TM (84,7%) usando as bandas espectrais do SPOT e as três bandas equivalentes do TM.

5. A utilização de uma banda no infravermelho médio (banda 5 do TM) no lugar da banda 2 no visível melhorou o desempenho global de classificação em 10% aproximadamente, sendo que o ganho mais significativo foi verificado para trigo.

6. Dada a inexistência de software apropriado para testar a informação espacial de dados do SPOT, a maioria das análises comparativas foi baseada somente em análise espectral. Porém, a utilização de imagens SPOT

mostrou o benefício da melhor resolução espacial, especialmente do canal pancromático.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, Falls Church, VA. **Manual of remote sensing**. Falls Church, VA, 1983. v.1.
- ASSUNÇÃO, G.V. & DUARTE, V. **Avaliação de áreas preparadas para plantio (*Solona*) utilizando dados do satélite Landsat**. São José dos Campos, INPE, 1983, (INPE-2637-TDL/113)
- CHEN, S.C. Separabilidade espectral de culturas de verão a partir de dados digitais do satélite TM - Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, Natal, 1988. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 1988. v.1, p.211-16.
- CHEN, S.C.; BATISTA, G.T.; TARDIN, A.T. Landsat band combinations for crop discrimination. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR RESOURCES DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. ISPRS, 17, Commission 7, Enschede, Netherlands, 1986. **Proceedings...** Rotterdam, A.A. Balkema, 1986. p.211-14.
- GUIDE des Utilisateurs de Données SPOT: manual de Reference. s.l.; CNES, 1986. v.1.
- MENDONÇA, F.J.; ROSENTAL, D.A.; FARIA, K.; COVRE, M.; SANTOS, R.; RODRIGUES, R.L.V. **CANASATE**; mapeamento de cana-de-açúcar - Área III. São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE-4068-RPE 1526).
- MOREIRA, M.A. **Sistema de amostragem para estimar a área da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) através de dados do Landsat**. s.l., INPE, 1983. (INPE-2941-TDL/150). Tese Mestrado.
- MOREIRA, M.A. & CROSSETTI, M.L. Arroz irrigado-identificação e mapeamento através de dados espectrais e temporais do TM-Landsat. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4, Gramado, 1986. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 1988. v.1, p.65.
- RUDORFF, B.F.T. & BATISTA, G.T. Dados Landsat - TM e agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura do trigo ao nível de propriedades rurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, Natal, 1988. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 1988. v.1, p.211-16.
- TARDIN, A.T.; BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; SANTOS, A.P.; SANTOS, J.R.; CHEN, S.C.; HERNANDEZ FILHO, P.; HARA, H. **Uso de sensoriamento remoto para avaliação de danos causados pela geada no NO do Paraná**. São José dos Campos, INPE, 1975. Part. 1 (INPE-745-NTE/027)
- TARDIN, A.T.; PALESTINO, C.V.B.; SONNENBURG, C.R. **Levantamento de áreas ocupadas com café e trigo no Noroeste do Paraná por análise automática de dados do satélite Landsat**. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-815-NTE/065)

razão disto, a digestibilidade das espécies tropicais é mais baixa do que a das cultivadas em regiões de clima temperado (Minson & McLeod 1970).

Com o propósito de reduzir os efeitos da prolongada estiagem no desempenho dos animais, o Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPQ) vem desenvolvendo pesquisas no sentido de determinar o valor nutritivo de forrageiras nativas e exóticas, disponíveis na região, com o propósito de identificar as que potencialmente possam vir a ser utilizadas na alimentação de caprinos e ovinos.

Salviano et al. (1986) referem-se a maniçoba como sendo uma forrageira de boa apetitividade para os animais (folhas e caules tenros) encerrando 20,8% de proteína bruta e uma digestibilidade "in vitro" da matéria seca de 62,3%, e não apresentando nenhum problema de toxidez para os animais.

Este trabalho foi conduzido para determinar o valor nutritivo da maniçoba para ovinos e caprinos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos localizado na região semi-árida do Nordeste do Brasil, em Sobral, Ceará. A região é caracterizada por apresentar altas temperaturas durante todo o ano, com uma precipitação média anual de 758,8 mm, concentrada de janeiro a junho. As temperaturas médias da máxima e da mínima são, respectivamente, de 35 e 22°C, durante todo o ano, com pequenas variações (Figueiredo & Pant 1982).

Foram utilizados quatorze animais, machos, adultos, sendo sete ovinos Santa Inês e sete caprinos Sem Raça Definida (SRD) com pesos médios iniciais de 39,6 e 22,6 kg, respectivamente.

Foi coletada a parte aérea da forrageira, a qual se encontrava em estágio de amadurecimento dos frutos, onde predominava a folhagem e ramos de crescimento recente. Após a colheita, o material foi triturado em moinhos providos de martelos e, em seguida, fenado ao sol.

Os animais foram alojados em gaiolas de metabolismo por um período de 21 dias, sendo 14 de adaptação e 7 de coleta de dados (Harris 1970). A forra-

geira foi oferecida aos animais "ad libitum" como único alimento. Os animais foram pesados em dois dias consecutivos, no início e ao final da fase de coleta de dados e tiveram livre acesso à água e ao sal mineral. Foram tomadas amostras compostas do alimento oferecido e recusado. As amostras assim coletadas foram trituradas em moinhos, através de uma peneira de 1 mm, e em seguida, analisadas para determinação de fibra em detergente neutro (FDN), hemicelulose, celulose, lignina em permanganato (Goering & Van Soest 1970); N total (Association of Official Agricultural Chemists 1970) e energia bruta (Harris 1970). Diariamente, foi feita coleta total de fezes e urina. A urina foi acidificada com 20 ml de ácido sulfúrico diluído em água (1:1), e em seguida, analisada para determinação de N total. As fezes foram secadas em estufa, com ventilação forçada, a 50°C, trituradas conforme descrito para o alimento e analisadas para nitrogênio total. A energia digestível e a proteína digestível da forrageira foram calculadas com base na digestibilidade aparente da energia e da proteína bruta, respectivamente. O delineamento experimental adotado foi completamente casualizado com sete repetições. As variáveis estudadas foram: consumo, digestibilidade e balanço de N. Os dados foram analisados segundo Steel & Torrie (1980).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados relativos à composição química encontram-se na Tabela 1, os referentes a

TABELA 1. Composição química e valor energético da maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*), com base na matéria seca.

Matéria seca (%)	93,30
Cinzas (%)	7,50
Nitrogênio total (%)	1,92
Nitrogênio ligado à FDA (%)	0,78
Proteína bruta (%)	12,00
Proteína digestível (%)	5,25
Fibra em detergente neutro (%)	58,60
Hemicelulose (%)	11,30
Celulose (%)	28,70
Lignina em KMnO ₄	17,10
Energia digestível (Mcal/kg)	2,00

razão disto, a digestibilidade das espécies tropicais é mais baixa do que a das cultivadas em regiões de clima temperado (Minson & McLeod 1970).

Com o propósito de reduzir os efeitos da prolongada estiagem no desempenho dos animais, o Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPQ) vem desenvolvendo pesquisas no sentido de determinar o valor nutritivo de forrageiras nativas e exóticas, disponíveis na região, com o propósito de identificar as que potencialmente possam vir a ser utilizadas na alimentação de caprinos e ovinos.

Salviano et al. (1986) referem-se a maniçoba como sendo uma forrageira de boa apetitividade para os animais (folhas e caules tenros) encerrando 20,8% de proteína bruta e uma digestibilidade "in vitro" da matéria seca de 62,3%, e não apresentando nenhum problema de toxidez para os animais.

Este trabalho foi conduzido para determinar o valor nutritivo da maniçoba para ovinos e caprinos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos localizado na região semi-árida do Nordeste do Brasil, em Sobral, Ceará. A região é caracterizada por apresentar altas temperaturas durante todo o ano, com uma precipitação média anual de 758,8 mm, concentrada de janeiro a junho. As temperaturas médias da máxima e da mínima são, respectivamente, de 35 e 22°C, durante todo o ano, com pequenas variações (Figueiredo & Pant 1982).

Foram utilizados quatorze animais, machos, adultos, sendo sete ovinos Santa Inês e sete caprinos Sem Raça Definida (SRD) com pesos médios iniciais de 39,6 e 22,6 kg, respectivamente.

Foi coletada a parte aérea da forrageira, a qual se encontrava em estágio de amadurecimento dos frutos, onde predominava a folhagem e ramos de crescimento recente. Após a colheita, o material foi triturado em moinhos providos de martelos e, em seguida, fenado ao sol.

Os animais foram alojados em gaiolas de metabolismo por um período de 21 dias, sendo 14 de adaptação e 7 de coleta de dados (Harris 1970). A forra-

geira foi oferecida aos animais "ad libitum" como único alimento. Os animais foram pesados em dois dias consecutivos, no início e ao final da fase de coleta de dados e tiveram livre acesso à água e ao sal mineral. Foram tomadas amostras compostas do alimento oferecido e recusado. As amostras assim coletadas foram trituradas em moinhos, através de uma peneira de 1 mm, e em seguida, analisadas para determinação de fibra em detergente neutro (FDN), hemicelulose, celulose, lignina em permanganato (Goering & Van Soest 1970); N total (Association of Official Agricultural Chemists 1970) e energia bruta (Harris 1970). Diariamente, foi feita coleta total de fezes e urina. A urina foi acidificada com 20 ml de ácido sulfúrico diluído em água (1:1), e em seguida, analisada para determinação de N total. As fezes foram secadas em estufa, com ventilação forçada, a 50°C, trituradas conforme descrito para o alimento e analisadas para nitrogênio total. A energia digestível e a proteína digestível da forrageira foram calculadas com base na digestibilidade aparente da energia e da proteína bruta, respectivamente. O delineamento experimental adotado foi completamente casualizado com sete repetições. As variáveis estudadas foram: consumo, digestibilidade e balanço de N. Os dados foram analisados segundo Steel & Torrie (1980).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados relativos à composição química encontram-se na Tabela 1, os referentes a

TABELA 1. Composição química e valor energético da maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*), com base na matéria seca.

Matéria seca (%)	93,30
Cinzas (%)	7,50
Nitrogênio total (%)	1,92
Nitrogênio ligado à FDA (%)	0,78
Proteína bruta (%)	12,00
Proteína digestível (%)	5,25
Fibra em detergente neutro (%)	58,60
Hemicelulose (%)	11,30
Celulose (%)	28,70
Lignina em KMnO ₄	17,10
Energia digestível (Mcal/kg)	2,00

consumo, digestibilidade e balanço de N na Tabela 2.

A fibra em detergente neutro (Tabela 1) foi ligeiramente superior aos valores verificados por Barros et al. (1986) para o mata pasto (*Cassia* sp) e para a cunhã (*Clitoria ternatea*), esta última sendo cortada com um intervalo entre corte, de 70 dias. Por outro lado, o valor encontrado (58,6%) foi mais baixo do que o da folhagem de juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) em aproximadamente 14%. Dos demais componentes da parede celular, a lignina apresentou-se muito elevada. Esta é uma característica das espécies lenhosas vez que das cinco forrageiras referidas por Barros et al. (1986), as espécies lenhosas apresentaram os mais altos teores de lignina em relação às leguminosas arbustivas e ao sorgo forrageiro. Neste estudo o valor encontrado para a maniçoba foi ainda 20% mais elevado que o encontrado para as espécies lenhosas, referido por Barros et al. (1986).

Em termos de concentração de proteína bruta a maniçoba assemelha-se à folhagem de

juazeiro (Barros et al. 1986) e a vagem de juazeiro preta (Vale et al. 1985). No entanto, a proteína digestível da forrageira em discussão foi baixa (5,25%) em decorrência do alto teor de N ligada à FDA (Tabela 1).

Entre caprinos e ovinos, não foi detectada diferença significativa ($P > 0,05$) para a variável consumo de matéria seca (Tabela 2). Os consumos de matéria seca de 99,3 e 97,6 g/kg^{0,75}/dia para caprinos e ovinos, respectivamente, são considerados altos. Estes valores apresentaram superioridade de mais de 20% sobre as referidas por Barros et al. (1986), para a cunhã, mata pasto e juazeiro e por Araújo & Vieira (1987a e b) para orelha de onça (*Macroptilium martii*) e camaratuba (*Cratilia mollis*).

O consumo é dependente tanto da quantidade da parede celular (Van Soest 1983) como do teor de lignina da forrageira, havendo uma forte correlação negativa entre a parede celular ou lignina e o consumo de matéria seca; porém, esta correlação é mais acentuada quando se trata da matéria estrutural total da plan-

TABELA 2. Consumo, digestibilidade e balanço de nitrogênio da maniçoba por caprinos e ovinos*.

Variáveis**	Espécie animal	
	Ovino	Caprino
Consumo de matéria seca		
- g/kg ^{0,75} /dia	97,6 ± 3,3 ^a	99,3 ± 6,2 ^a
- % do peso corporal/dia	3,9 ± 0,2 ^a	4,6 ± 0,3 ^a
Digestibilidade de matéria seca (%)	47,4 ± 1,6 ^a	51,4 ± 2,4 ^a
Digestibilidade de energia bruta (%)	46,4 ± 2,0 ^a	43,8 ± 4,2 ^a
Consumo de energia digestível (kcal/kg ^{0,75} /dia)	209,7 ± 14,5 ^a	190,1 ± 24,3 ^a
Consumo de nitrogênio (N)		
- g/animal/dia	33,0 ± 0,9 ^a	22,8 ± 1,8 ^a
- g/kg ^{0,75} /dia	2,1 ± 0,07 ^a	2,2 ± 0,1 ^a
Digestibilidade do N (%)	41,9 ± 1,3 ^a	45,8 ± 2,9 ^a
Bal. de N (g/animal/dia)	-1,3 ± 1,7 ^a	0,16 ± 1,5 ^a
N fecal		
- % do N excretado	56,7 ± 2,3 ^a	54,8 ± 3,9 ^a
N urinário		
- % do N excretado	43,3 ± 6,8 ^a	45,2 ± 3,9 ^a

* Média ± erro padrão;

** Valores na mesma linha seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente ($P > 0,05$).

ta, ou seja, da parede celular (Van Soest 1965). No entanto, os dados aqui observados contrastam com os verificados por Van Soest (1965) no estudo de diferentes gramíneas, uma vez que se registraram altos teores de FDN e lignina não obstante o elevado consumo da forrageira em discussão, quando comparada aos registrados por Barros et al. (1986). Este comportamento assemelha-se, entretanto, aos dados verificados por Van Soest (1965) para a alfafa em relação a várias gramíneas, onde a alfafa teve o seu teor de lignina duplicado sem que isto viesse a refletir no consumo. Não há uma explicação plausível para o elevado consumo verificado neste estudo. O tamanho da partícula poderia constituir uma boa explicação, porém, este fator não foi controlado. Welck (1986) considera o tamanho da partícula e a gravidade específica do alimento, no rúmen, de relevante importância no controle da velocidade de passagem e, conseqüentemente, do consumo.

O consumo de energia digestível, neste trabalho, apresentou uma superioridade de 50% em relação ao verificado por Araújo & Vieira (1987a e b) para orelha de onça e camaratuba e por Araújo et al. (1987) para mororó (*Bauhinia cheilantha*), embora a densidade energética das forrageiras tenha sido inferior a da maniçoba. Este fato se deve ao elevado consumo verificado para a maniçoba em relação ao das forrageiras avaliadas por Araújo & Vieira (1987a e b).

O consumo de N não apresentou diferença significativa ($P > 0,05$) entre caprinos e ovinos. A digestibilidade deste nutriente (Tabela 2) foi baixa quando comparada com a alfafa que varia de 75,9 a 65,8% para os estádios de maturidade de pré-floração a maduro, respectivamente (National Research Council 1985b). Por outro lado, os valores encontrados assemelham-se e, em alguns casos, são até superiores ao das forrageiras dos gêneros *Prosopis*, *Acácia* e *Ziziphus* (National Research Council 1981). Do nitrogênio total da maniçoba, 40,6% encontra-se ligado a fibra em detergente ácido, FDA, Tabela 1. O elevado teor

de N ligado a FDA decorre, em parte, das elevadas concentrações de lignina. Isto explica a baixa digestibilidade do N da maniçoba. Provavelmente, ácidos fenólicos também estejam contribuindo para a explicação deste fenômeno pela insolubilização do N no trato digestivo dos animais conforme foi demonstrado por Reed & Soller (1987). Isto sugere que a proteína de maniçoba está enquadrada na categoria de baixa solubilidade conforme classificação de Van Soest (1983). Do nitrogênio excretado, mais de 40% foi perdido pela urina (Tabela 2). Os valores encontrados apresentaram uma superioridade de 23,4 e 31,3%, respectivamente, para ovinos e caprinos, sobre a média das perdas urinárias de N de 36 publicações constantes no National Research Council (1985a). O balanço de N foi de -1,3 e 0,16 g/dia (Tabela 2) para ovinos e caprinos, respectivamente, não havendo diferença significativa ($P > 0,05$) entre espécie animal. Em ruminantes, há uma relação contínua entre consumo de energia e balanço de nitrogênio, de negativo a baixos níveis de energia a positivo a altos níveis deste nutriente (Brooster 1973). No entanto, neste trabalho energia não constitui uma boa explicação para a baixa utilização do N uma vez que, o consumo deste nutriente foi suficiente e até superou as necessidades de manutenção dos animais (National Research Council 1981, 1985a e b). Provavelmente, a explicação mais convincente para a baixa utilização do N da maniçoba esteja relacionada a presença de grandes quantidades de proteína ligada à FDA.

CONCLUSÕES

1. O feno da maniçoba apresentou boa apetitividade para caprinos e ovinos.
2. A digestibilidade da maniçoba, por caprinos e ovinos, foi baixa, provavelmente decorrente da alta concentração de lignina.
3. O conteúdo de energia digestível da maniçoba foi considerado satisfatório.
4. Os resultados sugerem que a proteína da maniçoba é de baixa degradabilidade.

5. Em termos de utilização de alimento, não houve diferença estatística ($P > 0,05$) entre caprinos e ovinos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E.C. & VIEIRA, M.E.Q. Nutritive value and voluntary intake of native forage of the semi-arid region of Pernambuco. II. Caramutaba - *Cratia mollis*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GOAT, 4. Brasília, DF, 1987. **Proceeding**. . . Brasília, EMBRAPA-DDT, 1987a. p.1408.
- ARAÚJO, E.C. de. & VIEIRA, M.E.Q. Nutritive value and voluntary intake of native forages of the semi-arid region of Pernambuco. I. *Macropitilium martii*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GOAT, 4. Brasília, DF, 1987. **Proceedings**. . . Brasília, EMBRAPA-DDT, 1987b. p.1407-8.
- ARAÚJO, E.C.; VIEIRA, M.R.Q.; SILVA, M.A. Valor nutritivo e consumo voluntário de forrageiras nativas da região semi-árida de Pernambuco. III. Mororó - *Bauhinia cheilantha* (Bong) Stend. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 24, Brasília, DF, 1987. **Anais**. . . Brasília, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1987. p.98.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS, Washington, EUA. **Official methods of analysis**. 11.ed. Washington, 1970. 1147p.
- BARROS, N.N.; KAWAS, J.R.; FREIRE, L.C.L.; ARAÚJO FILHO, J.A.; SHELTON, J.M.; JOHNSON, W.L. Digestibility and intake of various native and introduced forages by goat and hair sheep in Northeast Brazil. In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA DO PROGRAMA DE APOIO À PESQUISA COLABORATIVA DE PEQUENOS RUMINANTES, 4. Sobral, CE, 1986. **Anais**. . . Sobral, CE, EMBRAPA/SR-CRSP, 1986. p.219-26.
- BROOSTER, W.H. Protein-energy interrelationships in growth and lactation of cattle and sheep. **Proc. Nut. Soc.**, 32:115, 1973.
- FIGUEIREDO, E.A.P. & PANT, K.P. Evaluation of Goat Breeds in the Tropical North-East Brazil. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 17(5): 803-808, 1982.
- GOERING, H.K. & VAN SOEST, J.P. **Forage fiber analysis; apparatus, reagents, procedures and same application**. Washington, VS Gov. Print. off., 1970. (US Dep. Agric. Handb., 379).
- HARKIN, J.M. Lignin: In: BUTTER, G.W. & BAILEY, R.W. **Chemistry and Biochemistry of Herbage**. New York and London, Academic Press, vol. 1, 1973. p.323-73.
- HARRIS, L. **Os métodos químicos e biológicos empregados na análise de alimentos**. Gainesville, University of Florida, 1970. 147p.
- MINSON, D.L. & McLEOD, M.N. The digestibility of temperature and tropical grasses. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11, Queensland, Australia, 1970. **Proceedings**. . . Queensland, Australia, University of Queensland, 1970. p.719-22.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Subcommittee on Goat Nutrition. Washington, EUA. **Nutrients Requirements of Goats**. Washington, D.C., National Academic Press, 1981. 91p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Subcommittee on Nitrogen Usage in ruminants. Washington, EUA. **Ruminant nitrogen usage**. Washington D.C., National Academic Press, 1985a. 138p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Subcommittee on Sheep Nutrition. Washington, EUA. **Nutrient requirements of sheep**. Washington, D.C., National Academic Press, 1985b. 99p.
- NORTON, B.W. Differences between species in forage quality. In: BACKER, J.B. **Nutritional limits to Animal Production from pasture**. Farnham Royal, Slough, CAB, 1982, p.89-110.
- PANGWAY, C. & RICHARDS, G.N. Polysaccharides of tropical pasture herbage. III. The distribution of the major polysaccharide components of Townsville lucerne (*Stylosanthes humilis*) during growth. **Aust. J. Chem.**, 24:1041-48, 1971.
- REED, J. & SOLLER, H. Phenolics and nitrogen utilization in sheep fed browse. In: HOSE, H. **Herbivore nutrition research**. Austrália, Australian Society of Animal Production, 1987. p.41-8.

- SALVIANO, L.M.C.; SOARES, J.G.G.; ALBUQUERQUE, S.D. de. Disponibilidade de forragem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) numa sucessão secundária do submédio São Francisco. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 23., Campo Grande, MT, 1986. Anais. . . Campo Grande, 1986. p.266.
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. 2.ed. New York, MacGraw-Hill, 1980. 633p.
- VALE, L.V.; ARAÚJO FILHO, J.A.; ARRUDA, F.A.V.; SERPA, M.P.M. Valor nutritivo da vagem da Jurema preta. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 22, Balneário do Camboriú, SC, 1985. Anais. . . Balneário Camboriú; Sociedade Brasileira de Zootecnia, s.ed. 1985. p.336.
- VAN SOEST, J.P. **Nutritional ecology of the ruminant**. Corvallis, Oregon, O. & Books, Inc. 1983. Cap. 6, p.276-293.
- VAN SOEST, J.P. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants; Voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. *J. Anim. Sci.*, 24(3):834-43, 1965.
- WELCK, J.G. Physical parameters of fiber affecting passage from the rumen. *J. Dairy Sci.*, 69(10):27-54, 1986.