

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

DISSERTAÇÃO

**Metodologias de Avaliação da Cobertura Vegetal e do Índice de Área Foliar
no Capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.) sob Doses de Nitrogênio**

MARIANA GUIMARÃES GRACIOSA

2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

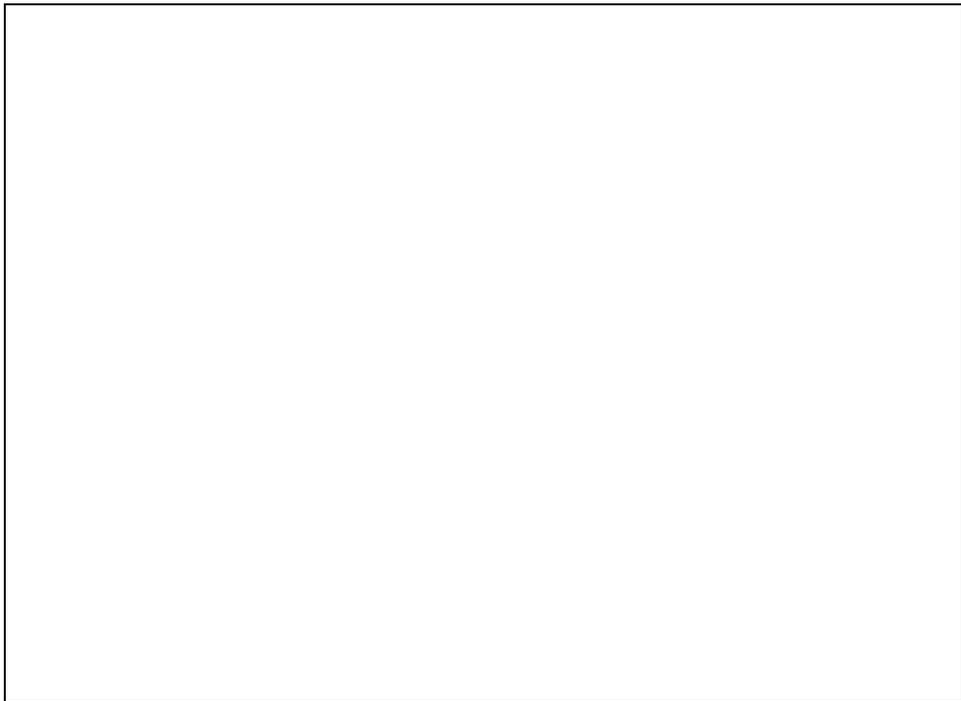
**METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E
DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NO CAPIM TIFTON 85 (*Cynodon spp*)
SOB DOSES DE NITROGÊNIO**

MARIANA GUIMARÃES GRACIOSA

Sob a Orientação da Professora
Roberto Oscar Pereyra Rossiello

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciências** no curso de Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração de Produção Animal.

Seropédica, RJ
Julho de 2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

MARIANA GUIMARÃES GRACIOSA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de Concentração em Produção Animal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM ____/____/____.

Prof. Dr. Roberto Oscar Pereyra Rossiello - UFRRJ
(Orientador)

Prof. Dr. Carlos Alberto Alves Varella - UFRRJ

Prof. Dr. Darly Geraldo de Sena Júnior - UFG

DEDICATÓRIA

A Deus,
Aos meus pais Maria Cristina Medeiros Guimarães e José Gomes Graciosa.
Aos meus irmãos Maria Clara, Cristina, Maria Alice e José Matheus.
Ao meu sobrinho João Pedro, minha vó Olíria, tia Dete e outra mãe Zezé.

MINHA GRATIDÃO E HOMENAGEM

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao Prof. Dr. Roberto Oscar Pereyra Rossiello pela orientação, incansável paciência e dedicação inestimável na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Luiz Massard, do Departamento de Parasitologia animal, pela concessão da área, além de toda atenção e enorme auxílio na realização deste experimento.

Aos estagiários: Henrique, Pedro, João Nonato, Tadeu, Roberto e Camila e aos funcionários da UFRRJ, Zeca e Fabinho por todo o apoio e auxílio prestado.

Ao professor Dr Francisco de Assis de Carvalho Pinto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa pelo empréstimo do equipamento para a análise multiespectral de imagens, parte essencial do presente trabalho.

Ao Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV, Marley Lamounier Machado, por todos os ensinamentos, tanto no uso de equipamentos, quanto teóricos, os quais doram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Agradecimento especial à mestranda e companheira de todos os sufocos, Cláudia Rossini Simões, pela ajuda na instalação, condução e análises deste experimento.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Varella e aos colegas Ana Paula e Leonardo Tunala, pelos ensinamentos e auxílio com o programa computacional MATLAB.

Aos amigos Marcus Sandes Pires e Maristela Peckle Peixoto por tudo o que fizeram. Foram tantos pedidos que não caberia aqui o agradecimento a cada um deles.

À minha mãe e aos funcionários da Fazenda São Vicente, Amauri, Ricardo, José (Peteca), Adriano e Paulinho pela enorme compreensão e por toda a ajuda em todo esse tempo de correria.

Ao amigo André Silva pelo auxílio com todos os equipamentos e estruturas.

Aos meus pais, irmãos, sobrinho, Dete e Zezé pela paciência, apoio e preocupação durante a jornada. Se me fosse dada a possibilidade de escolher, jamais teria escolhido família melhor.

E aos demais colegas, amigos e parentes, que me incentivaram, me apoiaram e que, de uma forma ou de outra cooperaram e contribuíram nesta caminhada.

RESUMO

GRACIOSA, Mariana Guimarães. **Metodologias de avaliação de cobertura vegetal e índice de área foliar em capim Tifton 85 (*Cynodon* spp) sob doses de nitrogênio**. 2012. 77p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

A avaliação das inter-relações entre cobertura do solo, índice de área foliar (IAF) e produção de biomassa constitui um subsídio importante para o manejo sustentável dos ecossistemas de pastagens. Para tal, são necessárias pesquisas que comparem as diversas metodologias existentes e ainda avancem sobre as possibilidades abertas pelas novas técnicas digitais próprias do sensoriamento espectral e da visão artificial. Tem sido observado que praticamente não existem trabalhos comparando métodos de estimativa do IAF em plantas forrageiras, particularmente aquelas de clima tropical. As gramíneas forrageiras do gênero *Cynodon* vêm recebendo considerável atenção em função da quantidade e qualidade da forragem produzida. O nitrogênio (N) é um macronutriente de importância central na expressão do potencial fotossintético das gramíneas forrageiras, por propiciar aumentos na eficiência da interceptação e de uso da radiação solar. Portanto, foi realizada pesquisa para verificar a hipótese de que a adição de N ao solo implica em modificações da cobertura vegetal e do IAF em relvados do capim- Tifton 85, as quais poderão ser monitoradas, com eficiência variável, por um conjunto de técnicas diretas ou indiretas. O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Parasitologia “Wilhelm Otto Neitz” do Instituto de Veterinária da UFRRJ, em parcelas experimentais previamente instaladas, com área útil de 4 m². Quatro doses de N (0, 50, 100 e 200 kg N/ha) foram combinadas com datas de amostragens num único ciclo de rebrota do capim, no mês de fevereiro de 2012. Foram coletadas informações relativas à altura do dossel, interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, biomassa e IAF verde, assim como avaliações visuais para cobertura vegetal. Conjuntamente foram obtidas imagens fotográficas dentro da banda visível e do infravermelho próximo. Foram calculados os seguintes Índices de Vegetação (IV): RVI; NDVI; GNDVI e GSAVI. Um método direto e destrutivo de determinação do IAF foi comparado com outro indireto, obtido com ceptômetro (AccuPAR L80). Os resultados obtidos permitiram concluir que: a) As estimativas da cobertura vegetal, feitas por análise de imagens fotográficas tomadas diretamente acima do relvado mostraram-se equivalentes às obtidas através de contagem das interseções do relvado com uma grade reticulada. A técnica de avaliação visual assistida forneceu estimativas superestimadas em relação com às outras duas técnicas comparadas; b) A avaliação indireta do IAF feita com um ceptômetro conduziu a valores subestimados em relação à técnica de avaliação direta e destrutiva; c) Todos os IVs estudados a partir da análise de imagens obtidas com câmara multiespectral, mostraram sensibilidade à adubação nitrogenada e se constituíram em estimadores igualmente eficientes da biomassa verde seca produzida pelo capim, evidenciando a importância da informação proveniente da reflectância infravermelha do dossel; d) Os mesmos IVs evidenciaram uma eficiência apenas parcial em relação à estimativa indireta do IAF, embora deva ser lembrado que as relações entre IV e os atributos do dossel mensurados foram produto de um único evento de observação e , portanto, carecem de novas análises para sua confirmação.

Palavras-Chave: atributos estruturais, ceptômetro, Índice de Cobertura Verde, GSAVI, método direto, NDVI

ABSTRACT

GRACIOSA, Mariana, Guimarães. **Methodologies for evaluating green cover and leaf area index of Tifton 85 (*Cynodon* spp) under nitrogen doses.** 2012. 77p. Dissertation (Master Science in Animal Science). Institute of Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

Evaluation from interrelationships between ground cover, leaf area index (LAI) and biomass production is an important subsidy for the sustainable management of grassland ecosystems. To this end, research is needed that compares the various existing methodologies and yet advance on the possibilities offered by new digital techniques typical from spectral sensing and artificial vision. It has been observed that there are virtually no studies comparing methods for estimating LAI in forage plants, especially those from tropical climates. The genus *Cynodon* grasses has been received considerable attention on the quantity and quality of forage produced. Nitrogen (N) is a macronutrient of central importance in the expression of photosynthetic potential from the grasses, since it provides increases in the efficiency of interception and use of solar radiation. Therefore, research was conducted to verify the hypothesis that adding nitrogen to soil results in changes in vegetation cover and LAI in the swards of Tifton 85, which can be monitored, with variable efficiency, with a set of direct or indirect techniques. The study was conducted at the Experimental Station of Parasitology "Otto Wilhelm Neitz" in the Institute of Veterinary from UFRRJ in plots previously installed, with an area of 4 m². Four N rates (0, 50, 100 and 200 kg N / ha) were combined with sampling dates in a single cycle of regrowth from the grass, in February 2012. Information were collected regarding the canopy height, photosynthetically active radiation interception, biomass and green LAI, as well as visual evaluation from green cover. Jointly, images were obtained in the visible band and near infrared. Were calculated the following vegetation index (VI): RVI, NDVI, and GNDVI GSAVI. A direct destructive method for estimating LAI was compared with a indirect one, obtained with a ceptometer (AccuPAR L80). Results allowed to conclude that: a) Estimates of vegetation cover, collected by analysis of images taken directly above the sward proved to be equivalent to those obtained by counting the intersections of the lawn with a grid. The technique of assisted visual assessment provided estimates overestimated compared with the other two techniques compared; b) The indirect measurement of LAI made with a ceptometer resulted in underestimated values in relation to the technique of direct evaluation and destructive; c) All VIs studied from the analysis of images obtained with multispectral camera, showed sensitivity to nitrogen and constituted equally efficient estimators of green biomass produced by the grass, evidencing the importance of information from the infrared reflectance of the canopy; d) The same IVs showed only partial efficiency in relation to the indirect estimation of LAI, although it should be remembered that the relationship between IV and the attributes of the canopy were measured in a single event of observation and, therefore, require further analysis for its confirmation.

Key words: ceptometer, direct method, Green Coverage Index, GSAVI, NDVI, structural canopy properties

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 Atributos Estruturais do Dossel.....	04
2.2 O Papel do Nitrogênio.....	04
2.3 Os Capins do Gênero Cynodon.....	05
2.4 Cobertura vegetal.....	05
2.5 Índice de Área Foliar.....	09
2.6 Propriedades Espectrais da Vegetação.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Localização da Área.....	15
3.2 Caracterização Edafoclimática.....	15
3.2.1 Solo.....	16
3.2.2 Clima regional e local.....	16
3.3 Utilização Anterior da Área Experimental.....	16
3.4 Práticas Culturais e Adubações de Correção.....	17
3.5 Tratamentos.....	17
3.6 Variáveis Experimentais Determinadas.....	18
3.7 Análises estatísticas.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Condições Ambientais Durante o Período Experimental.....	27
4.2 Efeitos das Doses de N e dos Dias Após o Corte: Níveis de Significação Estatística.....	28
4.3 Cobertura Verde.....	29
4.3.1 Métodos visuais.....	29
4.3.1.1 Avaliação visual direta, assistida com fotografias de referência (AVA).....	29
4.3.1.2 Cobertura Vegetal	31
4.3.1.3 Índice de Cobertura Verde	33
4.3 Índice de Área Foliar.....	37
4.3.1. Método direto.....	37
4.3.2. Método Indireto: AccuPAR.....	39
4.4. Câmara Multiespectral.....	42
4.4.1 Resposta à adubação nitrogenada.....	43
4.4.2 Aplicações.....	45
4.4.2.1 Relações entre IV e Produção de Biomassa Verde Seca.....	46
4.4.2.1 Relações entre IV e Índice de Área Foliar.....	47
4.4.2.1 Relações entre IV e a Interceptação da Radiação Fotossinteticamente Ativa.....	48
5 CONCLUSÕES	51
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

As gramíneas ocupam, atualmente, um quinto da superfície do planeta (KELLOGG, 2001) e sua utilização como fonte de nutrientes para animais domésticos em pastagens cultivadas ou naturais, as torna o grupo de plantas mais importante para o ser humano (AGUADO-SANTACRUZ et al., 2004), pois representa o mais abundante recurso para transformar a radiação solar em proteína animal.

O Brasil tem a pecuária alicerçada no pastejo de gramíneas forrageiras, uma vez que os sistemas de produção de carne e leite onde a pastagem é o componente principal são reconhecidamente os mais econômicos. Peculiaridades são atribuídas à forma como o país conduz a produção de carne e leite possibilitando a competitividade internacional destes produtos (SILVA Jr. et al., 2007).

Essas pastagens, se devidamente manejadas, podem permanecer sustentáveis por muitos anos. Todavia, grande parte das pastagens cultivadas em diferentes regiões do Brasil, tem mostrado sinais de degradação após poucos anos de uso (MACEDO, 2005). A perda progressiva da capacidade de suporte das pastagens é responsável por prejuízos econômicos e sociais nas regiões dependentes da produção pecuária. As razões causais desse processo têm sido atribuídas, principalmente, à redução da fertilidade de solos, em particular do teor de nitrogênio, e ao excesso de pastejo. Em ecossistemas de pastagens, a porcentagem de solo descoberto pode indicar efeitos de superpastejo e, conseqüentemente, da degradação do pasto, além se constituir, *per se* em um importante guia para a determinação do potencial erosivo do solo e da interceptação de chuvas (MARTHA JÚNIOR et al., 1999). Com efeito, a porção descoberta deixa o solo suscetível ao impacto das gotas de chuva (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). Como a proporção de cobertura verde em relação ao material senescente ou morto está em constante evolução (VARELLA et. al, 2002), a disponibilidade de métodos rápidos e precisos da sua estimativa, pode contribuir para o desenho de sistemas de manejo do sistema solo/planta que auxiliem na manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas pastoris.

O índice de área foliar (IAF) é definido como a relação entre a área de uma das faces da folha e a área de solo ocupada por estas folhas (WATSON, 1947). Como tal, é considerada uma variável chave para a expressão e quantificação dos fluxos de matéria

e energia dentro do ecossistema pastoril, dada a sua relação direta com a absorção e reflexão da luz pelos relvados e com processos difusivos, ligados a trocas gasosas (BARET et al., 2007). Embora com tal importância em relação a esses processos produtivos ou ecológicos, tem sido observado que praticamente não existem trabalhos comparando métodos de estimativa do IAF em plantas forrageiras, particularmente aquelas de clima tropical (SBRISSIA e DA SILVA, 2008).

As condições estruturais e funcionais dos dosséis são afetadas dinamicamente por variáveis microclimáticas, pela disponibilidade de nutrientes e pela atividade de herbívoros, entre outras. O nutriente nitrogênio (N) destaca-se, isoladamente, como um dos principais responsáveis pelas variações espaciais e temporais dos valores de IAF. Com efeito, o N é indutor de diversos processos, ao nível metabólico e celular, os quais provocam alterações significativas na estrutura dos dosséis forrageiros, via expressão dos seus componentes morfogênicos (CRUZ e BOVAL, 2000).

Diversos estudos têm documentado o potencial de resposta à adubação nitrogenada de diversas espécies ou cultivares de *Cynodon* spp., como no caso do híbrido Tifton 85 (ALVIM et al., 1999; SILVA et al., 2011). Todavia, a magnitude das respostas obtidas com a adição de N, será sempre o produto da interação entre a forrageira e os diversos ambientes edafoclimáticos, justificando assim estudos regionais para a adequação da adubação nitrogenada (QUARESMA et al., 2011). A pesquisa tem evidenciado igualmente a importância das clorofilas na determinação do potencial fotossintético da planta, através do seu controle sobre a quantidade de radiação solar absorvida pela folha (BLACKBURN, 2007).

As propriedades espectrais da vegetação podem ser utilizadas para o monitoramento dos padrões de crescimento da vegetação ao longo do ano, assim como para estimar o rendimento das espécies, através de técnicas de sensoriamento remoto. A refletância da cultura pode ser medida por radiômetros, os quais operam em bandas espectrais específicas, ou por meio da análise de imagens orbitais, aéreas ou obtidas ao nível terrestre, através de técnicas próprias da chamada “visão artificial”. Para minimizar variações causadas por fatores externos e promover o realce dos objetos de interesse, podem ser utilizados índices espectrais, produto de combinações entre bandas espectrais (SENA JÚNIOR et al., 2008). Um dos índices mais encontrados na literatura é o “Índice de Vegetação por Diferença Normalizada” (NDVI), o qual tem sido relacionado com importantes atributos estruturais como o IAF e a fração da radiação fotossinteticamente ativa (RFA, 400-700 nm) absorvida pelo dossel (RODERICK et al.,

2000). A diferença entre a RFA incidente no topo e aquela transmitida à base do dossel, chamada RFA interceptada, é um dado essencial para o entendimento da eficiência de utilização da radiação solar pelas pastagens, e, portanto, de seu potencial de rebrota, constituindo-se assim em guia primordial para o manejo do pastejo sob lotação intermitente.

Em atenção ao exposto, o presente trabalho focaliza sobre vantagens, limitações e grau de eficiência de diferentes metodologias para a determinação da cobertura vegetal e do IAF em dosséis da gramínea forrageira Tifton-85. A hipótese subjacente é que a adição de N ao solo induzirá modificações na expressão de ambos os atributos, os quais poderão ser monitorados com eficiência variável por um conjunto de técnicas com fundamento empírico ou biológico. Para a validação de tal proposta, são objetivos do presente trabalho: *i)* realizar uma comparação entre métodos visuais e óticos de determinação da cobertura vegetal; *ii)* comparar o grau de concordância entre um método direto e outro indireto de determinação do IAF; *iii)* comparar a sensibilidade de quatro índices de vegetação à adubação nitrogenada; e *iv)* determinar a efetividade dos vários métodos estudados na estimativa indireta da massa de forragem e do IAF.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Atributos Estruturais do Dossel

De acordo com Chapman e Lemaire (1993), o desenvolvimento de pesquisas que visem elucidar o desenvolvimento de características morfogênicas, estruturais e ecofisiológicas das espécies forrageiras é de relevância para o desenho de estratégias que possibilitem maiores produtividades das pastagens. Particularmente, o estudo das características morfofisiológicas e estruturais das plantas forrageiras se faz necessário para promover o entendimento da dinâmica de produção de forragem e suas relações dentro de sistemas de produção animal em pastagens (PEDREIRA et al., 2001). Em última análise, a produtividade das gramíneas forrageiras decorre da contínua emissão de folhas e perfilhos, processo importante para a restauração da área foliar após corte ou pastejo e que garante a sua perenidade (GOMIDE e GOMIDE, 2000)

2.2 O Papel do Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um indutor de diversos processos metabólicos, com efeitos sobre a absorção de macro e micronutrientes e sobre a própria alocação de matéria e energia pelas plantas (FERNANDES e ROSSIELLO, 1986). Particularmente, o N contribui para o aumento da taxa de alongamento foliar, a expressão do tamanho final da folha e a densidade populacional de perfilhos (CHAPMAN e LEMAIRE, 1993, CRUZ e BOVAL, 2000) importantes atributos estruturais do pasto e componentes diretos do índice de área foliar (IAF) (CHAPMAN e LEMAIRE, 1993).

Por outro lado, tanto a absorção quanto a assimilação do N exige a aplicação, direta ou indireta, de energia metabólica, oriunda do processo fotossintético (FERNANDES e ROSSIELLO, 1995; GASTAL e LEMAIRE, 2002). Na medida em que as clorofilas têm um controle dominante sobre a quantidade de radiação solar que uma folha absorve, as suas concentrações, de fato, controlam o potencial fotossintético e conseqüentemente, a produção primária (BLACKBURN, 2007, HATFIELD et al, 2008). Enquanto a área verde exibida por uma cultura é um bom indicador da sua atividade fotossintética, a retenção de clorofila (um atributo conhecido como “stay-green”) é um indicador chave de sua adaptação ao estresse (LOPES e REYNOLDS, 2012). Por outra parte, a estrutura molecular das clorofilas incorpora uma proporção do N total foliar (BLACKBURN, 2007). Dessa forma, a atividade fotossintética, o

conteúdo de proteínas e de carboidratos solúveis, o N total e os teores de micronutrientes existentes na folhas são algumas das variáveis que podem ser correlacionadas com o conteúdo de clorofila no tecido foliar (ZOTARELLI et al., 2003; SUNAGA et al, 2006; HATFIELD et al, 2008; BARBIERI JÚNIOR, 2009; SILVA et al., 2011).

2.3 Os Capins do Gênero *Cynodon*

O gênero *Cynodon*, tradicionalmente conhecido como grama bermuda (*Cynodon dactylon*) e grama estrela (*C. nlemfluensis* e *C. aethiopicus*), é considerado bem adaptado às regiões tropicais e subtropicais (VILELA e ALVIM, 1998). Nos trópicos, é reconhecido como um recurso forrageiro valioso e de grande versatilidade para uma vasta gama de empreendimentos pecuários (WOUW et al., 2009). Nos últimos cinquenta anos foram realizados muitos trabalhos de melhoramento com o objetivo de modificar as características agrônômicas e qualitativas das gramas bermudas através do desenvolvimento de híbridos. A hibridização intra e interespecífica em *Cynodon* sp. possibilitou o desenvolvimento de híbridos que apresentam boas respostas à adubação e são de melhor qualidade do que linhagens de bermuda comum (WOUW et al., 2009; QUARESMA et al, 2011). O híbrido Tifton 85, objeto do presente trabalho, é uma cultivar rizomatosa, resultado do cruzamento do Tifton 68 com uma introdução de *C. dactylon*, proveniente da África do Sul (BURTON et al., 1993). Estas forrageiras são tidas como “exigentes” em fertilidade e responsivas à adubação nitrogenada (ALVIM et al.; 1999; CECATO et al., 2001; SARMIENTO et al., 2006; BASSO et al., 2007; GALZERANO et al., 2008; OLIVEIRA et al, 2010; QUARESMA et al., 2011; SILVA et al., 2011). Todavia, a magnitude das respostas obtidas com a adição de N, será sempre o produto da interação entre a espécie forrageira e os diversos ambientes edafoclimáticos. Nesse contexto, justificam-se estudos focados sobre o manejo adequado da adubação nitrogenada para as diferentes espécies forrageiras em sistemas de produção regionais (CUNHA et al., 2010; QUARESMA et al., 2011).

2.4 Cobertura vegetal

A cobertura do solo pela vegetação pode ser definida de várias maneiras, dependendo da finalidade com a qual o conceito é empregado. Em princípio, a cobertura da folhagem representa a fração do terreno coberta por folhas (LAFLEN et al. 1981; EWING e HORTON, 1999; MARTHA Jr. et al., 1999; LI et al., 2005; STEWART et

al., 2007). Como tal, esse conceito é mais restritivo que o relativo à cobertura do solo, constituído pela folhas do dossel e os resíduos vegetais associados (ROTZ et al., 2008), e que sofreria contínuas modificações, em função da decomposição dos resíduos e do próprio crescimento do dossel (VARELLA e al., 2002; PERIN et al, 2003).

Em ecossistemas de pastagens, a porcentagem ou fração de solo descoberto pode se constituir em importante guia para a determinação do potencial de erosão do solo (TOTHILL, 1987). Com efeito, a ausência da cobertura vegetal, deixa o solo desprotegido e, portanto, vulnerável ao impacto desagregador da gota de chuva (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). De acordo com Barcellos et al. (1997), o parâmetro cobertura vegetal representa um dos elementos de discriminação da fase de degradação das pastagens. Para auxiliar na identificação de áreas suscetíveis, tem-se utilizado técnicas de modelagem, sendo a cobertura vegetal um componente importante nesses modelos (CHAVES, 1991). Para a região Sudeste do país, e em áreas declivosas e propensas a perdas erosivas, tem sido sugerido o cultivo do capim Tifton 85, como forma de controle vegetativo (ANJOS et al, 2003; CAMARGO FILHO, 1999).

A cobertura “produtiva” do terreno (“productive ground cover”) é freqüentemente usada para avaliar o vigor e a persistência de uma pastagem (ROTZ et al., 2008) e também parâmetros de interesse ecológico como dominância, freqüência relativa, sucessão e cobertura total (WHALLEY e HARDY, 2000; CHEN et al., 2006).

Independentemente do método de determinação, o valor da cobertura vegetal é uma medida do tamanho do dossel, que tem sido utilizada como um sucedâneo do IAF para estimativas de interceptação de luz em várias espécies cultivadas (STEVEN et al., 1986; WERKER e JAGGARD, 1997; SCHUT e KETELAARS, 2003). Nessa vertente, tem sido observado que uma vantagem deste descritor do dossel é que pode ser calculado sem necessidade de se fazer suposições sobre a forma da distribuição angular das folhas, como no caso dos métodos de determinação do IAF que utilizam a chamada “gap fraction” (ROTZ et al, 2008), ou seja, a fração da radiação transmitida, ou que pode ser vista, debaixo do dossel da planta. Por outro lado, de acordo com Martha Júnior et al. (1999), estimativas de cobertura vegetal também encontram aplicação em pesquisas relativas à quantificação da volatilização de amônio em pastagens de gramíneas cespitosas.

A quantificação da área basal ou foliar pode ser determinada de vários modos (WHALLEY e HARDY, 2000). É possível estimar a produção de forragem em pastagens de capim-elefante (LOPES et al., 2000; CÓSER et al, 2002) ou de capim

braquiária (COSTA et al, 2009, CUNHA et al., 2010) através de estimativas visuais, em conjunto com medidas de altura do relvado. A altura de planta em forrageiras é uma característica estrutural influenciada pela disponibilidade de nutrientes, notadamente o nitrogênio (CUNHA et al., 2010). Cóser et al. (2002) mostraram que a inclusão da estimativa visual de cobertura do solo como segunda variável independente, melhorou os coeficientes de determinação de regressões entre altura do pasto e forragem disponível.

As avaliações visuais são realizadas por equipes de observadores assistidos ou não por algum tipo de referencial padronizado, como um quadrante de referência, no caso do método do Rendimento Visual Comparativo (LOPES et al., 2000). Alternativamente, imagens digitais de pontos georreferenciados podem ser avaliadas por inspeção ocular por um painel de observadores (LI et al., 2005). De uma forma geral, os resultados obtidos exprimem o grau de treinamento dos observadores. Lopes et al. (2000) mostraram que os observadores pouco experientes obtiveram sempre os piores resultados, principalmente nas primeiras avaliações. Esses resultados demonstraram a dificuldade de os observadores correlacionarem medidas subjetivas, ou seja, a cobertura do solo, com a produção de matéria seca em capim-elefante sob pastejo. Justamente esse aspecto, ligado à variabilidade de estimativas entre observadores, é motivo de objeção por parte de vários autores (NGOUAJIO et al., 1998; ROTZ et al., 2008; CHEN et al, 2010).

Martha Júnior et al. (1999) avaliaram três métodos para a estimativa da área basal ocupada por touceiras de capim-elefante, submetido a pastejo. Uma das alternativas, denominada por eles “método do quadrado”, implicou na confecção de uma estrutura de madeira, de 2 x 2 m, dividida em partes iguais e equidistantes, por meio de fiação de barbante. A interseção dos pontos do quadriculado com a cobertura vegetal determinou a porcentagem de área basal das touceiras. Este tipo de procedimento pode ser classificado como uma variante do método ocular, assistido por uma grade reticulada. Os autores sugeriram que os métodos por eles estudados poderiam ser utilizados para outros fins, como o estudo da evolução da área foliar e a infestação de plantas daninhas em pastagens.

Uma versão modificada do quadrante de Martha Júnior et al. (1999) foi utilizada por Ribeiro et al. (2006, 2007), para avaliar o desenvolvimento temporal do dossel de *Desmodium ovalifolium* em consórcio com *Brachiaria humidicola*, utilizando parcelas experimentais de 4 x 4 m. O local onde foi colocado o quadrante (de 2 x 2 m, feito com

tubos de PVC) pela primeira vez, foi demarcado com estacas de madeira. Essas estacas permaneceram fixas, sendo o quadrante encaixado entre elas, em avaliações sucessivas (medidas autocorrelacionadas no tempo). Subseqüentemente, Galzerano et al. (2008) adotaram o mesmo procedimento, no estudo do estabelecimento inicial das capineiras de Tifton 85, utilizadas no presente trabalho. Esses autores observaram que o fato das leituras serem feitas sempre sobre a mesma área, permite supor que as avaliações seqüenciais reflitam velocidades diferenciadas de cobertura do terreno, expressando assim os efeitos das diversas disponibilidades de N no solo, sobre as taxas de crescimento dos estolões.

Outra variação deste método foi a sobreposição de uma grade quadriculada diretamente sobre uma imagem fotográfica do relvado, registrando-se, manualmente, o número de interseções (pontos) que se sobrepõem à folhagem (ZHOU et al., 1998; LI et al., 2005; CHEN et al., 2010). Alternativamente, as fotos podem ser projetadas (p. ex. com auxílio do aplicativo computacional *Power Point*), superpondo-se, a cada projeção, uma grade reticulada (MARTHA JÚNIOR et al., 1999). De acordo com Stewart et al. (2007), essas aproximações são precisas, mas muito demoradas.

Desde que os sistemas de imagens computadorizados se tornaram largamente utilizados e de baixo custo, diversos trabalhos têm sido realizados, com objetivo de se desenvolver uma técnica capaz de estimar a cobertura do solo por análise de imagens digitais (VARELLA et al., 2002). Este método tem sido considerado como uma alternativa de baixo custo, de alta eficiência, alta qualidade e alta velocidade (LI et al., 2005). Em essência, o método consiste em: *i*) obter fotografias digitais coloridas, tiradas verticalmente em relação à superfície vegetada, usando um suporte de câmara fixo (STEWART et al., 2007; ROTZ et al., 2008) ou não (CAGNEY et al., 2011); *ii*) segregar a imagem em cultivo e não cultivo (solo mais liteira) e *iii*) calcular a percentagem da imagem em cada categoria (EWING e HORTON, 1999).

Acredita-se que as câmeras digitais se tornarão um dos métodos mais viáveis para a estimativa da refletância do dossel por causa da sua popularização (SENA JÚNIOR et al., 2008). Todavia, a validação da sua utilização dependerá tanto de fatores ligados à capacidade intrínseca de resolução dessa técnica como das características estruturais e botânicas da vegetação em foco. Assim, e de acordo com Rotz et al. (2008), embora a avaliação da cobertura vegetal utilizando esta tecnologia tenha adquirido credibilidade crescente, pouco se sabe ainda sobre como ela pode ser aplicada em pastagens. De fato, no país os trabalhos são ainda muito incipientes, podendo-se

mencionar, entre os pioneiros, a já mencionada contribuição de Martha Júnior et al. (1999) em capim-elefante, e o estudo de Perin et al. (2003) em amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), este último com auxílio do software SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), desenvolvido pela Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária.

2.5 Índice de Área Foliar

O índice de área foliar (IAF) é um tema de renovado interesse nas diversas áreas de estudo relacionadas ao ecossistema pastoril. Isto é devido a que o conceito exprime a extensão da interfase entre vegetação e atmosfera, onde se processam as trocas de matéria e energia essenciais ao crescimento e perenidade das pastagens (ASNER et al, 2003). Desafortunadamente, a extensão precisa dessa interfase é difícil de ser quantificada, devido à sua variabilidade espacial (horizontal e vertical) e temporal (BRÉDA, 2003). Por outro lado, existem ao menos cinco medições possíveis do IAF, refletindo os diferentes propósitos para os quais o IAF é determinado (crescimento vegetal, atividade fisiológica, atenuação de luz no dossel) (ASNER et al, 2003; ZHENG e MOSKAL, 2009). O IAF total toma como base a área total externa das folhas, levando em consideração a sua forma, por unidade de área horizontal, abaixo do dossel. Já o IAF unilateral, equivalente à metade do IAF total, considera apenas a área superficial de uma face da folha, usualmente a adaxial. Esta última definição corresponde à apresentada por Watson (1947) e é largamente empregada em estudos envolvendo comunidades de espécies herbáceas ou arbustivas.

O estado atual da arte, relativa à determinação do IAF, no que concerne a teorias, técnicas e instrumentação, pode ser dividido em duas partes: a relativa aos métodos “in situ” e a relativa aos métodos de sensoriamento remoto (JONCKHEERE et al., 2004; ZHENG e MOSKAL, 2009).

Em condições de campo, o IAF pode ser obtido por métodos diretos ou por métodos indiretos, os quais estimam o IAF através da relação com outros parâmetros mais facilmente mensuráveis, como a transmissão de luz através do dossel ou a cobertura vegetal (STEVEN et al., 1986; ASNER et al., 2003; BRÉDA, 2003; PONTAILLER et al, 2003; SCHUT e KETELAARS, 2003; HE et al., 2007). Os primeiros métodos desenhados para determinar a área foliar diretamente, empregaram procedimentos planimétricos, gravimétricos ou aproximações estatísticas (DAUGHTRY, 1990; NOBEL et al., 1993, ASNER et al., 2003). Nos primeiros, as

folhas podem ser colocadas sobre papel fotossensível, ou fotocopiadas, utilizando papel de área específica conhecida. Subseqüentemente, a imagem é recortada e pesada ou determinada diretamente com planímetro (NOBEL et al., 1993). As silhuetas das laminas foliares podem ser digitalizadas diretamente em um scanner de mesa e as imagens assim obtidas analisadas com um software específico (BRÉDA, 2003). Outra via de se obter, de forma direta, a área foliar implica em utilizar discos foliares, para obter um fator de conversão área/massa seca, chamado área foliar específica (AFE, m² kg⁻¹ folha) (ASNER et al., 2003).

Os métodos estatísticos baseiam-se em regressões entre as dimensões lineares da folha e a área da mesma, a qual é obtida independentemente, utilizando integrador eletrônico de área foliar, ou algum dos métodos acima citados. A partir de dados obtidos com milhares de folhas, Montgomery (1911) determinou que a área de uma folha de milho (AF) vale três quartos do retângulo onde pode ser inscrita, ou seja, $AF = 0,75 (L \cdot C)_{\max}$, onde L_{\max} e C_{\max} significam a largura e o comprimento máximo da lamina foliar. O coeficiente 0,75 é dito “fator de forma foliar (F)” e tem sido usado largamente em estudos com milho, desde Pearce et al. (1975) até tempos recentes (CIGANDA et al., 2008; BOOMSMA et al., 2009). Embora esse fator tenha sido extrapolado sem ajuste para outras gramíneas cultivadas, deve ser observado que o mesmo varia entre espécies e condições de manejo. Para gramíneas de interesse pecuário, os limites de variação podem oscilar entre $F = 0,65$ para o caso de cultivares de milheto pérola (*Pennisetum glaucum*) sob condições de campo (GERALDO et al., 2000) até $F = 0,77- 0,83$ para o capim Tifton 85 cultivado em vasos mantidos em casa de vegetação, sob quatro níveis de adubação nitrogenada (PREMAZZI et al., 2011).

Por combinação de métodos diretos ou semi-diretos, há duas vias possíveis de se computar o IAF de um dado dossel forrageiro. Na aproximação que considera as características estruturais da vegetação (CHAPMAN e LEMAIRE, 1993), o IAF é dado por:

$$\text{IAF (m}^2 \text{ AF /m}^2 \text{ solo)} = [\text{n}^\circ \text{ perfilho/m}^2 \text{ solo}] \cdot [\text{n}^\circ \text{ folhas/ perfilho}] \cdot [\text{m}^2 \text{ AF/folha}],$$

onde AF/folha pode ser determinada pelos procedimentos acima mencionados e as outras variáveis são quantificadas por contagem direta, em sub-amostras apropriadas.

Alternativamente, com base morfofisiológica, o IAF é dado por:

$$\text{IAF (m}^2 \text{ AF /m}^2 \text{ solo)} = [\text{AFE (m}^2 \text{ AF/ kg MSLF)}] \cdot [\text{kg MSLF/ m}^2 \text{ solo}],$$

onde MSLF = massa seca de lâmina foliar.

Embora ambos os procedimentos possuam fontes potenciais de erro, o IAF calculado como o produto da AFE pela fitomassa, é o que apresenta menores fontes de variação, sendo a sua utilização mais indicada como método padrão para fins de calibração de métodos indiretos (BRÉDA, 2003; HE et al, 2007; SBRISSIA e DA SILVA, 2008).

Tem sido observado que esses métodos são os únicos que acedem diretamente à folhagem e, portanto, ao IAF “verde” real, permitindo computar, separadamente, o tamanho, a forma, o número e o estado funcional das folhas (BRÉDA, 2003). Por essa razão o IAF por eles determinado é chamado por alguns autores como “IAF verdadeiro” (ZHENG e MOSKAL, 2009). Por outro lado, é opinião unânime que todos sofrem de severas limitações, decorrentes da sua natureza destrutiva e/ou invasiva, do grande tempo gasto na sua determinação, e da necessidade de se dispor de equipamento laboratorial custoso (como estufas ventiladas e balanças de precisão), devido ao que, ganham espaço os métodos indiretos de aferição que são não destrutivos e, geralmente, mais simples, e baratos.

Em anos recentes, tem sido desenvolvida uma série de equipamentos para avaliar indiretamente, porém em tempo real, o IAF de dosséis vegetais.

Um espaço de convergência entre os diversos métodos de avaliação indireta dos atributos produtivos de um dossel é a chamada “*gap fraction*”, ou seja, a fração da radiação transmitida debaixo do dossel da planta (JONCKHEERE et al, 2004). Essa transmissão da radiação é primariamente determinada pelo IAF, enquanto superfície externa e pela arquitetura do dossel como um todo (OLLINGER, 2011), em especial a função de distribuição angular das folhas (CAMPBELL e NORMAN, 1989; RICH, 1990). A “*gap fraction*” pode ser medida através de fotografias hemisféricas de alto contraste tomadas “olhando para o céu” através de um dossel (direção zenite), ou “olhando para o terreno”, quando a fotografia é tomada verticalmente, de cima do dossel (direção nadir). A “*gap fraction*” derivada de qualquer das duas direções, é, ao menos teoricamente, um parâmetro estrutural do dossel independente de condições de radiação (LIU e PATTEY, 2010). A partir dessas conceituações, o instrumental disponível pode ser enquadrado em duas categorias: um primeiro grupo baseado na análise da “*gap fraction*” e um segundo grupo de instrumentos com base na análise de

“*gap size distribution*”. Aqueles baseados na análise da “*gap fraction*” (equivalente a 1-cobertura vegetal fracional) utilizam como variável de campo a fração da radiação luminosa incidente efetivamente interceptada pelo dossel. Os mais conhecidos entre eles são o AccuPAR e o Licor LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. Esses aparelhos encontram a sua limitação no fato de que enquanto a fração interceptada pelo dossel tende assintoticamente a 1 (ou 100 %) o espaço vazio do dossel (a “*gap fraction*”) tende assintoticamente a zero. Por essa razão, o máximo IAF mensurável com instrumentação indireta é geralmente inferior do que aquele avaliado por métodos diretos (ASNER et al., 2003), tendendo a uma saturação assintótica conforme o IAF se aproxima de 6,0 (GOWER et al., 1999).

Liu e Pattey (2010) estimaram o IAF de dosséis de milho, soja e trigo, a partir de medições da “*gap fraction*” obtidas por fotografia digital colorida, mostrando que tais valores se relacionaram linearmente com a “*gap fraction*” detectada pelo analisador de dossel LAI 2000, o qual deriva as suas informações a partir de uma única fotografia tipo “olho de peixe” que mostra os *gaps* para todos os ângulos zenitais e azimutais do hemisfério visto pela lente (BRÉDA, 2003, ZHENG e MOSKAL, 2009).

Garrigues et al. (2008) realizaram uma análise de sensibilidade da estimativa do IAF em dez culturas, incluindo espécies forrageiras. Seu experimento comparou o ceptômetro AccuPAR, o analisador LAI-2000 e fotografias hemisféricas, e concluiu que a análise de fotografias foi a técnica menos sensível às condições de iluminação.

2.6 Propriedades Espectrais da Vegetação

Nos últimos anos, tem ganhado destaque os estudos sobre parametrização de atributos estruturais e nutricionais dos dosséis vegetais, feitos com emprego de métodos indiretos, de natureza não invasiva nem destrutiva. Tais estudos envolvem o uso de técnicas espectrorradiométricas próprias do sensoriamento remoto ou terrestre (STEVEN e JAGGARD, 1995; RONDEAUX et al., 1996; DAUGHTRY et al., 2000; SUNAGA et al., 2006; XIONG et al., 2007; ZHAO et al., 2007), ou sistemas de visão artificial, baseados no processamento de imagens digitais coloridas (VARELLA et al., 2002; BAESSO et al., 2007; STEWART et al., 2007; SENA JÚNIOR et al., 2008; ROTZ et al., 2008; LU e PATTEY, 2010). Esses estudos encontram aplicabilidade tanto em sistemas pastoris puros, como nas novas alternativas, caso dos sistemas silvipastoris, com a sua aptidão para recuperar e desenvolver novas pastagens em regiões de pecuária de leite, de forma sustentável (PACIULLO et al., 2008).

As interações entre plantas e a radiação incidente são extremamente complexas, a causa da diversidade em tamanho, forma, composição, e arranjos de células, tecidos e órgãos como caules e folhas (BLACKBURN, 2007; OLLINGER, 2011). Todavia, a base biofísica de aproximadamente todas essas interações podem ser enquadradas em duas categorias: absorvância e espalhamento, sendo o espalhamento subdividido em refletância e transmitância (BLACKBURN, 2007).

A refletância de um dossel depende de uma série de fatores que controlam a sua intensidade, notoriamente a quantidade de camadas de folhas (IAF), a distribuição angular das mesmas, a percentagem de cobertura verde, a presença de elementos não foliares (colmos), área de sombra e a própria refletância de superfície do solo e do material morto (NOBEL et al, 1993; STEVEN e JAGGARD, 1995; ROTZ et al, 2008).

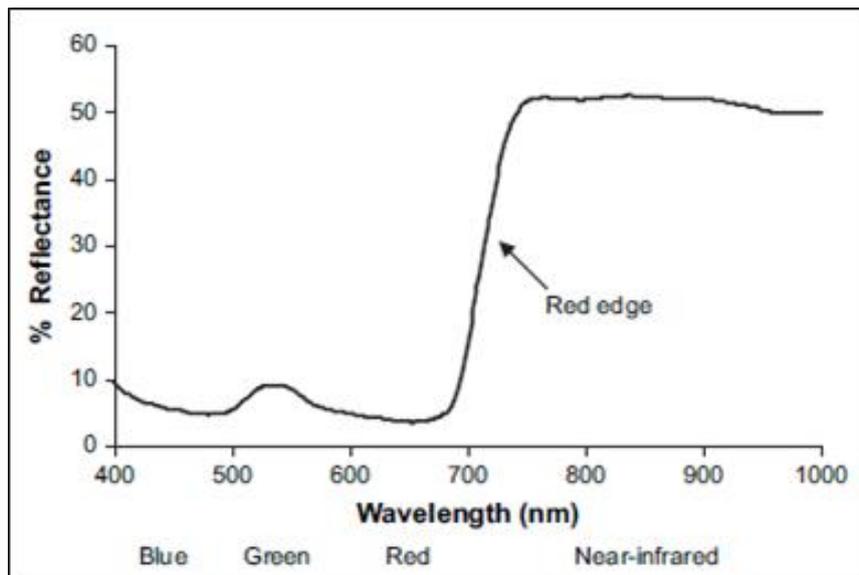


Figura 1. Espectro da refletância de uma folha verde típica dentro dos comprimentos de onda do visível (400-700 nm) e do infravermelho próximo (700-1000nm). Blue: azul; Green: verde; Red: vermelho; Red edge: borda do vermelho; Near-infrared: infravermelho próximo. Fonte: Blackburn (2007).

A Figura 1 mostra o espectro de refletância de uma típica folha verde, na banda do visível (400-700 nm) e na banda do infra-vermelho próximo (700-1000nm). Esta figura evidencia uma baixa refletância dentro do visível, com um discreto pico dentro do verde (por volta do 550nm). A refletância sofre um aumento rápido na chamada borda do vermelho (“red edge”) que leva a um platô de alta refletância no infra-

vermelho próximo, no qual os pigmentos não mais absorvem a radiação. Isto significa que na região visível do espectro solar, o solo descoberto apresenta baixa refletância na banda do verde e alta refletância na banda do vermelho, enquanto a vegetação verde mostra comportamento totalmente oposto (SCURLOCK e PRINCE, 1993). Isto acontece porque a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é fortemente absorvida na faixa espectral compreendida entre 400-700.

As propriedades espectrais de folhas e dosséis, servem de base a diversos métodos de sensoriamento remoto, as quais utilizam radiometria de alta resolução espectral (Daughtry et al, 2000; Ferri, 2002; Blackburn, 2007; Hatfield, et al, 2008). Alternativamente, podem ser usadas câmaras multiespectrais com a mesma finalidade (SENA JUNIOR et al., 2008).

Índices de vegetação são as combinações das refletâncias nas diferentes bandas espectrais (FERRI, 2002). Tais índices combinam bandas espectrais específicas, tais como o índice RVI, que é a divisão do infravermelho próximo (IVP) pelo vermelho (Vm); ou normalizações, como no caso do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) dado pela razão $\frac{IVP - Vm}{IVP + Vm}$ (ROUSE et al., 1973). Segundo Gitelson et al. (1996), o GNDVI, é expresso pela seguinte fórmula: $GNDVI = \frac{IVP - Vd}{IVP + Vd}$; onde Vd é a refletância na banda do verde. O GSAVI, segundo Sripada et al. (2006), é $GSAVI = 1,5 \left[\frac{IVP - Vd}{IVP + Vd + 0,5} \right]$. Esses índices representam uma pequena fração dos IV descritos na literatura (OLLINGER, 2011). Em conjunto, eles refletem a diversidade de fatores que afetam o sinal refletivo dos dosséis vegetais, mas também atestam a flexibilidade dessa metodologia, capaz de ser ajustada para descrever importantes atributos estruturais e produtivos de um dossel vegetal, de forma rápida e precisa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da Área

O experimento foi realizado em área pertencente à Estação Experimental de Parasitologia “Wilhelm Otto Neitz” do Instituto de Veterinária da UFRRJ (22°45’ S, 43° 41’ W, 26 m.s.n.m).

3.2 Caracterização Edafoclimática

3.2.1 Solo

O solo da área experimental corresponde à descrição de Planossolo Háplico no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006). Trata-se de solos com teores de areia total acima de 95 % na camada arável (0 - 0,2 m). Embora excessivamente drenados superficialmente, a ocorrência de um horizonte sub-superficial de textura barro-argilo-arenosa, com características de fragipã, limita a drenagem profunda (RAMOS et al, 1973). Por um lado, o predomínio de areia faz com que exista uma baixa capacidade de retenção de água nos horizontes superficiais e, portanto, que a reserva de água disponível nos Planossolos da região seja pequena (RAMOS et al., 1973). Por outro, infere-se que a umidade em profundidade seja mantida pela presença do horizonte glei em sub-superfície e pela posição na paisagem, que mantêm o suprimento de água para as raízes por períodos mais longos (BALIEIRO et al., 2008). Essa dinâmica particular da água faz com que a altura do lençol freático oscile sazonalmente, tornando o solo susceptível ao encharcamento superficial em períodos de excessiva precipitação. Por essa razão, a área experimental é delimitada lateralmente por canais de drenagem, os quais são mantidos limpos através de capinas manuais ou aplicação de herbicidas quando necessário. Para o ciclo experimental considerado no presente trabalho, empregou-se glifosato na dose de 960g IA / ha (Roundup®), principalmente para o controle do capim-colonião (*Panicum maximum*).

Uma análise da camada superficial (0- 0,2 m), realizada em Outubro de 2011, revelou as seguintes propriedades químicas:

Tabela 1. Resultados da análise da fertilidade do solo da área experimental.

Prof. (m)	Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	K ⁺ (cmol _c /dm ³)	H+Al (cmol _c /dm ³)	V (%)	M.O. ^(**) (g/kg)	P ^(*) (mg/dm ³)	pH água (1:2,5)
0,0-0,2	2,45	0,65	0,075	1,33	70	13,8	33,37	6,06

(*) P disponível (Mehlich-1) (***) C orgânico (Walkey-Black) x 1,72.

3.2.2 Clima regional e local

O clima da região é caracterizado basicamente por duas estações distintas, quente e úmido no verão (outubro/março), sem invernos pronunciados e muito secos (abril/setembro). Este tipo climático se enquadra no tipo Aw da classificação de Köppen. As médias mensais da temperatura mais baixa e mais alta são 20° e 29°C, respectivamente, com precipitação anual em torno de 1.250 mm (MARTORANO et al., 1997).

O período de atividades experimentais foi de 02 de janeiro a 01 de março de 2012. O período inicial (entre 02/01 e 03/02/2012) foi utilizado para a realização de testes de ajuste e calibração do instrumental e treinamento da equipe. O período restante foi utilizado para o desenvolvimento da parte experimental propriamente dita. Dados agrometeorológicos horários, correspondentes ao período, foram registrados pela Estação Ecologia Agrícola km 47, Seropédica, RJ (INMET/PESAGRO), distante aproximadamente 1,5km da área experimental, e obtidos *on-line* na página do Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br>). Os mesmos serão considerados com maior detalhe no capítulo de Resultados e Discussão.

3.3 Utilização Anterior da Área Experimental

A área citada vem sendo utilizada para pesquisas com *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85 desde o ano de 2006. Anteriormente, a área era utilizada como capineira de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). Inicialmente, foram realizados estudos abordando aspectos ecofisiológicos e produtivos durante o estabelecimento do capim-Tifton 85 (GALZERANO, 2008; GALZERANO et al., 2008) ou aspectos relacionados ao crescimento, produtividade e composição bromatológica dessa cultivar em função de doses e fontes de nitrogênio (OLIVEIRA, 2008; BARBIERI, 2009; BARBIERI et al.,

2010; OLIVEIRA et al., 2010; SILVA et al., 2011), em experimentos conduzidos principalmente durante a estação chuvosa.

3.4 Práticas Culturais e Adubações de Correção

O controle de invasoras e a manutenção das unidades experimentais foram realizados através de capinas manuais periódicas e cortes de uniformização, além de limpeza regular dos espaços para circulação entre as unidades. Foram realizadas correções nutricionais, a partir das informações dadas pela análise do solo, consistentes na aplicação de calcário dolomítico, para aumentar os teores de bases trocáveis e de superfosfato simples, para aumentar os teores de P disponível, ambas as aplicações a lanço. No mês de dezembro de 2011 foi realizado corte de uniformização seguido de uma aplicação basal de cloreto de potássio (KCl) equivalente a 160 kg K₂O/ha, em todas as unidades experimentais.

3.5 Tratamentos

A aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada teve como objetivo variar as disponibilidades de N mineral no solo, de modo a gerar gradientes que permitissem induzir variabilidade nos diferentes atributos estruturais analisados (GALZERANO et al. 2008). Outros autores têm utilizado outros procedimentos para atingir o mesmo objetivo, como a desfolha seletiva (WILHELM et al., 2000), a indução de deficiência hídrica em minidosseis (SCHUT e KETELAARS, 2003) ou o uso de níveis diferenciados de irrigação suplementar (XIONG et al., 2007).

Para o presente estudo, os tratamentos consistiram em quatro doses de N (0; 50; 100 e 200 kg/ha) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂ SO₄), aplicadas no início do período experimental, em solução aquosa, conforme o procedimento descrito por OLIVEIRA et al. (2010). Os tratamentos foram dispostos segundo um desenho totalmente casualizado, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, para acomodar os dias de amostragem, contados como dias após corte (DAC). As unidades (parcelas) experimentais foram constituídas por canteiros de 16 m² (4x4m), sendo a parte central (2x2 m) considerada área útil (Figuras 2 e 3).

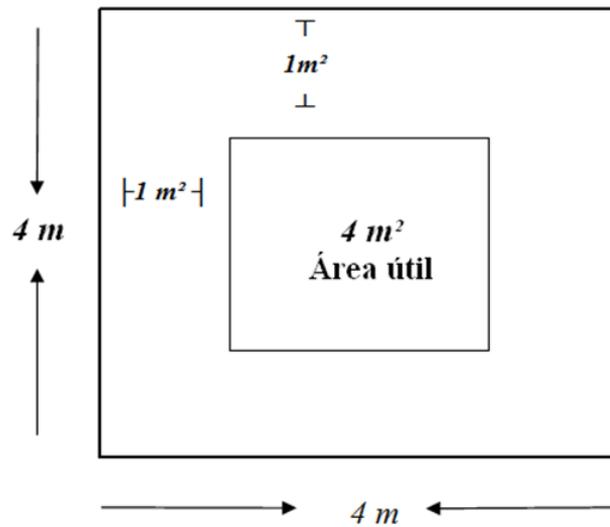


Figura 2. Dimensões da unidade experimental.



Figura 3. Vista das parcelas experimentais. A distância entre cada unidade experimental é de 2,0 m, e a largura da rua de circulação de 3,0 m. Estação de Pesquisas Parasitológicas, Instituto de Veterinária, UFRRJ. Seropédica, RJ, Fevereiro de 2012.

3.6. Variáveis experimentais determinadas

A frequência de amostragem planejada inicialmente previa duas coletas semanais, dentro do ciclo de rebrota. Entretanto, por dificuldades não previstas, houve exceções em relação a alguns parâmetros.

Foram realizadas as seguintes determinações analíticas:

- **Altura do Dossel.** A altura foi medida com régua graduada em milímetros, por meio do método da “altura não comprimida”, utilizando uma folha de acetato colocada sobre a superfície do relvado, conforme descrito por Da Silva e Cunha (2003). As medições foram realizadas nas seguintes datas: 2, 6, 10, 13, 21, 24 e 28 DAC.

- **Avaliação Visual Assistida(AVA).** Foi feita a adaptação de um método preconizado por t´MANNETJE (2000). O método foi implementado através de inspeções oculares feitas por cinco observadores, que receberam treinamento durante o período pré-experimental. Foram confeccionados cartões padronizados, que reproduziram imagens de cobertura do capim Tifton 85, selecionadas dentro do banco de dados do Grupo de Pesquisa. As imagens reproduziram configurações de cobertura representativas de quatro faixas: 0-25; 25-50; 50-75 e 75-100%, sendo que cada observador dispôs de uma cópia do conjunto dos quatro cartões. Tais determinações foram realizadas aos 3,6, 10, 13, 21,24 e 28 DAC.

- **Cobertura Vegetal.** A cobertura vegetal foi quantificada através de um método adaptado por RIBEIRO et al. (2006), no qual um quadrante de PVC, de 2 x 2,0 m, com subdivisões laterais a cada 0,2 m, confeccionadas com fios de nylon. O quadrante foi disposto sobre o relvado, demarcando a sua posição inicial com estacas de madeira, ajustadas à altura do dossel durante todo o período de coleta (OLIVEIRA et al., 2010). A cobertura foi computada através da expressão:

$$CV (\%) = [(NP_j/NTP)] \times 100$$

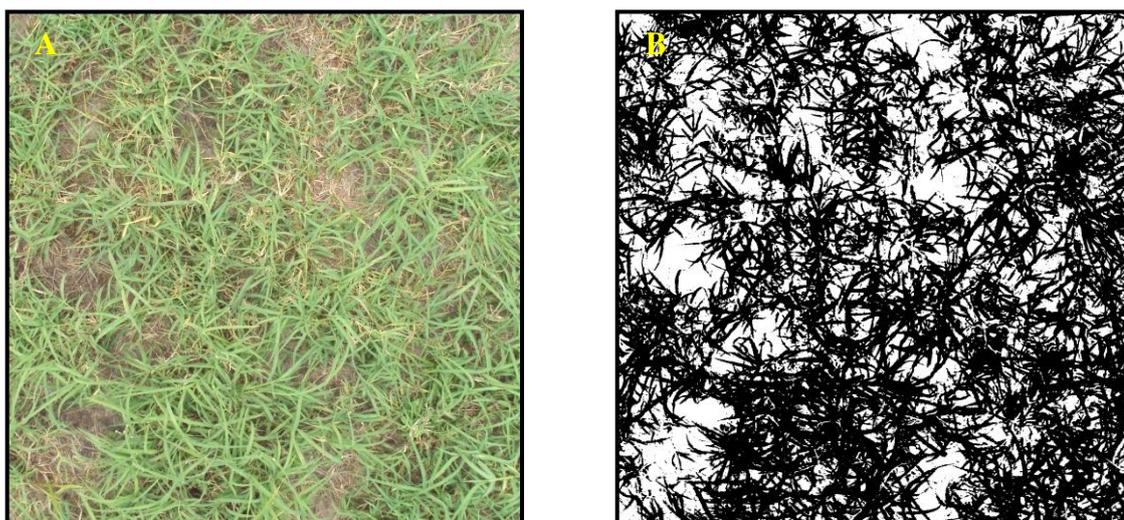
onde, NP_j é o número de pontos ou interseções tocadas por algum elemento da vegetação e NTP é o número total de interseções possíveis dentro do quadrante.

As aferições foram realizadas aos 2, 6, 10,12, 20, 23, 26 DAC.

-**Índice de Cobertura Verde.** A aquisição das imagens deu-se com uma câmara digital Sony *Cyber-shot*, modelo DSC-W50, a partir de altura padrão de 1,60 m (PERIN et al., 2003). Para tal, foi confeccionado um suporte em formato de “L” feito com tubos de PVC rosqueados, com parafuso adaptado à ponta, para permitir o acoplamento ortogonal da câmara. A armação era arranjada de forma a evitar sombras nas imagens, e captar a área de um quadrante, também de PVC, com 1,0 m de lado, disposto sempre na mesma posição dentro das unidades experimentais. As aferições foram realizadas aos 3, 6, 10,13, 21 e 24 DAC. A configuração da câmara digital manteve-se constante em

todas as amostragens. As imagens obtidas foram transferidas para um computador e armazenadas em formato TIFF (Prof. Carlos A. Varella, comunicação pessoal).

As imagens foram processadas e analisadas com auxílio do programa computacional MATLAB v. 9 (The MathWorks Inc.). Antes do processamento de cada imagem, era realizada a calibração para a criação do vetor classificador com base na função discriminante de Fisher (JHONSON e WICHERN, 1999), apontando-se pontos representativos de 10 pixels de vegetação verde e dez de solo nu ou com vegetação seca,



gerando imagens binárias (Figura 3).

Figura 4. A) Exemplo de imagem recortada, correspondente a uma parcela com capim Tifton 85. B) Imagem classificada: as áreas claras correspondem a solo descoberto e/ou solo coberto com liteira, e as áreas escuras, à vegetação verde. O ICV, neste exemplo, é igual a 61,5%.

As imagens foram, então, recortadas de ‘2816C x 2112L’ para ‘2040C x 2040L’, correspondente a um campo de visão de 1m² no solo e resolução espacial de 0,49 mm/pixel. Posteriormente o conjunto recortado e armazenado, foi processado novamente para obtenção da estimativa do índice de cobertura verde, conforme descrito por Varella et. al. (2002).

- Índice de Área Foliar Verde. Uma das principais propriedades estruturais dos dosséis forrageiros é o índice de área foliar (IAF), definido por Watson (1947) como sendo a relação entre a área foliar de uma das faces das folhas e a área do solo ocupada pelas mesmas folhas. Um conceito mais restrito, o IAF “verde”, é usualmente definido como a área verde das folhas, por unidade de superfície subjacente (PONTAILLER et al,

2003; CIGANDA et al., 2008; BARBIERI JUNIOR, 2009; OLIVEIRA et al., 2010), o qual exclui folhas mortas ou em grau variável de senescência. No presente estudo, salvo indicação em contrário, todas as determinações do IAF pelo método direto ou padrão, ficam subentendidas como de IAF “verde”.

O Índice de Área Foliar (IAF) foi determinado destrutivamente, a partir da massa seca de folhas verdes (MSFV, kg/m²) e da área foliar específica (AFE, m²/kg MSFV), de acordo com a expressão:

$$\text{IAF (m}^2 \text{ folha/m}^2 \text{ terra)} = \text{MSFV} \times \text{AFE} \dots(1)$$

Para tal, foram coletadas amostras contidas dentro de um quadrante com 0,004 m² de superfície, no qual a biomassa em pé foi cortada rente ao solo. Imediatamente, a mesma foi transferida para sacos plásticos, contendo um pequeno volume (≈100 ml) de água mineral fresca, para minimizar perdas de massa seca por desidratação (Figura 5).

O material, assim condicionado, foi conservado dentro de caixa isotérmica, mantida à sombra até o seu transporte ao laboratório. Essas determinações foram realizadas aos 18, 23 e 26 DAC.



Figura 5. Material fresco acondicionado em sacos plásticos contendo água mineral, para manter a hidratação dos tecidos verdes até o seu processamento no laboratório.

No laboratório, o material foi seco com papel absorvente e fracionado em folha e colmo+bainha. Após obtenção do peso fresco de cada fração, uma sub-amostra, compreendendo entre 10-20 % da massa de lâminas foliares foi retirada para a determinação da sua área foliar. As lâminas foliares foram digitalizadas em *scanner* HP

modelo Scanjet 5490 com uma resolução de 200 dpi, sendo as imagens arquivadas no formato JPEG. Posteriormente, as mesmas foram analisadas com auxílio do Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (SIARCS[®]). Todo o material verde foi posto a secar em estufa com circulação forçada de ar (65° C), por 48 h. Após pesagem, os dados foram utilizados para computar a AFE, a Massa Seca Verde da Parte Aérea (MSVPA, g/m²) e a relação folha/colmo. As determinações do IAF e da massa seca total foram realizadas aos 18, 23 e 26 DAC.

-Interceptação da Radiação Fotossinteticamente Ativa (IRFA). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) corresponde à banda visível do espectro solar ($\lambda = 400-700$ nm). Para a sua determinação direta foi utilizado o ceptômetro AccuPAR modelo LP-80, operado de acordo com as especificações do fabricante (AccuPAR Operator's Manual, v. 10, s/d). Em cada amostragem, o valor da parcela era a média de oito medições, seguindo as sugestões de Johnson et. al. (2010). Essas medições foram feitas nos DAC 2, 6, 10, 13, 20, 23, sempre entre 11 e 13 horas, com céu claro. Seguindo o mesmo critério de experimento precedente (BARBIERI, 2009), a observação de um nível de RFA_{int} $\geq 95\%$, em pelo menos duas das parcelas de um mesmo tratamento, foi tomado como critério para encerramento do período de rebrota.

- Câmara Digital Multiespectral. Para a obtenção da resposta espectral do dossel, com a aquisição de imagens, a câmara multiespectral foi acoplada a um suporte de 3,0 metros de altura com uma armação em forma de braço de 50 centímetros para sustentar a máquina. A estrutura regulável, tornou possível o ajuste de altura e comprimento do suporte tanto da câmara, quanto da placa de referência. A câmara foi conectada a um computador, para permitir a visualização das imagens no momento da sua tomada. O conjunto foi sustentado por uma bancada de fácil transporte (Figura 6).



Figura 6 Aquisição de imagens com câmara multiespectral em pastagem de Tifton 85. Seropédica, RJ, 1º de março de 2012 (27 DAC), às 11:30 hora local.

As imagens foram adquiridas por meio de câmara multiespectral (FD-1665-MS 5 Channel Camera, Flux Data, Inc., NY, USA) configurada nas seguintes regiões espectrais: azul (400 -510 nm); verde (500 -580 nm); vermelho (585 -640 nm), “red-edge” (720 -730 nm) e infravermelho próximo (770 - 830 nm), com 3-CCD de 2/3” (Figura 6). As imagens obtidas têm dimensões de 1624 (H) e 1224 (V) pixels. Em cada imagem, foram posicionados quatro painéis padrão Spectralon (Labsphere, Inc., North Sutton, NH, USA) de refletâncias conhecidas (99%, 75%, 40% e 10%), no campo de visão da imagem, para conversão do valor do pixel para cada banda, em refletância. A coleta foi realizada no período de 10 horas às 14 horas. Simultaneamente à tomada das imagens, procedeu-se a medição do nível de irradiância fotossintética incidente sobre o relvado, com auxílio de um sensor de quantum LI-190 conectado a um radiômetro portátil (LI-250A) (LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA).

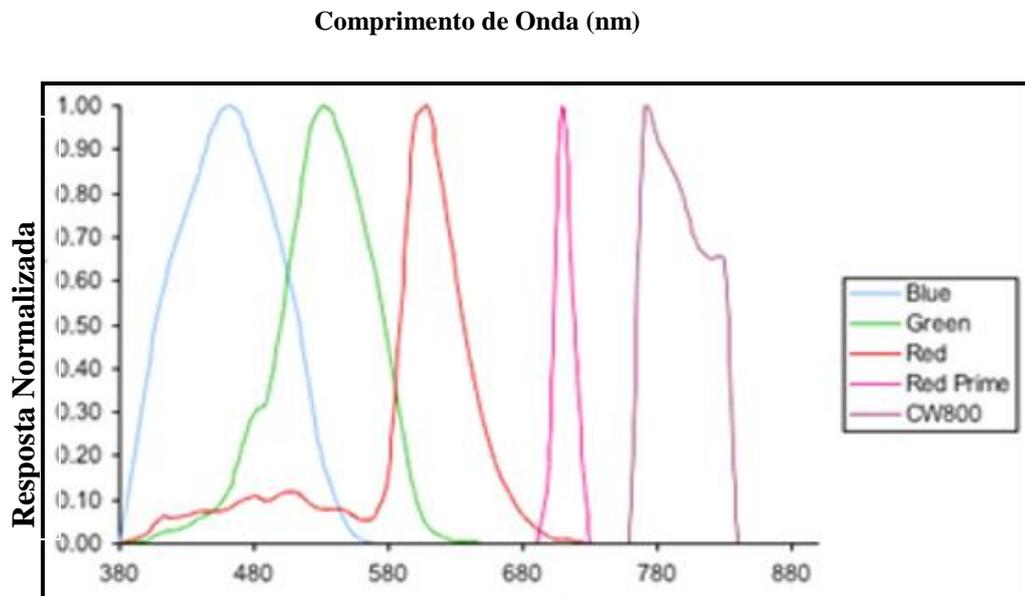


Figura 7. Funções da resposta espectral normalizada dos sensores da Câmera FD 1665-5 (Fonte: <http://www.fluxdata.com/products/high-resolution-3-ccd-multispectral-camera/> em 05/01/2012).

Cada parcela gerou três imagens, a primeira, representante das bandas na região visível do espectro, a segunda para a borda do vermelho (“red-edge”) e terceira para a banda do infravermelho próximo (Figura 8). Sendo posteriormente separadas em cinco imagens, uma para cada banda (Figura 9), e para que não houvesse interferência da placa referência introduzida no campo de visão, foi realizado a exclusão total da mesma da imagem referente à parcela.



Figura 8. **A)** Imagem obtida com a câmara multiespectral na banda do visível, correspondente a uma parcela com capim-Tifton 85 (*Cynodon spp*). **B)** Imagem obtida com a câmara multiespectral na banda correspondente à borda do Vermelho. **C)** Imagem obtida com a câmara multiespectral na banda do Infra-Vermelho próximo.

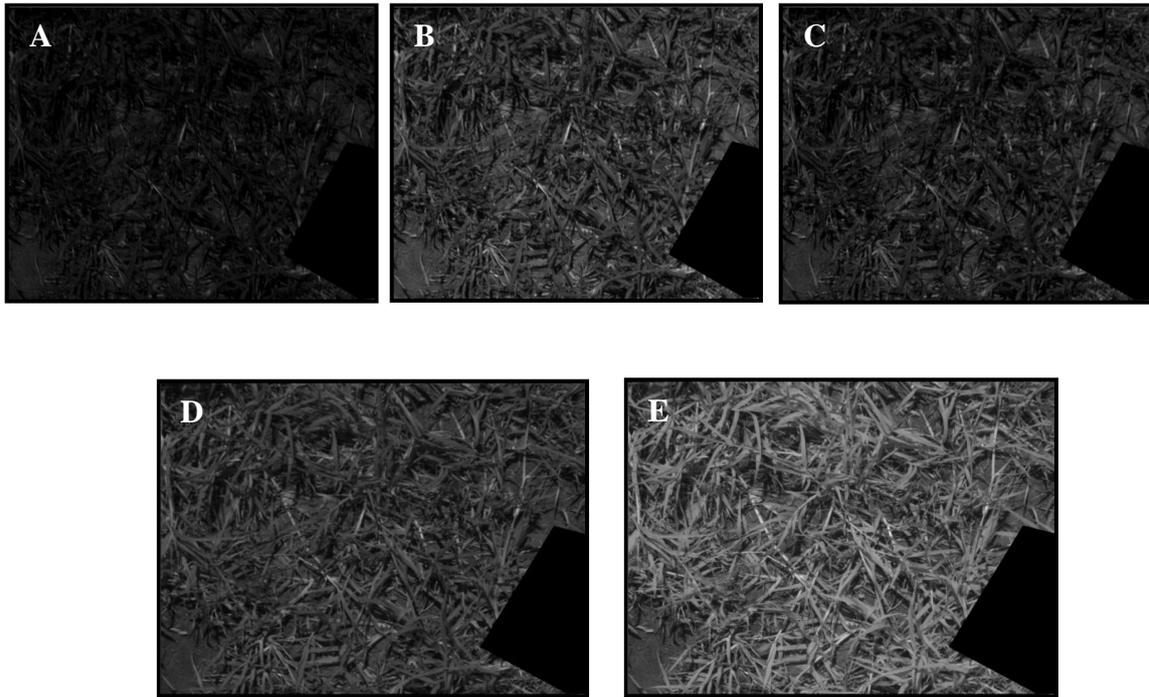


Figura 9. **A)** Imagem obtida com a câmara multiespectral na banda do visível, correspondente ao desmembramento referente à banda do azul (400 a 510 nm); **B)** Imagem obtida com a câmara multiespectral na banda do visível, correspondente ao desmembramento referente à banda do verde (500 a 580 nm); **C)** Imagem obtida com a câmara multiespectral na banda do visível, correspondente ao desmembramento referente à banda do vermelho (585 a 640 nm); **D)** Imagem obtida com a câmara multiespectral na banda da borda do vermelho (720 a 730 nm); **E)** Imagem obtida com a câmara multiespectral na banda do infravermelho próximo (770 a 830 nm).

As imagens foram convertidas em refletância baseadas em cinco equações de calibração (uma para cada banda espectral da câmara: verde, vermelho, azul, borda do vermelho e infravermelho próximo), obtidas através do ajuste de uma equação de regressão linear simples entre os valores de pixels das imagens e os valores de refletância dos quatro painéis fornecidos pelo fabricante da placa (Labsphere, Inc., North Sutton, NH, USA).

Os índices de vegetação (NDVI, RVI, GNDVI e GSAVI) foram calculados considerando a resolução espectral banda larga, da câmara multiespectral. Todo o processamento foi realizado com o auxílio do programa matemático MatLab v. 9 (The MathWorks Inc.).

3.7 Análises estatísticas

Os dados foram analisados pelos procedimentos estatísticos do software SAS – Statistical Analysis System. O PROC GLM foi utilizado para realizar a análise de variância (ANOVA), a qual separou efeitos devidos a tratamentos (doses de N), dias de amostragem e à interação dose x DAC, procedendo-se aos desdobramentos, quando indicado, conforme os procedimentos do programa SAS. As médias foram discriminadas pelo teste de Student-Newman-Keuls ao nível de significância de 5%.

Verificado o nível de significância das fontes de variação, procedeu-se então à análise de regressão, em atenção ao caráter quantitativo dos tratamentos. Dado que, na ausência de desfolhação, o crescimento de folhas e perfilhos podem ser vistos como variáveis contínuas dependentes do tempo (PARSONS et al, 2001), os dados foram graficados em função dos dias após corte (DAC), para visualização dos padrões temporais de variação. A parametrização dessas tendências foi feita com auxílio dos modelos disponíveis no programa GraphPad Prism versão 5.0 for Windows (GraphPad Software, San Diego, Califórnia, USA). Além dos modelos comuns, linear, polinomial e exponencial, trabalhos prévios indicaram a necessidade de considerar modelos sigmoidais (GALZERANO et al. 2008; OLIVEIRA et al., 2010), dentre esses, a função sigmoidal de Boltzmann, é do tipo quatro parâmetros, conforme a expressão a seguir:

$$Y = a + \frac{b - a}{1 + \exp\left[\frac{c - x}{d}\right]}$$

onde: a = assíntota inferior; b = assíntota superior; c = valor de x onde Y corresponde a 50 % da diferença entre a e b ; d = parâmetro relacionado à inclinação da curva.

Os critérios de seleção foram o valor do coeficiente de determinação do modelo (R^2), complementado com a expectativa biológica, a partir de experiência prévia. Quando os modelos disponíveis se mostraram insatisfatórios, a alternativa foi a utilização do procedimento de ajuste por curvas de tendência, utilizando-se o procedimento “*cubic spline*”, no qual as curvas são geradas usando um algoritmo adaptado de Chambers et al. (1983). As inter-relações entre as diversas variáveis foram estudadas com emprego de técnicas de correlação simples.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições Ambientais Durante o Período Experimental

Os dados diários relativos às temperaturas máximas e mínimas do ar, assim como as precipitações ocorridas durante o período de 01/01/2012 a 01/03/2012 são apresentadas na Figura 10.

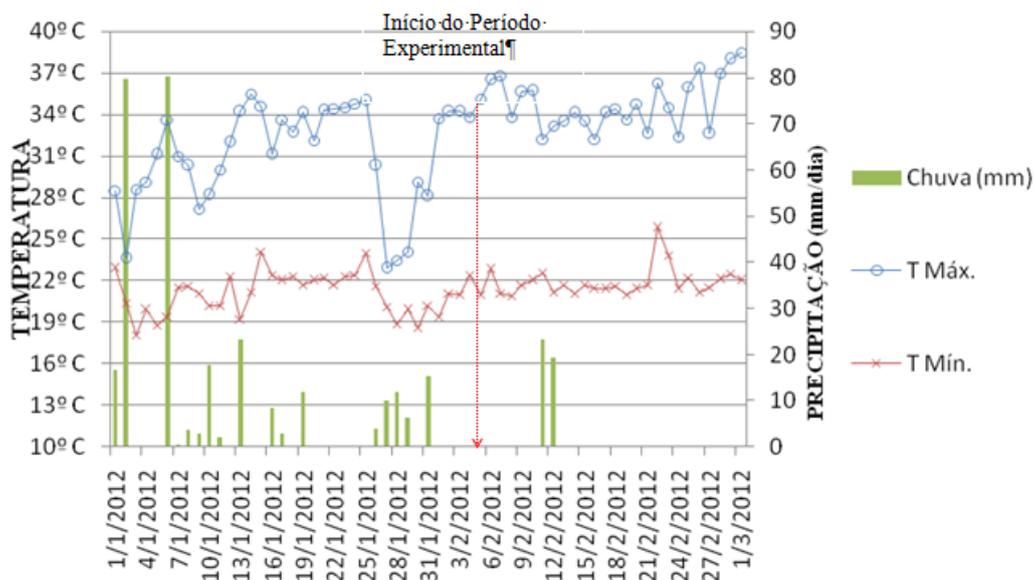


Figura 10 – Os dados diários relativos às temperaturas máxima e mínima do ar, assim como as precipitações ocorridas durante o período 01 de janeiro a 01 de março de 2012.

No período pré-experimental, durante o mês de janeiro de 2012, ocorreu uma precipitação pluviométrica total de 256 mm, quantidade que excedeu em 62 % a normal climática de 158 mm (MARTORANO et al., 1997). Em oposição, no mês seguinte, durante o período experimental, ocorreu um longo período de deficiência de chuvas, interrompida apenas nos dias 11 e 12 de fevereiro por chuvas de baixa intensidade, responsáveis por um total mensal de 43,9 mm, ou seja apenas um terço da correspondente normal climática de 124,9 mm (MARTORANO et al., 1997). Em contrapartida, verificaram-se dias com elevados fluxos de radiação solar global (média: $22,9 \pm 3,42 \text{ MJ RSG m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, Figura 11), determinantes de elevadas temperaturas do ar (Figura 10).

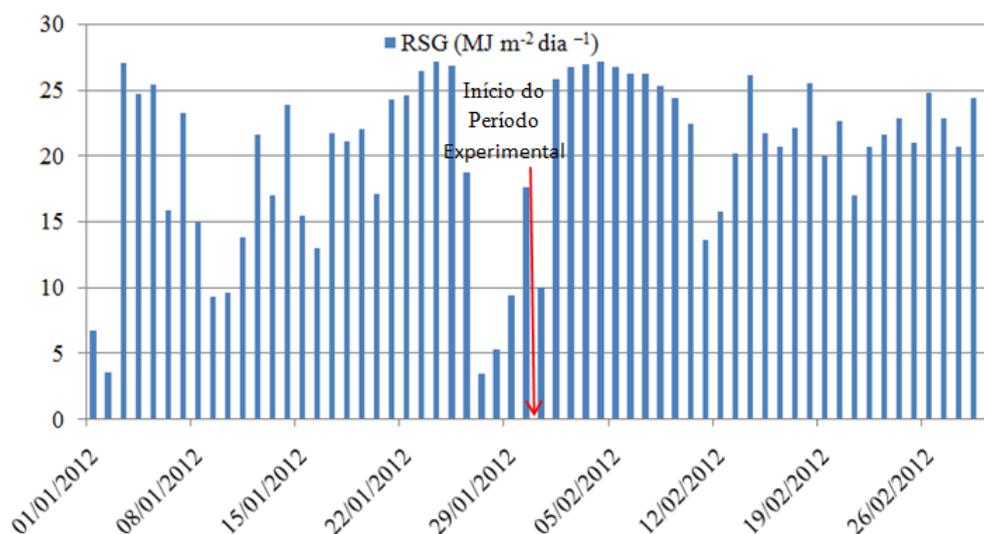


Figura 11 - Distribuição diária dos valores de radiação solar global (RSG, MJ m⁻² dia⁻¹) durante o período experimental. Seropédica, RJ, janeiro-fevereiro de 2012.

Como forma de amenizar este quadro de estresse hídrico progressivo, foram realizadas irrigações diárias por meio de regas manuais. Todavia, os volumes de água adicionados não foram suficientes para compensar os elevados níveis de evapotranspiração associados a esse quadro ambiental. Como resultado, este regime de subirrigação restringiu, parcialmente, a expressão da adubação nitrogenada para alguns dos parâmetros de crescimento estudados.

4.2 Efeitos das Doses de N e dos Dias Após o Corte (DAC): Níveis de Significação Estatística

A Tabela 2 mostra uma síntese dos resultados estatísticos (teste F) obtidos na análise das características do dossel de Tifton 85 estudadas. É possível verificar que, com exceção da variável AVA, todos os outros atributos analisados mostraram graus variados de responsividade à adubação nitrogenada. Já as diferenças estatísticas no fator “dias após corte”, o qual exprimiu o efeito das datas de medição, eram esperadas, e no caso de vários dos atributos, explicaram uma parte substancial da variação experimental total.

Tabela 2. Níveis de significação estatística (probabilidade do teste F) para as análises de variância de características do relvado, em função de doses de adubação nitrogenada (N), dias após o corte (DAC), e da sua interação.

Variável	Dose N	DAC	N x DAC
ALTURA	<0,0001	<0,0001	0,1097
AVA	0,2639	<0,0001	0,0126
CV	0,0003	<0,0001	0,0001
ICV	0,0018	<0,0001	0,0001
IAF _{DIR}	0,0005	<0,0001	0,0166
IAF Cept.	<0,0001	<0,0001	0,7299
ICF T	<0,0001	<0,0001	0,9520
RFA int 1	<0,0001	<0,0001	0,2953
RFA int 2	0,0394	<0,0001	0,9468

DAC: dias após o corte; ALTURA: altura do dossel (cm); ICF T: Índice de Clorofila Falker Total ($a + b$); CV: Cobertura Vegetal, visual (%); IAF Cept: Índice de Área Foliar (ceptômetro AccuPAR); ICV: Índice de Cobertura Verde (câmara Sony); IAF_{DIR}: Índice de Área Foliar por método destrutivo; RFA_{INT} 1: Radiação Fotossinteticamente Ativa Interceptada (ceptômetro AccuPAR) (%); RFA int 2: interceptação da RFA (radiômetro Li-Cor)(%).

4.3 Cobertura Verde

4.3.1 Métodos visuais

4.3.1.1 Avaliação visual direta, assistida com fotografias de referencia (AVA).

A avaliação exclusivamente visual da condição do relvado, em termos de cobertura verde ou cobertura do solo, é um método utilizado desde bastante tempo atrás (t'MANNETJE, 2000). No presente caso, é interessante observar que os avaliadores participantes fizeram um treinamento durante um ciclo de rebrota anterior, onde, como já mencionado, as condições de crescimento do capim foram bastante favorecidas pelas condições ambientais. Além disso, eles estavam familiarizados com o desenho de campo, uma vez que participaram normalmente de todas as atividades de rotina na manutenção das unidades experimentais, incluindo a aplicação de água de irrigação.

Na figura 12 são apresentados os resultados obtidos com esta técnica. Tendo em vista que a ANOVA indicou existirem efeitos significativos apenas para as datas de avaliação ($p < 0,0001$), assim como para a interação N x DAC ($p = 0,0126$), preferiu-se discutir esta variável recorrendo ao procedimento de “cubic spline”, apenas no intuito de guiar a visualização das linhas de tendência das respostas.

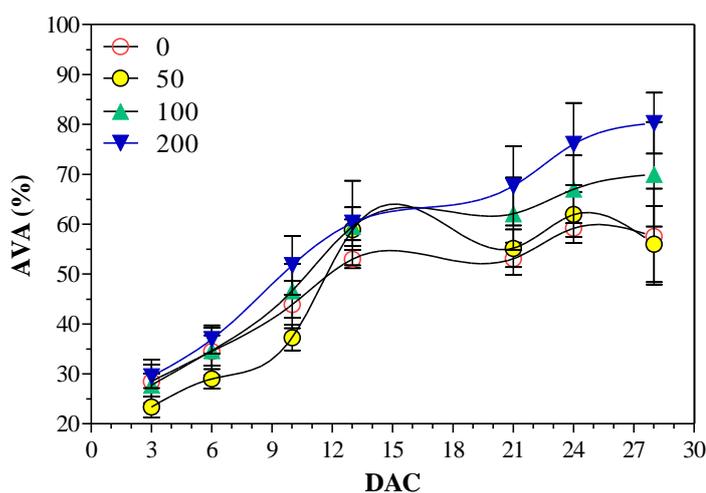


Figura 12 – Variação da Avaliação Visual Assistida nas parcelas experimentais de Tifton 85, em função de níveis de adubação nitrogenada e datas de observação, expressas como dias após um corte de uniformização (DAC). Cada ponto representa a média de cinco observações independentes. As linhas de tendência foram geradas pelo procedimento “cubic spline”. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

O exame visual das tendências permite inferir que: *i*) os observadores tiveram mais dificuldades de discriminação a baixos níveis de aplicação de N do que a altos níveis, situação explicável pelas diferenças em densidade de vegetação entre os dosséis; *ii*) a qualidade das observações pareceu melhorar após os 15 DAC, refletindo, provavelmente, a aceleração nas taxas de crescimento do capim em função da ocorrência de chuvas nos dias prévios (Figura 10) e maior habilidade na utilização dos cartões. Essas observações concorrem para explicar a existência de interação significativa entre dose de N x DAC (Tabela 2).

Hatton et al. (1986) (citado por ROTZ et al., 2008) comunicaram que seus observadores eram relativamente bons para estimar coberturas entorno de 60 % mas que em percentagens de cobertura maiores ou menores, a sua precisão diminuía. Por outro lado, considerando a observação de Lópes et al. (2000) no sentido de que os métodos de

estimação deveriam ser, idealmente, sensíveis tanto em situações de crescimento rápido quanto de crescimento lento das plantas, isto poderia ser considerado como uma possível falha do AVA, tal como foi aplicado no presente trabalho.

Como será discutido a seguir, os outros métodos testados conseguiram distinguir, em maior ou menor grau, diferenças estatísticas entre níveis de adubação nitrogenada (Tabela 2). Com o AVA isto não foi possível, devido aos altos erros padrão associados a cada nível de N, independentemente de data de amostragem (Figura 12). Isto deixa em aberto, qual a real importância da informação contida nos cartões de assistência utilizados pelos avaliadores. Todavia, o fato dessas observações poderem ter sido feitas em apenas um ciclo de rebrota do capim, indica que há um potencial para a melhora do desempenho desta técnica, e que como tal, não deveria ser descartada.

4.3.1.2 Cobertura Vegetal

Neste método, a porcentagem de cobertura verde é determinada considerando-se somente os contatos feitos pelas intersecções de uma grade reticulada com a camada superficial do relvado, ignorando-se os contatos existentes nas camadas mais baixas (“percentage cover” *sensu* Warren Wilson, 1965).

A análise de variância (Tabela 2) mostrou existirem efeitos significativos para doses de N ($p=0,0003$) e DAC ($p<0,0001$), assim como para a interação entre esses fatores ($p<0,0001$). Com relação às doses de N (Tabela 3), a análise de variância indicou que o tratamento testemunha diferiu significativamente das doses 100 e 200 kg N/ha, mas não do tratamento que levou 50 kg N/ha. Pela sua vez este tratamento diferiu apenas em relação à maior dose de N aplicada. Os tratamentos 100 e 200 kg N/ha não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3).

Tabela 3: Teste de médias (Tukey-Kramer) para o efeito de dose de N sobre a Cobertura Vegetal.

Dose	0	50	100	200
0	---	0,3406	0,0162	0,0002
50	0,3406	---	0,5262	0,0397
100	0,0162	0,5262	---	0,5344
200	0,0002	0,0397	0,5344	---

Na figura 13 é possível observar a variação deste atributo, em função das doses de N aplicadas. Como em estudos precedentes (GALZERANO et al., 2008; OLIVEIRA et al. 2010) a distribuição temporal dos valores de CV foi adequadamente descrita por uma função de tipo sigmoidal, a qual reproduz o padrão logístico de crescimento após uma desfolha severa, como a induzida pelo corte de uniformização realizado ao início do período de rebrota (PARSONS *et al.*, 2001).

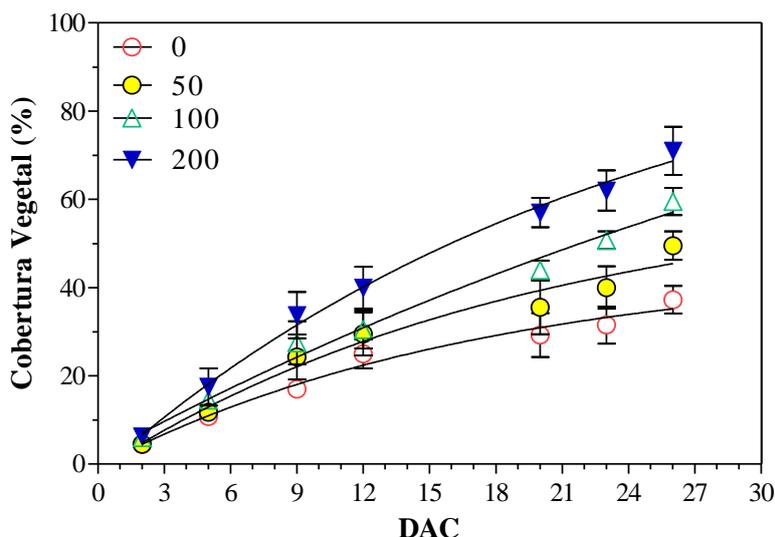


Figura 13 – Variação da Cobertura Vegetal (CV %) em parcelas experimentais de capim Tifton 85, em função de níveis de adubação nitrogenada e dias após o corte (DAC). As curvas de ajuste correspondem ao modelo sigmoidal de Boltzmann. Dose 0: $r^2 = 0,789$; 50: $r^2 = 0,777$; 100: $r^2 = 0,910$; 200: $r^2 = 0,893$.

Os resultados obtidos comparam-se diretamente com os apresentados por Oliveira et al. (2010), que conduziram as primeiras observações com este método, utilizando o mesmo desenho e campo experimental, em 2007. Para o primeiro ciclo de rebrota (25/01 a 10/03/2007), Oliveira et al. (2010) observaram que a responsividade ao N expressou-se após 30 DAC, definindo três níveis: baixo (tratamento testemunha); médio (até 75kg N/ha) e alto (150- 225kg N/ha). O máximo valor de CV observado (74%) correspondeu à maior dose de N aplicada, enquanto as mínimas corresponderam ao tratamento testemunha, que se estabilizaram em torno de 25%, a partir de 22 DAC. No presente caso, aos 26 DAC, os valores observados foram de $37,3 \pm 3,2$; $49,5 \pm 3,2$; $59,5 \pm 3,1$ e $71,0 \pm 5,4$ %, para as doses de 0, 50, 100 e 200 kg N/ha, respectivamente, ou seja valores da mesma ordem de grandeza. Cabe observar que no caso do

experimento de Oliveira et al. (2010), o seu primeiro período de rebrota foi caracterizado por um excesso de dias chuvosos e nublados, enquanto que no presente caso, prevaleceu um quadro de estresse ambiental totalmente inverso (Figuras 10 e 11).

4.3.1.3 Índice de Cobertura Verde

O ICV é um índice de vegetação que representa a fração do solo coberta pela parte verde da folhagem, e como tal, se constitui numa medida bidimensional do tamanho do dossel. A análise de variância indicou existirem efeitos significativos para doses de N ($p=0,0018$); para DAC ($p<0,0001$) e para a interação entre esses fatores ($p=0,0001$) (Tabela 2). Em relação aos efeitos das doses de N, houve a falta de significação entre a testemunha e a dose de 50 kg N/ha, todos os demais contrastes atingiram significação estatística a $p \leq 0,05$.

A Figura 14 mostra as variações temporais do ICV, durante o ciclo de rebrota estudado.

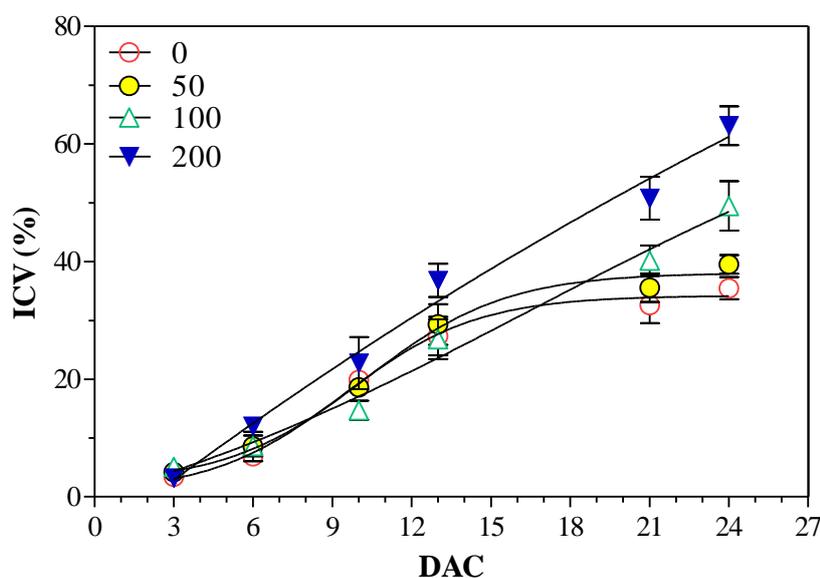


Figura 14– Variação do Índice de Cobertura Verde (ICV %) nas parcelas experimentais de Tifton 85, em função de níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte. As curvas de ajuste correspondem ao modelo sigmoidal de Boltzmann. Dose 0: $r^2 = 0,917$; 50: $r^2 = 0,916$; 100: 0,914; 200: $r^2 = 0,931$.

Houve diferença entre o tratamento testemunha e o maior nível de N aplicado aos 21 ($p<0,01$) e 24 ($p<0,001$) DAC, respectivamente, da mesma forma que entre os

tratamentos 50 e 200 kg N/ha ($p < 0,001$). Para os tratamentos 100 e 200 kg N/ha verificaram-se diferenças significativas aos 13 ($p < 0,05$), 21 e 24 ($p < 0,001$) DAC, respectivamente. As tendências temporais mostram que a partir dos 15 DAC, houve uma separação dos padrões de resposta: entre zero e 50 kg N/ha houve uma estabilização dos níveis de cobertura verde, enquanto que, nas doses superiores, os processos responsáveis pela extensão superficial do dossel (basicamente, alongamento dos estolões, CRUZ e BOVAL, 2000) se mantiveram atuantes. Dessa forma, nas doses de 100 e 200 kg N/ha, o ICV progrediu quase linearmente até a última amostragem realizada, sem evidenciar qualquer tendência à saturação de resposta (Figura 14). Na última avaliação, registraram-se valores de $35,5 \pm 1,88$; $39,5 \pm 1,56$; $49,5 \pm 4,20$ e $63,1 \pm 3,3$, para as doses de 0, 50, 100 e 200 kg N/ha respectivamente.

Os resultados obtidos nos experimentos conduzidos previamente, na área, mostraram padrões de resposta menos diferenciados. No caso do experimento de Oliveira (2008), no seu primeiro ciclo de crescimento, os valores do ICV se estabilizaram em torno dos 30 DAC, agrupando as respostas em apenas dois níveis: sem e com N, com valores de 0,74 e 0,93, respectivamente. Já no estudo de Barbieri Júnior (2009), realizado em um único ciclo de rebrota com duração de 28 dias, durante o mês de dezembro de 2008, os dados evidenciaram uma saturação de resposta já a partir dos 16 DAC, quando as curvas tenderam à estabilização, tanto na testemunha como nos tratamentos adubados (75- 150 kg N/ha) os quais não diferiram entre si (teste F, Figura 15). Os valores finais do ICV, aos 28 DAC, resultaram bastante elevados, variando entre 67 % na testemunha até o quase fechamento o completo do dossel no caso da maior dose de adubação nitrogenada ($ICV \approx 99,5 \%$)

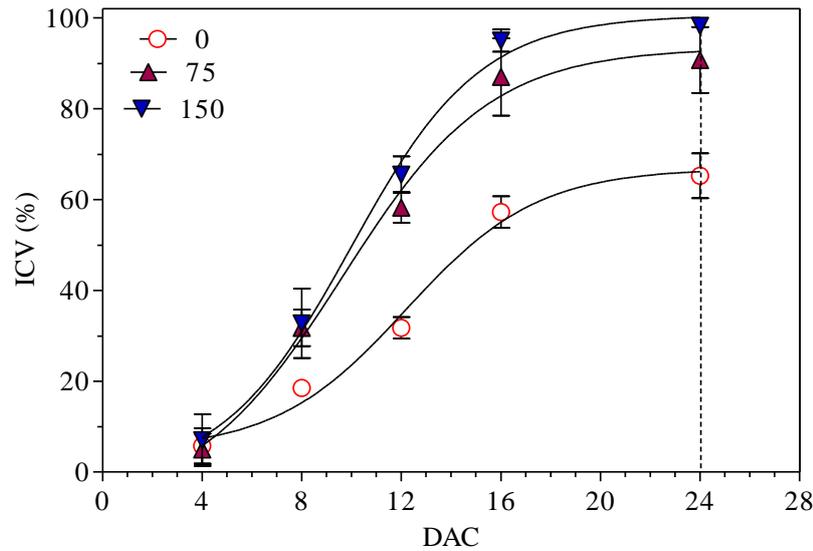


Figura 15- Variação do Índice de Cobertura Verde (ICV %) do capim Tifton 85, em função de níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte, no experimento conduzido por Barbieri Júnior (2009). Os dados relativos aos 28 DAC foram omitidos para facilitar a comparação com a Figura 16.

Cabe observar que as condições ambientais durante o transcurso do experimento de Barbieri Júnior (2009) foram muito mais propícias para o crescimento do capim, com uma precipitação mensal de 263 mm, bem distribuída em um maior número de dias com chuvas, com níveis mais moderados de radiação solar global (média mensal: $15,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e de temperatura média do ar. Uma vez que o material vegetal foi o mesmo nos três experimentos, as diferenças entre os padrões de resposta observados foram devidas primariamente a diferenças nas condições climáticas, embora o manejo da adubação mineral também fosse diferenciado em cada um dos experimentos. Particularmente, a comparação com os dados de ICV obtidos por Barbieri Júnior (2009), permite inferir que, no presente ciclo de rebrota, as condições de estresse hídrico reduziram as taxas de crescimento do capim Tifton 85, ao ponto que os valores de ICV observados aos 24 DAC na Figura 14 são da mesma ordem que os observados entre os 8-12 DAC na Figura 15.

Silva et al. (2011b) combinaram resultados obtidos nos experimentos de Oliveira (2008) e Barbieri (2009) com o uso das técnicas de interseção (quadrante reticulado) e de análise de imagens de câmara digital (ICV). Em ambos os casos, foram obtidos valores elevados de correlação entre esses atributos e o IAF ou a massa de forragem do capim Tifton 85, mas ambas as técnicas mostraram tendência à saturação, o que pode constituir

uma limitação em altos níveis de produção. O ICV começou a saturar a sua resposta a valores acima de 80 %; o qual se correspondeu com valores de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (IRFA) menores que 85 %. É fato que, como observado por vários autores, a cobertura vegetal guarda uma relação assintótica com a massa de forragem e o índice de área foliar (SCHUT e KETELAARS, 2003). No presente caso, os dados evidenciaram não ter se chegado a essa situação de saturação, uma vez que na maior dose aplicada, o valor do ICV, aos 24 DAP, não ultrapassou 65 %, como previamente mencionado.

Um dos problemas enfrentados nesta pesquisa, é que contrariamente ao planejado, as amostragens de campo não puderam ser feitas simultaneamente, principalmente por limitação do tamanho da equipe de apoio, e em algum caso, por problemas de disponibilidade de equipamento, quando de uso compartilhado. Essa falta de sincronia entre as datas de amostragens, assim como no seu número, desigual entre métodos, veio prejudicar as possibilidades de se fazer comparações estatisticamente mais rigorosas, entre os métodos estudados. Optou-se por fazer comparações aos pares, através de séries numéricas, por emprego do teste “t”, com correção de Welch. Foram selecionadas as séries numéricas ($n = 16$) correspondentes à amostragem aos 24 DAC, comum aos métodos AVA e ICV, e para o método CV a correspondente à amostragem no dia anterior. Os resultados obtidos mostraram não existir diferença significativa ($p > 0,05$) entre as médias correspondentes os métodos da grade reticulada (CV) e da análise de imagens obtidas com fotografias coloridas (ICV). Pela sua vez ambos os métodos diferiram significativamente do método da avaliação visual assistida (AVA) (Tabela 4).

Tabela 4. Resultado do Teste “t” para a comparação entre métodos de estimativa da cobertura vegetal em parcelas vegetadas com o capim Tifton 85.

Método comparado*	n	p	r^2	Teste F**
AVA x CV	16	0,0002	0,3814	0,658
CV x ICV	16	0,8576	0,0001	0,633
AVA x ICV	16	0,0001	0,4016	0,960

* AVA: avaliação visual assistida (cartões); CV: cobertura vegetal (contagem sobre grade reticulada); ICV: índice de cobertura verde (análise de imagens) ** Para comparação de variâncias ($p < 0,05$).

A conclusão da inexistência de diferenças de grande magnitude entre os métodos de avaliação da cobertura usando grade reticulada ou análise digital de imagens já tinha

sido adiantada por Silva et al. (2011a) havida conta da perda de linearidade na resposta de ambos os métodos frente ao aumento na disponibilidade de N no solo. Quanto ao desempenho do método de avaliação ocular, Olmstead et al. (2004), em cultivos olerícolas e Rotz et al. (2008) em pastagens, apontaram a tendência do método a fornecer valores superestimados e/ou pouco confiáveis. Todavia, deve ser feita a ressalva de que também existem resultados que indicam a avaliação visual como a melhor alternativa (LOPES et al.2000). O método da grade depende também de avaliação visual e portanto do grau de treinamento do avaliador, embora o uso de uma grade reticulada e a contagem de interseções restrita à camada superficial do relvado contribua bastante para reduzir as margens de subjetividade na aplicação do método.

4.3 Índice de Área Foliar

4.3.1. Método Direto

Contrariamente ao planejado, ao final do período de avaliação, somente três datas amostrais referentes à estimativa do IAF pelo método direto puderam ser realizadas. Isto se deveu à pouca uniformidade e disponibilidade de material verde ao início do ciclo de rebrota, mas principalmente ao tempo gasto na coleta e preparo das amostras, captura da informação (digitalização da folha) e processamento. O procedimento em si é tido como de alta precisão, e serve como fundamento para alguns equipamentos eletrônicos de medição de área foliar e análise do dossel (ex. Delta-T Leaf Area Measurement System; Digital Plant Canopy Imager CI 100) mas no presente caso, cada etapa foi realizada separadamente, o que contribuiu para limitar a capacidade de processamento de novas amostras. Todavia, os dados obtidos em três amostragens, aos 18, 23 e 26 DAC, dentro do período de máxima expansão da superfície foliar do capim, evidenciaram efeitos significativos para dose de N ($p= 0,0005$) e DAC ($p < 0,0001$), não para a interação entre esses fatores (Tabela 2)

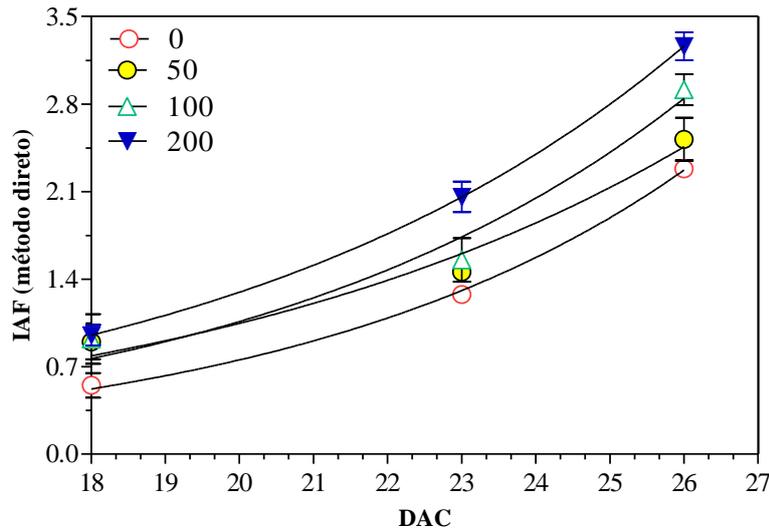


Figura 16 Variação do Índice de Área Foliar do capim Tifton 85, determinado por método destrutivo, em função de níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte. As curvas de ajuste correspondem a um modelo exponencial. Barra vertical indica o erro padrão da média.

Dose 0: $r^2 = 0,963$; 50: $r^2 = 0,873$; 100: $0,864$; 200: $r^2 = 0,964$.

Como a absorção da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é dependente da área foliar disponível, parte dos benefícios do N sobre o crescimento das pastagens podem ser atribuídos aos efeitos diretos do nutriente sobre o IAF (FERNANDES e ROSSIELLO, 1995; GASTAL e LEMAIRE, 2002). Resultados obtidos por Galzerano et al. (2008) e por Oliveira et al. (2010) durante o primeiro ano de estudos na área experimental, permitem afirmar que para a expressão da produtividade fotossintética do capim Tifton 85, a manutenção de altos valores de IAF é o principal requisito. Isto acontece porque quando o IAF é alto, a absorção de RFA permanece alta através do dia, sendo largamente independente do ângulo solar (DAUGHTRY et al., 1983). No presente caso, os valores finais do IAF, aos 26 dias foram de: $2,28 \pm 0,07$; $2,51 \pm 0,17$; $2,91 \pm 0,12$ e $3,26 \pm 0,11$ para as doses de 0, 50, 100 e 200 kg N/ha, respectivamente. No supracitado trabalho de Barbieri Júnior (2009), o IAF foi determinado pelo método morfogênico, sendo que a área das lâminas foi quantificada fotoeletronicamente, utilizando-se um aparelho integrador de área foliar marca LI-COR, modelo LI 3100. Ao final do seu período de rebrota (28 DAC), os valores de IAF foram de: $0,59 \pm 0,06$; $1,73 \pm 0,19$ e $3,49 \pm 0,68$ para as doses de 0, 75 e 150 kg N/ha. Então, ambos os métodos podem apresentar algumas inadequações, principalmente relacionadas à precisão das

estimativas do AFE no método funcional (BRÉDA, 2003), ou de subjetividade nas contagens da densidade populacional de perfilhos, e na seleção de perfilhos individuais, no caso do método morfogênico (SBRISSIA e DA SILVA, 2008; BARBIERI JÚNIOR, 2009).

4.3.2. Método Indireto: AccuPAR

A análise relativa às estimativas de IAF pelo ceptômetro AccuPAR modelo LP-80 (IAF_{cept}), indicou existirem efeitos significativos para doses de N ($p=0,005$); para DAC ($p<0,0001$) mas não para a interação entre esses fatores ($p= 0,3312$) (Tabela 2).

Com relação ao efeito médio das doses de N, a análise de variância indicou que o tratamento testemunha diferiu significativamente de 100 e 200 kg N/ha, mas não do tratamento que levou 50 kg N/ha. Este último tratamento diferiu significativamente apenas em relação à maior dose de N aplicada, enquanto as doses de 100 e 200 kg N/ha não diferiram entre si (Tabela 5). Na Figura 17 mostram-se as variações temporais das estimativas de IAF por este método, durante o ciclo de rebrota estudado. Devido a sua portabilidade, facilidade de operação e caráter instantâneo das respostas, foi possível realizar, com este instrumento, medições repetidas com maior frequência do que com o método direto.

Tabela 5: Teste de médias (Tukey-Kramer) para o efeito de dose de N sobre o IAF do capim Tifton 85, estimado pelo analisador de dossel AccuPAR modelo LP 80.

Dose	0	50	100	200
0	-----	0,7688	0,0337	0,0001
50	0,7688	-----	0,2612	0,0012
100	0,0337	0,2612	-----	0,1793
200	0,0001	0,0012	0,1793	-----

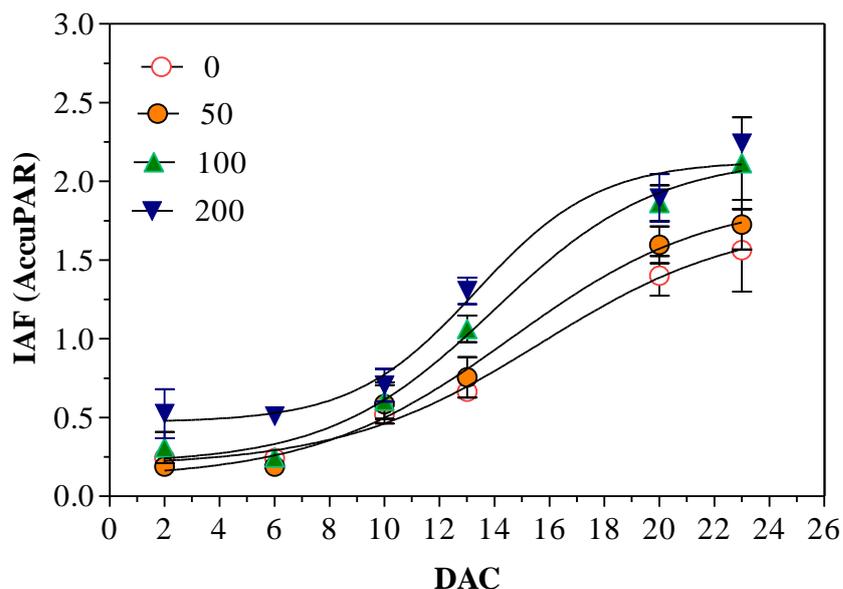


Figura 17 Variação do Índice de Área Foliar do capim Tifton 85, determinado por método indireto, com um ceptômetro AccuPAR modelo LP 80, em função de níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte (DAC). As curvas de ajuste correspondem ao modelo sigmoidal de Boltzmann. Barra vertical indica o erro padrão da média. Dose 0: $r^2 = 0,856$; 50: $r^2 = 0,906$; 100: $r^2 = 0,888$; 200: $r^2 = 0,944$.

Ao final do período de mensuração (23DAC) foram registrados os seguintes valores médios de IAF_{cept} : $1,56 \pm 0,26$; $1,73 \pm 0,158$; $2,12 \pm 0,293$ e $2,24 \pm 0,144$, para as doses de 0, 50, 100 e 200 kg N/ha, respectivamente. Ao se comparar esses valores com os correspondentes ao IAF obtido por amostragem destrutiva direta (IAF_{dir}), percebe-se que a utilização do ceptômetro conduz a uma subestimativa dos valores obtidos a partir da biomassa seca de folhas e sua respectiva AFE. Entretanto, apenas aos 23 DAC houve uma determinação simultânea de ambos IAFs (Figuras 16 e 17). Procedeu-se então a uma estimativa do desvio das medições nesse dia, através de regressão linear, utilizando-se os valores do IAF_{dir} como variável independente. A relação funcional obtida, válida para valores de IAF_{dir} entre os limites de 1,10 e 2,53, teve interseção ($0,583 \pm 0,27$) e pendente ($0,762 \pm 0,173$) significativamente diferentes de zero ($p < 0,05$). A reta prediz que a subestimação média é da ordem de 23,2 % e que começa a valer em $IAF \approx 2,53$, condição em que o desvio $IAF_{CEP} - IAF_{dir} = 0$ (Figura 18).

Na literatura, existem registros para ambas as situações, de super ou subestimação em relação à mensuração direta ou absoluta do IAF, quando são empregados métodos indiretos que utilizam informação da fração da radiação interceptada pelo dossel.

Os instrumentos que operam opticamente por análise da “gap fraction”, como é o caso do AccuPAR, não conseguem separar o tecido foliar verde, fotossinteticamente ativo, de outras partes como folhas senescentes, colmos e estolões, as quais são igualmente consideradas em termos de interceptação total (ASNER et al, 2003; BRÉDA, 2003; JONCKHEERE et al., 2004), e portanto computadas como “folhas” pelo modelo de inversão utilizado pelo equipamento.

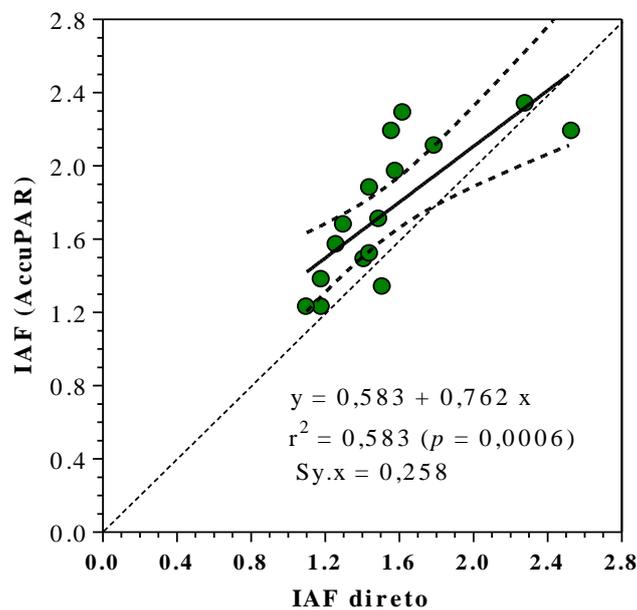


Figura 18 Relação funcional entre o IAF_{cept} e o IAF_{dir} aos 23 dias após um corte de uniformização, em parcelas experimentais do capim Tifton 85, submetido a quatro doses de adubação nitrogenada. Linhas pontilhadas indicam limites de confiança da regressão (P = 0,95). Seropédica, RJ, fevereiro de 2012.

Em nosso estudo, o corte de uniformização realizado nas capineiras rebaixou os dosséis a uma altura média de 4 cm. Ao se posicionar a barra sensora dentro do resíduo pós corte, foi observado que quando a mesma interceptava um estolão enraizado, a barra deslizava por cima, e quando interceptava uma seção não enraizada, ela passava por baixo da curvatura do estolão. Com uma barra sensora de 1,0 m de extensão e uma resolução espacial mínima de 1,0 cm (AccuPAR Operator’s Manual v.10, s/d), esses eventos poderiam influir nos valores de interceptação registrados, podendo explicar os altos valores de IAF estimados pelo AccuPAR, apenas quatro dias após o corte (entre

0,3 e 0,5, Figura 17), os quais parecem improváveis. O mesmo tipo de efeito tem sido atribuído ao excessivo acúmulo de material morto na base dos dosséis (SBRIZZIA e DA SILVA, 2008).

Na literatura também são relatados casos de subestimação de IAF por parte do AccuPAR e do LAI-2000 (WILHELM et al., 2000; BRÈDA, 2003; HE et al., 2007). Em princípio, a própria colocação do aparelho dentro do relvado pode ser uma fonte de perturbação importante, dependendo da morfologia do dossel e da sua densidade foliar (JOHNSON et al., 2010). Tem sido observado que é praticamente impossível posicionar um sensor sob um relvado sem causar algum distúrbio, do qual resultará uma maior incidência de luz em profundidade, uma maior subestimação da fração interceptada e conseqüentemente do IAF (HE et al., 2007). Todavia, o principal motivo associado com a subestimação do IAF, está relacionado com uma possível distribuição angular não totalmente uniforme, ou seja, as folhas se posicionariam, dentro do dossel, não totalmente ao acaso. De fato, o AccuPAR opera com um parâmetro de distribuição foliar (x) pré determinado, que no caso das pastagens corresponde a $x=1$. Um valor unitário de x corresponde a uma distribuição esférica ($G(\theta) = 0,5$, CAMBELL e NORMAN, 1989), uma assunção que pode não ser verdadeira para o caso de espécies de crescimento estolonífero. A situação de subestimativa do IAF por causa do agrupamento (“*clumping*”) das folhas dentro das hastes ou ramos tem sido bastante estudada em dosséis florestais, onde pode oscilar entre 25 -50 % de acordo com Bréda (2003). He et al. (2007) trabalhando com quatro gramíneas forrageiras no Canadá, registraram resultados similares.

4.4. Câmara Multiespectral

De modo diferente do até aqui estudado, onde as variáveis experimentais foram objeto medições repetidas no tempo, permitindo diversas comparações e interpretações, a discussão a partir desta seção trata de resultados obtidos a partir de uma única data de observação. Numa tal situação, os resultados devem ser usados com bastante precaução (DAUGHTRY et al., 1983), e, no presente caso, podem ser caracterizados como próprios de um estúdio exploratório. Com efeito, a disponibilidade da câmara multiespectral se viabilizou apenas aos 27 DAC, data na qual os dosséis do capim já

tinham acumulado uma quantidade apreciável de cobertura verde, IAF e conseqüentemente de biomassa.

4.4.1 Resposta à adubação nitrogenada

De forma similar ao feito com os outros indicadores de crescimento do dossel, a primeira caracterização desta ferramenta analítica foi a aferição da sua sensibilidade à adubação nitrogenada. Os resultados são apresentados na figura 19 e Tabela 6.

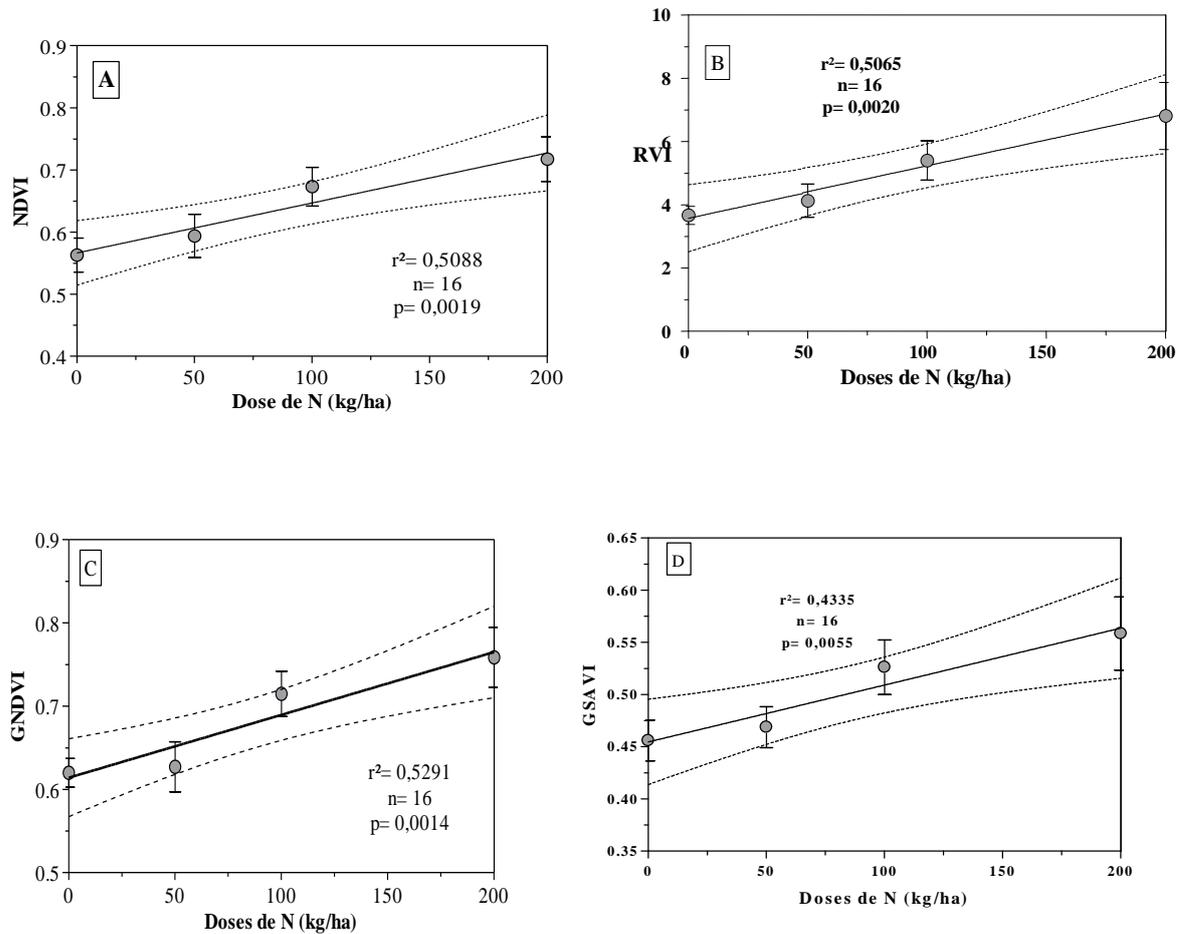


Figura 19. Efeito da adubação nitrogenada sobre quatro Índices de Vegetação no capim Tifton 85. A: RVI; B: NDVI; C: GSAVI, D: GNDVI. Barra vertical indica o erro padrão da média (4 repetições). Seropédica, RJ, março de 2012.

Tabela 6: Equações de regressão, probabilidades e desvio padrão do resíduo, entre quatro índices de vegetação e doses de nitrogênio aplicadas, em dosséis do capim Tifton 85.

Índice de Vegetação	Equação	Probabilidade, p	Sy.x
NDVI	$y = 0,563 + 0,0008x$	0,0019	0,062
GNDVI	$y = 0,614 + 0,0007x$	0,0014	0,056
GSAVI	$y = 0,455 + 0,0005x$	0,0055	0,05
RVI	$y = 3,574 + 0,0163x$	0,0020	1,276

Como pode ser visto na figura 19, todos os quatro IV responderam linearmente ao aumento das doses de N aplicadas, sendo que a efetividade das respostas seguiu a ordem: $GNDVI = NDVI = RVI > GSAVI$. Jensen et al. (1990) e Fonseca et al. (2002) estão entre os autores que observaram relação positiva entre os valores de NDVI e as doses de adubação nitrogenada. Isto seria o esperado uma vez que o aumento na disponibilidade de N no solo promove a expansão da superfície foliar, com consequente aumento no IAF (Figuras 17 e 18), o que aumenta a refletância na região do IVP. Pontailler et al. (2003) observaram que mesmo que a refletância do dossel na banda do vermelho atinja um valor assintótico a valores do índice de área foliar da ordem de 2-3, a refletância no IVP continuará a aumentar, em concordância com o aumento em área foliar. Nessa situação, portanto, os aumentos lineares do RVI e do NDVI com as doses de N estão justificados (Figuras 19 A e B). Já no caso do GNDVI o aumento linear se justifica porque o aumento na disponibilidade de N no solo aumenta o teor de clorofila total ($a + b$) extraída da primeira folha superior totalmente expandida (BARBIERI JÚNIOR, 2009), fato este responsável pela redução da refletância do dossel na banda do verde, centrada em 550 nm (FONSECA et al., 2002; GITELSON et al., 2002; HATFIELD et al., 2008; LOPES e REYNOLDS, 2012). O índice GSAVI é uma modificação do próprio GNDVI, via multiplicação e adição de constantes numéricas, justificando o paralelismo de sua resposta com relação ao primeiro índice (Figura 19 C e D).

As pesquisas sobre respostas destas gramíneas forrageiras à adubação nitrogenada precisam ser feitas sobre uma base regional (QUARESMA et al., 2011), sendo que já existe no país um volume considerável de informação relativa a doses e formas de aplicação do N na cultivar Tifton 85. Apenas para citar alguns estudos

representativos, Vilela e Alvim (1998), no sul de MG, avaliaram as respostas dos capins Tifton 68 e Tifton 85, a cinco doses de N (0, 100, 200, 400 e 600 kg/ha/ano). Cecato et al. (2001) no Paraná, aplicaram um total de 400 kg N/ha, durante o verão, dividido em quatro parcelas a cada 35 dias. Menegatti et al. (2002), em Lavras, MG, testaram as respostas a quatro doses, entre 0-400 kg N/ha; Oliveira et al (2010), em Seropédica, RJ, utilizaram cinco níveis entre 0 e 600 kg N/ha aplicados em quatro parcelas. Quaresma et al.(2011), em pesquisa conduzida na região Centro-Sul de Mato Grosso, utilizaram doses entre 0-200 kg N/ha,também parceladas em quatro aplicações.

Por outro lado, índices de vegetação normalizados como o NDVI e o GNDVI tendem a convergir assintoticamente ao valor máximo caracterizando o conhecido fenômeno de saturação de resposta a altos níveis de biomassa vegetal. Em vista desta situação, seria interessante aumentar, em futuros estudos, as dosagens de aplicação de N, visando caracterizar melhor o ponto de inflexão da tendência linear aqui evidenciada.

4.4.2 Aplicações

As abordagens metodológicas empregadas neste trabalho buscam alternativas de mensurações que permitam caracterizar os processos de crescimento e produtividade de gramíneas forrageiras estoloníferas de forma mais prática e precisa. A produtividade de uma cultura depende da habilidade da sua cobertura vegetal para interceptar a radiação solar incidente, uma propriedade biofísica que é função da área foliar disponível, da arquitetura da cobertura vegetal e da eficiência de conversão da energia capturada pela planta em biomassa (NOBEL et al, 1993; OLLINGER, 2011; POLLEY et al, 2011). Portanto, nesta seção são apresentadas as relações obtidas entre os quatro índices de vegetação desenvolvidos a partir da informação multiespectral e os valores de massa seca, índice de área foliar e interceptação da radiação fotossinteticamente ativa por parte dos dosséis do capim Tifton 85

4.4.3 Relações entre IV e Produção de Biomassa Verde Seca

Inicialmente, foi planejada a obtenção de amostras para a determinação da área foliar, pelo método direto e da biomassa verde simultaneamente com a captura de imagens pela câmera multiespectral, aos 26 DAC. Todavia, devido a atraso na calibração do instrumento, as medições com a câmera foram obtidas aos 27 DAC.

Na figura 20 (A-D) são apresentados os resultados da análise funcional entre a MSVPA e os correspondentes índices RVI (A) ,NDVI (B), GNDVI (C) e GSAVI (D).

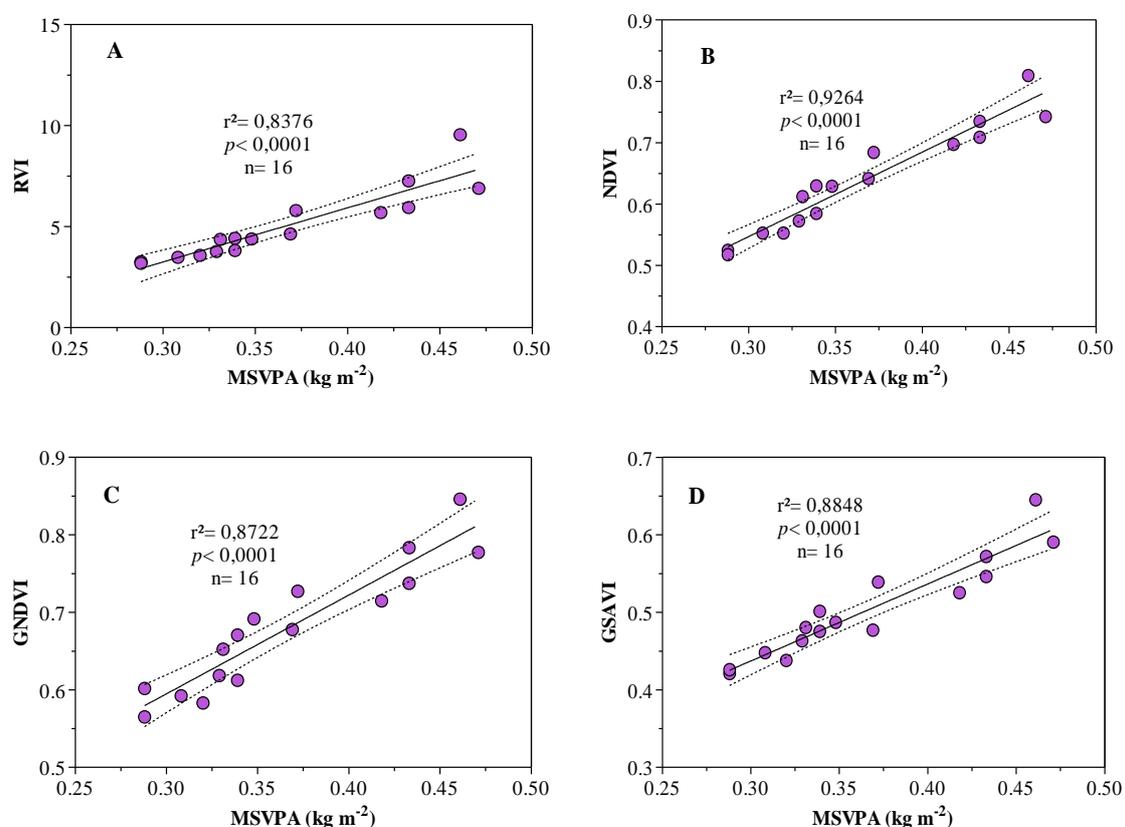


Figura 20 Relação funcional entre quatro índices de vegetação e o acúmulo de massa seca verde da parte aérea (MSVPA), em parcelas experimentais do capim Tifton 85. A): RVI; B): NDVI; C): GNDVI; D): GSAVI. Seropédica, RJ, março de 2012.

Em todos os quatro estudos de caso, foram obtidas equações lineares com elevados valores do coeficiente de determinação. Em relação ao comportamento do RVI e NDVI, como ambos os índices contêm informações iguais no relativo às bandas espectrais consideradas, as diferenças de r^2 entre as equações de ajuste podem expressar sensibilidades diferenciais para um mesmo nível de cobertura de dossel ou à forma como essas informações estão combinadas. A manutenção da relação linear a valores MSVPA > 0,4 kg m⁻² é mais evidente com o NDVI, enquanto que com o índice RVI há maior dispersão de dados. O desempenho dos índices GSVI e GSVI, os quais incorporam a informação correspondente à banda do verde da câmara multiespectral (500 – 580 nm, Figura 7) foi ligeiramente inferior ao do NDVI, o que pode refletir a redução da refleti-

vidade do dossel na banda visível do espectro de irradiância solar, sob efeito da adubação nitrogenada (Figura 22).

Constam na literatura, muitos resultados prévios, que suportam os aqui obtidos, relativos à eficiência da informação proveniente da refletância no IVP quanto a sua relação com atributos do dossel. Por exemplo, Korobov e Railyan (1993), estudando o comportamento de cultivares de trigo sob condições de campo, encontraram que as porções espectrais do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (Vm) tiveram a mais alta correlação com as variáveis altura, densidade e percentagem de cobertura do dossel.

É interessante observar que a partir da estratégia adotada de criação de um gradiente de MSVPA via adubação nitrogenada, foram obtidos valores de massa seca verde que se correspondem com os comumente encontrados na literatura sobre *Cynodon* spp. (VILELA e ALVIM, 1998; CECATO et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2010).

4.4.4 Relações entre IV e Índice de Área Foliar

Na figura 21 (A-D) são apresentados os resultados da análise funcional entre os valores de IAF, obtido pelo método destrutivo direto, aos 26 DAC, e os correspondentes índices RVI (A), NVDI (B), GNDVI (C) e GSAVI (D). Novamente aqui foram encontradas relações lineares entre a variável independente e os IV estudados, mas com valores de r^2 bastante inferiores em relação aos obtidos com a massa seca; oscilando entre 0,418 (GSAVI, Fig. 21 D) e 0,52 (NDVI, Fig. 21A).

Na interpretação desses resultados deve ser considerado que a estrutura do dossel (o sujeito da imagem da câmera multiespectral) contém elementos outros que apenas lâminas foliares. Isto pode ser apreciado, com melhor resolução, em imagens obtidas na porção infravermelha do espectro (RICH, 1990) as quais reduzem o efeito das sombras, tal como na figura 9 E. Nela, destacam-se elementos como estolões, caules, e lâminas foliares, com orientações angulares diferenciadas, além de “gaps”, entre elementos da vegetação ou devidos à exposição da superfície do terreno como “background”. Incidentalmente, a imagem sugere que a contribuição de material morto ou senescente foi bastante reduzida. Ollinger (2011) faz referência a esta situação ao afirmar que não obstante o IAF se constituir no mais importante descritor das propriedades do dossel, o seu valor isolado não pode descrever totalmente os efeitos da estrutura do relvado sobre a refletância. Pensa-se que esta seja uma explicação plausível para os resultados mostrados na figura 21, mormente quando o IAF utilizado não foi obtido “*in situ*”, senão como uma somatória de lâminas verdes destacadas da vegetação.

Por outro lado, os dados da figura 21 parecem confirmar a afirmativa de Ollinger (2011), uma vez que o IAF isoladamente explicou, em média, 48 % da variabilidade total nos dados dos IVs.

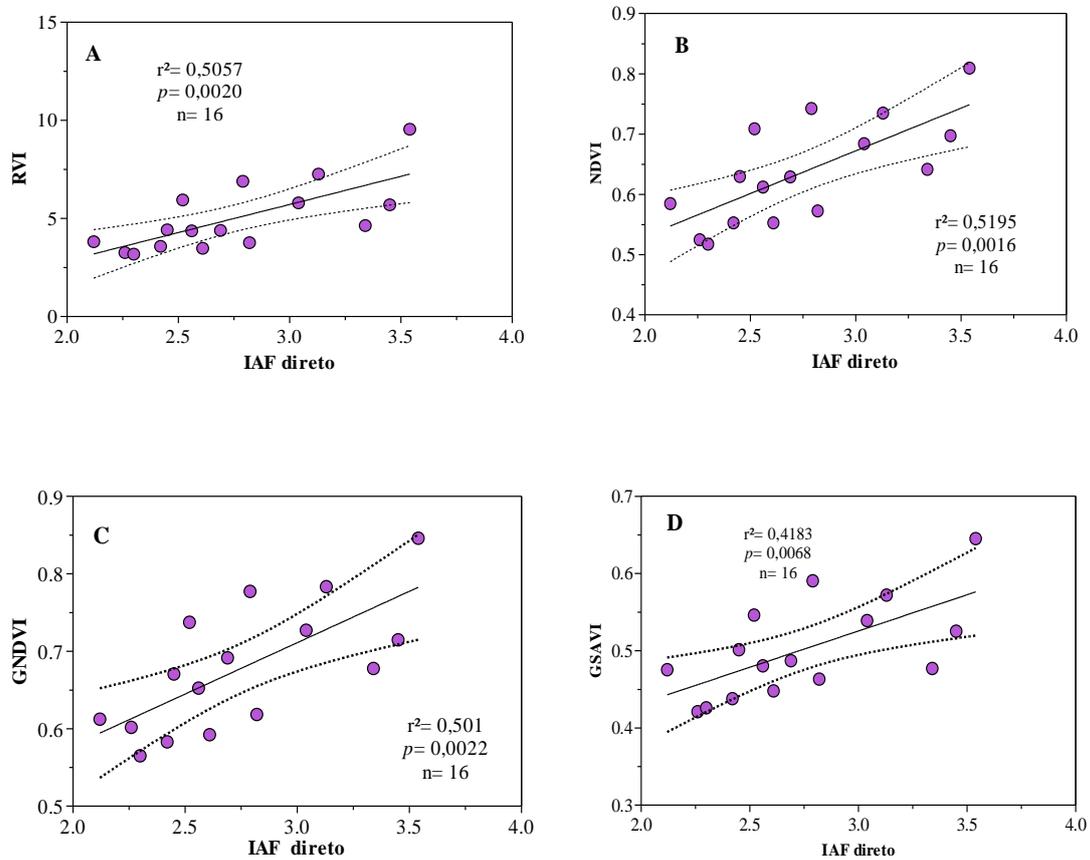


Figura 21 Relação funcional dos índices de vegetação, A: RVI; B: NDVI; C: GSAVI, D: GNDVI, com a índice de área foliar (IAF) direto no capim Tifton 85. Seropédica, RJ, março de 2012.

Pela observação visual da figura 21, parece que o RVI foi o índice que apresentou uma distribuição mais uniforme de dados para a condição $IAF \leq 3,0$ em relação aos outros índices. Esse valor de 3,0 foi tomado como referencia uma vez que Tucker (1979) observou que as maiorias dos IVs por ele estudados saturaram a valores de IAF em torno de 3,0. Aparicio et al. (2000) trabalhando com cultivares de trigo, na Espanha, mostraram que o NDVI foi um índice extremadamente sensível em valores de IAF entre 0 e 2. Todavia para valores de $IAF > 3$ a adição de mais camadas de folhas teve pouco efeito sobre a refletância da radiação vermelha e IVP, e portanto sobre o NDVI.

No presente caso, onde os pontos amostrais incluíram valores de IAF até 3,5, há uma tendência a maior dispersão de pontos acima de IAF 3,0; mas o caráter linear das relações obtidas foi confirmado independentemente, pelo método do “*run test*”. Entretanto, não foi possível explicar a razão do pior desempenho do GSAVI em relação ao GNDVI (Fig. 21C e D).

4.4.5 IVs e Interceptação da Radiação Fotossinteticamente Ativa

Os resultados relativos a níveis de interceptação da Radiação Fotossinteticamente Ativa (IRFA) por parte dos tratamentos, mostrados na figura 22, correspondem a leituras feitas com o ceptômetro AccuPAR, entre os 2 e 24 DAC. A análise estatística revelou existirem efeitos significativos para N ($p < 0,0001$); DAC ($p < 0,0001$), mas não para a interação entre esses fatores ($p = 0,1895$) (Tabela 2). Como esperado, as tendências temporais do IRFA acompanharam as da figura 17, relativas às estimativas do IAF pelo mesmo instrumento.

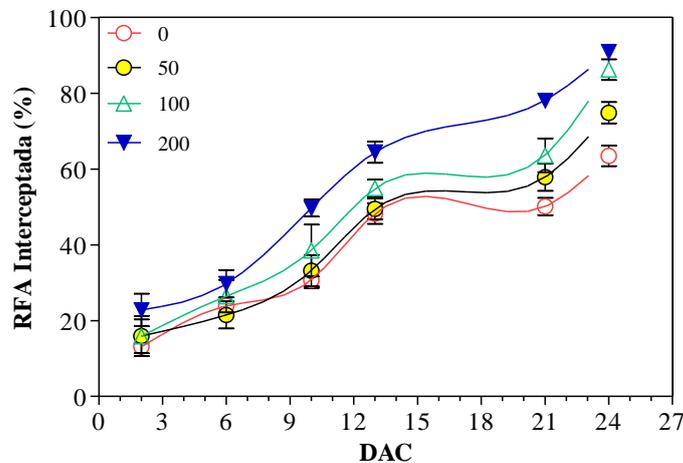


Figura 22. Fração da irradiância fotossintética incidente (RFA, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) interceptada instantaneamente pelo capim Tifton 85, em função de doses de adubação nitrogenada e datas de mensuração (DAC). As linhas de tendência foram geradas pelo procedimento “*cubic spline*”. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Por ocasião dos 27 DAC, em conjunto com a captura de imagens pela câmera multiespectral, foram realizadas medições simultâneas de IRFA. Só que nesta ocasião,

por não estar disponível o sensor do AccuPAR, utilizou-se um equipamento da LI-COR, consistente em um sensor de quantum LI-190 isolado, conectado a um radiômetro portátil (LI-250A). Preferiu-se utilizar este procedimento, e não a barra sensora LI 191 AS, de 1,0 m de comprimento, justamente para verificar qual o seu efeito sobre as medições de IRFA. Cada registro era uma média de oito determinações consecutivas tomadas durante um período de 15 s, tempo suficiente para fazer circular manualmente o sensor por cima do dossel. Imediatamente após o registro acima do dossel, procedia-se à leitura abaixo do mesmo, procurando colocar o sensor tão próximo à superfície quanto possível (o sensor tem uma altura de 2,5 cm), o que era dificultado pelos estolões paralelos à superfície do terreno. Todavia, neste procedimento, não se “forçou” o sensor por debaixo da massa de estolões. Em função de todos esses aspectos os valores de IRFA registrados desta forma resultaram inferiores em comparação com os registros do AccuPAR feitos em dias prévios. Com essa ressalva, esses dados foram relacionados com os valores de NDVI, obtendo-se um coeficiente de correlação $r = 0,8894$ ($p < 0,0001$, Figura 23).

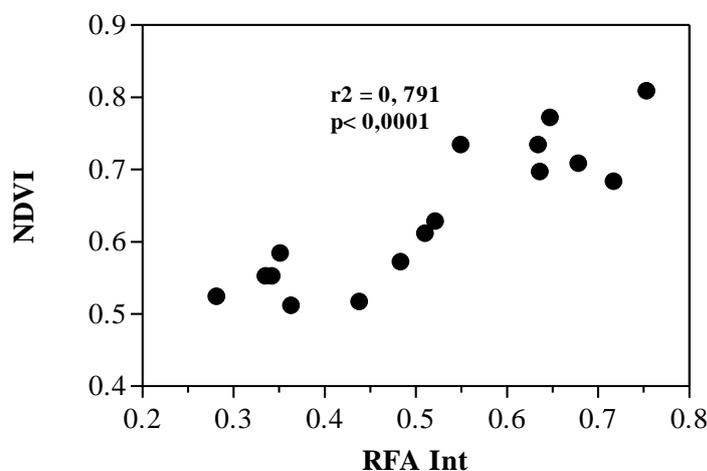


Figura 23. Relação funcional entre o NDVI e a fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada por dosséis do capim Tifton 85 submetidos a quatro níveis de adubação nitrogenada. Cada ponto corresponde a uma parcela individual.

Ao mesmo tempo, os dados coletados com o sensor quântico mostraram que a refletância média do dossel, dentro da faixa 400-700 nm, decresceu, significativamente ($p < 0,05$) entre as doses zero e 200 kg N/ha, de 0,084 (8,4 %) para 0,053 (5,3 %),

respectivamente. Sabe-se que a maior absorção de radiação pela clorofila *a* está associada aos comprimentos de onda da faixa do vermelho (OLLINGER, 2011), fato esse que explicaria as reduções da refletância do dossel dentro da faixa visível do espectro, aqui observadas.

Alguns autores têm observado relações lineares entre a fração da RFA absorvida (ou seja, a diferença entre RFA interceptada e a refletida) e o NDVI. Guitelson et al. (2006) sustentam que tal tipo de relação é só uma aproximação, já que há uma diminuição significativa na sensibilidade do NDVI quando a fração da RFA Absorvida excede 0,7. Embora com um relativamente alto coeficiente de determinação, a inspeção da figura 23 deixa dúvidas sobre a natureza da relação. Para valores de IRFA acima de 0,6, o padrão linear é praticamente inexistente ($r^2 = 0,119$; $p = 0,541$), e mesmo a valores inferiores dessa fração, a associação linear não é muito robusta ($r^2 = 0,542$; $p = 0,0152$). É possível também que esses resultados sejam o produto de uma insuficiência de pontos amostrais, e que possam ser modificados ao se aumentar o universo amostral.

Em conclusão, tomados em conjunto, os dados sugerem que visando a sua utilização prática no manejo da adubação nitrogenada em gramíneas forrageiras do gênero *Cynodon*, deveriam ser preferidos índices como o NDVI ou o RVI, dependendo das circunstâncias. De fato utilização de índices mais complexos, ou com utilização de informação da banda do verde, não resultou em melhoria no desempenho das estimativas indiretas de massa de forragem ou de área foliar. Poderia ser argumentado que tal recomendação se ajustaria melhor no caso das capineiras serem manejadas no regime de cortes. Já para o caso de sua utilização como pastagens, e em vista da desuniformidade da vegetação induzida pelos sistemas de pastejo (TOTHILL, 1987; WHALLEY e HARDY, 2000; LOPES et al., 2000; SBRIZZIA e SILVA, 2008) será necessária experimental adicional.

A principal desvantagem das câmeras digitais em relação aos radiômetros, é a sua menor resolução espectral, limitação que pode ser contornada pela utilização de filtros específicos na câmera (SENA JÚNIOR et al, 2008). Restrições de outro tipo são as devidas ao seu custo e às dificuldades de portabilidade do equipamento no campo, se bem que este último aspecto pode ser melhorado pela utilização de veículos terrestres ou sistemas aerotransportados.

CONCLUSÕES

Em atenção à hipótese que guiou a execução deste trabalho, cabe concluir que, de uma forma geral, a mesma pode ser considerada provada, não obstante a existência de condições ambientais adversas à expressão dos processos de crescimento da pastagem, e que por sua limitaram as possibilidades de algumas aqui estudadas. Isto afetou em maior medida as metodologias de avaliação de tipo direto do que as indiretas.

Particularmente:

a) As estimativas da cobertura vegetal, feitas por análise de imagens fotográficas tomadas diretamente acima do relvado mostraram-se equivalentes às obtidas através de contagem das interseções do relvado com uma grade reticulada. A técnica de avaliação visual assistida forneceu estimativas superestimadas em relação com as outras duas técnicas comparadas;

b) A avaliação indireta do Índice de Área Foliar feita com um ceptômetro conduziu a valores subestimados em relação à técnica de avaliação direta e destrutiva do Índice de Área Foliar;

c) Todos os índices de vegetação (IVs) estudados a partir da análise de imagens obtidas com câmara multiespectral, mostraram sensibilidade à adubação nitrogenada e se constituíram em estimadores igualmente eficientes da biomassa verde seca produzida pelo capim, evidenciando a importância da informação proveniente da reflectância infravermelha do dossel;

d) Os mesmos IVs evidenciaram uma eficiência apenas parcial em relação à estimativa indireta do IAF.

Finalmente, deve ser lembrado que as relações entre IV e os atributos do dossel mensurados foram produto de um único evento de observação e, portanto, carecem de novas análises para sua confirmação.

REFERÊNCIAS

- AccuPAR Operator's Manual. PAR/LAI Ceptometer – model LP – 80. **Decagon Devices Inc.** Pullman, WA, USA, v. 10, s/data, 100p.
- AGUADO – SANTACRUZ, G. A.; CRUZ, Q. R.; HERNÁNDEZ, J. L. P.; CABRERA, O. G.; GARCÍA – MOYA, E. G. Manejo biotecnológico de gramíneas forrageiras. **Técnica Pecuária em México**, v. 42, n. 2, p. 261-276, 2004.
- ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; VERNEQUE, R.S. BOTREL, M.A. Resposta do tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 34, 1999.
- ANJOS, L.H.C., ROSSIELLO, R.O.P., ZONTA, E., BRASIL, F.C. Propriedades edáficas e distribuição do sistema radicular em pastagens implantadas na região Noroeste do Rio de Janeiro. *In*: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29. Anais. Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD ROM.
- APARICIO, N.; VILLEGAS, D.; CASADESUS, J.; ARAUS, J.L.; ROYO, C. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. **Agronomy Journal**, v. 92, n.1, p. 83-91, 2000.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, p.1-15, 1949.
- ASNER, G.P.; SCURLOCK, J.M.O.; HICKE, J.A. Global synthesis of leaf area observations: implications for ecological and remote sensing studies. **Global Ecology & Biogeography**, v.12, n.3, p. 191-205, 2003.
- BAESSO, M.M.; PINTO, F. A.C.; QUEIROZ, D.M. de; VIEIRA, L.B.; ALVES, E.A. Determinação do “status” nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando imagens digitais coloridas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 520-528, 2007.
- BALIERO, F.C.; OLIVEIRA, W.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; PICCOLO, M.C.; JACCOUD, C.F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa toposeqüência em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p. 153-162, 2008.
- BARBIERI JUNIOR, E. **Características estruturais, teores de clorofila e suas relações com o nitrogênio foliar e a biomassa em capim-Tifton 85**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009. 49 p.
- BARBIERI JUNIOR, E.; ROSSIELLO, R.O.P.; MORENZ, M.J.F.; RIBEIRO, Comparação de métodos diretos de extração e quantificação dos teores de clorofilas em folhas do capim-Tifton 85. **Ciência Rural**, v.40, n.3, p.633-636, 2010.
- BARCELLOS, A. O.; VIANA FILHO, A.; BALBINO, L.; OLIVEIRA, I. P.; YOKOYAMA, L. P. Produtividade animal em pastagens renovadas em solo arenoso de cerrado. *In*: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 34. Anais. Juiz de Fora: SBZ, 1997, v.4, p.207-209.

BARET, F.; HOULÈS, V.; GUÉRIF, M. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 869–880, 2007.

BASSO, F.C.; ISEPON, O.J.; LIMA F, R.R.; CANGANI, M.T.; LODO, B.N. Avaliação do rendimento e qualidade de massa seca de dois cultivares de *Cynodon* submetidos a doses de nitrogênio. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 44. Anais. Jaboticabal: SBZ, 2007. CD ROM.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

BLACKBURN, G. A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: An evaluation of some hyper-spectral approaches. **Remote Sensing of Environment**, v.66, p.273-285, 1998.

BLACKBURN, G.A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 855–867, 2007.

BOOMSMA, C.R.; SANTINI, J.B.; TOLLENAAR, M.; VYN, T.J. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: an analysis and review. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 6, p. 1426-1452, 2009.

BRÉDA, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, Vol.54, No.392, pp. 2403-2417, 2003.

BROUGHAM, R. M. Effects of intensity of defoliation on regrowth of pastures. **Australian Journal of Agriculture Research**, Collingwood, v. 7, n. 5, p. 377-387, 1956.

BURTON, G.W., GATES, R.N., HILL, G.M. Registration of Tifton-85 bermudagrass. **Crop Science**, v.33, p. 644-645, 1993.

CAGNEY, J.; COX, S. E.; BOOTH, D. T. Comparison of point intercept and image analysis for monitoring rangeland transects. **Rangeland Ecology & Management**, v.64, n.3, p. 309-315, 2011.

CAMARGO FILHO, S.T. **Recuperação de áreas degradadas no município de Paty do Alferes pela introdução de gramíneas forrageiras e leguminosas arbóreas**. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia). Seropédica: UFRRJ, 1999. 107 p.

CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. The description and measurement of plant canopy structure In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B. JARVIS, P.G. **Plant canopies: their growth, form and function**, Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 1-19.

CECATO, U., SANTOS, G.T. dos, MACHADO, M. A. GOMES, L.H.; DAMACENO, J.C.; JOBIM, C.C.; RIBAS, N.P.; MIRA, R.T.; CANO, C.P. Avaliação de cultivares do

gênero *Cynodon* com e sem nitrogênio. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 781-788, 2001.

CHAMBERS, J.M.; CLEVELAND, W.S.; KLIENER, B. et al. **Graphical methods for data analysis**. Florence: Wadsworth Publishing, 1983. 395 p.

CHAPMAN, D.F., LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: BAKER, M.J. (Ed). **Grasslands for our world**. Wellington: SIR Publishing, 1993. p. 55-64.

CHAVES, H. M. L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.345-350, 1991.

CHEN, J.; OKUMURA, K.; TAKADA, H. Estimation of clover biomass and percentage in a performance trial of white clover-timothy binary mixtures: use of multiple regression equations incorporating plant cover measured with the grid-point plate. **Grassland Science**, 56, 127–133, 2010.

CHEN, J.; SHIYOMI, M.; YAMAMURA, Y.; HORI, YOSHIMICHI. Distribution model and spatial variation of cover in grassland vegetation. **Grassland Science**, v. 52, p. 167-173, 2006.

CIGANDA, V., GITELSON, A.; SCHEPERS, J. Vertical profile and temporal variation of chlorophyll in maize canopy: quantitative “crop vigor” indicator by means of reflectance-based techniques. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 1409-1417, 2008.

CÓSER, A. C., MARTINS, C. E., CARVALHO, C. A. B. et al. Avaliação de metodologias para a estimativa da disponibilidade de forragem em pastagem de capim-elefante. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, n. 3, p 589 - 597, 2002.

COSTA, B.M. DA; LEDO, C.A.S., SILVA, M.C., TEIXEIRA, V.I. Estimativa de produção de forragem em pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, p. 141-144, 2009.

CRUZ, E.S.; CARVALHO, D.F.; VARELLA, C.A.A.; SILVA, L.D.B.; SOUZA, W.J.; PINTO, F.A.C. comparação de classificadores de imagens digitais na determinação da cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n.2, p.237-244, 2008.

CRUZ, P., BOVAL, M. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses, In: **Grassland ecophysiology and grazing ecology**, G. LEMAIRE; J. HODGSON, A. de MORAES; C. NABINGER e P.C. de F. CARVALHO (Eds.). Wallingford: CAB International, 2000. p. 151-168.

CUNHA, F.F. da; RAMOS, M. M.; ALENCAR, CA.B. de; ARAÚJO, R.A.S.; CECON, P.R.; OLIVEIRA, R.A. de; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E. Cobertura do solo e altura do capim-xaraés em diferentes estações anuais, intervalos de desfolha e manejos de adubação. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n.2, p. 317- 330, 2010.

DA SILVA, B. S., BARBIERI JUNIOR, E., ROSSIELLO, R.O.P.; MATOSO SILVA, R.V.M., RIBEIRO, R.C., DA COSTA, W. L. U., Utilização de um novo clorofilômetro em pastagem de *Cynodon* spp. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá, PR. Anais... Maringá: SBZ, 2009.

DA SILVA, S.C.; CUNHA, W.F. Métodos indiretos para estimar a massa de forragem em pastos de *Cynodon* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 38, n. 8, p. 981-989, 2003.

DAUGHTRY, C. S. T. Direct measurements of canopy structure. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, p. 45-60, 1990.

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; DE COLSTOUN, E. B.; MCMURTREY, J. E.. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p.229-239, 2000.

DAUGHTRY, C.S.T.; GALLO, K.P.; BAUER. M.E. Spectral estimates of solar radiation intercepted by corn canopies. **Agronomy Journal**, v. 75, n. , p.527– 531, 1983.

FERNANDES, M.S., ROSSIELLO, R.O.P. Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: Mattos, H.B.; WERNER, J.C.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (Eds.). **Calagem e adubação de pastagens**. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 93-123.

FERNANDES, M.S., ROSSIELLO, R.O.P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.14, p.111-148, 1995.

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

GALZERANO, L.; ROSSIELLO, R.O.P.; OLIVEIRA, A.P.P.; PACIULLO, D.S. C.; MORENZ, M.J.F.; SILVA, R.P. Mudanças em atributos estruturais de dosséis do capim Tifton 85, na fase de estabelecimento, induzidas pela adubação nitrogenada. **Boletim de Indústria Animal**, v. 65, n.4, p. 329- 336, 2008.

GARRIGUES, S.; SHABANOV, N.V.; SWANSON, K.; MORISETTE, J.T.; BARET, F. MYNENI, R.B. Intercomparison and sensitivity analysis of Leaf Area Index retrievals from LAI-2000, AccuPAR, and digital hemispherical photography over croplands. **Agricultural and Forest Meteorology**, Vol.148, No.8-9, p. 1193–1209, 2008.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, v. 30, n. 370, p. 789-799, 2002.

GERALDO, J.; ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; PIMENTEL, C. Diferenças em crescimento e produção de grãos entre quatro cultivares de milho pérola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.7, p. 1367-1376, 2000.

GITELSON, A.; KAUFMAN, Y.; MERZLYAK, M. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.289-298, 1996.

GITELSON, A.A., KAUFMAN, Y.J., STALK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 76-87, 2002.

GOMIDE, C.A.M., GOMIDE, J.A. Morfogênese de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p. 341-348, 2000.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; TREMBLAY, N.; ZARCO-TEJADA, P. J.; DEXTRAZE, L. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p.416-426, 2002.

HATFIELD, J.L.; GITELSON, A.A. ; SCHEPERS, J. S. WALTHALL, C. L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. **Agronomy Journal**, v.100 (Supplement): p. 117-131, 2008.

HE, Y.; GUO, X.; WILMSHURST, J. F. Comparison of different methods for measuring leaf area index in a mixed grassland. **Canadian Journal of Plant Sciences**, v. 87, p. 803-813, 2007.

HUETE, A. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.295-309, 1988.

HUNT, R. **Plant Growth Curves**. London: Edward Arnold (Publishers) Ltd. 1982. 248p.

JOHNSON, M.V.; KINIRI, J.R.; BURSON, B.L. Ceptometer deployment method affects measurement of fraction of intercepted Photosynthetically Active Radiation. **Agronomy Journal**, v. 102, n.4, p.1132-1137, 2010.

JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M., BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n.1-2, p.19-35, 2004.

KAUFMAN, Y.J.; TANRÉ, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Trans. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v.30, n.2, p.261-270, 1992.

KELLOGG, E. A. Evolutionary history of the grasses. **Plant Physiology**, v. 125, n.3, p.1198-1205, 2001.

KOROBOV, R.M., RAILYAN, V.Y. Canonical correlation relationships among spectral and phytometric variables for twenty winter wheat fields. **Remote Sensing of Environment**, v. 43, n.1, p. 1-10, 1993.

LAFLEN, J.M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E.A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.36, p.341- 343, 1981.

LI, X-B; CHEN, Y-H.; YANG, H.; ZHANG, Y-X. Improvement, comparison, and application of field measurement methods for grassland vegetation fractional coverage. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 47, n. 9, p. 1074- 1083, 2005.

LICHTENTHALER, H. K.; LANG, M.; SOWINSKA, M.; HEISEL, F.; MIEH, J. A. Detection of vegetation stress via a new high resolution fluorescence imaging system. **Journal of Plant Physiology**, v.148, p.599-612, 1996.

LIU, J., PATTEY, E. Retrieval of leaf area index from top-of-canopy digital photography over agricultural crops. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, p. 1485–1490, 2010.

LOPES, R. dos S.; FONSECA, D. M. da; CÓSER, A. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; MARTINS, C.E.; OBEID, J.A. Avaliação de métodos para estimação da disponibilidade de forragem em pastagem de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 1, p. 40-47, 2000.

LOPES, M.S.; REYNOLDS, M.P. Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 10, p. 3789-3798, 2012.

MARKWELL, J.; OSTERMAN, J.C.; MITCHELL, J.L. Calibration of the Minolta SPAD- 502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research**, v. 46, p. 467– 472, 1995.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; CORSI, M.; MAULE, R.F.; TRIVELIN, P.C.O.; ROVARI, R.; PASSONI JÚNIOR, J.C. Métodos de determinação da área basal de uma pastagem de capim-elefante. **Scientia Agricola**, vol.56 n.3, p. - , 1999.

MARTORANO, L.G.; MATOS, R.M.; SILVA, E.M., ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, F.A.; VILLOA NOVA, N.A. Disponibilidade climática para cultivo da bananeira na região de Seropédica/ Itaguaí-RJ. In: X Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Anais. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 301-303.

MATHWORKS, I. Image Processing Toolbox for use with MATLAB Release. 12. Image Processing Toolbox User's Guide Revised for Version 2.2.2. MATHWORKS, Inc., 2000.

MIAO, Y.; MULLA, D. J.; RANDALL, G. W.; VETSCH, J. A.; VINTILA, R.; Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn. **Precision Agriculture**. v.10, p.45-62, 2009.

MONTGOMERY, E.G. Correlation studies of corn. Annual report. **Nebraska Agricultural Experiment Station**, v. 24, p. 108-159, 1911.

NGOUAJIO, M.; LEMIEUX, C. FORTIER, J-J.; CAREAU, D.; LEROUX, G.D. Validation of an operator-assisted module to measure weed and crop leaf cover by digital image analysis. **Weed Technology**, v.12, n.3, p.446-453, 1998.

NOBEL, P.S.; FORSETH, I.N.; LONG, S.P. Canopy structure and light interception. In: HALL D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. (eds.), **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. Chapman & Hall: London, 1993. p. 79-90.

OLIVEIRA, A.P.P. **Crescimento e composição químico-bromatológica do capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*) sob doses de nitrogênio**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica RJ, 2008. 84 p.

OLIVEIRA, A.P.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; GALZERANO, L.; COSTA JÚNIOR, J.B.G.; SILVA, R.P.; MORENZ, M.J.F. Respostas do capim-Tifton 85 à aplicação de nitrogênio: cobertura do solo, índice de área foliar e interceptação da radiação solar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.2, p.429-438, 2010.

OLLINGER, S.V. Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. **New Phytologist**, v. 189, n. 2, p. 375–394, 2011.

OLMSTEAD, M.A; WAMPLE, R; GREENE, S. ; TARARA J. Nondestructive measurement of vegetative cover using digital image analysis. **Hortscience**, v. 39, n.1, p. 55- 59, 2004.

PACIULLO, D.S.C., CAMPOS, N.R., C.A.B., GOMIDE, C.A.M., CASTRO, C.R.T., TAVELA, R.C., ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento do capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e a época do ano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p.917-923, 2008.

PARSONS, A.J.; SCHWINNING, S.; CARRERE, P. Plant growth functions and possible spatial and temporal scaling errors in models of herbivory. **Grass & Forage Science**, v.56, n. 1, p. 21- 34, 2001.

PEARCE, R.B.; MOCK, J.J.; BAILEY, T.B. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. **Crop Science**, v. 15, p. 691-694, 1975.

PEDREIRA, B. C. ; PEDREIRA, C. G. S. Fotossíntese foliar do capim Xaraés [*Brachiaria brizanta* (A. Rich.) Stapf. cv. Xaraés] e modelagem de assimilação potencial de dosséis sob estratégias de pastejo rotativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 773-779, 2007.

PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L.; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: MATTOS, W.R.S. et al. (Ed.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba, SP: Ed. FEALQ, Brasil, 2001, p. 772 – 807.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n.7, p.791-796, 2003.

POLLEY, H.W.; PHILLIPS, R.L.; FRANK, A.B.; BRADFORD, J.A.; SIMS, P.L., MORGAN, J.A. ; KINIRY, J.R. (2011). Variability in light-use efficiency for gross primary productivity on Great Plains grasslands. **Ecosystems**, v.14, n.1, p. 15–27, 2011.

PONTAILLER, J-Y, HYMUS, G., DRAKE, B.G. Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 29, n.2, p.381-387, 2003.

PREMAZZI, L.M.; MONTEIRO, F.A.; OLIVEIRA, R.F. Crescimento de folhas do capim-bermuda tifton 85 submetido à adubação nitrogenada após o corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n.3, p. 518-526, 2011.

QI, J.; CHEHBOUNI, A.; HUETE, A. R.; KEER, Y. H.; SOROOSHIAN, S. A modified soil vegetation adjusted index. **Remote Sensing of Environment**, v.48, p.119–126, 1994

QUARESMA, J.P. S., ALMEIDA, R.G. de, ABREU, J.G. de, CABRAL, L.S., OLIVEIRA, M.A. de, CARVALHO, D.M.G. Produção e composição bromatológica do capim-tifton 85 (*Cynodon* spp.) submetido a doses de nitrogênio. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, p. 45-150, 2011.

RAMOS, D. P.; CASTRO, A. F.; CAMARGO, M. N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.8, p.1-27, 1973.

RIBEIRO, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P.; MACEDO, R. de O.; BARBIERI JÚNIOR, É. Introdução de desmódio em pastagem estabelecida de *Brachiaria humidicola*: densidade e frequência da leguminosa no consórcio. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, v. 27, n. 2, p.41-49, 2007.

RIBEIRO, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P.; VARELLA, C.A.A.; ABREU, J.B. R.; CAMARGO FILHO, S.T.; LIMA, E.S.; BARBIERI JUNIOR, E. Comparação de métodos de introdução de leguminosa em pastagens de braquiária: cobertura vegetal e produção de matéria seca. In: FERTBIO,2006. Anais. Bonito: SBCS/SBM/Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 4p. CD ROM.

RICH, P.M. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. **Remote Sensing Reviews**,v.5, n.1 pp. 13-29, 1990.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.55, p.95-107, 1996.

ROTZ, J. D.; ABAYE, A. O.; WYNNE, R. H.; RAYBURN,E.B.; SCAGLIA, G.; PHILLIPS, R. D. Classification of digital photography for measuring Productive Ground Cover. **Rangeland Ecology & Management**, v. 61, n.2, p. 245-248, 2008

ROUSE, J. W.; JR., HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In **Proceedings Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium**. Washington: NASA, 1973. v.1, p.309–317.

SARMIENTO, P., NASCIMENTO, R.C., MARTINS, A.T., DA CRUZ, M.C.P., FERREIRA, M. E. Nutrientes limitantes ao desenvolvimento do capim-Tifton 85 em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Boletim da Indústria Animal**, v. 63, p. 11-18, 2006.

SBRISSIA, A.F.; DA SILVA, S.C. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p. 212-220, 2008.

SCHUT, A. G. T.; KETELAARS, J. J. M. H. Monitoring grass swards using imaging spectroscopy. **Grass and Forage Science**, v.58, n. 3.p 276–286, 2003.

SCURLOCK, J. M. O.; PRINCE, S. D. Remote sensing of biomass and productivity. *In*: HALL D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. (eds.), **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. Chapman & Hall: London, 1993. p. 22-35.

SENA JÚNIOR, D. G. de.; PINTO, F. de A. de C.; QUEIROZ, D.M.; SANTOS, N.R.; KHOURY JÚNIOR, J.K. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p. 187-195, 2008.

SILVA, R.A. da; BARBIERI JUNIOR, E.; OLIVEIRA, A.P. P., RIBEIRO, R.C.;VARELLA, C.A.; ROSSIELLO, R.O.P. Comparação de técnicas para a determinação da cobertura verde em dosséis do capim Tifton 85. *In*: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 48. Anais. Belém: SBZ, 2011a. CD-ROM.

SILVA, R.A. da; BARBIERI JUNIOR, E.; OLIVEIRA, A.P. P., RIBEIRO, R.C.;VARELLA, C.A.; ROSSIELLO, R.O.P. Determinação da cobertura verde em dosséis do capim Tifton 85, utilizando análise digital de imagens: sensibilidade à adubação nitrogenada e época do ano. *In*: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 48. Anais. Belém: SBZ, 2011b. CD-ROM.

SILVA, R.V.M.M.; ROSSIELLO, R.O.P.; MORENZ, M.J.F.; BARBIERI JUNIOR, É.; GOMES, R.L.; CAMARGO FILHO, S.T. Uso de clorofilometro na avaliação da adubação nitrogenada e potássica no capim Tifton 85. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n.3, p. 828-839, 2011c.

SRIPADA, R. P.; HEINIGER, R. W.; WHITE, J. G.; MEIJER, A. D. Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. **Agronomy Journal**. v.98, p.968-977, 2006.

STEVEN, M.D., JAGGARD, K.W. Advances in crop monitoring by remote sensing. *In*: DANSON, F.M.; PLUMER, S.E. (eds.). **Advances in environmental remote sensing**. Chichester: John Wiley and Sons, 1995. p. 143-156.

STEVEN, M.D.; BISCOE, E.P.; JAGGARD, K.W. Estimation of sugar beet productivity for from reflection in the red and infrared spectral bands. **International Journal of Remote Sensing**, v. 4, n. 2, p.325-334, 1983.

STEVEN, M.D.; BISCOE, P. V.; JAGGARD, K. W.; PARUNTU, J. Foliage cover and radiation interception. **Field Crops Research**, v. 13, n.1, p. 75-87, 1986.

STEWART, A.M.; EDMISTEN, K.L.; WELLS, R.; COLLINS, G.D. Measuring canopy coverage with digital imaging. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, p. 895-902, 2007.

SUNAGA, Y., HARADA, H., KAWACHI, T., HATANAKA, T., EBATO, M. Simple technique for estimating nitrate nitrogen concentration of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) at the heading stage using a chlorophyll meter. **Grassland Science**, v. 52, p. 133–140, 2006.

TEIXEIRA, F.V.; CAMPOS, O. F.; COSER, A.C. Uso dos índices altura de planta e cobertura do solo e da associação dessas variáveis para a estimativa da forragem disponível em pastagem de capim-elefante. **Revista Universidade Rural, Série Ciência da Vida**, v. 22, p. 15-22, 2003.

TOTHILL, J.C. Measuring botanical composition of grasslands. In: MANNETJE, L. t (Ed.) **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Aberystwyth: CAB International, 1987. cap.3, p.22- 62.

VARELLA, C.A.A.; PINTO, F. A. de C.; QUEIROZ, D.M. de; SENA JÚNIOR, D. G. de. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.225-229, 2002.

VILELA, D, ALVIM, M. J. Manejo de pastagens do gênero *Cynodon*: Introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil. In: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 15, Piracicaba, 1998. **Anais**. Piracicaba : FEALQ, 1998. p.23-54.

WARREN WILSON, J. Stand structure and light penetration. I. Analysis by point quadrats. **Journal of Applied Ecology**, v. 2, n.2, p. 383-390, 1965.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and with and between years. **Annals of Botany**, v. 11, n.1, p. 41-76, 1947.

WERKER, A.R.; JAGGARD, K.W. Modelling asymmetrical growth curves that rise and then fall : applications to foliage dynamics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **Annals of Botany**, v.79, n. , p. 657-665, 1997.

WHALLEY, R.D.B.; HARDY, M.B. Measuring botanical composition of grasslands. In: ‘t MANNETJE, L.; JONES, R.M. **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 67-102.

WILHELM, W. W.; RUWE, K.; SCHLEMMER, M. R. Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. **Crop Science**, v. 40, n. , p. 1179-1183, 2000.

WOUW, M.V., MOHAMMED, J., JORGE, M.A., HANSON, J. Agro-morphological characterization of a collection of *Cynodon*. **Tropical Grasslands**, v. 43, p. 151-161, 2009.

XIONG, X.; BELL, G.E.; SOLIE, J.B.; SMITH, M.W.; MARTIN, B. Bermudagrass seasonal responses to nitrogen fertilization and irrigation detected using optical sensing. **Crop Science**, v. 47, p. 1603-1610, 2007.

ZHAO, D., STARKS P.J., BROWN, M.A., PHILLIPS, W.A. , COLEMAN, S.W. Assessment of forage biomass and quality parameters of bermudagrass using proximal sensing of pasture canopy reflectance. **Grassland Science**, v.53, p.39-49, 2007.

ZHENG, G.; MOSKAL, L.M. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors. **Sensors**, v. 9, p. 2719-2745, 2009.

ZHOU, Q., ROBSON, M., PILESJO, P. On the ground estimation of vegetation cover in Australian rangelands. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n. 9, p. 1815-1820, 1998.

ZOTARELLI, L., CARDOSO, E.G., PICCININ, J.L., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M., TORRES, E., ALVES, B.J.R. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1117-1122, 2003.