

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

**DISSERTAÇÃO**

**Métodos Indiretos de Avaliação da Adubação Nitrogenada no capim  
Tifton 85**

**CLÁUDIA ROSSINI SIMÕES**

**2013**



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

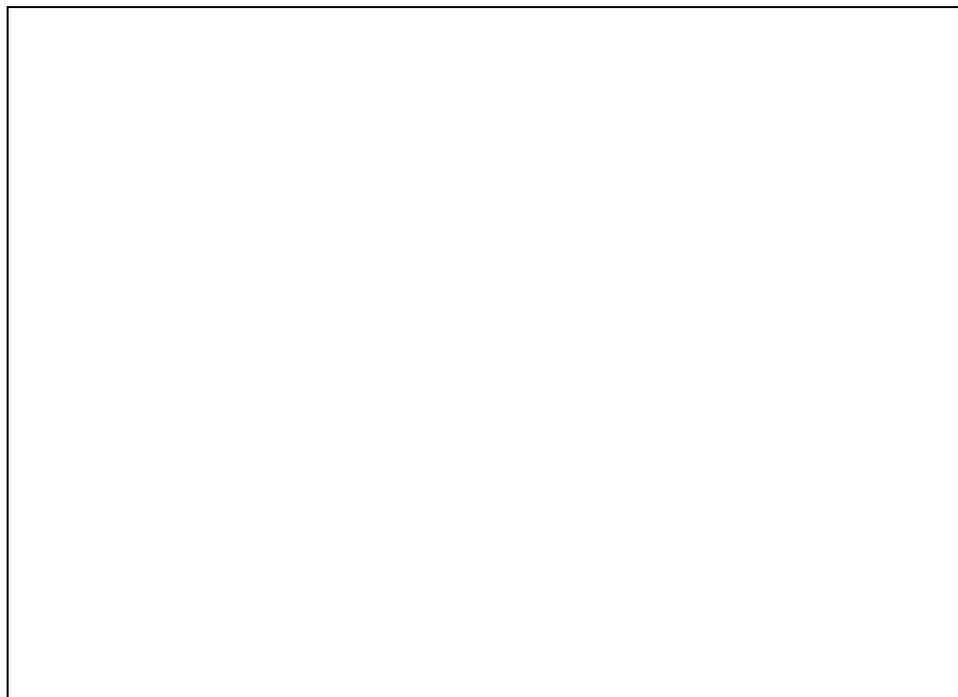
**MÉTODOS INDIRETOS DE AVALIAÇÃO DA ADUBAÇÃO  
NITROGENADA NO CAPIM TIFTON 85**

**CLÁUDIA ROSSINI SIMÕES**

Sob a Orientação do Professor  
**Roberto Oscar Pereyra Rossiello**

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.

Seropédica, RJ  
Junho de 2013



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

**CLÁUDIA ROSSINI SIMÕES**

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

---

Dr. Sérgio Trabali Camargo Filho - PESAGRO

## **DEDICO**

A Deus,  
Aos meus pais Mônica Helena Rossini e Cesar C. Simões,  
À minha irmã Carolina Rossini Simões,  
E aos verdadeiros amigos

MINHA GRATIDÃO E HOMENAGEM

## **OFEREÇO**

Ao meu orientador e amigo,  
Roberto Oscar Pereyra Rossiello.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, criador de todas as coisas, que me permitiu chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Roberto Oscar Pereyra Rossiello, que tanto admiro, pela orientação, apoio, dedicação e carinho.

Aos meus pais Mônica Helena Rossini e Cesar da Conceição Simões pelo amor e incentivo incondicionais.

A minha irmã Carolina Rossini Simões que foi muito mais que fundamental para a conquista deste grande sonho, foi também médica, enfermeira e estagiária.

Aos Professores Dr. Carlos Luiz Massard e Dr. Laerte Grisi do Departamento de Parasitologia Animal, coordenadores da Estação Experimental de Parasitologia Wilhelm Otto Neitz do Instituto de Veterinária da UFRRJ, pela concessão da área experimental e enorme auxílio na realização deste experimento.

Aos estagiários: Pedro Azevedo, Carlos Soares e Roberto Marinho, e aos funcionários da UFRRJ, Zeca e Fabinho por todo o apoio e auxílio prestado.

Ao Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV, Marley Lamounier Machado, por todos os ensinamentos.

Ao professor e pesquisador Sérgio Trabali que contribuiu para a realização e melhoria deste trabalho.

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

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Instituto de Zootecnia.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

Ao CNPq pelos recursos financeiros fornecidos para realização do projeto.

E a todos que por circunstância do momento não foram citados, e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO GERAL

SIMÕES, Cláudia Rossini. **Métodos Indiretos de Avaliação da Adubação Nitrogenada no capim Tifton 85**. 2012. 65 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

O nitrogênio (N) é um macronutriente de importância central na expressão do potencial fotossintético das gramíneas forrageiras, porém é um insumo caro para a forragicultura. Com parte da racionalização do seu uso, são necessários novos métodos de avaliação, para acompanhar em tempo real, a baixo custo e de forma precisa, as respostas quali e quantitativas das pastagens de *Cynodon* spp. à adubação nitrogenada, em consonância com a agricultura de precisão, envolvendo a utilização do sensoriamento remoto e da visão artificial. Com o propósito de contribuir nessa direção, foi instalado, em outubro de 2012, um experimento na Estação Experimental de Parasitologia “Wilhelm Otto Neitz” da UFRRJ, sobre Planossolo Háplico, em área dedicada a estudos de aspectos ecofisiológicos e produtivos do capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.). Especificamente, constituíram objetivos do presente trabalho: *i*) comparar métodos diretos e indiretos de determinação da cobertura verde em resposta à adubação nitrogenada; *ii*) comparar métodos diretos e indiretos de determinação do Índice de Área Foliar em resposta ao mesmo fator; *iii*) estudar as possíveis inter-relações existentes entre os diversos métodos. Foram aproveitadas unidades experimentais previamente instaladas, com área de 16 m<sup>2</sup>, nas quais foram alocados os tratamentos principais, representados por três doses de N: 0; 150 e 300 kg N/ha, na forma de sulfato de amônio, sendo os demais nutrientes ajustados conforme as indicações da análise do solo. Os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, para acomodar 12 datas de amostragem referidas como dias após um corte de uniformização do capim (DAC), num único período de rebrota, com duração de 42 DAC. Utilizou-se o arranjo experimental totalmente casualizado, com seis repetições. Em cada data de amostragem foram feitas determinações de altura do dossel, massa seca da parte aérea, teores foliares de clorofila, com uso de clorofilômetro, Índice de Área Foliar (IAF) verde, através do produto da Área Foliar Específica (AFE) pela massa seca foliar; IAF indireto, com auxílio de ceptômetro (AccuPAR L80); Frequência de ocorrência do capim e Índice de Cobertura Verde, a partir da análise de imagens captadas com câmara fotográfica digital, sendo processadas em dois softwares diferentes, com propósito comparativo. De uma forma geral, foi concluído que todos os métodos alternativos à determinação da massa seca e à direta aferição do IAF possuem problemas específicos e limitações quando aplicados à avaliação dos efeitos da adubação nitrogenada no capim Tifton 85. A frequência de ocorrência é um método que tem sensibilidade limitada a doses de N, apresentando problemas de saturação de resposta a altos níveis de cobertura do dossel. O índice de Cobertura Verde apresenta maior capacidade discriminatória entre doses de N, mas em compensação, tende a saturar rapidamente. O IAF determinado de forma destrutiva apresenta alta elasticidade de resposta à adubação nitrogenada, mas depende criticamente de estimativas representativas de AFE, enquanto que o analisador de dossel AccuPAR fornece estimativas indiretas de IAF, que a valores intermediários, são concordantes com o método padrão de IAF, porém pode incorrer em desvios em valores mais próximos ao IAF crítico.

**Palavras-Chave:** *Cynodon* spp., índice de cobertura verde, clorofila total, índice de área foliar, ceptômetro

## ABSTRACT

SIMÕES, Cláudia Rossini. **Indirect Methods for Assessing Nitrogen Fertilization in Tifton 85 Bermudagrass.** 2012. 65 p. Dissertação (Master Science in Animal Science). Instituto de Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Nitrogen (N) is a macronutrient essential in the expression of photosynthetic potential of grasses, but it is also an expensive input for forage crops. To rationalize its use, new assessment methods are needed to monitor their growth in real time, at low cost and accurately, quantitative and qualitative responses of *Cynodon* spp. Nitrogen fertilization, according to agricultural precision premises, involving the use of remote sensing and artificial vision. The study was conducted at the Parasitological Experimental Station "Otto Wilhelm Neitz" of UFRRJ, in October 2012, on a Haplic Planossol, in an area used for studying ecophysiological and productive traits of Tifton 85 bermudagrass (*Cynodon* spp.). The main objectives of this study were: i) compare direct and indirect methods of determining green cover in response to nitrogen fertilization; ii) compare direct and indirect methods of determining leaf area index (LAI) in response to the same factor; iii) evaluate possible inter-relationships between the various methods investigated. It were used experimental units of 16 m<sup>2</sup> previously installed in the field, which were placed the main treatments represented by three N rates: 0, 150 and 300 kg N / ha as ammonium sulfate. Remainder nutrients were adjusted according to soil analysis guide. Treatments were disposed in a fully randomized design and arranged as split plots to accommodate 12 sampling dates named as days after a standardization cut (DAC), during a regrowth period of 42 DAC, with six repetitions. In each sampling date were determined canopy height, shoot dry mass, leaf chlorophyll contents (using an chlorophyll meter), leaf area index (LAI) through Specific Leaf Area (SLA) and green leaf dry biomass; indirect IAF, using the ceptometer AccuPAR L80; frequency of occurrence and green coverage index, the last from analysis of images taken with a digital camera, and processed with two different softwares for comparative purposes. In general, it was concluded that all alternative methods for dry mass determination or direct measurement of LAI have specific problems and limitations when assessing nitrogen fertilizer protocols of Tifton 85. Frequency of occurrence had a limited sensitivity to N levels and presented problems of saturation response to high levels of canopy cover. Green coverage index showed higher resolution capacity among N rates, but in return tends to saturate quickly. LAI determined by a destructive method shows a high elastic response to nitrogen fertilization, but critically depends of representative estimations of SLA. The AccuPAR canopy analyzer gives indirect estimates of LAI which, at intermediate values are consistent with standard LAI. However, AccuPAR deviations may occur at values closer to critical LAI.

**Key words:** *Cynodon* spp., green coverage index, total chlorophyll, leaf area index, ceptometer

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 OS CAPINS DO GÊNERO <i>CYNODON</i> .....	4
2.2 NITROGÊNIO E CRESCIMENTO VEGETAL .....	4
2.3 INDICADORES DE N EM PLANTAS .....	5
2.4 COBERTURA VEGETAL: MÉTODOS DE AVALIAÇÃO .....	6
2.5 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR .....	7
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
3.1 HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	10
3.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL.....	11
3.3 PRÁTICAS CULTURAIS E ADUBAÇÕES DE BASE .....	13
3.4 TRATAMENTOS E DESENHO EXPERIMENTAL.....	13
3.5 VARIÁVEIS EXPERIMENTAIS DETERMINADAS .....	15
3.5.1) <i>Altura do dossel</i> .....	15
3.5.2) <i>Frequência de ocorrência</i> .....	15
3.5.3) <i>Índice de Cobertura Verde</i> .....	16
3.5.4) <i>Índice de Área Foliar</i> .....	20
3.5.4.1 <i>Método Direto</i> .....	20
3.5.4.2 <i>Método Indireto</i> .....	21
3.5.5) <i>Matéria Seca Verde da Parte Aérea</i> .....	21
3.5.6) <i>Teores foliares de clorofila</i> .....	21
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	22
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
4.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL .....	24
4.2 ALTURA DO DOSSEL.....	26
4.3 COBERTURA VERDE.....	27
4.3.1. <i>Frequência de Ocorrência</i> .....	27
4.3.2 <i>Índice de Cobertura Verde (ICV)</i> .....	29
4.4 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	32
4.4.1. <i>Método Direto</i> .....	32
4.4.2. <i>Método Indireto: AccuPAR</i> .....	37
4.5 MASSA SECA. ....	40
4.6 TEOR DE CLOROFILA FOLIAR.....	42
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>47</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A produção animal, com base em pastagens, é a forma mais econômica de se obter produtos de alto valor biológico e a baixo custo, evitando ou reduzindo a utilização de suplementos concentrados, tais como grãos e farelos. Porém, para se atingir elevados índices de produtividade em carne ou leite, é necessário que os animais tenham à sua disposição alimentos de qualidade, em quantidade suficientes, permitindo manter suas atividades fisiológicas básicas e a síntese de tecidos corporais (ASSIS et. al, 1999).

Para o manejo adequado de pastagem, é importante a determinação de fatores como disponibilidade, oferta e qualidade da forragem. Porém, estimar estas variáveis ainda é um grande desafio, na busca de técnicas de avaliação a campo, que sejam, a um mesmo tempo, simples e rápidas, sem perda de confiabilidade e precisão.

Atualmente, a pesquisa tem procurado por métodos indiretos ou não destrutivos, ou seja, que reduzam ou anulem a necessidade da planta forrageira ser cortada e analisada constantemente, mantendo, entretanto, a acuidade das técnicas tradicionalmente empregadas. Técnicas indiretas de avaliação de diversos atributos estruturais dos dosséis forrageiros, como área foliar e massa de forragem, são bastante difundidas e utilizadas em países das regiões temperadas do globo, onde predominam pastagens formadas por plantas forrageiras do tipo C<sub>3</sub>. Todavia, para as gramíneas forrageiras tropicais ou subtropicais, possuidoras da via C<sub>4</sub>, a disponibilidade de técnicas práticas para a realização desse tipo de estimativas ainda não é muito expressiva. Tal carência é agravada em vista do grande número de espécies de plantas forrageiras utilizadas no Brasil, e pela carência de informações consolidadas sobre a ecofisiologia dessas plantas (SBRISSIA & SILVA, 2008).

O índice de área foliar (IAF) foi definido como a relação entre a área de uma das faces da folha e a área de solo correspondente (WATSON, 1947). Esta variável é considerada de grande importância dentro do ecossistema pastoril, devido a sua relação direta com a absorção e reflexão de luz pelos relvados, e com os processos difusivos, ligados às trocas gasosas (BARET et al., 2007). Assim como o IAF, a fração de radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada pelo dossel forrageiro é um dado essencial para o entendimento da eficiência com a qual as forrageiras utilizam a radiação solar, incluindo o seu potencial de rebrota pós-desfolha, constituindo-se assim em guia primordial para o manejo do pastejo sob lotação intermitente.

Por outro lado, são diversas as variáveis que podem influenciar nas condições estruturais e funcionais dos dosséis, como aquelas relacionadas ao microclima, à disponibilidade de nutrientes, à atividade de herbívoros, entre outras. Um grande responsável pela dinâmica espacial e temporal do IAF é o nitrogênio (N), através da indução de diversos processos na planta, ao nível metabólico e celular, provocando alterações significativas na estrutura dos dosséis forrageiros, via expressão dos seus componentes morfogênicos (CRUZ e BOVAL, 2000). Como qualquer prática de manejo, a aplicação de adubos e corretivos precisa ser avaliada através de índices que expressem, por um lado, a sua eficiência de uso em determinada área das pastagens a necessidade de novas aplicações em áreas de pastagens potencialmente deficitárias. Essas novas propostas de manejo dos recursos nutricionais, baseadas em princípios da agricultura de precisão, requerem o desenvolvimento de técnicas de avaliação que sejam rápidas, simples e sensíveis, e que preferencialmente se prestam à automação. Tem ganhado destaque os estudos sobre propriedades estruturais e nutricionais dos dosséis vegetais feitas com uso de técnicas espectrorradiométricas (RODERICK et al., 2000). Todavia, a validação dessas novas propostas requer o prévio conhecimento dos padrões de variabilidade de atributos como o IAF e produção de biomassa (ZHAO et al, 2007).

Todas estas razões concorrem para justificar o propósito deste trabalho, de comparar a efetividade de diversas metodologias de avaliação da adubação nitrogenada em dosséis da gramínea forrageira *Cynodon* spp. cv. Tifton 85. Essas metodologias podem ser classificadas em dois amplos grupos, aquelas de natureza direta, geralmente de natureza destrutiva e invasiva, tais como a coleta de biomassa ou a mensuração da área foliar fotossinteticamente ativa, e as indiretas, os quais utilizam relações com outros parâmetros mais facilmente mensuráveis, como as propriedades ópticas, a cobertura verde ou a altura do dossel (CHEN et al., 2010; ROSSIELLO & ANTUNES, 2012), ou a concentração de pigmentos fotossintéticos, com auxílio de clorofilômetro (BARBIERI JUNIOR et al., 2012; LÓPES et al, 2012). Em particular, a associação entre o desenvolvimento da área foliar e a frequência de ocorrência de plantas, uma variável relacionada com a distribuição espacial de uma dada espécie (CHEN et al., 2010) é uma possibilidade ainda pouco explorada em estudos com pastagens em clima tropical ou sub-tropical. Portanto junto com as clássicas avaliações da massa da matéria seca, e o índice de área foliar, neste trabalho são exploradas metodologias para aferição da cobertura verde, por técnica de contato ou a distancia; assim como estimativas da área foliar através de medição da interceptação da radiação solar. Especificamente,

constituíram objetivos do presente trabalho: *i)* comparar métodos diretos e indiretos de determinação da cobertura verde em resposta à adubação nitrogenada; *ii)* comparar métodos diretos e indiretos de determinação do Índice de Área Foliar em resposta ao mesmo fator; *iii)* estudar as possíveis inter-relações existentes entre os diversos métodos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Os Capins do Gênero *Cynodon*

O capim-Tifton 85 (*Cynodon* spp. cv. Tifton 85), é considerado o melhor híbrido F1 entre uma introdução sul-africana (PI 290884) e o Tifton 68 (EVANGELISTA et al., 2005) e foi selecionado por sua alta produtividade e digestibilidade, quando comparado com a maioria das outras bermudas híbridas (BURTON & MONSON, 1993).

Caracteriza-se por possuir porte mais alto, colmos maiores, folhas mais largas e cor mais escura do que as outras cultivares híbridas. O Tifton 85 possui rizomas, o que lhe confere tolerância a baixas temperaturas e à seca (ALVIM et al., 1998).

Quando bem nutrida, e corretamente manejada, esta forrageira constitui uma alternativa viável em sistemas intensivos de produção, podendo ser utilizada para pastejo ou como forragem conservada, principalmente na fenação. Dentro do gênero, a forrageira é tida como “exigente” em fertilidade e responsiva à adubação nitrogenada (ALVIM et al., 1999; ESTRADA et al., 2003; GALZERANO et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2010; SILVA et al., 2011, BARBIERI et al., 2012; GRACIOSA, 2012).

### 2.2 Nitrogênio e Crescimento Vegetal

Mudanças na nutrição nitrogenada influenciam fortemente a capacidade fotossintética foliar e a distribuição das propriedades fotossintéticas dentro do dossel (KULL, 2002). Em folhas de milho, por exemplo, as concentrações de clorofila total mais do que duplicaram conforme aumentaram as doses de fertilizante nitrogenado aplicado (DAUGHTRY et al., 2000). Sendo o desenvolvimento do aparato fotossintético baseado na disponibilidade de N (ENGELS e MARSCHNER, 1995), uma distribuição otimizada do nutriente entre os constituintes das reações da fase clara e escura é de crucial importância para o desempenho fotossintético do dossel (EICHELMANN et al., 2005).

Em muitas espécies vegetais, as taxas fotossintéticas, em altos níveis de irradiância, são proporcionais aos teores foliares de N (SINCLAIR e HORIE, 1989; VAN KEULEN et al., 1989), o que é confirmado em condições de campo, onde a

relação entre a produção fotossintética foliar e o teor de N, expresso por unidade de área foliar, é geralmente linear (SINCLAIR e HORIE, 1989). Todavia, também há razões que justificam a falta de linearidade. Em primeiro lugar, nem todo o N foliar está alocado na maquinaria fotossintética. Isto fica mais claro, quando se consideram experimentos de adubação em solução nutritiva, onde a aplicação de altos níveis de N mineral induzem o acúmulo de N inorgânico (principalmente nitrato) nas folhas (FERNANDES et al., 1985; ARGENTA et al., 2001a; LAWLOR, 2002, ). Em segundo lugar, há que considerar a redistribuição vertical do N no dossel. Nas camadas superiores, onde normalmente haverá um excesso de luz disponível o N será preferencialmente usado para sustentar as reações de assimilação de CO<sub>2</sub> e do metabolismo do carbono associado. Já nos níveis inferiores do dossel, onde a disponibilidade de luz será um fator limitante, uma maior quantidade de N encontra-se alocado nos complexos clorofila-proteína, para tornar eficiente a captura de luz (VAN KEULEN et al., 1989). Por exemplo, em experimentos conduzidos em ambiente controlado, foi verificado que propágulos de *Cynodon* spp. cv. Tifton 85, cultivados em solução nutritiva completa, sob 450  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de luz e níveis variados de N, tiveram concentrações foliares de clorofila que mais do que duplicaram às normalmente exibidas por esses capim em condições de campo, sob intensidades fotossintéticas quatro vezes maiores (SILVA, 2011b). Uma terceira razão é que a fração das enzimas foliares contendo N podem não estar totalmente ativadas, isto é, podem funcionar apenas parcialmente na catálise enzimática. É o caso da enzima Rubisco, as pesquisas têm mostrado possuir um papel duplo, podendo ser usada, parcialmente, como forma de armazenamento de N nas folhas (EICHELMANN et al., 2005).

### **2.3 Indicadores de N em plantas**

Os parâmetros de planta mais estudados no intuito de indicar os teores de N são: o teor de nitrato no colmo (SUNAGA et al., 2006); o teor e o acúmulo de N na folha e/ou planta (GASTAL & LEMAIRE, 2002); e o teor relativo de clorofila na folha (LAVRES JR. & MONTEIRO, 2006). Desses, obviamente o último tem merecido maior atenção dos pesquisadores, por apresentar uma série de vantagens, tanto se a clorofila é determinada por métodos diretos quanto indiretos (ARGENTA et al., 2001b, BARBIERI JÚNIOR et al, 2012).

## 2.4 Cobertura Vegetal: métodos de avaliação

A Cobertura Vegetal (CV) é um importante atributo dos dosséis forrageiros, definido, no seu sentido amplo, como a fração do solo coberta pelas folhas da cultura e os resíduos vegetais associados (VARELLA et. al., 2002). Este parâmetro sofre contínuas modificações, à medida que os resíduos se decompõem e o dossel forrageiro se desenvolve. Porém, em um sentido mais restrito, ela pode ser definida como a fração do solo coberto por folhas ou apenas pela folhagem verde, excluindo o material senescente ou morto. No último caso, a variável foi denominada Índice de Cobertura Verde (ICV) (VARELLA et. al., 2002; SCHUT & KETELAARS, 2003; LI et al., 2005; BARBIERI, 2009; SILVA et. al., 2011a).

É possível estimar a produção de forragem em pastagens de determinadas espécies forrageiras através de estimativas visuais, em conjunto com medidas de altura do relvado (COSTA et al, 2009, CUNHA et al., 2010). A altura do relvado é uma característica estrutural diretamente influenciada pela disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente o nitrogênio, e 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 (CÓSER et. al., 2002). Essas avaliações visuais são realizadas por observadores assistidos ou não por algum tipo de material de referência (Lopes et. al., 2000), chamado de método do Rendimento Visual Comparativo, e o sucesso ou não deste método é dependente do grau de treinamento da equipe de observadores.

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 de mesma distância, por fios 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.

Ribeiro et al. (2006, 2007), avaliaram o desenvolvimento temporal do dossel de *Desmodium ovalifolium* em consórcio com *Brachiaria humidicola* utilizando o mesmo método de Martha Júnior et al. (1999) utilizando um quadrante de 2 x 2, feito de PVC, demarcado por estacas de madeira fixas ao solo, para que todas as avaliações fossem realizadas na mesma posição do terreno. Posteriormente, Galzerano et al. (2008) adotaram o mesmo procedimento, no estudo do estabelecimento inicial do capim Tifton 85. Os autores observaram que esta metodologia permite assumir que as avaliações sequenciais indicam velocidades diferenciadas de cobertura do terreno, expressando assim os efeitos da disponibilidade de N no solo, sobre as taxas de crescimento dos estolões. Tal assunção foi posteriormente confirmada no trabalho de Oliveira et al. (2010) e Silva et al. (2011b). Uma variante do método consiste na 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; CHEN et al., 2010).

Diversos trabalhos têm sido realizados, com o objetivo de se desenvolver uma técnica capaz de estimar a cobertura do solo por análise digital de imagens (VARELLA et al., 2002), por se tratar, de acordo com Li et al., (2005) de uma metodologia de baixo custo, alta eficiência e rapidez. Segundo Sena Júnior et. al. (2008) as câmeras digitais poderão vir a se tornar um dos métodos mais utilizados para estimar a refletância do dossel, por causa do seu fácil acesso e baixo custo. Todavia, a validação da sua utilização dependerá tanto de fatores ligados à capacidade de resolução da técnica em si como das características estruturais e botânicas da vegetação. Porém, atualmente ainda existem poucos trabalhos conclusivos relativos à sua funcionalidade. Perin et. al. (2003) estudaram o grau de cobertura do solo pelo amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), utilizando o 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**

Uma das principais propriedades dos dosséis forrageiros é o índice de área foliar (IAF), definido por Watson (1947) como a área foliar total por área unitária de terreno.

Já um conceito mais restrito, o IAF verde, é usualmente definido como a área das folhas verdes, por unidade de superfície subjacente.

Em ambas as definições, a sua aplicação é básica em análise do crescimento, sendo componente imprescindível dos modelos utilizados para estimar o potencial fotossintético das pastagens (PEDREIRA & PEDREIRA, 2007). Todavia, tanto o IAF comum quanto o IAF verde têm algumas restrições para a caracterização do “status” fisiológico das culturas. O conceito de IAF, porque pela sua própria definição, não é possível diferenciar o estado real das folhas, uma vez que tanto folhas vivas ou verdes são computadas de igual forma que folhas mortas ou necróticas, o que significa superestimar os componentes fotossintéticos funcionais (CIGANDA et al., 2008, SBRISSIA e DA SILVA, 2008). Desta maneira, apesar de o IAF verde excluir componentes não funcionais da planta, tornando esta variável mais precisa, dado que não há um limiar quantitativo definido para usar na sua determinação, tornando-a propensa à subjetividade (CIGANDA et al., 2008).

Como metodologias diretas para a determinação do IAF, podem ser obtidas imagens digitalizadas através do escaneamento das folhas, para posteriormente serem analisadas por softwares específicos (BRÉDA, 2003; VARELLA et al., 2002), ou por corte de discos foliares, para a obtenção de um fator de conversão área/massa seca, chamado área foliar específica (AFE,  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$  folha) (ASNER et al., 2003). Apesar de seus possíveis erros, o IAF calculado como o produto da AFE pela fitomassa, é o que apresenta menores fontes de variação, sendo a sua utilização mais indicada calibração de métodos indiretos (SBRISSIA e DA SILVA, 2008). Por estes métodos serem os únicos com abordagem direta sobre a folhagem, seus valores são considerados verdadeiros (ZHENG e MOSKAL, 2009), permitindo computar de maneira manual, o tamanho, a forma, o número e o estado funcional das folhas (BRÉDA, 2003).

Porém, os métodos diretos sofrem limitações, decorrentes da sua natureza destrutiva ou invasiva, do grande tempo gasto na sua determinação e da necessidade de se dispor de equipamento laboratorial oneroso.

Atualmente, a determinação do IAF pode ser realizada por metodologias “in situ” ou com a utilização de sensoriamento remoto (ZHENG & MOSKAL, 2009, ROSSIELLO & ANTUNES, 2012). As metodologias “in situ”, por sua vez, podem ser classificadas como diretas ou indiretas, aquelas que permitem estimar o IAF através da relação com outros parâmetros, como a transmissão de luz através do dossel ou a

cobertura vegetal (STEVEN et al., 1986; BRÉDA, 2003; HE et al., 2007; OLIVEIRA, 2008).

Apesar das limitações, de diferente ordem, têm sido realizados estudos que relacionam o IAF com o acúmulo total de clorofila na superfície verde (BARET et al., 2007; CIGANDA et al., 2008), o acúmulo de N na fitomassa (LEMAIRE et al., 2007) e a interceptação de radiação solar por parte do dossel, inclusive utilizando a forrageira deste estudo (FAGUNDES et al., 2001; OLIVEIRA, 2008; BARBIERI JÚNIOR, 2009; OLIVEIRA et al., 2010; GRACIOSA, 2012). Apesar das condições experimentais serem variáveis nesses experimentos, foi verificado que tanto o coeficiente de extinção luminosa, quanto a altura média do relvado, variaram sazonalmente.

Como a absorção, reflexão e transmissão de luz pelos dosséis vegetais são fenômenos biofísicos afetados pela extensão da área foliar, parte dos efeitos do N sobre o crescimento, dependerá do seu efeito quantitativo sobre o IAF (FERNANDES e ROSSIELLO, 1995; GASTAL e LEMAIRES, 2002; LEMAIRES et al., 2007). Quando a disponibilidade hídrica não é limitante, a aquisição e uso de N e C tornam-se estreitamente ligados, através do desenvolvimento da área foliar e conseqüentemente da interceptação e uso da radiação (LEMAIRE et al., 2007). Por exemplo, em *Dactylisglomerata* L., Mills et al. (2009) observaram que quando a umidade disponível foi adequada para o crescimento, a principal causa das diferenças em rendimento entre as pastagens que receberam mais e menos nitrogênio (+N e -N), foi a eficiência de uso da radiação. As pastagens não adubadas produziram, na primavera, menos da metade do que as adubadas com N, por unidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada (0,54 vs. 1,16g MS MJ RFA<sup>-1</sup> respectivamente).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área pertencente à Estação Experimental de Parasitologia Wilhelm Otto Neitz do Instituto de Veterinária da UFRRJ, Seropédica-RJ (22°45'53" S, 43°41'56" W e 33m de altitude sobre o nível do mar), sobre Planossolo Háplico (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, COELHO et al., 2006). O solo caracteriza-se por possuir teores de areia total acima de 95 % na camada superior do solo (0 - 0,2 m) e horizonte sub-superficial de textura barro-argilo-arenosa (RAMOS et al., 1973). O predomínio de areia nas camadas superficiais do perfil faz com que a reserva de água disponível nos Planossolos da região seja pequena (RAMOS et al., 1973). Por outro lado, a umidade nas camadas mais profundas é mantida pela presença de um horizonte B sub-superficial (BALIEIRO et al., 2008). Dadas essas diferenças texturais, a altura do lençol freático no perfil, oscila sazonalmente, tornando o solo susceptível ao encharcamento superficial em períodos de excessiva precipitação. Para evitar o risco de alagamento das parcelas experimentais, a área experimental conta com canais de drenagem em sua volta, mantidos limpos através de capinas manuais e/ou aplicação de herbicida dessecante.

No mês de outubro de 2011 foram coletadas amostras de terra da camada superficial do solo (0-0,2m) para a caracterização de suas propriedades químicas, segundo a rotina analítica do Laboratório de Análise de Solos, Plantas e Resíduos da UFRRJ.

Tabela 1. Análise da fertilidade do solo da área experimental.

Prof. (m)	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	V (%)	M.O. (**)	P (*) (mg/dm <sup>3</sup> )	pH água (1:2,5)
0,0-0,2	2,45	0,65	0,08	1,33	70	13,8	33,37	6,06

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

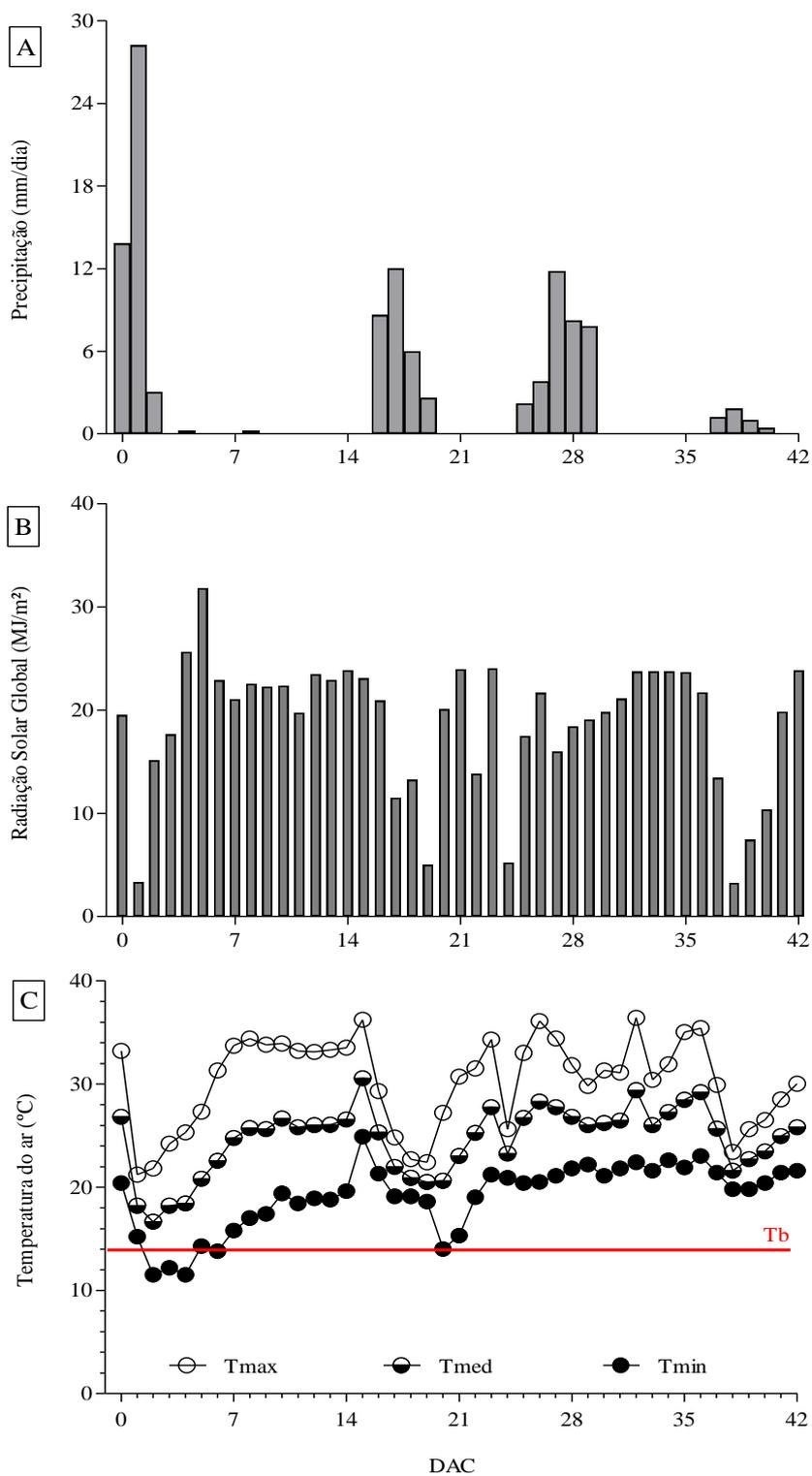
#### 3.1 Histórico de utilização da área experimental

O terreno utilizado na presente experimentação pertence à Estação Experimental de Parasitologia Wilhelm Otto Neitz (IV/UFRRJ), sendo realizadas nele, desde 2006, de forma exclusiva, pesquisas com *Cynodon spp. cv. Tifton 85*. Em anos anteriores, a área era destinada a produção de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*

Schum). A partir da implantação do capim Tifton 85, foram realizados estudos relacionados ao crescimento, produtividade e composição bromatológica dessa cultivar em função de níveis nutricionais variados, principalmente de N e K (ALONSO et al., 2008; GALZERANO, 2008; GALZERANO et al., 2008, OLIVEIRA, 2008; BARBIERI, 2009; BARBIERI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2010; SILVA et al., 2011, GRACIOSA, 2012; SILVA et al., 2012).

### **3.2 Condições climáticas durante o período experimental**

O período de coleta de dados experimentais estendeu-se de 28 de setembro a 09 de novembro de 2012. Os dados agrometeorológicos correspondentes ao período, foram registrados pela Estação Ecologia Agrícola km 47, (INMET/PESAGRO), distante aproximadamente 1,5 km da área experimental, e obtidos *on-line* na página do Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br>). Na Figura 1 são mostrados os dados diários relativos às precipitações pluviométricas (Fig.1A), radiação solar global (Fig. 1B) e temperaturas máxima, mínima e média do ar (Fig. 1C) entre período 28/09 a 09/11 de 2012. A significação desses dados meteorológicos na expressão dos resultados experimentais obtidos será discutida posteriormente.



**Figura 1** – Condições ambientais durante o período experimental (25/09 - 06/11/2012). A: Precipitação pluviométrica; B: Radiação Solar; C: Temperaturas máxima, média e mínima. Tb = temperatura base (14 °C). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br>)

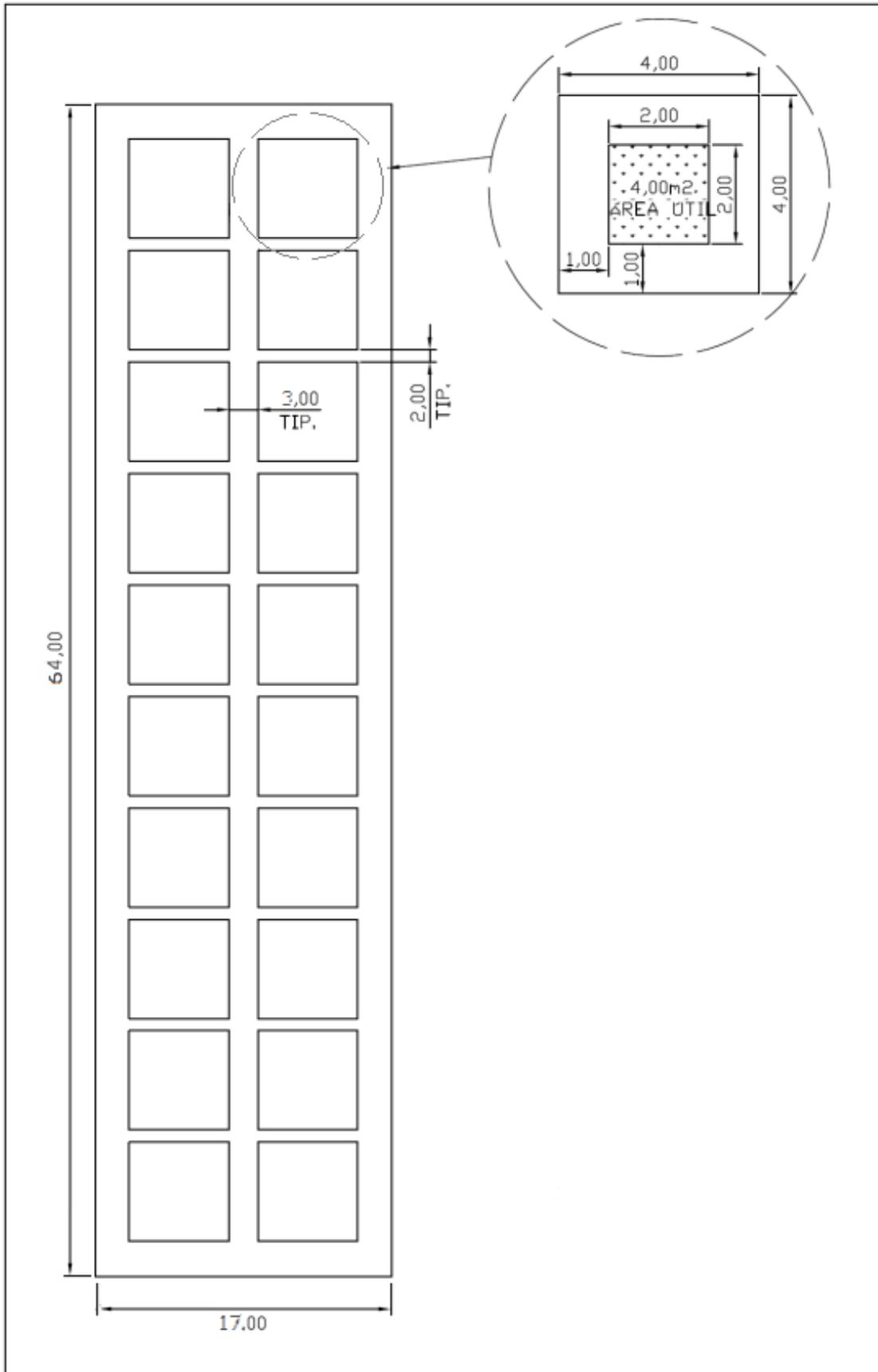
### **3.3 Práticas Culturais e Adubações de base**

A limpeza das unidades experimentais foi assegurada através de capinas manuais entre as unidades experimentais e ruas de circulação ao longo das unidades. Para o controle do capim-colonião (*Panicum maximum*), de forte desenvolvimento em áreas de bordadura do terreno e canais de drenagem, empregou-se o herbicida glifosato (Roundup<sup>®</sup>), na dose de 0,96 kg / ha. No dia 25/09/2012 foi realizado o corte de uniformização nas parcelas, seguido de aplicação basal de P e K, na forma de superfosfato simples (80 kg de P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> /ha) e cloreto de potássio (160 kg K<sub>2</sub>O / ha).

### **3.4 Tratamentos e desenho experimental**

Levando-se em consideração os estudos feitos previamente na área, foram definidas três doses de aplicação: 0; 150; e 300 kg N / ha, na forma de sulfato de amônio, aplicado em solução aquosa, conforme descrito por GALZERANO (2008).

Os tratamentos foram dispostos segundo um delineamento totalmente casualizado, com seis repetições, em esquema de parcelas subdivididas, para acomodar os dias de amostragem, contados como dias após corte (DAC). As parcelas experimentais foram constituídas por canteiros de 16 m<sup>2</sup> (4 m x 4 m), sendo a parte central (2 x 2 m) considerada área útil para finalidade de amostragem (figuras 2 e 3).



**Figura 2** – Dimensões da área e unidade experimental.



**Figura 3** – Vista parcial das parcelas experimentais e do sistema de irrigação. Estação de Pesquisas Parasitológicas, Instituto de Veterinária, UFRRJ. Seropédica, RJ, Outubro de 2012.

### **3.5 Variáveis experimentais determinadas**

A frequência de amostragem foi de duas coletas semanais, dentro do ciclo de rebrota. Nas três primeiras dias de coleta não foram realizados a coleta de material para Matéria seca e Índice de Área foliar por método direto, devido à baixa disponibilidade de forragem para tal. Foram realizadas as seguintes determinações:

**3.5.1 Altura do dossel.** Pelo método da “altura não comprimida”, com utilização de uma régua graduada em milímetros e uma folha de transparência colocada aleatoriamente sobre a superfície do relvado. Após a mensuração da altura no ponto mais alto e mais baixo sob a transparência, foi obtida a altura média, conforme Da Silva e Cunha (2003). As medições foram realizadas aos dias: 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 31, 35, 38 e 42 DAC.

**3.5.2 Frequência de ocorrência.** A frequência de ocorrência é um indicador da distribuição espacial das plantas dentro de uma grade de pontos preestabelecida sobre a

superfície do terreno. No presente caso, a determinação foi realizada de acordo com Ribeiro et al. (2006), que utilizaram uma versão modificada do método do quadrante, proposto originalmente por Martha Júnior et al. (1999). Para tal, foi confeccionado um quadrante de PVC, de 2 x 2 m, dividido em quadrículas de 0,2 x 0,2 m, por meio de fiação de linha sintética (Figura 4), totalizando 100 pontos de interseção possíveis (NPT). Dessa forma, a frequência absoluta da vegetação sobre a área do terreno, expressa percentualmente (F %), é dada pela relação (1):

$$F\% = (NP_i / NPT) \times 100 \quad (1)$$

onde,  $NP_i$  = nº de pontos interceptados por algum elemento do vegetal (colmos ou lâminas foliares). As amostragens foram realizadas aos 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 31, 35, 38 e 42 DAC.

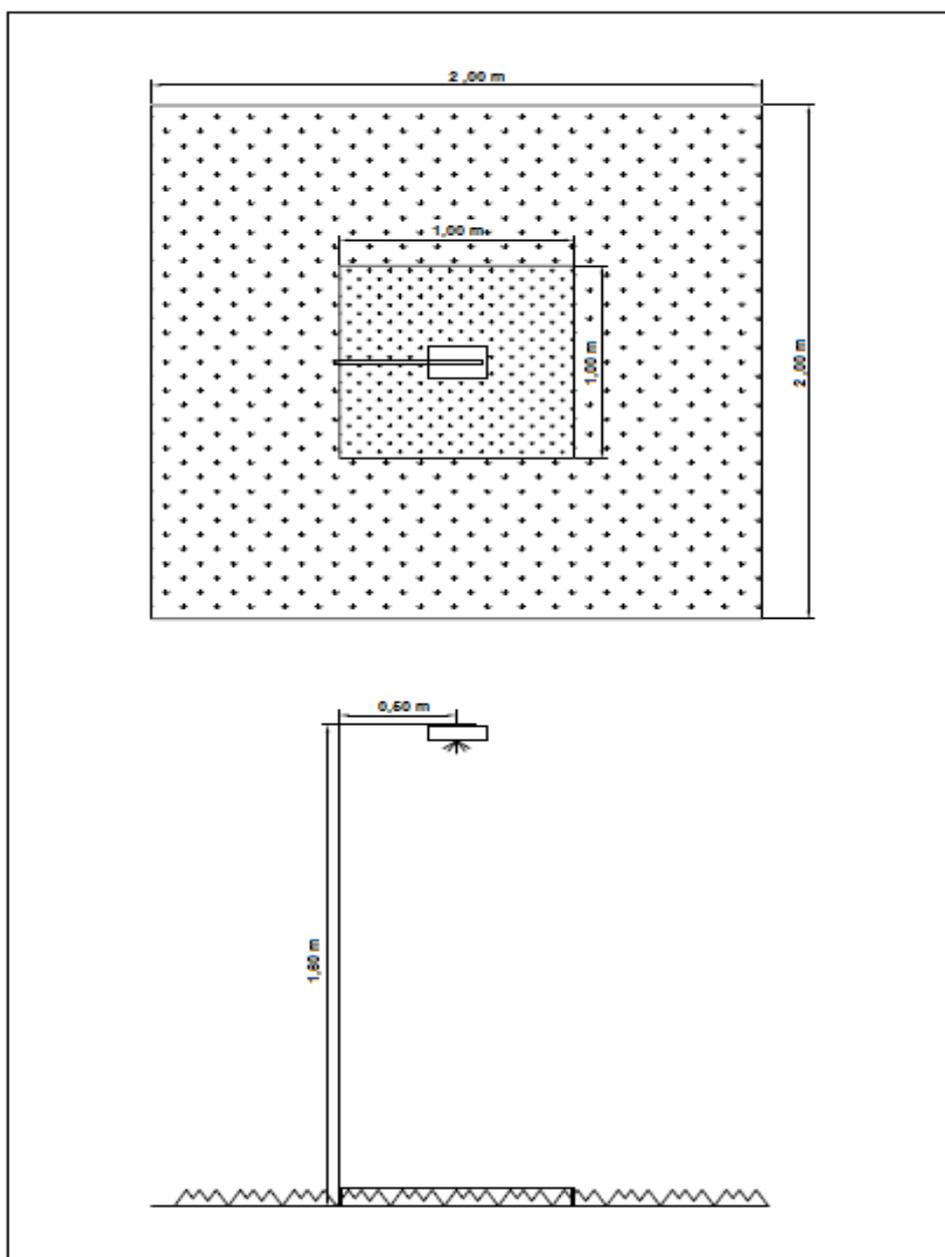


**Figura 4** – Quadrante utilizado para estimar a frequência de ocorrência.

**3.5.3 Índice de Cobertura Verde.** O Índice de Cobertura Verde (ICV) permite a mensuração, de forma indireta, da velocidade de rebrota da pastagem, assumindo-se que a mesma seja influenciada pela dose de N. Na região visível do espectro solar, a refletância máxima é da ordem de 10% do fluxo radiante incidente (FONSECA et al., 2002).

Todavia, dentro dessa estreita faixa, o solo descoberto apresenta baixa refletância na banda do verde (550-650 nm) e alta refletância na banda do vermelho (650-750 nm). Já com a vegetação verde acontece o inverso, enquanto a palha apresenta refletância intermediária, dependendo do seu nível de umidade (VARELLA et al., 2002). Essas diferenças em refletividade constituem o fundamento do método aqui utilizado, baseado em uma estimativa da cobertura verde do solo, determinada através da classificação de imagens digitais, conforme descrito por Ribeiro (2006) com as modificações descritas a seguir.

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). A câmera era acoplada a um suporte em formato de “L” feito com tubos de PVC com parafuso adaptado à ponta, para permitir o acoplamento ortogonal da câmara, para evitar a projeção de sombras nas imagens. A imagem foi obtida com o auxílio de um quadrante de 1,0 m<sup>2</sup>, posicionado sempre no mesmo lugar, no centro da área útil, com a ajuda de estacas permanentes afixadas no solo. Para cada parcela experimental, foram captadas duas fotos (Figura 5).

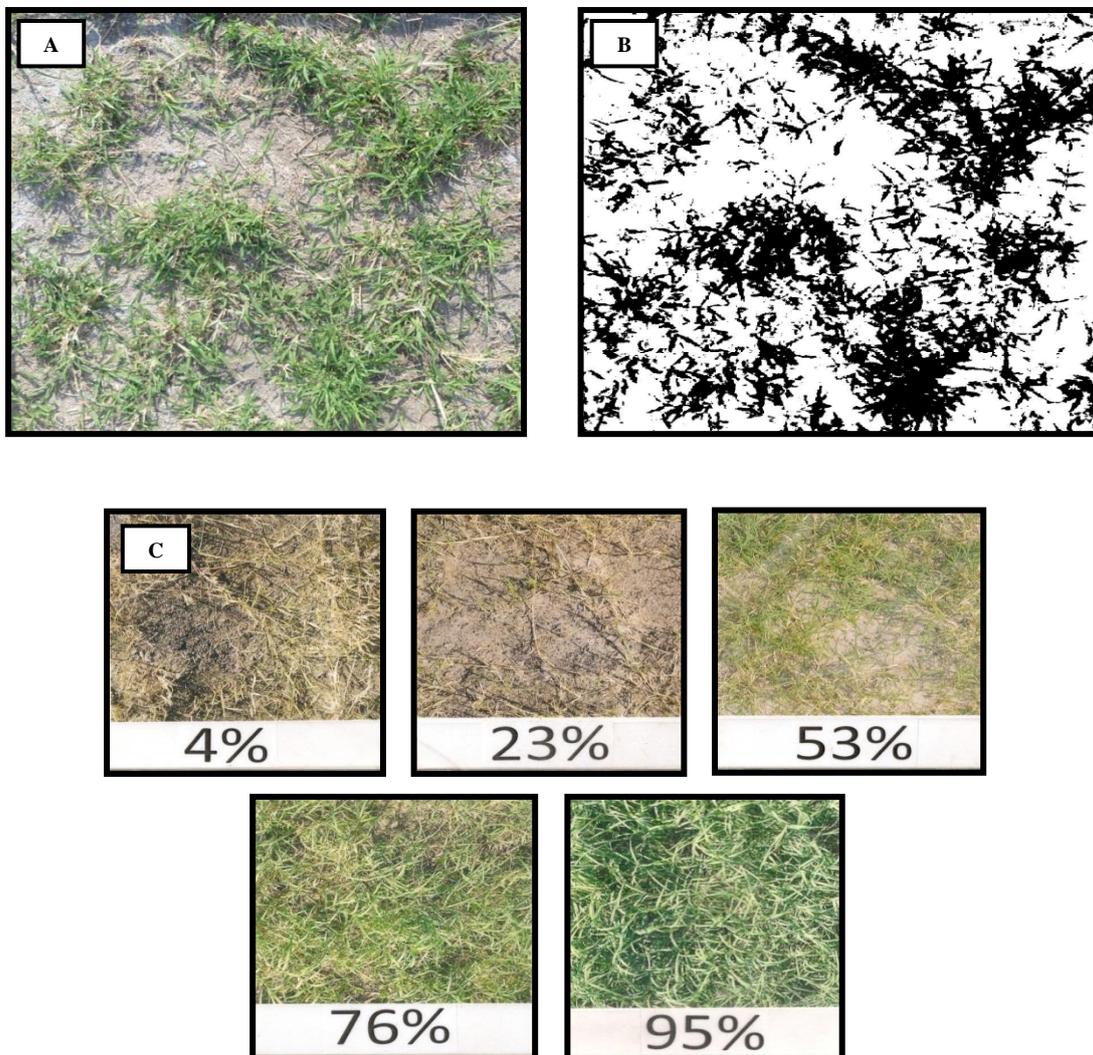


**Figura 5** – Esquema da estrutura de suporte para a captura de imagens com a câmera digital com o auxílio de um quadrante de 1 m<sup>2</sup> posicionado no centro da área útil de cada parcela.

A configuração da câmera digital foi sempre da mesma para todas as imagens obtidas, as quais foram transferidas para um computador e armazenadas em formato TIFF (Prof. Carlos A. Varella, comunicação pessoal). Subsequentemente, as imagens foram processadas e analisadas através de duas metodologias.

Inicialmente, com auxílio do algoritmo implementado no programa computacional MATLAB (MATHWORKS, 2000), denominado SEROBIN (Prof.

Carlos A. Varella, comunicação pessoal), foram obtidas dez amostras representativas de pixels de vegetação verde e dez de solo nu ou com vegetação seca. Dessa forma, foi criado um arquivo com o vetor classificador, baseado na função discriminante de Fisher (JHONSON e WICHERN, 1999), que permitiu a classificação das imagens originais. Subseqüentemente, foram recortadas de '2816C x 2112L' para '2040C x 2040L', correspondente a um campo de visão de 1m<sup>2</sup> no solo e resolução espacial de 0,49 mm/pixel (Figuras 6 A-B). Posteriormente, as imagens recortadas e armazenadas, foram processadas novamente para obtenção da estimativa do índice de cobertura verde, definido pela relação entre o número de pixels "verdes" e o número total de pixels na imagem (ICV, Fig. 6 C).



**Figura 6** – A) Exemplo de imagem original de uma parcela vegetada com Tifton 85; B) mesma imagem após classificação: as áreas claras correspondem a solo descoberto e/ou solo coberto com liteira, e as áreas escuras, à vegetação verde; C) diferentes valores de ICV estimados em experimento precedente (BARBIERI JÚNIOR, 2009).

Alternativamente, foi utilizado o software SisCob<sup>®</sup> ( Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária), para a análise de cobertura de solo através de uma escala de cores. De acordo com a informação deste Centro de Pesquisa (<http://www.cnpdia.embrapa.br/labimagem/siscob.php>), este software é sucessor do SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), desenvolvido pelo mesmo grupo de pesquisa (JORGE & CRESTANA, 1996).

A coleta de imagens foi realizada nas seguintes datas: 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 31, 35, 38 e 42 DAC.

### 3.5.4 Índice de Área Foliar.

#### 3.5.4.1 Método Direto

O Índice de Área Foliar (IAF) foi determinado destrutivamente, a partir da massa seca de lâmina foliar verde (MSLF, kg/m<sup>2</sup>) e da área foliar específica (AFE, m<sup>2</sup>/kg MSLF), de acordo com a Equação 2.

$$IAF = AFE \times \left[ \frac{kg \text{ MSLF}}{m^2 \text{ de solo}} \right] \quad (2)$$

Para tal, foram coletadas amostras contidas dentro de três quadrantes com 0,04 m<sup>2</sup>, localizados ao acaso na área útil das parcelas, no qual a biomassa em pé foi cortada rente ao solo. Imediatamente, a mesma foi transferida para sacos plásticos, contendo um pequeno volume de água mineral fresca, para minimizar perdas de massa seca por desidratação. O material, assim acondicionado, foi conservado dentro de caixa isotérmica, mantida à sombra até o seu transporte ao 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<sup>®</sup>) para a determinação da sua área. Todo o material verde foi posto a secar em estufa com circulação forçada de ar (65° C), por 48 h. A AFE foi determinada em duas ocasiões, aos 14 e 28 dias de rebrota. Porém, devido à inconsistência dos dados obtidos

com 300 kg N / ha aos 14 dias, somente foram aproveitados os dados correspondentes à amostragem feita aos 28 DAC. Para verificar a consistência destes dados, foi feita uma comparação com resultados constantes na literatura (RODRIGUES et al., 2006; GALZERANO, 2008).

As determinações foram realizadas aos 14, 17, 21, 24, 28, 31, 35, 38, e 42 DAC, já que nas primeiras três medições do experimento, não houve matéria seca disponível em quantidade suficiente.

#### **3.5.4.2 Método Indireto**

Para a sua determinação indireta do IAF, 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 horários próximos ao do zênite solar (entre 11:00-13:00 h), sempre em dias com céu claro.

Cada amostragem foi composta de oito medições, seguindo as sugestões de Johnson et. al. (2010). Essas medições foram feitas aos 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 31, 35, 38 e 42 DAC.

**3.5.5 Matéria Seca Verde da Parte Aérea.** De forma similar à utilizada para a determinação de IAF, foram coletadas amostras contidas dentro de um quadrante com 0,04 m<sup>2</sup>, localizados ao acaso na área útil das parcelas, no qual a biomassa em pé foi cortada rente ao solo. O material foi levado ao laboratório e submetido a fracionamento, que inicialmente separou o capim verde das invasoras e material senescente, o qual foi descartado. Subsequentemente, o capim foi fracionado em lâminas foliares e colmos + bainhas, que foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas. O material seco foi pesado e os valores obtidos foram usados para computar a Massa Seca Verde da Parte Aérea (MSVPA, g/m<sup>2</sup>).

**3.5.6 Teores foliares de clorofila.** Para a quantificação dos teores de clorofila existentes nas folhas das diferentes parcelas experimentais, foi seguida uma mesma ordem sequencial de operações nos dias 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 31, 35, 38 e

42 DAC. Assim, sempre na primeira folha completamente expandida (do topo do dossel para a base) e exposta à radiação solar, de cinco diferentes perfilhos, foram realizadas, no terço médio da lâmina, duas leituras com um clorofilômetro da marca ClorofiLOG<sup>®</sup> modelo CFL 1030 (Figura 7), o qual fornece medições dos teores das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*), expressas em unidades chamadas Índice de Clorofila Falker (ICF) (BARBIERI JÚNIOR et al., 2012).



**Figura 7** – Avaliação no campo com o aparelho ClorofiLOG<sup>®</sup>-CFL 1030.

### 3.6 Análises estatísticas

Os dados primários foram submetidos a análise de variância (ANOVA) sem qualquer transformação prévia. Foi escolhido o procedimento “repeated measures (mixed model) ANOVA” constante no pacote estatístico GraphPad Prism versão 5.0 for Windows (GraphPad Software, San Diego, Califórnia, USA). Este procedimento é necessário para dar conta da estrutura de covariâncias associada às medidas repetidas no tempo numa mesma parcela experimental (LITTEL et al., 1998). O teste de Bonferroni foi usado para discriminar níveis de significação estatística para as médias das doses de N entre dias após o corte.

Verificada a 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. 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).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições ambientais têm efeito direto sobre o crescimento das pastagens, e por esta razão, considerou-se adequado iniciar este capítulo apresentando os valores das variáveis meteorológicas durante o período experimental.

### 4.1 Condições Ambientais Durante o Período Experimental

O curso diário das precipitações, os fluxos de radiação solar incidente e as temperaturas do ar registradas na área experimental durante a realização deste trabalho foi mostrado previamente (Figura 1).

Em relação ao aporte de água através de chuvas, houve um total de 112,8 mm acumulados durante os 42 dias do período de rebrota do capim. Desde total, 40 % ocorreram nos primeiros três dias; 26% entre os dias 16 e 19; 30 % entre os dias 25 e 29, e a pequena margem restante (< 5%) entre os dias 37-39 (Fig. 1A). Com base nos valores normais publicados para o município de Seropédica (MARTORANO et al., 1997) a precipitação esperada no período experimental seria da ordem de 105 mm, portanto compatível com a precipitação efetivamente ocorrida (112,8 mm). Portanto, a limitante com respeito à disponibilidade hídrica não foi o seu montante total, porém a sua distribuição dentro do período. Tal situação foi amenizada pela aplicação de água via irrigação por aspersão (Figura 3), sempre que julgado necessário.

No relativo aos níveis de radiação solar incidentes, os mesmos estiveram dentro dos valores de fluxos normais para a época, sendo que, fora os dias chuvosos, não foram registrados períodos extensos com altos valores de nebulosidade, predominando dias com atmosfera límpida. Incidentalmente, este quadro ambiental foi favorável ao desempenho dos sensores óticos passivos, isto é aqueles que dependem do Sol como fonte de radiação.

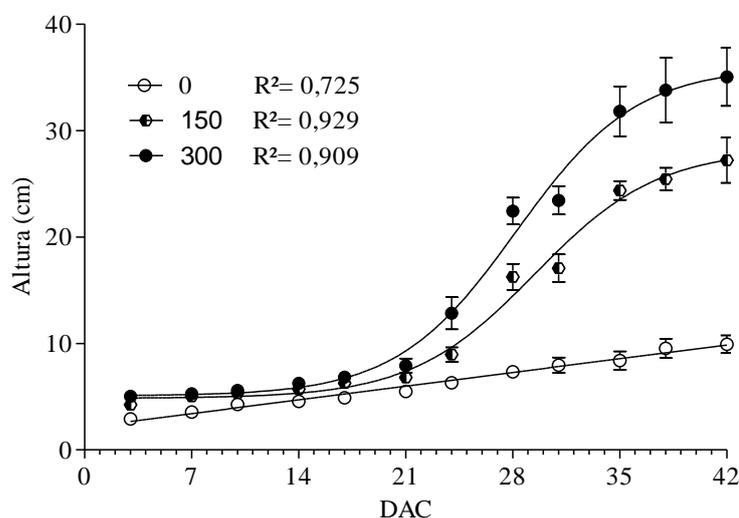
A maior limitante ambiental registrada no presente trabalho foi a ocorrência de baixas temperaturas do ar, possivelmente associadas a frentes frias localizadas, de curta duração, fenômeno que ocorre principalmente no outono e primavera, quando se registram as maiores variâncias na temperatura média do ar (MEDEIROS et al., 2005). No presente caso, tais eventos aconteceram principalmente durante os períodos compreendidos entre 0-10 DAC e 21-22 DAC (Fig. 1C).

Admite-se, de forma geral, que existam temperaturas base ( $T_b$ ) que limitam o desenvolvimento de gramíneas tropicais e que, em determinadas épocas do ano, em algumas regiões, temperaturas menores possam ser alcançadas (MENDONÇA & RASSINI, 2006). Dado que o desenvolvimento vegetal é um processo irreversível, a taxa de desenvolvimento abaixo da temperatura base iguala-se a zero (RITCHIE & NeSMITH, 1991). Em pastagens estoloníferas, isto significa basicamente a inibição dos processos morfogênicos responsáveis pelo alongamento dos estolões, de forma similar ao que acontece sob baixos níveis de luz ou deficiência hídrica (CRUZ & BOVAL, 2000; NABINGER & PONTES, 2001). O estabelecimento de temperaturas base é tarefa complicada, porque as respostas da vegetação à temperatura são modificadas principalmente pelo fotoperíodo (MEDEIROS et al., 2005) e por efeitos genotípicos, registrando-se diferenças mesmo entre cultivares de uma mesma espécie (VILA NOVA et al., 2007). Levando-se em conta essas complexidades, tem sido feitas estimativas de temperatura base para cultivares ou espécies do gênero *Cynodon*, incluindo o Tifton 85, que, ao menos para a região Sudeste do país, variam entre 13 °C (MEDEIROS et al., 2001) e 15 °C (MEDEIROS et al., 2005; MENDONÇA & RASSINI, 2006). Dessa forma, no presente trabalho adotou-se um valor de  $T_b = 14$  °C (linha horizontal, figura 1C). Estreitamente ligado ao conceito de temperatura base, é o de soma térmica, o qual representa a somatória ou acúmulo de graus-dia (calculados como a diferença entre a temperatura média do ar e a temperatura base). Diversos estudos com plantas forrageiras têm mostrado que quando a disponibilidade hídrica não é limitante para o crescimento vegetal, há uma relação linear direta entre a soma térmica em graus-dia e o acúmulo de matéria seca (RITCHIE & NeSMITH, 1991).

Voltando a figura 1C, é possível avaliar a significação destes processos, uma vez que, após o corte de uniformização, as temperaturas mínimas do ar ( $T_{min}$ ) ficaram próximas ou ainda abaixo da  $T_b$  durante a primeira semana do período de rebrota. Ainda, nos três dias subsequentes, a  $T_{min}$  ficou acima da  $T_b$ , porém com uma pequena margem. Outro ciclo similar aconteceu a partir de 16 DAC, com uma queda progressiva da temperatura mínima até atingir o seu menor valor aos 21 DAC. Em conjunto, é possível verificar que as parcelas experimentais ficaram sobre estresse térmico nos primeiros dez dias do ciclo, o que correspondeu a quase 25% do ciclo total. Esta situação foi refletida nos diversos indicadores de crescimento diretos e indiretos, tal com será discutido.

## 4.2 Altura do dossel

A altura do dossel forrageiro é uma característica que tem recebido bastante atenção, devido a sua relação com a massa de forragem e o consumo animal (AGUINAGA et al., 2008) assim como com a radiação fotossinteticamente ativa (IRFA) e o IAF (GALZERANO et al., 2012, GUIMARÃES, 2012). No experimento de Galzerano et al. (2008), a adição de N teve um efeito bastante limitado sobre o crescimento vertical do capim Tifton-85, mas no presente caso tal resultado não se confirmou. Pelo contrario, a análise de variância detectou diferenças altamente significativas ( $p < 0,0001$ ), para todas as fontes de variação (N; DAC; N x DAC e medidas repetidas no tempo). Entretanto, a taxa de crescimento vertical dos dosséis, foi inicialmente muito baixa, independentemente de dose de N (Figura 8), refletindo as condições ambientais desfavoráveis já mencionadas. De fato, diferenças discerníveis entre os dosséis foram evidenciadas apenas a partir dos 24-28 DAC, explicando a forte interação entre N e dias após rebrota. Ao final do período de crescimento considerado, as alturas médias foram de 0,099 ; 0,272 e 0,35 m, para os tratamentos 0; 150 e 300 kg N/ha, respectivamente (Fig. 8) , o que significa que a máxima dose promoveu a altura o dossel por um fator de 2,6 em relação ao tratamento controle.



**Figura 8** – Interação entre dose de N e dias após corte (DAC) para a característica altura do dossel. Barra vertical indica o erro padrão de cada estimativa (média de seis repetições).

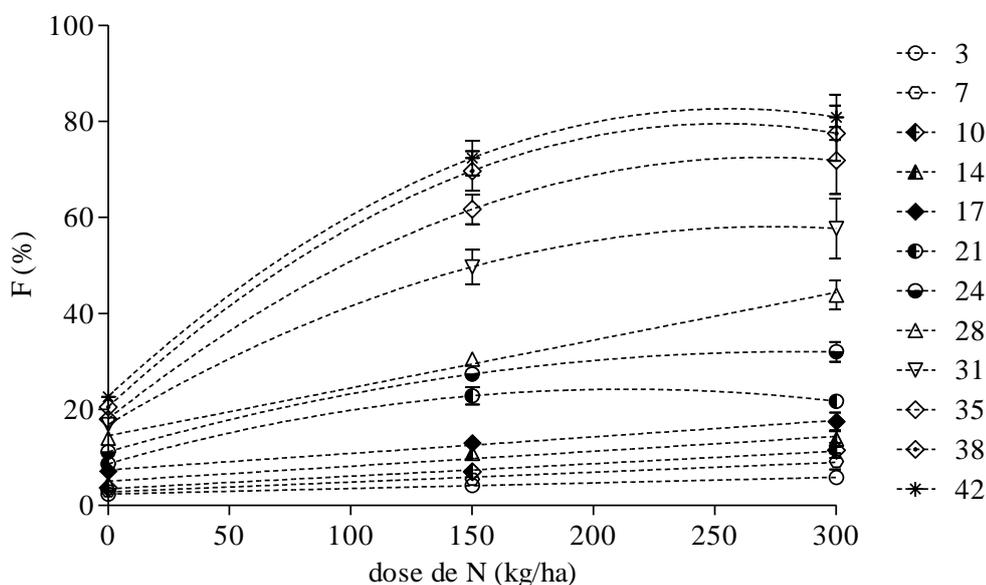
### 4.3 Cobertura Verde

#### 4.3.1 Frequência de Ocorrência

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 possíveis nas camadas mais baixas. De qualquer forma, é uma representação bidimensional do dossel, independentemente de sua configuração estrutural.

A análise estatística demonstrou a existência de efeitos significativos para doses de N, datas de amostragem, assim como a interação entre eles, todos ao nível de  $p < 0,0001$ . Da variância experimental total, 61 % foi explicada pelas datas de amostragens, com as doses de N contribuindo com 20 %.

Na Fig. 9, pode ser observado que para as amostragens compreendidas entre os 3 e 17 DAC, não houve diferenças significativas devida à adição de N. Este quadro pode ser explicado ao se considerar que o mesmo é produto das baixas temperaturas que afetaram a rebrota da capineira logo após o corte de uniformização, conforme já mencionado.

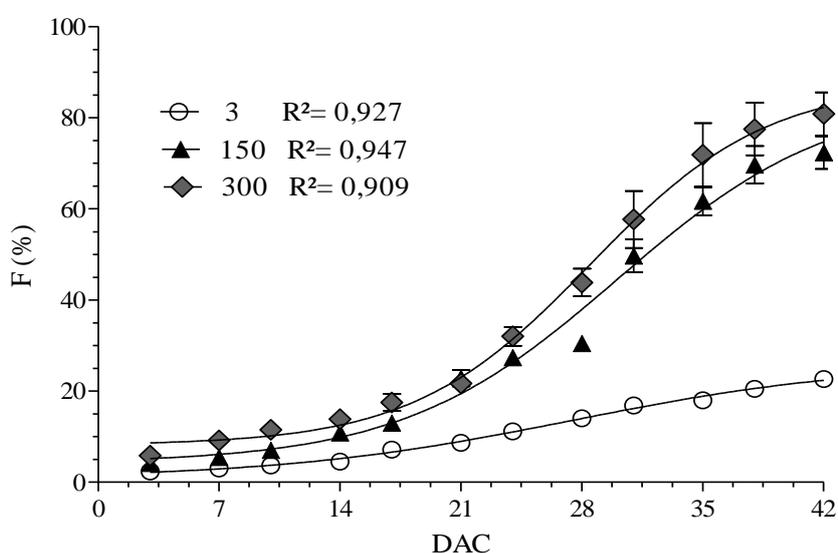


**Figura 9** – Variação da Frequência de Ocorrência (F %) em parcelas experimentais de capim Tifton 85, em função de níveis de adubação nitrogenada. As barras verticais indicam o erro padrão de seis repetições por tratamento.

Após os 17 DAC, as curvas de resposta às doses de N, adquirem progressivamente forma quadrática, que apresentam significação estatística até os 35 DAC. Após esta data,

não houve diferenças estatísticas. Por outro lado, o máximo incremento em F % ocorreu entre 28 e 31 DAC.

Quando se considera o curso temporal como variável independente, as curvas de resposta adquirem uma forma sigmoidal (Fig. 10). Este método de avaliação resultou adequado na discriminação entre as parcelas não adubadas em relação àquelas que receberam adubo nitrogenado. Já, na diferenciação entre níveis de N, não houve o mesmo grau de adequação, uma vez que as diferenças significativas entre ambas as curvas limitaram-se a amostragem feita aos 28 DAC, onde o ponto correspondente à dose de 150 kg N/ha aparece fora da curva de ajuste, sugerindo ser produto de erro amostral. Por outro lado, a partir do dia 21, o tratamento testemunha diferiu dos tratamentos adubados.



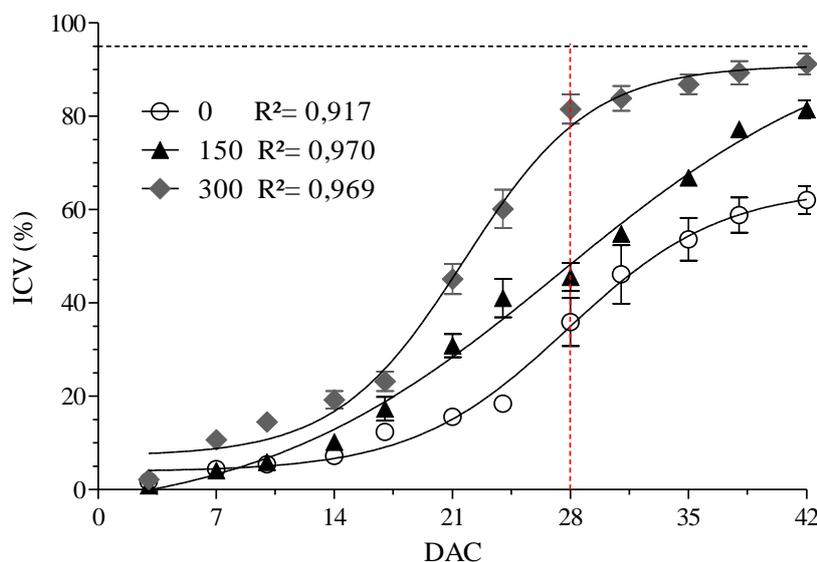
**Figura 10** – Variação da Frequência de Ocorrência (F %) em parcelas experimentais de capim Tifton 85, em função dos dias após o corte (DAC) e níveis de adubação nitrogenada. As curvas de ajuste correspondem ao modelo sigmoidal de Boltzmann.

Esses resultados são qualitativamente similares à observação feita nas mesmas parcelas em fevereiro de 2012, onde se verificou que os valores de F(%) nas doses de 100 e 200 kg N/ha não diferiram estatisticamente entre si (GRACIOSA, 2012). Se juntado à experiência de 2012, as dos anos precedentes (OLIVEIRA, 2008; GALZERANO et al, 2008; BARBIERI JUNIOR, 2009; DA SILVA et al., 2011), pode concluir-se no sentido de ser este método mais adequado para à quantificação dos efeitos a níveis moderados de adubação nitrogenada, sendo os resultados dependentes das condições ambientais vigentes durante os ciclos de rebrota ou descanso dos pastos.

### 4.3.2 Índice de Cobertura Verde (ICV)

Os resultados da ANOVA para o ICV revelaram significância estatística ( $p < 0,0001$ ) para os fatores DAC e dose de N, assim como para a interação N x DAC e o efeito da covariância associada às medidas repetidas no tempo. A variabilidade associada às datas de captura de imagens explicou 82% da variabilidade experimental total, enquanto que a dose de N apenas 10 %.

A aplicação de N aumentou a cobertura do solo, possivelmente por acelerar as taxas de crescimento dos estolões (CRUZ e BOVAL, 2000). Os efeitos médios das doses de N aplicadas, independentemente de DAC, tiveram diferenças significativas (Teste F,  $p < 0,0001$ ) entre elas ( $N_0 = 26,8 \pm 6,64$ ;  $N_{150} = 36,3 \pm 8,43$ ;  $N_{300} = 50,66 \pm 10,16$ ).



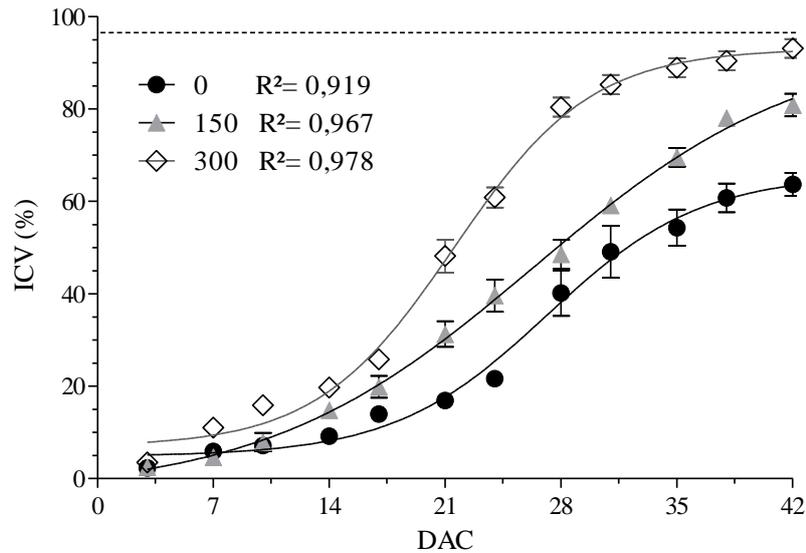
**Figura 11** – Variação do Índice de Cobertura Verde (ICV %), estimado com a ferramenta Serobin do programa Matlab®, em função de níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte. As curvas de ajuste correspondem a um modelo sigmoidal. A linha horizontal tracejada indica o valor ICV = 95 %.

Na figura 11 apresenta-se a tendência temporal de variação do ICV, em função de DAC e dose de N. De acordo à natureza assintótica da regressão, é possível distinguir três regiões de responsividade diferenciada: 3 a 17; 21 a 31 e 35 a 42 DAC, respectivamente, as quais justificam a significância da interação N x DAC.

Na comparação entre o tratamento não adubado e a dose de 150 kg N/ha, a independência das curvas de regressão está balizada por diferenças estatísticas pontuais (Bonferroni,  $p < 0,05$ ) aos 21-24 DAC e posteriormente, após 35 DAC. Diferenças estatísticas entre o controle não adubado e a maior dose de N aplicada, começaram a se evidenciar a partir dos 14 DAC. Entre os tratamentos que receberam N, as diferenças estatísticas manifestaram-se a partir dos 21 DAC, porém, ao final do período analisado (42 DAC), já dentro da zona de definição da assíntota superior das curvas, os valores de ICV não diferiram estatisticamente. Tomados em conjunto, esses resultados evidenciam uma maior sensibilidade do ICV às diferentes doses de N disponível no solo, em relação com o método da avaliação visual assistida com grade, como visto no item anterior. Nem sempre é possível determinar isto com suficiente precisão, devendo-se realizar determinações em diferentes idades de rebrota do capim. Por exemplo, GRACIOSA (2012) comparou os resultados obtidos em  $n=16$  parcelas experimentais, em uma única data (24 DAC). Uma comparação rigorosa entre ambas as séries numéricas (teste “t” pareado), evidenciou a inexistência de diferença significativa ( $p = 0,858$ ) entre as médias correspondentes a ambos os métodos (F (%) vs. ICV).

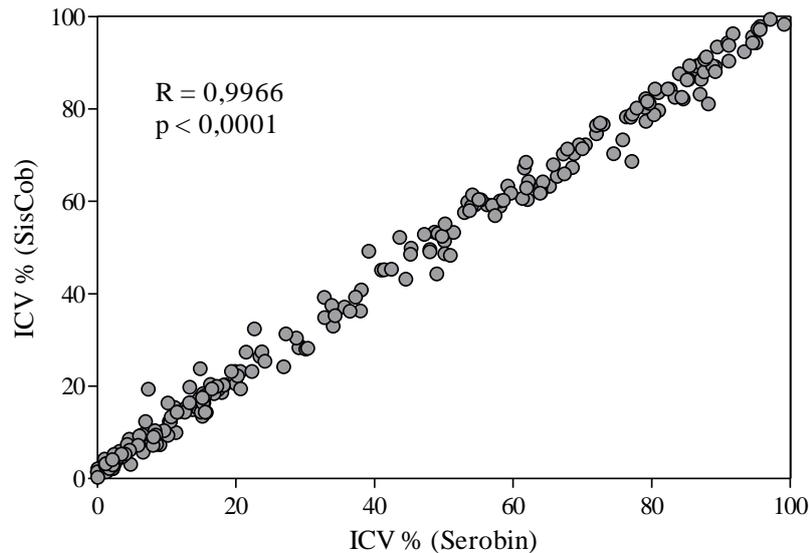
Repetidas observações confirmam que um dos efeitos mais evidentes do N ao nível de dossel, é o de acelerar o seu fechamento (FERNANDES & ROSSIELLO, 1995; OLIVEIRA, 2008; BARBIERI JÚNIOR, 2009; ROSSIELLO & ANTUNES, 2012). Por exemplo, aos 28 DAC foram observados valores médios de ICV de 36%; 45,5% e 82% para os tratamentos estudados (Figura 11, linha tracejada vertical). A partir dessa data, o maior nível de N produz imagens com valores de ICV essencialmente iguais, característico de saturação de resposta, um processo já evidenciado em estudos anteriores (OLIVEIRA, 2008; BARBIERI JÚNIOR, 2009, SILVA et al. 2011b). Nesse sentido, o ICV comporta-se como outros indicadores indiretos de cobertura vegetal, mostrando um forte componente assintótico na sua curva de resposta (SCHUT & KETELAARS; 2003).

A figura 12 corresponde aos mesmos valores de ICV da figura anterior, estimados com o software SisCob<sup>®</sup>, em função dos níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte.



**Figura 12** – Variação do Índice de Cobertura Verde (ICV %), estimado com o *software* SisCob<sup>®</sup>, em função de níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte. Linhas verticais correspondem ao erro padrão da média.

Comparando-se ambas as séries numéricas (Serobin vs. SisCob) verifica-se que o grau de correlação linear é praticamente unitário (Fig 13), sendo que as médias gerais diferiram (não significativamente) em menos que 2% (ICV Serobin =  $41,2 \pm 2,06$ ; ICV SisCob =  $42,8 \pm 2,65$ ). Isto significa que para a estimativa da cobertura vegetal, com o método ICV, é possível utilizar qualquer um desses *softwares*. Cruz et al. (2008) compararam dois classificadores de imagens para a estimativa da cobertura vegetal do solo, e concluíram que as exatidões globais foram de 0,96 e 0,92, para as classificações realizadas com os programas SIARCS e SEROBIN, respectivamente, não havendo, no entanto, diferença estatística entre eles ( $p > 0,05$ ).



**Figura 13** – Correlação entre Índice de Cobertura Verde (ICV %), estimado com o *software* SisCob<sup>®</sup> e com o Serobin.

Além da análise de imagens mostrar uma maior capacidade de resolução, em relação aos métodos visuais, em termos de discriminação entre níveis de adubação nitrogenada, existem outras vantagens associada a este método. A primeira é a facilidade de captura da informação primária, feita com uma simples câmara digital, de baixo custo, uso difundido, e ampla portabilidade (SENA JÚNIOR et al, 2008). Inclusive, a utilização de estruturas de suporte da câmara, como tripés, pode ser dispensada, desde que o operador possa captar uma imagem (direção nadir), manejando a câmara à altura do peito, como descrito por Cagney et al. (2011). Por outro lado, as imagens podem ser arquivadas para posterior reanálise (BOOTH et al., 2006), visando comparar a condição do pasto em diferentes estações de crescimento ou estratégias de manejo utilizadas (Fig. 6 C). Finalmente, cabe observar que a classificação das imagens pode ser feita com diversos softwares, incluindo os de domínio público, sem perda de precisão (Fig. 13).

#### 4.4 Índice de Área Foliar

##### 4.4.1 Método Direto

No método direto, o IAF foi calculado como produto da biomassa de folhas verdes secas (kg/m<sup>2</sup>) e da AFE (m<sup>2</sup>/kg). Na aplicação deste método, é crucial ter

estimativas representativas (BREDA, 2003; SBRISSIA & DA SILVA, 2008; ROSSIELLO & ANTUNES, 2012), o qual não é um problema fácil. Este método direto implica em duas fontes de variação independentes, uma representada pela estimativa da biomassa foliar e outra pela relação entre a área /massa seca foliar.

Rodrigues et al. (2006) seguiram o curso sazonal da AFE em cinco cultivares de *Cynodon* spp. Para o Tifton 85, os seus valores oscilaram entre 15,4 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> aos 14 dias até 16,2 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> aos 42 dias de crescimento, com máximo entre 18 e 21 dias, de forma que a média geral para o período 14-42 dias foi de 17,9 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>. Oliveira et. al (2000) encontraram valores mais elevados, de 27,5 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> para 28 dias de rebrotação do capim Tifton 85. As estimativas de Galzerano et al. (2012) para adubação nitrogenada do capim sob crescimento livre, aos 87 DAC, oscilaram entre 23,02 ± 2,1 e 24,57 ± 1,9 m<sup>2</sup>/ kg e não foram afetadas pelas doses de N (0- 150 kg N/ha/ano). No presente estudo, determinações de AFE foram realizadas aos 14 e 28 dias de rebrotação (Tabela 2)

**Tabela 2** - Valores de Área Foliar Específica (m<sup>2</sup> kg MSPA<sup>-1</sup>) do capim Tifton 85, sob crescimento livre, em função de doses de N e duas datas de rebrotação (DAC).

N (kg/ha)	14 DAC	28 DAC
0	17,6	18,4*
150	21,3	15,1*
300	6,8	17,5*

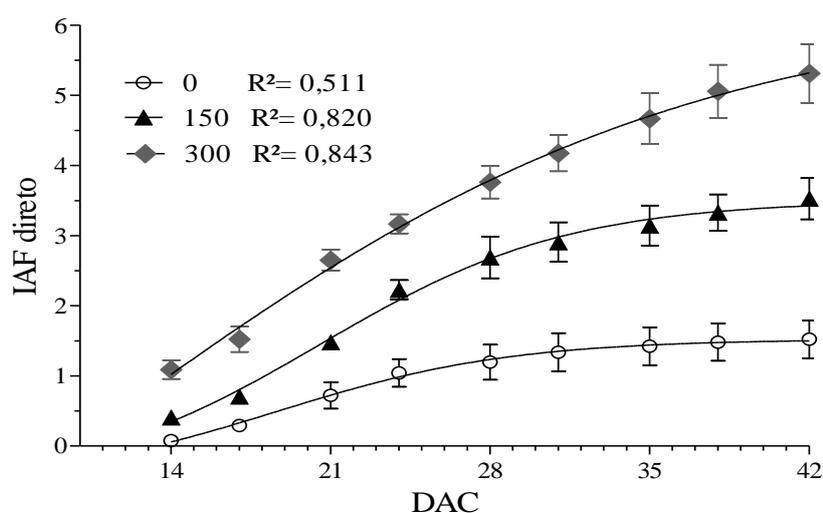
\*Valores utilizados para o cálculo do IAF

Tomando-se a média de ambas as amostragens, chega-se a valores de 18,0; 18,2 e 12,15 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> para os níveis de 0, 150 e 300 kg N / ha, respectivamente. Esses valores estão dentro ou próximos da faixa de valores observados de AFE em experimentos anteriores efetuados na área, assim como os de Rodrigues et al. (2006), excetuando o correspondente à maior dose aplicada, prejudicado por um erro amostral aos 14 DAC, que forneceu uma estimativa muito baixa (6,8 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>, Tabela 2). Por essa razão, os cálculos do IAF foram realizados tomando-se por base apenas os valores de AFE aos 28 DAC. Isto implicou na prática, a redução da variabilidade associada à determinação do IAF, uma vez que as respectivas biomassas secas das lâminas foliares foram corrigidas

sempre por um mesmo fator fixo, para cada nível de adubação, o que pode ter prejudicado as estimativas em alguns casos.

A análise estatística primária mostrou efeitos significativos de variância para os fatores dose de N e DAC, assim como para N x DAC e medidas repetidas no tempo, todos a  $p < 0,0001$ . Os valores de IAF, estimados destrutivamente, responderam sensivelmente às doses de N, independentemente de dias de amostragens, com médias de:  $1,06 \pm 0,19$ ;  $2,04 \pm 0,16$  e  $3,67 \pm 0,22$  m<sup>2</sup> folha m<sup>-2</sup> terra; para 0, 150 e 300 kg N/ha, respectivamente. Ou seja, que a adição de N na maior dose, mais do que triplicou a área foliar verde do dossel (folhas senescentes foram excluídas manualmente). Como antecedente de comparação mais imediato, nas amostragens de fevereiro de 2012, Graciosa (2012) obteve, ao final do seu período de rebrota (28 DAC), valores de IAF (direto) 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. É importante afirmar novamente que esses valores fornecem as estimativas da área foliar total das lâminas foliares verdes por unidade de superfície do terreno, e por essa razão, alguns autores referem-se ao “IAF verdadeiro” (PONTAILLER et al., 2003; HE et al., 2007).

Por outra parte, sob ausência de desfolhação induzida, as medidas repetidas no tempo revelaram o clássico padrão logístico de crescimento do dossel (Fig. 14). Como tal, os valores tenderam a estabilizar assintoticamente em função dos DAC, com valores entre 1,3 e 1,5; a partir dos 31 DAC, para o tratamento não adubado; 3,3 a 3,5 aos 38 DAC, para a dose intermediária e 5,3 aos 42 DAC para a maior dose aplicada.



**Figura 14** – Variação do Índice de Área Foliar do capim Tifton 85, determinado pelo método direto (destrutivo), em função de níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte.

Na literatura, existem referências para valores de IAF determinado destrutivamente, dentro da mesma faixa dos aqui determinados, tanto para experimentos conduzidos sob pastejo, como sob regime de cortes. Gomide (1996) observou valores de IAF entre 1,68 e 5,85 para Tifton 85 aos 14 e 42 dias, respectivamente. Fagundes et al. (2001), estudaram o IAF e a interceptação luminosa em três cultivares de *Cynodon* (Tifton-85, Florakirk e Coastcross), submetidas ao pastejo por ovinos, a partir de alturas pré pastejo de 5, 10, 15 e 20 cm, mantidas constantes através da adição ou retirada de animais. Os mencionados autores encontraram valores de IAF que variaram em função da altura dos pastos e do mês de avaliação, numa faixa de 0,21 a 3,71. Evidentemente, sob crescimento livre, o capim atinge maior altura do dossel, e conseqüentemente, maior IAF e interceptação de radiação solar.

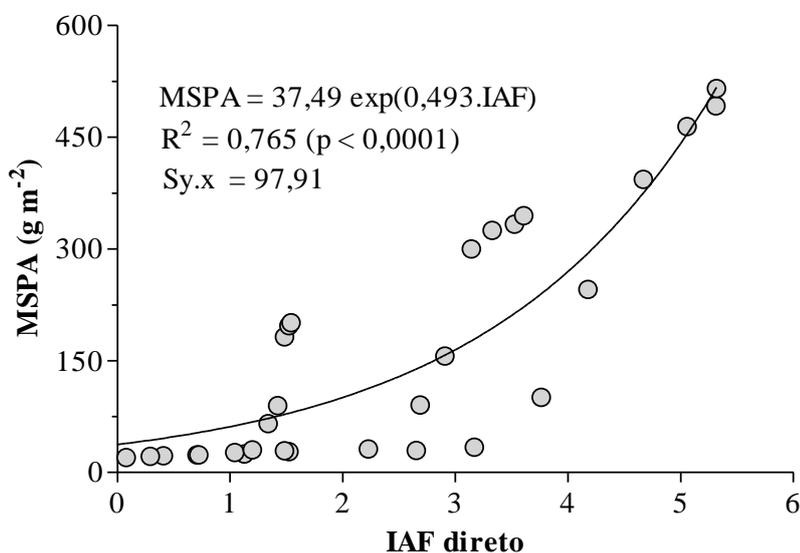
Assim, no experimento de Galzerano (2008), as parcelas de Tifton 85 receberam 0, 50, 100 e 150 kg N (uréia) ha<sup>-1</sup>. Aos 87 dias após plantio, foi observado que as doses de N causaram um aumento significativo da ordem de 52 % para a maior dose de aplicação (5,93 ± 1,73) em relação à testemunha não adubada (3,92 ± 1,08). Em experimento similar, Oliveira et al. (2010) relacionaram a fração da RFA interceptada (fRFA<sub>int</sub>) com o IAF destrutivo, e obtiveram um IAF crítico (ou seja, o correspondente à condição fRFA<sub>int</sub> = 0,95) da ordem de 3,9 - 4,0; porém, esse valor foi obtido por combinação de quatro ciclos de rebrota, dois na estação chuvosa e dois na estação seca, sob doses de N entre 0- 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Oliveira et al. (2000) encontraram que o IAF crítico para o Tifton 85, em altura de corte de 5 cm, adubado com 75 kg N ha<sup>-1</sup>, em um período de rebrota de 70 dias, com avaliações a cada 7 dias, foi atingido aos 45 dias, com um valor em torno de 4,9. Em experimento conduzido na região do Cerrado, Marcelino et al. (2003) observaram valores de IAF entre 3,2 e 5,8 em resposta a doses de N entre 0- 360 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Tomados em conjunto, esses dados evidenciam que o IAF apresenta alta elasticidade de resposta à adubação nitrogenada, independentemente de modo de desfolha (pastejo animal ou corte) e composição morfológica do capim. Por outro lado, considerando a estrutura do dossel, é bem fatível que em Tifton 85, valores críticos de interceptação de RFA sejam atingidos em valores de IAF entre 4,0- 5,5, o qual é uma faixa de IAF compatível com uma inclinação foliar média de 44,5°, determinada por Guimarães (2012) com auxílio de um analisador de dossel LAI 2000. Sob boas condições de luz, temperatura, umidade e nutrientes disponíveis, essa faixa de IAF poderia ser atingida entre 28-38 dias, na estação chuvosa. Nesse sentido, a dose de N

mais apropriada para a adubação do capim seria aquela que primeiro promovesse essa meta de IAF, dentro das primeiras cinco semanas de rebrota. Previamente, Silva (2009) e Silva et al. (2012) mostraram que neste período de rebrota, ocorrem os máximos de proteína bruta e os mínimos de fibra na massa forrageira do capim.

Uma eficiente utilização da radiação solar, por parte do dossel, requer folhas com alta capacidade fotossintética, interceptação próxima do total da RFA incidente e distribuição favorável da luz interceptada, dentro do dossel (BROUGHAM, 1958). Nesse contexto, Oliveira (2008) observou que do ponto de vista da produtividade fotossintética da pastagem, a manutenção de altos valores de IAF (via adubação nitrogenada) é o principal requisito para a expressão da produtividade forrageira do Tifton 85.

Na figura 15 mostra-se o vínculo não linear entre a MSPA e o seu respectivo IAF, evidenciado pelo ajuste do modelo exponencial. Esse tipo de relação já tinha sido evidenciada por Oliveira (2008), que utilizou o método “run test” para verificar a não linearidade da relação entre a massa fresca ou a massa seca da parte aérea (quatro cortes combinados) e o IAF ( $p < 0,001$ ).

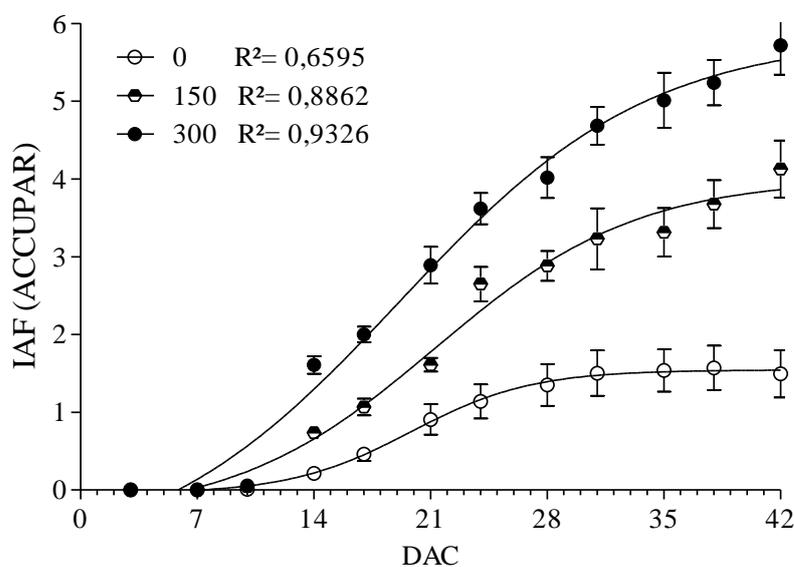


**Figura 15** – Relação entre a massa seca da parte aérea do capim Tifton 85 e o IAF determinado diretamente (através de corte da biomassa foliar).

#### 4.4.2 Método Indireto: AccuPAR

As estimativas do IAF feitas com o ceptómetro AccuPAR ( $IAF_{cept}$ ) foram afetadas por todas as fontes de variação (N e DAC), assim como pela interação N x DAC e pelas medidas repetidas no tempo ( $p < 0,0001$ ). O aumento da disponibilidade de N no solo via adubação nitrogenada, promoveu a expansão do IAF, registrando-se as seguintes médias ( $\pm$  erro padrão) dos tratamentos:  $0,85 \pm 0,19$ ;  $1,95 \pm 0,44$  e  $2,90 \pm 0,62$  para a testemunha, a dose intermediária e a maior dose de N aplicada, respectivamente. Estes valores, todavia incluem as amostragens dos dias 3, 7 e 10 DAC, onde os registros de IAF foram nulos, devido à detenção do crescimento induzida pela baixa temperatura. Desconsiderando-se estas amostragens, a média geral (14 – 42 DAC) é como segue:  $1,31 \pm 0,17$ ;  $2,59 \pm 0,40$  e  $3,86 \pm 0,48$ .

A figura 16 mostra a distribuição temporal dos valores de IAF indireto. Diferenças significativas (Bonferroni,  $p < 0,05$ ) entre a testemunha e os tratamentos adubados principiam aos 14 DAP para o contraste 0-300 kg N/ha, e aos 21 DAP para o contraste 0-150 kg N/ha.



**Figura 16** – Variação do Índice de Área Foliar do capim Tifton 85, determinado por método indireto, com um ceptómetro AccuPAR modelo LP 80, em função de níveis de adubação nitrogenada e dos dias após o corte (DAC).

Em experimentação anterior, conduzida durante a estação chuvosa, Guimarães (2012) realizou determinações de IAF pelo procedimento direto, assim como determinações indiretas com emprego do ceptómetro. Entretanto, devido a dificuldades

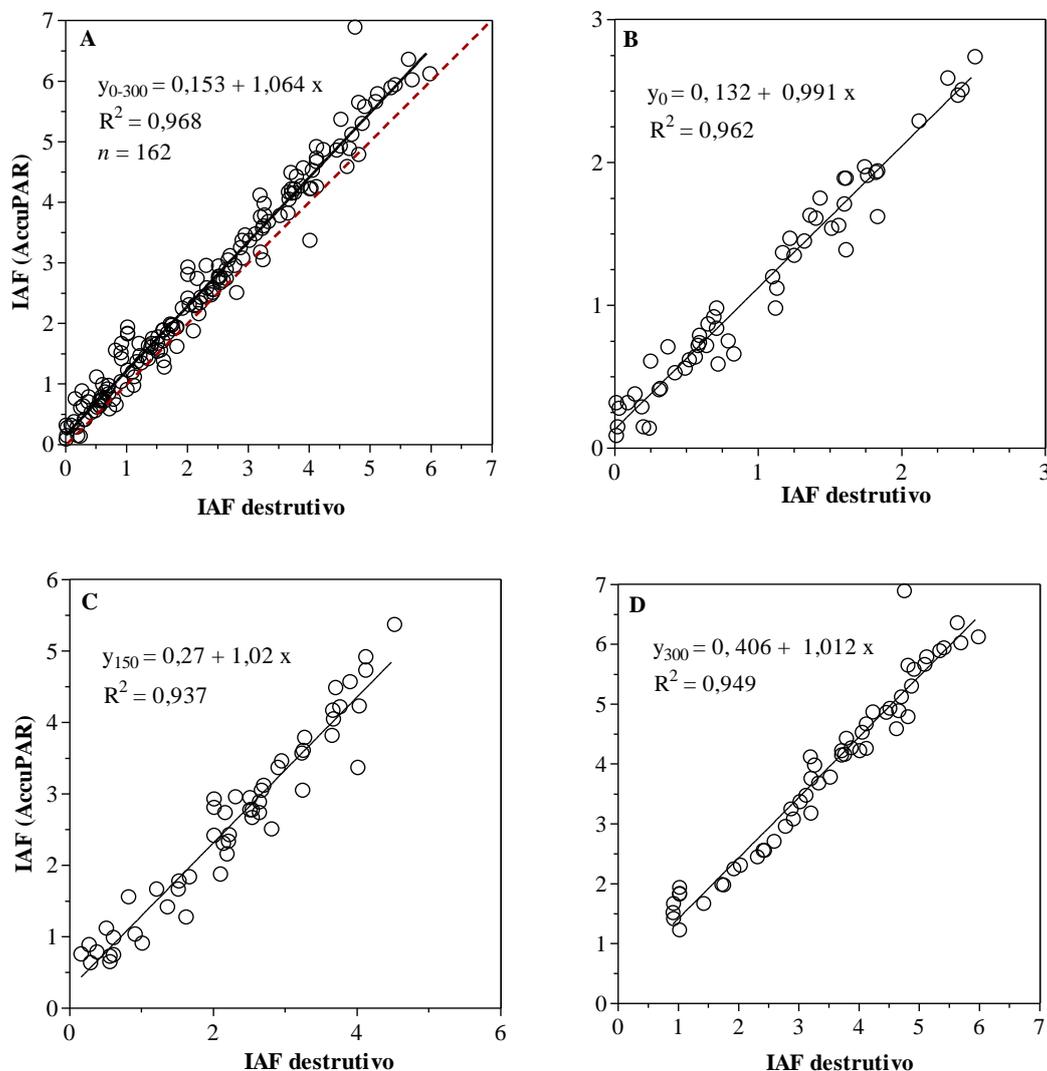
operacionais, houve somente um dia (23 DAC), no qual se teve a oportunidade de fazer comparações pareadas entre ambos os métodos. A equação obtida ( $IAF_{cept} = 0,58 + 0,76 IAF_{dir}$ ;  $r^2 = 0,582^{**}$ ;  $n = 16$ ); evidenciou uma relação complexa, caracterizada por uma interseção positiva e elevada (0,58), responsável pela superestimativa a baixos valores de  $IAF_{dir}$  e por uma pendente (“slope”)  $< 1,0$ , indicando subestimação dependente do IAF. A situação foi explicada como decorrente de erros de posicionamento da barra sensora, devido ao enraizamento aleatório dos estolões sobre a superfície do terreno; assim como também a problemas inerentes ao próprio instrumental e a possíveis peculiaridades do dossel do capim.

A partir dessa situação, no presente experimento procurou-se uma estratégia experimental que permitisse o efetivo pareamento das determinações do  $IAF_{cept}$  e do  $IAF_{dir}$ , mesmo fazendo algumas simplificações, como discutido previamente. O resultado foi um conjunto de dados de  $IAF_{cept}$  muito consistente em relação aos valores de  $IAF_{dir}$  (comparar fig. 14 e 16).

A comparação sistemática entre ambos os métodos está apresentada na figura 17A-D. A consideração conjunta de todos os dados ( $n = 162$ ) indicou uma superestimativa por parte do ceptômetro, da ordem de 11,5 %, que pode ser considerado como um muito bom desempenho geral do método indireto, levando-se em consideração que a margem de concordância entre valores de IAF destrutivo e valores obtidos por métodos indiretos, oscila entre 25-50 % (GOWER et al., 1999; BRÉDA, 2003). Entretanto, a análise mostrou que a magnitude da superestimativa foi dependente do nível da adubação nitrogenada. Esse efeito pode ser explicado pelo aumento progressivo da interseção das respectivas regressões (entre 0,13 e 0,40 para 0 e 300 kg N/ha, respectivamente). A análise da significância dessas interseções foi como segue: 0 vs. 150:  $p=0,002$ ; 0 vs. 300:  $p<0,0001$  e 150 vs. 300:  $p=0,1147$ . Já no caso das pendentes da regressão a análise indicou que nenhum dos três contrastes diferiram significativamente ( $p > 0,05$ ). A máxima superestimativa (21,5 %) correspondeu ao maior nível de N aplicado. (Fig. 17 B-D).

Todos os instrumentos que operam opticamente por análise da “gap fraction” (o caso do AccPAR), não conseguem separar o tecido foliar verde, fotossinteticamente ativo, de outras partes como folhas senescentes, colmos e estolões, e material morto, as quais são igualmente consideradas em termos de interceptação total (ASNER et al, 2003; BRÉDA, 2003; JONCKHEERE et al., 2004; ROSSIELLO & ANTUNES, 2012), e portanto computadas como “folhas” pelo modelo de inversão utilizado pelo equipamento

(ou seja  $IAF = - [\ln (P (\theta) \cos (\theta))] / G (\theta)$ , onde  $\theta$  = ângulo zenital de visada;  $P (\theta)$  = fração de “gap” e  $G (\theta)$  = fração da folhagem projetada sobre o plano normal à direção zenital. Para pastagens, o AccuPAR assume  $G (\theta) = 0,5$ ).



**Figura 17** – Associação linear entre os valores de IAF obtidos com um ceptômetro (AccuPAR modelo L 80), e os obtido através de método destrutivo, o qual se considera padrão de calibração (BRÉDA, 2003). A: regressão considerando todos os pontos experimentais (3 níveis N x 9 DAC x 6 repetições); B: regressão correspondente ao tratamento testemunha; C: regressão correspondente à dose 150 kg N /ha; D: regressão correspondente à dose 300 kg N/ha. Em B, C e D,  $n = 54$ .

O analisador de dossel LAI 2000, outro aparelho bastante difundido nos meios de pesquisa do país, e que mede a “gap fraction” integrando diferentes ângulos zenitais, é propenso a cometer o mesmo tipo de erro (SBRIZZIA e DA SILVA, 2008;

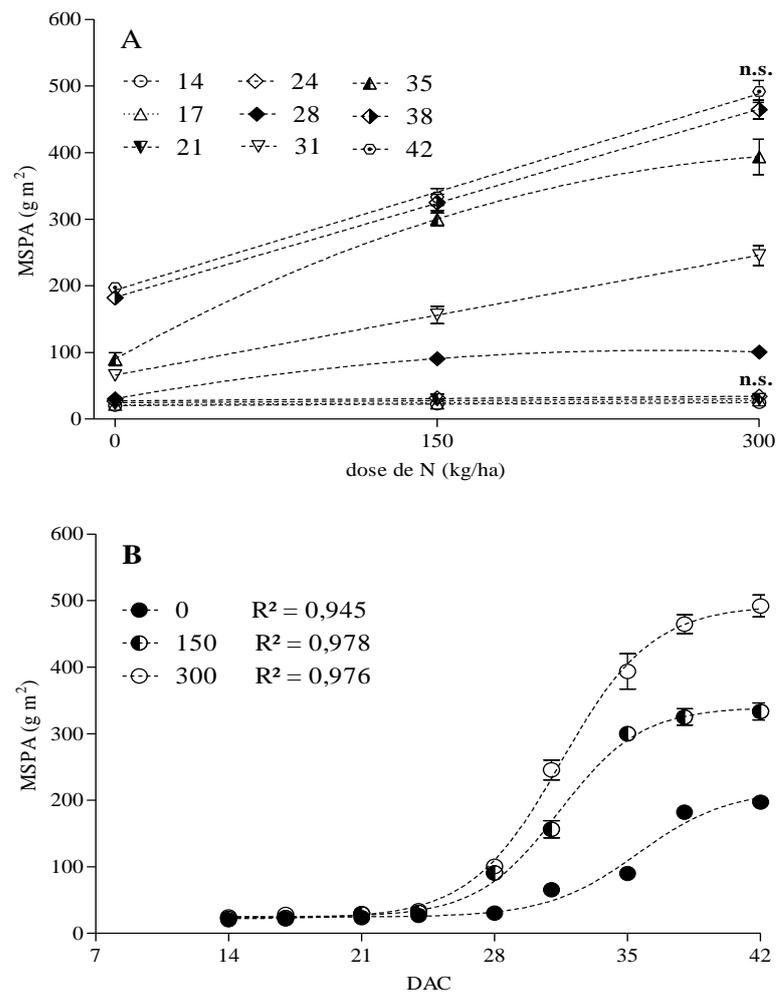
GUIMARÃES, 2012). Na realidade, como frequentemente observado, esses aparelhos são aptos para medir a interceptação do dossel, e de fornecer um índice que pode ser chamado “Índice de Área da Planta”, ou “Índice de Área do Dossel” (NOUVELLON et al, 2000; ASNER et al, 2003; BRÉDA, 2003).

Existem diferentes propósitos para a determinação do IAF das pastagens, como a sua utilização como índice de crescimento vegetal, a sua atividade fisiológica enquanto superfície portadora de estômatos, ou ainda a sua participação na atenuação de luz no dossel (ASNER et al, 2003; ZHENG & MOSKAL, 2009). No presente estudo, a definição de IAF utilizada visa a sua utilização como um índice do crescimento de capim em resposta à variação da disponibilidade de N no solo. Levando-se em consideração os resultados obtidos por Graciosa (2012), poder-se-ia concluir que a utilização do ceptômetro AccuPAR, de acordo com os objetivos presente trabalho, não seria apropriada, dada a sua propensão à supra (WEISS et al., 2004) ou subestimação (WILHELM et al. 2000; BRÉDA,2003; HE et al., 2007, GRACIOSA, 2012) dos dados em relação ao IAF “verde”. Todavia, no presente caso, a ocorrência desses desvios com relação à determinação do IAF padrão, tornou-se de maior significação para valores de  $IAF_{dir}$  (destrutivo)  $> 4,0$  (Fig. 17 A), associados a um alta dose de adubação nitrogenada, o que torna a restrição de caráter limitado. Serão necessárias mais pesquisas para poder confirmar ou refutar este resultado, incluindo o efeito da sazonalidade climática nessa resposta.

#### **4.5 Massa Seca.**

A análise de variância mostrou existirem efeitos significativos para dose de N, DAC e NXDAC, todos a  $p < 0,0001$ ; assim como para as medidas repetidas no tempo ( $p = 0,0028$ ). Considerando-se o efeito de dose de N, independentemente de data de colheita, as médias gerais ( $\pm$  erro padrão) foram de  $73,03 \pm 23,4$ ;  $145,7 \pm 45,8$  e  $201,4 \pm 66,83$  g / m<sup>2</sup> (diferenças significativas a  $p < 0,01$ , teste de Bonferroni), ou seja, a adição de N na sua dose máxima acarretou um aumento de 275 % em relação ao tratamento não adubado. A interação N x DAC encontra-se desdobrada na figura 18 A, indicando que as diferenças estatísticas entre doses começaram a principiar a partir dos 28 DAC. Esse retardo no ritmo de acúmulo da massa seca é explicável pelas condições ambientais vigentes logo após o corte de uniformização do capim (Fig. 1), tal como discutido previamente. O curso temporal do acúmulo da massa da matéria seca é mostrado na Fig. 18 B, verificando-se que ao final do ciclo de rebrota considerado, as

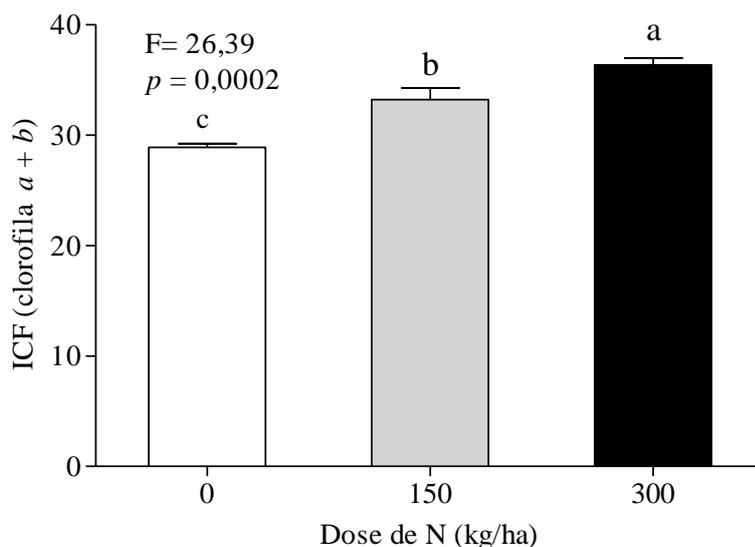
massas secas estavam bem diferenciadas e com diferenças estatísticas estabilizadas, em função do nível de N adicionado. Os valores de massa seca obtidos são compatíveis com os observados previamente no mesmo local experimental, em ciclos de rebrota de duração similar (Oliveira, 2008, Barbieri Júnior, 2009, Silva et al, 2011; Graciosa, 2012), assim como em outros cenários edafoclimáticos, embora com doses de N variadas segundo as circunstancias (VILELA e ALVIM, 1998; CECATO et al., 2001; QUARESMA et al, 2011; LOPES et al.,2012).



**Figura 18** – Variação da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) em parcelas experimentais de capim Tifton 85. A) Em função de níveis de adubação nitrogenada. B) Em função dos dias após o corte (DAC) e níveis de adubação nitrogenada. As barras verticais indicam o erro padrão de seis repetições por tratamento;

#### 4.6 Teor de Clorofila Foliar

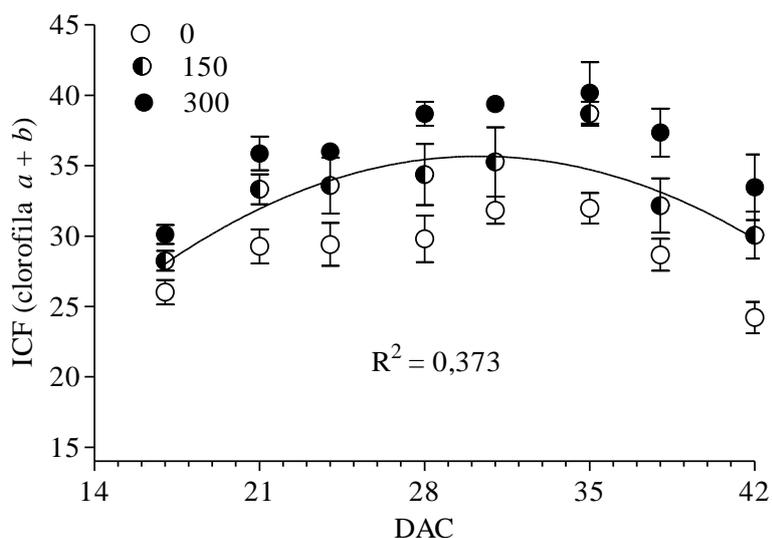
A análise de variância para os teores de N total indicou efeitos significativos para dose de N ( $p = 0,0002$ ); DAC ( $p < 0,0001$ ); medidas repetidas no tempo ( $p = 0,0252$ ), mas não para a interação N x DAC ( $p = 0,861$ ). O efeito das doses de N, independentemente de dias de avaliação, indicou que a máxima dose aplicada acarretou em um aumento médio de 26 % nas leituras de ICF T, em relação ao tratamento não adubado ( $36,4 \pm 1,18$  vs.  $28,9 \pm 0,94$  ICF, respectivamente, Fig. 19).



**Figura 19** – Teores de Clorofila Foliar, avaliados indiretamente com o uso de um clorofilômetro, em resposta a níveis de adubação nitrogenada. Barra vertical indica o erro padrão da média. As letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas significativas (Bonferroni,  $p \leq 0,05$ ).

Em relação aos dias de rebrota, a análise revelou um efeito médio, entre níveis de N, de tipo quadrático ( $ICF T = -3,91 + 2,61 DAC - 0,043 DAC^2$ ;  $R^2 = 0,373$ ), com um máximo em torno de 30 DAC (Figura 20). Todavia, o exame dos dados médios isolados indicou que os máximos valores ocorreram aos 35 DAC, com leituras de 32; 38,6 e 40,2 ICF para as doses de 0, 150 e 300 kg N/ha, respectivamente. O máximo contraste entre doses ocorreu mais precocemente, aos 28 DAC, quando a máxima dose de N aplicada excedeu a testemunha em aproximadamente 30 % (38,7 vs. 29,8 ICF, Fig. 20). Aparentemente, nessa idade de rebrota, a maior dose de N aplicada atingiu o seu máximo estatístico, enquanto que a dose de 150 kg N/ha continuou a aumentar até os 35

DAC, data a partir da qual os teores de clorofila total entraram em declínio nos três tratamentos (Fig. 20).



**Figura 20** – Variação temporal das leituras de um clorofilômetro para os teores de clorofila total, em lâminas foliares do capim Tifton 85. A curva quadrática, ajustada por mínimos quadrados, exprime o efeito médio da idade de rebrota, independentemente de dose de N aplicada. Barra vertical indica o erro padrão de cada estimativa (média de quatro repetições por dose de N).

No relativo à comparação com observações realizadas em plantios anteriores na mesma área experimental deste experimento, Silva (2009) verificou que os valores médios das leituras do clorofilômetro passaram de 29 ICF, nas parcelas não adubadas, para 36,9 e 40,9 ICF nas parcelas tratadas com 150 e 300 kg N/ha, respectivamente, ou seja, similares às aqui observadas. Todavia, as observações de Silva (2009) foram obtidas aos 29 DAP, quando os dosséis dos tratamentos com a maior dose de N atingiram níveis de interceptação de RFA acima de 95 %, no mês de janeiro de 2009, em condições bem mais favoráveis de fotoperíodo e temperatura média do ar do que no presente caso. No transcurso do primeiro ciclo de rebrota desse experimento, Barbieri Júnior (2009) mostrou que a máxima diferenciação entre doses de N, em termos de ICF e de concentração de N na folha teste, ocorreu aos 16 dias após o corte de uniformização. Além das diferenças em épocas de análise, deve-se observar que no caso da experimentação citada acima, o capim fora recentemente plantado, e sujeito a apenas um ou dois cortes, bem diferente da situação do presente experimento. PREMAZZI & MONTEIRO (2002), estudando as respostas do Tifton-85 à aplicação de N, em vasos

com solo, mantidos em casa de vegetação, obtiveram respostas quadráticas, com valores máximos de leituras SPAD entre 39,4 e 44,2, próximos aos aqui observados.

Em síntese a utilização de clorofilômetro é adequada para discriminar disponibilidades diferenciais de N para o crescimento do capim Tifton -85, mas o seu desempenho é bastante afetado pelas condições ambientais, o que complica determinar mais precisamente qual a dose máxima de N na qual começa a se verificar saturação de resposta ou a possível ocorrência de “produção de luxo de clorofila”, associada a altos níveis de adubação nitrogenada (SILVA et al., 2011a; SILVA et al., 2011b).

## 5 CONCLUSÕES

1) De uma forma geral, esta pesquisa mostrou que todos os métodos alternativos à determinação da massa seca e a aferição do IAF, possuem problemas específicos e limitações quando aplicados à avaliação dos efeitos da adubação nitrogenada no capim Tifton 85. Então, a decisão de qual método utilizar passa a depender de outros fatores, como o nível de precisão necessária ou desejada, o tempo disponível para execução das medições, a escala da pesquisa (pequenas parcelas ou piquetes experimentais), as necessidades da adubação nitrogenada de manutenção e o sistema de pastejo adotado, entre os aspectos mais relevantes;

2) Mais especificamente, cabe observar que:

2.1) A frequência de ocorrência é um método que tem sensibilidade a doses de N, limitada a doses de 100–150 kg N/ha/ano, além de apresentar problemas de saturação de resposta a altos níveis de cobertura do dossel;

2.2) O índice de Cobertura Verde, apresenta maior capacidade discriminatória entre doses de N, mas em compensação, tende a saturar mais rapidamente do que o método anterior;

2.3) O IAF determinado de forma destrutiva apresenta alta elasticidade de resposta à adubação nitrogenada, mas depende criticamente de estimativas confiáveis da relação área/peso da massa foliar verde;

2.4) A determinação indireta com o analisador de dossel AccuPAR fornece estimativas concordantes em relação ao método padrão, a valores intermediários de IAF, porém pode incorrer em desvios em valores maiores. É necessária pesquisa adicional para melhor caracterizar esse comportamento.

2.5) Os teores de clorofila foliar estimados indiretamente com o clorofilômetro podem ser usados na discriminação de níveis de adubação nitrogenada. Todavia, as leituras são sensíveis a variações climáticas e evidenciam tendência a saturação a altos níveis de adubação nitrogenada.

Embora alguns aspectos relativos à capacidade de cada método ainda estejam em aberto, é evidente a necessidade de validação das condições de utilização das técnicas aqui estudadas em extensões contínuas de pastagem, de preferência em piquetes comerciais, onde os níveis de variabilidade dos relvados são muito superiores aos encontrados nos pequenos canteiros utilizados nesta pesquisa. Adicionalmente, deve ser

considerada a possibilidade de deslocamento dos equipamentos por via terrestre ou aérea, visando aumentar a efetividade das amostragens, reduzindo tempo e custos operacionais.

## 6 LITERATURA CITADA

AGUINAGA, A.A.Q.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I. et al. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 1523-1530, 2008.

ALONSO, M. P.; SILVA, R. P.; FARIA, B. M.; et al. Composição químico-bromatológica do capim Tifton-85 sob diferentes doses de nitrogênio. In: **Anais da XVIII Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**. Seropédica: EDUR, 2008. CD ROM.

ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; BOTREL, M. A.; et al. Resposta do coast-cross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) a diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.25, p.967-975, 1998.

ALVIM, M.J.; XAVIER,D.F.; VERNEQUE, R.S.; et al. Resposta do tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 34, n. 12, 1999.

ARGENTA, G.; DA SILVA, P.R. F.; BORTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, p. 715-722, 2001a.

ARGENTA, G.; DA SILVA, P.R. F.; BORTOLINI, C.G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 158-167, 2001b.

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.

ASSIS, M.A.; SANTOS, G.T.; CECATO, U. et al. Degradabilidade in situ de gramíneas do gênero *Cynodon* submetidas ou não a adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum**, v.21, n.3, p.657- 663, 1999.

BALIERO, F.C.; OLIVEIRA, W.C.; PEREIRA, M.G.; et al. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa toposequência em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p. 153-162, 2008.

BARBIERI JUNIOR, E. ; ROSSIELLO, R.O.P.; MORENZ, M.J.F.; et al. Comparação de métodos diretos de extração e quantificação dos teores de clorofilas em folhas do capim-Tifton 85. **Ciência Rural**, v.40, p. 633-636, 2010.

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.; SILVA, R.V. M. M.; et al. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.

BARET, F.; HOULES V.; GUERIF, 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.

BOOTH, D. T.; COX, S. E.; MEIKLE, T.W.; FITZGERALD, C. The accuracy of ground-cover measurements. **Rangeland Ecology & Management**, v. 59, p. 179-188, 2006.

BRÉDA, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 392, p. 2403-2417, 2003.

BROUGHAM, R.W. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 9, p. 39-52, 1958.

BURTON, G. W.; MONSON, W. G. Registration of "Tifton 85" bermudagrass. **Crop Science**, Madison, 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.

CECATO, U.; SANTOS, G.T. dos; MACHADO, M. A.; et al. Avaliação de cultivares do gênero *Cynodon* com e sem nitrogênio. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 781-788, 2001.

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.

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.

COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T. F. (Ed) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.

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. D. A.; LEDO, C.A.S.; SILVA, M.C.; et al. 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.; et al. 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: Lemaire, G.; Hodgson, J.; Moraes, A.; Nabinger, C.; Carvalho, P.C.F. (Eds.). *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. New York: Ed. CABI Publishing, USA, p. 151-168, 2000.

CUNHA, F.F. da; RAMOS, M. M.; ALENCAR, CA.B. de; et al. 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, C.F. Teores de clorofila no capim-Tifton 85 (*Cynodon* spp.) em função de doses e formas de nitrogênio em solução nutritiva. Relatório Final de Atividades ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Convênio CNPq/UFRRJ), p. 17, 2011.

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.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S; et al. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 229–239, 2000.

EICHELMANN, H.; OJA, V.; RASULOV, B; et al. Adjustment of leaf photosynthesis to shade in a natural canopy: reallocation of nitrogen. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, p. 389-401, 2005.

ENGELS, C.; MARSCHNER, H. **Plant uptake and utilization of nitrogen**. In: P.E, Bacon. (Ed). *Nitrogen fertilization in the environment*. New York: Marcel Dekker, Inc. 1995. p. 41-81.

ESTRADA, A.D.; CARVALHO, S.R.; ALMEIDA, J.C.C.; et al. Influência do Intervalo de corte sobre a produção de matéria seca e o teor de nitrogênio em gramíneas dos gêneros *Cynodon* e *Digitaria*. **Revista da Universidade Rural - Série Ciências da Vida**, Seropédica, v. 23, p. 19–26, 2003.

EVANGELISTA, A. R.; REZENDE, A. V.; AMARAL, P. N. C. Produção de feno de gramíneas. In: *Forragicultura e Pastagens Temas em Evidência*. **Anais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, p. 247-276, 2005.

FAGUNDES, J.L.; DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S.; et al. Índice de área foliar, coeficiente de extinção luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 187-195, jan. 2001.

FERNANDES, M. S. & ROSSIELLO, R. O. P., BENDIX, M. E. S. Effects of N-source, light intensity and temperature on nitrogen metabolism of bahiagrass. **Journal of Plant Nutrition**, v. 8, p. 945-963, 1985.

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*, Boca Raton, v.14, n.2, 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. **Estabelecimento de pastagens de Tifton 85 sob doses de adubação nitrogenada**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008, 28 p.

GALZERANO, L.; ROSSIELLO, R.O.P.; OLIVEIRA, A.P.P. et al. 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.

GALZERANO, L.; MALHEIROS, E. B.; MORGADO, E.S.; RUGGIERI, A.C. Interceptação de luz e índice de área foliar em relação a altura do dossel de gramíneas forrageiras. **Nucleus Animalium**, v.4, n.2, p. 11-18, 2012.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 789-799, 2002.

GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J. & NORMAN J. M. Direct and Indirect Estimation of Leaf Area Index, fAPAR, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems. **Remote sens. Environ.**, v. 70, p. 29-51, 1999.

GOMIDE, C.A.M. **Algumas características fisiológicas e químicas de cinco cultivares de Cynodon**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal, 1996, 100 p.

GRACIOSA, M. G. **Avaliação de cobertura vegetal e índice de área foliar em capim Tifton 85 por meio de metodologias visuais e assistidas**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012. 77p.

GUIMARÃES, M.S. **Desempenho produtivo, análise de crescimento e características estruturais do dossel de dois capins do gênero Cynodon sob duas estratégias de pastejo intermitente**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2012. 81p.

HATFIELD, J.L.; GITELSON, A.A. ; SCHEPERS, J. S. et al. 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.

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.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 1999, 815 p.

JONCKHEERE, I., FLECK, S., NACKAERTS, K., et al. Review of methods for *in-situ* leaf area index determination, Part I: Theories, techniques and instruments. **Agricultural & Forest Meteorology**, v: 121p. 19–35, 2004.

JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia, CD-ROM. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 5p.

KULL, O. Acclimation of photosynthesis in canopies: models and limitations. **Oecologia**, v. 133, p. 267–279, 2002.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30 p.829-837, 2006.

LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, v.89, p.871-885, 2002.

LEMAIRE, G.; VAN OOSTEROM, E.; SHEEHY, J. et al. Is crop nitrogen demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? **Field Crops Research**, v. 100, p. 91–106, 2007.

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.

LITTELL, R. C.; HENRY, P. R.; AMMERMAN, C. B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 1216-1231, 1998.

LOPES, R. dos S.; FONSECA, D. M. da; CÓSER, A. C.; et al. 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, F. A. S., BARBIERI JUNIOR, E., SOUSA, G. G., et al. Relações temporais entre teores de clorofila e produção de massa seca no capim-Tifton 85, submetido à adubação nitrogenada na região do vale do Araguaia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 22**. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso / ABZ. 2012. CD-ROM.

MARCELINO, K.R.A.; VILELA, L.; LEITE, G.G.; et al. Manejo da adubação nitrogenada e tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no cerrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 2, p. 268-275, 2003.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; CORSI, M.; MAULE, R.F.; et al. Métodos de determinação da área basal de uma pastagem de capim-elefante. *Scientia Agricola*, v. 56, n. 3, 1999.

MARTORANO, L.G.; MATOS, R.M.; SILVA, E.M.R.; et al. Disponibilidade climática para o cultivo da bananeira na região de Seropédica/Itaguaí-RJ. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, Anais. Piracicaba: SBA, p. 301-303, 1997.

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.

MEDEIROS, H. R. de; PEDEIRA, C. G.; VILLA NOVA, N. A.; et al. Prediction of herbage accumulation of *Cynodon* grasses by an empirical model based on temperature and daylength. In: International Grassland Congress, 19, Proceedings. Piracicaba: FEALQ, p. 263-265, 2001.

MEDEIROS, H. R. de; PEDEIRA, C. G.; VILLA NOVA, N. A. Avaliação de um modelo matemático para estimar o acúmulo de forragem em função de variáveis climáticas. *Pasturas Tropicales*, v. 27, n. 2, p. 12-17, 2005.

MENDONÇA, F.C. & RASSINI, J.B. Temperatura-base inferior e estacionalidade de produção de gramíneas forrageiras tropicais. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006, 14p.

MILLS, A.; MOOT, D.J.; JAMIESON, P.D. Quantifying the effect of nitrogen on productivity of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) pastures. *European Journal of Agronomy*, v. 30, p. 63-69, 2009.

NABINGER, C.; PONTES, L. da S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: W.R.S. MATTOS et al. (Eds.). A produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba: FEALQ, p. 755-771, 2001.

NOUVELLON, Y; BÉGUÉ, A.; MORAN, M. S.; et al. PAR extinction in shortgrass ecosystems: effects of clumping, sky conditions and soil albedo. *Agricultural and Forest Meteorology*. v. 105, n. 1-3, p. 21-41, 2000.

OLIVEIRA, A.P.P. **Crescimento e composição químico-bromatológica do capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.) sob doses de nitrogênio**. 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.; et al. 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.

OLIVEIRA, M.A.; PEREIRA, O.G.; GOMIDE, J.A.; et al. Análise de crescimento do capim bermuda Tifton 85 (*Cynodon* spp.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 6, p. 1930-1938, 2000.

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.

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.

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.

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. Produção do capim-Tifton 85 submetido a doses e épocas de aplicação de nitrogênio após o corte. *Boletim da Indústria Animal*, v. 59, n. 1, p. 1-16, 2002.

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**, Série Agronomia. v. 8, p. 1-27, 1973.

RIBEIRO, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P.; MACEDO, R. de O.; et al. 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.; et al. 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.

RITCHIE, J. T. & NESMITH, D. S. Temperature and crop development. *In: J.HANKS & J.T. RITCHIE (Eds.) Modeling plant and soil systems. Madison: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., USA, p. 5-29, 1991.*

RODERICK, M.L., CHEWINGS, V., SMITH, R.C.G. Remote sensing in vegetation and animal studies. *In: L.'t MANNETJE; R.M. JONES (Eds.) Field and laboratory methods for grassland and animal production research. Wallingford: CAB International, p. 205-226, 2000.*

RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D.; REIS, R.A.; et al.. Avaliação de características fisiológicas de cinco cultivares de *Cynodon*. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 28, n. 3, p. 245-250, 2006.

ROSSIELLO, R. O. P. & ANTUNES, M. A. H. solar radiation utilization by tropical forage grasses: light interception and use efficiency. In: E. B. BABATUNDE (Ed.) **Solar Radiation**, InTech Open Publishers, p. 221-244, 2012.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; et al. 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 a estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 212-220, 2008.

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

SENA JÚNIOR, D. G. de.; PINTO, F. de A. de C.; QUEIROZ, D.M.; et al. 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.V.M.M. **Composição químico bromatológica do capim Tifton 85 e sua relação com os teores de clorofila**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009. 50 p.

SILVA, R.A. da; BARBIERI JUNIOR, E.; OLIVEIRA, A.P. P., et al. 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., et al. 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.; BARBIERI JUNIOR, E; et al. Estimating crude protein and fiber contents in Tifton 85 bermudagrass swards with a new portable chlorophyll meter. In: **2012 ADSA-AMPA-ASAS-CSAS-WSASAS Joint Annual Meeting**. Annual Meeting Abstracts. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 292-293, 2012.

SILVA, S. C. da; SBRISSIA, A. F. A planta forrageira no sistema de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, p. 3-21, 2000.

SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**. v. 29, p. 90-98, 1989.

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

SUNAGA, Y.; HARADA, H.; KAWACHI, T. et al. 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.

VAN KEULEN, H., GOUDRIAAN, J.; SELIGMAN, N.G. Modelling the effects of nitrogen on canopy development and crop growth. In: RUSSEL, G; MARSHALL, B.; JARVIS, P.G.(Ed.) **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge: University Press. 1989. p. 83-104.

VARELLA, C.A.A.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M. et al. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 1-13, 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.

VILLA NOVA, N.A.; TONATO, F., C. G. S. PEDREIRA; MEDEIROS, H. R. de. Método alternativo para cálculo da temperatura base de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 545-549, 2007.

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.

WEISS, M.; BARET, F.; SMITH, G. J. et al. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination. Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. **Agricultural & Forest Meteorology**, v. 121, p. 37-53, 2004.

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

ZHAO, D., STARKS P.J., BROWN, M.A., et al. 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.