

FLORA MARIA DE MELO VILLAR

**AJUSTE DA ADUBAÇÃO EM CAPIM-BRAQUIÁRIA UTILIZANDO ÍNDICE DE  
SUFICIÊNCIA DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como parte  
das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola, para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

V719a  
2012

Villar, Flora Maria de Melo, 1986-

Ajuste da adubação em capim-braquiária utilizando índice de suficiência de nitrogênio / Flora Maria de Melo Villar.  
– Viçosa, MG, 2012.  
vii, 52f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 48-52

1. Braquiária decumbens. 2. Agricultura de precisão.  
3. Sensoriamento remoto. I. Universidade Federal de Viçosa.  
II. Título.

CDD 22. ed. 633.27

FLORA MARIA DE MELO VILLAR

**AJUSTE DA ADUBAÇÃO EM CAPIM-BRAQUIÁRIA UTILIZANDO ÍNDICE DE  
SUFICIÊNCIA DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como parte  
das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola, para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de julho de 2012.

---

Dilermando Miranda da Fonseca  
(Coorientador)

---

Darly Geraldo Sena Júnior

---

Francisco de Assis de Carvalho Pinto  
(Orientador)

Aos meus pais Roberta Alli de Melo Villar e Milton Villar Júnior, pela confiança, amor, investimento, incentivo, amizade, educação e ensinamentos.

## DEDICO

Aos meus irmãos pelo amor incondicional,  
Aos meus avós pelo amor e exemplo de vida,  
A todos os meus queridos amigos pela força, paciência e carinho.

## AGRADEÇO

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Francisco de Assis de Carvalho Pinto, pela orientação, amizade, compreensão e confiança.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos Professores Daniel Marçal de Queiroz e Dilermando Miranda da Fonseca pela coorientação durante a pesquisa e também pela amizade.

Ao departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa pela concessão da área experimental.

Aos estagiários Ozires e Diógenes pela colaboração no desenvolvimento do experimento, além de outros colegas que puderam contribuir de alguma forma.

Aos muitos amigos que tive a felicidade de conhecer durante esse período e que estarão sempre comigo daqui pra frente, Nila Coelho, Raisa França e Soraya Nagm, e que foram fundamentais para me manter em equilíbrio. Aos amigos que me acompanham desde a graduação ou me conheceram ao longo desses anos, Carolina Paulino, Arthur Costa, Rafael Hirano, Bruno Mazzini, Alexandre Pessenda, Camila Reis, Natália Risso, Dayane Brumatti, Luan Giovanelli, Alessandro Drumond, e Lucas Almeida, pelos conselhos, sorrisos, compreensão e disponibilidade a qualquer momento.

Aos colegas do laboratório de Pós-Graduação em Mecanização Agrícola, em especial à Gracielly Alcântara, Flavio Longui, Denis Guedes, Marconi Furtado, Frederico Martins e Geice Villibor pela confiança, pelos conselhos, pela paciência e o bom humor para seguir em frente.

À minha família, que sempre torceu por mim e acreditou no meu sucesso.

Aos professores Haroldo, Fábio Lúcio e Ricardo Capúcio, pelo auxílio e apoio.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela amizade e convívio do dia a dia.

## **BIOGRAFIA**

FLORA MARIA DE MELO VILLAR, filha de Milton Villar Júnior e Roberta Alli de Melo Villar, nasceu no dia 23 de janeiro de 1986 em São José dos Campos, SP.

Em julho de 2010, concluiu o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 2010, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2012.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	8
1.1    Objetivo geral .....	10
1.2    Objetivos específicos.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1    Adubação nitrogenada em pastagens com dose fixa e variada .....	11
2.2    Agricultura de precisão (AP) .....	12
2.3    Sensoriamento remoto .....	14
2.4    Clorofilômetro portátil.....	15
2.5    Resposta espectral em culturas agrícolas .....	16
2.6    Índices de vegetação.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	22
3.1    Implantação do Experimento .....	22
3.2    Caracterização da resposta espectral .....	25
3.3    Determinação de Massa Seca.....	27
3.4    Análise estatística.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1    Dados meteorológicos e desenvolvimento das plantas .....	29
4.2    Adubação nitrogenada com dose única e variável .....	33
4.3    Estudo da resposta espectral .....	41
5. CONCLUSÕES.....	46
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

## RESUMO

VILLAR, Flora Maria de Melo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Ajuste da adubação em capim-braquiária utilizando índice de suficiência de nitrogênio.** Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Coorientadores: Daniel Marçal de Queiroz e Dilermando Miranda da Fonseca.

O solo apresenta variabilidade espaço-temporal de nutrientes, dessa maneira, para evitar danos ao meio ambiente, perdas por lixiviação e diminuir custos de produção é necessário estudo para que se possa prever a necessidade de aplicação adequada e eficaz do adubo nitrogenado. Assim, objetivou-se com esse trabalho ajustar metodologia de aplicação de adubo nitrogenado com doses variadas de N em *Brachiaria decumbens* com base em índice de suficiência de nitrogênio (NSI). Os tratamentos constituíram de uma parcela testemunha (sem aplicação de N), parcela de referência (dose única de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N) e três diferentes técnicas para aplicação de N a dose variada. A primeira aplicação de adubo nas parcelas com doses variadas foi equivalente a 75 kg ha<sup>-1</sup> e as aplicações seguintes, quando necessária, equivalentes a 25% da dose inicial aplicada na parcela de referência, ou seja, 37,5 kg ha<sup>-1</sup>. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com cinco repetições. As variáveis espectrais utilizadas foram leitura obtida com um clorofilômetro portátil (SPAD 502) e índices de vegetação calculados a partir de dados da resposta espectral da cultura obtidos com espectrorradiômetro ASD Field Spec Pro espectrômetro FR com adaptador para medidas de contato com a folha. As medidas espectrais foram realizadas quando as plantas da parcela de referência atingiram 14 e 18 cm de altura. Os índices utilizados foram o VARI<sub>RedEdge</sub> (índice de vegetação resistente à atmosfera) e a razão entre os índices de vegetação MCARI (índice da absorção da clorofila modificado) e OSAVI (índice de vegetação ajustado para o solo otimizado). Aos 25 cm de altura da *Brachiaria decumbens* na parcela de referência foi realizado colheita das plantas em todas as parcelas para a determinação da massa seca produzida. Verificou-se que a metodologia para aplicação de N com doses variadas com base em variáveis espectrais é mais eficiente que a aplicação em dosagem única e, para leituras pontuais, o clorofilômetro portátil se mostrou o mais indicado para recomendação da adubação nitrogenada em pastagens de *Brachiaria decumbens*.

## ABSTRACT

VILLAR, Flora Maria de Melo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Fertilization adjustment in Braquiária grass using nitrogen sufficiency index.** Adviser: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Co-advisers: Daniel Marçal de Queiroz and Dilermando Miranda da Fonseca.

The soils show spatial and temporal variability of nutrients. Thus, for avoiding damage to the environment, nutrient leaching losses and decrease production costs, it is necessary to investigate ways to prescribe the correct nitrogen rate. The aim of this work was to adjust a methodology for application of nitrogen fertilizer on *Brachiaria decumbens* pasture using variable rates based on the nitrogen sufficiency index (NSI). The treatments were a control plot (without N application), a reference plot (fixed N rate of 150 kg ha<sup>-1</sup>) and three treatments with variable N rates. The first application of fertilizer in the variable rate plots was 75 kg ha<sup>-1</sup> and the following applications, when required, were equivalent to 25 % of the first rate, 37.5 kg ha<sup>-1</sup>. The experiment was conducted in a randomized block design, with five treatments and five replications. Spectral variables used were the reading obtained with a portable chlorophyll meter (SPAD 502) and vegetation indices calculated from the leaf spectral data acquired using the ASD Field spectrometer, FR SpecPro. The measurements were performed when the mean height of the reference plot plant was 14 and 18 cm. It was used the VARI<sub>RedEdge</sub> (Visible Atmospherically Resistant Index) and the ratio between the MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index) and OSAVI (Optimized Soil-Adjusted *Vegetation Index*). The plot plants were harvested the mean height of the reference plot plants was 25 cm for dry matter determination. The methodology for nitrogen variable rate application was more efficient than fixed rate application and, for leaf measurement, the portable chlorophyll meter proved to be the most suitable for N recommendation in *Brachiaria decumbens* grass.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui o segundo maior rebanho de bovinos do mundo, ficando atrás apenas da Índia, segundo os dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, sendo também o segundo maior produtor de carne bovina e o maior exportador mundial deste produto (IBGE, 2010). O rebanho bovino brasileiro deve alcançar 204 milhões de cabeças até o fim de 2012, representando um aumento de 3 %. Isso ocorrerá principalmente devido ao suporte financeiro para recomposição de rebanho, melhoramento genético, melhorias de pastagens e preços sustentados do boi (USDA, 2012).

A forma mais prática e econômica para a alimentação bovina são as pastagens, que constituem a base da sustentação pecuária no país. Entretanto, se considerado o grande potencial da produção de bovinos nas pastagens brasileiras, os resultados econômicos obtidos pela maioria dos pecuaristas são muito modestos (VITOR *et al.*, 2009).

Grande parte das áreas agricultáveis do Brasil é ocupada por pastagens, porém, a agricultura por ter vantagens financeiras está avançando sobre áreas de pastagens nos últimos anos. Com isso, os produtores de leite e carne estão se deslocando para regiões onde o solo possui baixa fertilidade. Isso prejudica a qualidade final das pastagens que será fonte de alimentação para o gado bovino. Para viabilizar a pecuária em terras agricultáveis os pecuaristas devem aumentar a produtividade e competitividade da exploração (JÚNIOR *et al.*, 2008).

Um fator de manejo das pastagens que tem impacto na produtividade e potencial na melhoria do desempenho econômico da atividade pecuária é o nitrogênio (N), que exerce efeito positivo na produção e no valor nutricional da forragem. O aumento da produção de forragem, em resposta à adubação nitrogenada, implica também na aplicação de outros nutrientes como o fósforo e o potássio além da adoção de práticas adequadas de manejo (ANDRADE *et al.*, 2003).

A degradação das pastagens na Zona da Mata mineira ocorre por vários fatores, dentre os quais, o manejo inadequado e as deficiências nutricionais do solo são os que mais concorrem para a redução de sua produtividade (NASCIMENTO *et al.*, 2005).

O N aplicado no solo apresenta uma dinâmica complexa, pois está sujeito a perdas por lixiviação, volatilização e imobilização por microorganismos, além disso, a adubação nitrogenada possui elevado custo nas condições brasileiras, o que muitas vezes inviabiliza o uso de altas doses a fim de prevenir a redução na produtividade. Com isso, fica clara a

necessidade de conhecer técnicas de manejo que possam indicar a dose adequada desse nutriente a ser aplicada capaz de otimizar economicamente o potencial de produção da forragem, evitando-se perdas, com menor custo e aumentando a eficiência desse nutriente na produção das pastagens, além de menor impacto ambiental (ABRAHÃO, 2007).

A agricultura de precisão (AP) é um novo paradigma na gestão das atividades agrícolas, segundo o qual as áreas de produção não são tratadas como homogêneas, ela proporciona uma nova maneira de gerenciamento, pois define um conjunto de zonas de manejo que apresentam características distintas entre si. Desta forma, a AP baseia-se no conjunto de técnicas que explora a variabilidade do terreno através de informações georreferenciadas da área, principalmente no que se refere a atributos químicos, físicos, biológicos do solo e produtividade, possibilitando otimizar a aplicação de insumos, buscando a redução de custos e impactos no meio ambiente (KNOB, 2006).

Os recentes avanços tecnológicos mostram que é possível alocar os insumos com base nas necessidades de cada parcela no campo (KNOB, 2006). A dose do fertilizante aplicado pode ser prescrita dependendo da diferença entre a quantidade de nutrientes necessários pela cultura e a quantidade disponível em cada pequena parcela da lavoura. Esta técnica permite otimizar a dose de insumos aplicados, de acordo com o potencial de produção do solo, mantendo ou melhorando o nível de produção, podendo ainda reduzir os custos de produção e os índices de contaminação do meio ambiente.

A eficiência do uso de N pode ser incrementada com a utilização de métodos que estimem a resposta da cultura ao N em determinada situação edafoclimática durante a safra, o que possibilitaria a aplicação de fertilizantes nitrogenados em taxa variável. A baixa eficiência do uso do N é devida a vários fatores, dentre os quais a falta de sincronia entre a demanda de N pela cultura e a sua disponibilidade; aplicações uniformes de N sem considerar a variabilidade espacial existente dentro de cada talhão e o potencial de resposta da cultura, além da forma como a recomendação do N é feita, baseando-se em uma estimativa de produtividade que, na maioria das vezes, não é atingida (SOLARI, 2006).

A absorção de N pelas plantas depende de fatores de crescimento, como luz, temperatura e água, favoráveis no verão, e que, geralmente, no inverno tornam-se limitantes ao crescimento e incorporação de N pelas plantas.

Pesquisas vêm sendo realizadas para identificar o status de N em culturas forrageiras, porém, na revisão bibliográfica realizada, não se identificou trabalhos que propuseram o manejo da aplicação do adubo nitrogenado em taxa variada nestas plantas. O

instituto americano *Potsh & Phosphate* (PPI) em um dos seus boletins de recomendações de manejo para sítio-específico, publicou metodologia para prescrição de N em taxa variada com base na comparação das leituras de clorofila de uma parcela de referência com as leituras da área a ser aplicado o N. Na parcela de referência, de dimensões reduzidas e localizada próxima a área a ser tratada, é aplicada a dose máxima desejada. Esta comparação é realizada pelo cálculo do índice de suficiência de N (NSI) para, quando este for menor que 95%, se realizar a aplicação deste nutriente (FRANCIS e PIEKIELEK, 1999). Tendo em vista que a parcela de referência está próxima à área a ser adubada, é considerada que as plantas da área e da parcela estão nas mesmas condições edafoclimáticas. Dessa maneira, o princípio da metodologia do PPI é que as plantas da parcela de referência apontem o potencial de absorção de N para uma determinada condição edafoclimática. O método do PPI foi desenvolvido com base nas leituras do clorofilômetro portátil SPAD da Minolta para as culturas do trigo e milho. No presente estudo, outras variáveis para caracterização da clorofila em plantas forrageiras foram utilizadas.

## 1.1 Objetivo geral

Avaliar metodologia para recomendação da adubação nitrogenada em gramíneas forrageiras com doses variáveis de adubo com base na característica espectral da cultura.

## 1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a utilização de clorofilômetro manual e índices de vegetação para recomendar doses de N a serem aplicadas em pastagem de *Brachiaria decumbens*;
- Comparar a eficiência de adubação nitrogenada em dose única e variável;
- Caracterizar o padrão de resposta espectral de *Brachiaria decumbens* sob diferentes status de N.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Adubação nitrogenada em pastagens com dose fixa e variada

O gênero *Brachiaria*, de grande representatividade nos sistemas de produção animal no Brasil, ocupa cerca de 85 % das áreas de pastagens cultivadas e, apesar da importância econômica da *Brachiaria decumbens* para os sistemas pastoris, ainda assim não há informações consistentes que permitam nortear o manejo dessa espécie sob pastejo e adubação (MOREIRA *et al.*, 2011).

O N disponível no solo não é suficiente para atender à demanda das gramíneas de alto potencial produtivo (GUILHERME *et al.*, 1995), tornando-se necessária a adubação nitrogenada. O manejo da adubação nitrogenada é um dos principais desafios da produção agrícola e para o meio ambiente. Do ponto de vista econômico, a quantidade ideal de N a ser aplicada deve proporcionar máximo retorno financeiro para os agricultores (BASSO *et al.*, 2009).

O N no solo pode mostrar variabilidade temporal e, segundo trabalho realizado por CAHN *et al.* (1994), o nitrato não foi adequado para estimar o N disponível para as plantas, na gestão em sítio específico, devido a padrões espaciais que não se correlacionam em longos intervalos de tempo. A variabilidade temporal é uma das principais razões para tentar prever a quantidade de N a ser aplicada no solo, porém, a análise de solo pode tornar esse procedimento de difícil realização.

Quando comparado a outros nutrientes, o N possui elevada movimentação no solo, portanto, é mais difícil de ser mantido ao alcance das raízes. Devido ao seu baixo efeito residual e à sua grande exigência pelas culturas, a adubação nitrogenada precisa ser feita em quantidades maiores e mais frequentes (parcelada) do que os demais nutrientes (GUILHERME *et al.*, 1995).

O capim-braquiária possui resposta positiva à adubação nitrogenada, porém, perde sua qualidade precocemente. Dessa maneira, deve-se promover a adubação e manejo intensivo, com pastejos frequentes e criteriosamente conduzidos (VIANA *et al.*, 2011).

Segundo CASTAGNARA *et al.* (2011), ocorre redução de 0,56 % de massa seca produzida pelas forrageiras a cada 40 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicado. Essa redução na porcentagem de massa seca possivelmente foi devida a maior disponibilidade de N para as plantas, o que estimulou seu crescimento acarretando em maior acúmulo de água. Neste estudo, que foi

realizado utilizando as forrageiras *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça e *Brachiaria* sp. cv. Mulato a máxima eficiência de utilização do N foi obtida com a dose de 108 kg ha<sup>-1</sup>, mostrando que as forrageiras estudadas não possuíram potencial para utilizar eficientemente doses superiores a estas nas condições do estudo.

No estudo realizado por FAGUNDES *et al.* (2005) utilizando aplicação de quatro doses de adubo nitrogenado (75, 150, 225 e 300 kg ha<sup>-1</sup>) em pastos de *Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilisk, foram feitas avaliações de produção a partir do acúmulo de forragem no período de março a novembro de 2002. A altura média do pasto foi mantida em torno de 20 cm, por meio da adição ou retirada de animais reguladores. A temperatura média diária mensal durante o período de avaliação variou de 18,7 °C a 24 °C e a precipitação pluvial total foi de 466,7 mm. Os menores valores de taxa de acúmulo de forragem foram registrados no inverno (julho e agosto), resultantes da baixa disponibilidade de fatores de crescimento (água, luz e temperatura) naquela época do ano. As maiores taxas foram registradas no verão, correspondente ao mês de março, como reflexo das condições climáticas favoráveis ao crescimento das plantas. A eficiência de utilização do N (kg de MS kg<sup>-1</sup> de N) pela *B. decumbens* decresceu com o aumento das doses de N, sendo que o tratamento que recebeu a dosagem de 75 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentou a maior eficiência de utilização do N com 57 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N aplicado.

A utilização de determinado insumo interfere diretamente na resposta final sobre a produtividade da cultura, com interferência direta da dosagem utilizada, época e metodologia empregada. Em virtude disso, a tomada de decisão durante o processo de implantação e condução das atividades e manejo localizado em uma determinada área não podem limitar-se somente a modelos e cálculos de quantidades, devendo-se dar atenção aos demais critérios a serem abordados (DURIGON, 2007).

## **2.2 Agricultura de precisão (AP)**

Agricultura de precisão é um conceito de sistema agrícola que envolve o desenvolvimento e adoção de técnicas com o objetivo de identificar, analisar e gerenciar a variabilidade espacial e temporal de fatores que determinam a produtividade das culturas em campo, a fim de aumentar a rentabilidade e de buscar a redução do impacto ambiental (DUFFERA *et al.*, 2007; SINGH *et al.*, 2011).

A AP é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência de produção, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. Esta técnica não consiste apenas na aplicação de tratamentos que variam de local para local, porém, deve ser considerada com habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola precisamente em nível local. As técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente sejam minimizados (TSCHIEDEL e FERREIRA, 2002).

O manejo localizado consiste em aplicar no local correto (espaço), no momento adequado (tempo), as quantidades de insumos necessários (quantidade) à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (DOBERMANN e PING, 2004).

Informações precisas sobre a variabilidade espacial dentro dos campos é crucial para agricultura de precisão. No entanto, essa variabilidade é afetada por um número razoável de fatores, incluindo a produção da cultura, propriedades do solo e nutrientes, volume do dossel da cultura, teor de água e as condições de pragas, doenças e plantas daninhas. Esses fatores podem ser medidos utilizando diversos tipos de sensores e instrumentos, como sensores eletrônicos, espectrorradiômetro, visão artificial (análise de imagens para extração de dados e controle de um processo ou atividade), sensoriamento remoto utilizando imagens multiespectrais e hiperespectrais, entre outros (LEE *et al.*, 2010).

Conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo permite implantar o manejo em sítio específico ou em taxa variada, permitindo a localização no campo de áreas com maior ou menor necessidade de insumos, com possíveis reduções nos custos de produção (DURIGON, 2007). A análise da variabilidade espacial dos fatores envolvidos na produção, possibilita a distinção de regiões com menor e maior variabilidade e geração de mapas de aplicação diferenciada dos insumos agrícolas, promovendo maior eficiência e otimização dos recursos utilizados (ORTIZ, 2003).

Para que a agricultura de precisão possa ser implantada com sucesso, necessita-se de um maior número possível de informações sobre a variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção. Os dados obtidos por meio de sensoriamento remoto é uma das fontes de informação utilizadas para a agricultura de precisão (ABRAHÃO, 2011).

### 2.3 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é uma técnica que busca obter informações dos objetos a partir da refletância espectral dos mesmos. Cada objeto possui uma característica própria (resposta espectral) e dessa maneira é possível diferenciar diferentes alvos, como tipos de vegetação, solo, rochas, água, estado nutricional das plantas e identificar presença de pragas e doenças. Pelo princípio da conservação da energia, a energia eletromagnética incidente na superfície de um determinado material terá parte desta energia refletida por essa superfície, parte absorvida e parte transmitida caso o material apresente algum tipo de transparência (MENESES e NETTO, 2001). A soma destes três tipos de energia deve ser igual à intensidade da energia incidente.

Os radiômetros são equipamentos destinados a medir a radiância refletida ou emitida pelos alvos terrestres. Estes equipamentos possuem sistema sensor passivo ou ativo: os passivos captam e registram a radiação proveniente de uma fonte externa e os ativos possuem fonte de radiação, ou seja, não dependem de uma fonte externa para irradiar o alvo. Os radiômetros podem ser classificados como imageadores e não imageadores. Os não imageadores medem a radiância do objeto de estudo e apresentam os resultados em forma de gráficos ou numéricos; sendo suas medidas pontuais, com estes aparelhos não se obtém a informação espacial como em uma imagem. O espectrorradiômetro é um radiômetro não imageador que opera em faixas estreitas de comprimento de onda, ou seja, é capaz de registrar valores de radiância incidente em pequenos intervalos espectrais dentro da faixa de comprimento de onda na qual opera o sistema que pode ir de 350 a 2.500 nm. Dessa forma, as medidas realizadas com esse tipo de radiômetro podem ser transformadas em gráficos fornecendo a resposta espectral da energia refletida pelo alvo. Os radiômetros imageadores, classificados em fotográficos e não fotográficos, como por exemplo, os sensores orbitais (não fotográficos), são sistemas que apresentam o resultado final em forma de imagem de uma área no terreno (MOREIRA, 2011).

A mensuração da refletância espectral é uma técnica promissora para determinar a deficiência de N nas culturas agrícolas em tempo real sem contato e de forma não destrutiva (TUMBO *et al.*, 2002). A falta de N reduz o teor de clorofila, e, portanto, aumenta a sua transmitância em comprimentos de ondas da radiação visível (HABOUDANE *et al.*, 2002). Com esse propósito, as técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para avaliar

condições de culturas em relação ao N, uma vez que propriedades espectrais, refletância e transmitância das folhas são afetadas pela deficiência de N (SCHEPERS *et al.*, 1996).

MUTANGA *et al.* (2003) avaliaram o potencial de discriminação de diferentes doses de N na gramínea *Cenchrus ciliaris*, cultivado em casa de vegetação, utilizando características espectrais da cultura medida por um espectrorradiômetro. As medidas espectrais da forrageira, em cada dose, foram registradas sob condições controladas, em laboratório, no período de quatro semanas. Os resultados mostraram que houve diferença significativa entre os tratamentos na faixa de 550 a 750 nm do espectro, provando ser promissora a utilização do sensoriamento remoto para acessar o estado de N nas culturas agrícolas.

## 2.4 Clorofilômetro portátil

O medidor portátil de clorofila SPAD, da Minolta, é um equipamento que efetua leituras indiretas do teor relativo de clorofila presente nas folhas das plantas com base na quantidade de luz transmitida pela folha em dois comprimentos de onda, com diferentes absorbâncias da clorofila. As regiões de pico de absorbância de clorofila pelas folhas localizam na banda espectral da radiação azul e do vermelho, as de baixa absorbância se localizam na banda espectral da radiação verde e as de extremamente baixa absorbância na banda espectral do infravermelho próximo. Tendo em vista que outros pigmentos óticamente ativos presentes na folha também apresentam alta absorbância na banda espectral do azul, para medição do teor de clorofila, utilizam-se da radiação na banda vermelha, em que a absorbância é alta. Também se utiliza a radiação da banda do infravermelho próximo, em que a absorbância da clorofila é extremamente baixa como referência para compensar diferenças na espessura ou no teor de água da folha ou diferenças que se devem a outros fatores (MINOLTA, 1989).

O aparelho SPAD possui dois diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho) e a 940 nm (infravermelho). A luz que passa através da folha atinge um receptor (fotodiodo de silicone) que converte a luz transmitida em sinais elétricos analógicos. Através de um conversor estes sinais são amplificados e convertidos em sinais digitais e são usados por um microprocessador para calcular os valores SPAD utilizando uma equação logarítmica. Os sensores cobrem uma área de 2 x 3 mm da folha, área pequena em relação ao tamanho total

da folha, por isso uma amostragem rigorosa e representativa deve ser realizada para aumentar a confiabilidade dos dados (MINOLTA, 1989).

Em trabalhos de pesquisas é demonstrado que as leituras de transmitância obtidas em clorofilômetro portátil podem indicar a época de maior demanda de N das plantas e se há ou não a necessidade de sua aplicação em cobertura (FILHO *et al.*, 2008).

Em estudo com algodoeiro o índice SPAD apresentou elevada correlação com os teores foliares de N, mostrando grande potencial para substituição das análises químicas feitas em laboratório. Os resultados indicaram que é possível corrigir a deficiência de N na cultura e restaurar total ou parcialmente sua produtividade a partir das leituras do índice SPAD (BRANDÃO *et al.*, 2009).

## **2.5 Resposta espectral em culturas agrícolas**

Desde a descoberta de que os vegetais usam a radiação eletromagnética emitida do sol como parte da fonte de energia para sua sobrevivência, a interação entre essa radiação e a vegetação passou a ser estudada detalhadamente. O dossel vegetal é constituído pelas partes que compõem uma planta, ou seja, caule, folhas e flores. Entretanto, a interação da radiação solar com o dossel é realizada, principalmente, por meio dos pigmentos contidos nas folhas. O componente espectral de uma folha é função de sua composição, morfologia e estrutura interna (PONZONI, 2001). Dessa maneira, a resposta espectral de um dossel se assemelha ao de uma folha verde sadia. Na Figura 1 é apresentada a resposta espectral de uma folha verde sadia, a qual pode ser analisada em três regiões distintas, a região do visível (400 a 700 nm), infravermelho próximo (700 a 1.300 nm) e infravermelho de ondas curtas (1.300 a 2.600 nm).

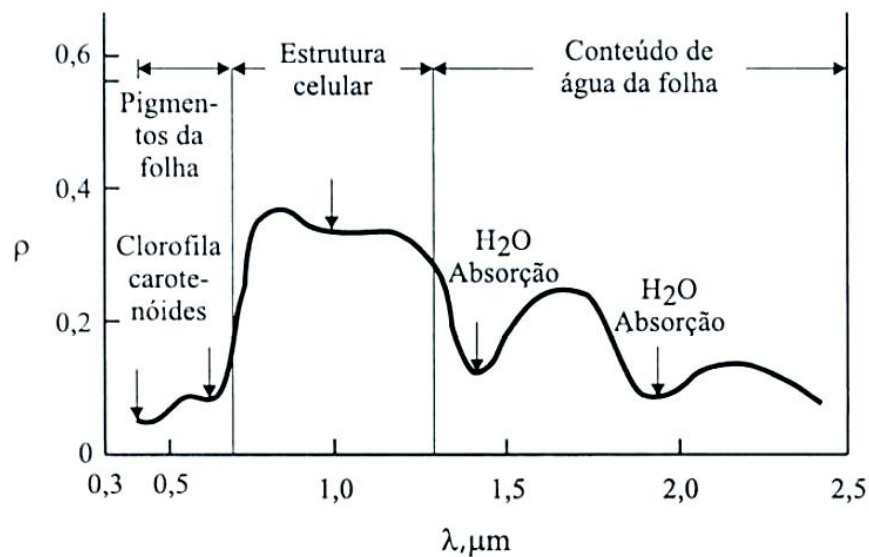


Figura 1-Resposta espectral típica de uma folha verde sadia, onde  $\rho$  representa a porcentagem da refletância e  $\lambda$  o comprimento de onda em micrômetros. FONTE: NOVO (2010).

Na região do visível, a refletância é relativamente baixa, decorrente da forte absorção da radiação pelos pigmentos opticamente ativos da folha, apresentando dois picos de absorção próximos a 480 nm e a 680 nm. Entre esses picos de absorção, há um pico de refletância, correspondente ao comprimento de onda do verde (em torno de 550 nm), o que explica a coloração verde das plantas. Entre os comprimentos de onda de 700 nm e 1.300 nm (região do infravermelho próximo) há uma alta refletância relacionada à estrutura celular das folhas; esta alta refletância é importante para que a folha mantenha o equilíbrio no balanço de energia e não se superaqueça, evitando assim a destruição da folha. Dois outros picos de absorção ocorrem próximos a 1.400 nm e 1.900 nm, na região do infravermelho de ondas curtas, devido à presença de água na folha (MOREIRA, 2011).

As principais características que influenciam a refletância espectral de folhas são a composição química, morfologia, fisiologia e umidade interna. Cada uma dessas características exerce influência predominante em pelo menos uma das três regiões espectrais do espectro óptico (visível, infravermelho-próximo e infravermelho de ondas curtas). Para o caso dos dosséis, existem ainda outras características, sendo esses de natureza geométrica (iluminação e visada), espectral (propriedades espectrais dos elementos que compõem a área de medição, principalmente das folhas e do solo) e biofísica (IAF- índice de área foliar e DAF- distribuição angular foliar) (PONZONI, 2001).

A refletância de uma folha decresce com a idade na região do visível, esse fato pode ser atribuído ao desenvolvimento da clorofila que aumenta rapidamente em quantidade nos estádios iniciais do desenvolvimento da folha, aumentando mais lentamente nos estádios subsequentes, até que a coloração verde característica da espécie seja atingida (PONZONI, 2001). Quando a folha entra em senescência, em razão da degradação da clorofila, ocorre uma menor absorção da radiação solar e, conseqüentemente aumento na refletância na região do visível. Com o avanço da senescência observa-se a degradação dos carotenos e morte das células. Nessa fase, ocorre um aumento dos espaços aéreos intercelulares das folhas com conseqüente aumento da refletância na região do infravermelho próximo (MOREIRA, 2011).

Quando a quantidade de água na folha começa a cair, a refletância na região do infravermelho-próximo aumenta enquanto a refletância na região do visível sofre uma mudança relativamente pequena (BOWMAN, 1989). As relações entre o teor de água na folha e a refletância nas regiões do visível e infravermelho próximo não são diretas, sendo que geralmente em plantas sob estresse hídrico ocorre uma diminuição na concentração de clorofila, levando ao desarranjo das estruturas internas. Dessa maneira, folhas sob estresse hídrico têm maior refletância no vermelho e no infravermelho próximo (RIPPLE, 1986).

A redução do teor de clorofila nas folhas propicia menor absorção de energia na região do visível e, em conseqüência disso, a refletância nesta faixa espectral aumenta (PONZONI, 2001). Já na região do infravermelho próximo, a refletância aumenta devido às mudanças que ocorrem nas estruturas internas da folha (BAUER *et al.*, 1980; RIPPLE, 1986). É importante ressaltar que o N participa diretamente na formação da molécula de clorofila, logo, se a planta for exposta a um ambiente com deficiência de N haverá diminuição na concentração de clorofila e, portanto, menos absorção de energia luminosa na faixa do visível (MOREIRA, 2011).

## **2.6 Índices de vegetação**

Os índices de vegetação foram criados para monitorar e quantificar condições e distribuições espaciais das vegetações, usando combinações matemáticas das refletâncias em diferentes faixas espectrais da região eletromagnética. Os índices são usados para condensar as informações espectrais e discriminar o que é vegetação e não vegetação, avaliar as condições de crescimento das culturas, ocorrência de doenças, pragas, secas e

geadas, etc. (LIU, 2007). Em geral, a resposta espectral da superfície de vegetação envolve uma mistura complexa de plantas, os efeitos ambientais, brilho, cor e umidade do solo e efeitos da variação espacial e temporal das condições atmosféricas. Geralmente, nos índices de vegetação são utilizadas duas ou mais bandas do espectro em formulações que minimizem a variação devido a fatores externos e maximizem a sensibilidade para a variável de interesse (DAUGHTRY *et al.*, 2000).

Um dos índices mais utilizados, o NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada), proposto por ROUSE *et al.* (1974), é calculado pela diferença de refletância entre a faixa do infravermelho-próximo (NIR - 725 a 1.100 nm) e a do visível (VIS - 400 a 700 nm), essa diferença é normalizada pela divisão da soma das faixas do VIS e do NIR. Segundo BARET *et al.* (1989), as bandas do vermelho (R) e do NIR são as mais usadas porque estão presentes em quase todos os satélites meteorológicos e de recursos terrestres e contêm mais de 90% da informação espectral da vegetação. O NDVI pode ser calculado pela Equação 1.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

em que:

$\rho_{NIR}$  – refletância do alvo na faixa do infravermelho-próximo;

$\rho_R$  – refletância do alvo na faixa do vermelho.

O valor de NDVI mais alto indica o nível de verde da superfície mais alto, que pode ser usado para inferir na vegetação mais densa. Este índice é utilizado com sucesso para classificar a distribuição global de vegetação, inferir as variabilidades ecológicas e ambientais e produtividade. Portanto, o nível de verde inferido por esse índice reflete bem os efeitos dos fatores ambientais (LIU, 2007).

Para diminuir o efeito da presença do solo, HUETE (1988) propôs o índice de vegetação ajustado para o solo (SAVI) introduzindo um fator (L) no NDVI, calculado através da Equação 2. O fator L representa três condições da superfície, L= 0,25 para a cobertura completa da vegetação, L= 0,50 para a cobertura média da vegetação e L= 1,0 para a superfície do solo nu ou pouca vegetação.

$$SAVI = \frac{(NIR - R)(1 + L)}{(NIR + R + L)} \quad (2)$$

em que:

NIR – refletância do alvo na faixa do infravermelho-próximo;

R – refletância do alvo na faixa do vermelho;

L – fator que representa a condição de cobertura de solo.

O OSAVI, proposto por RONDEAUX *et al.* (1996), é um índice otimizado do SAVI, que utiliza o fator  $L = 0,16$ , valor esse que minimiza os efeitos do solo para a maioria das condições de cobertura vegetal. Para o caso de sensores hiperespectrais (que operam em faixas estreitas), o OSAVI utiliza a refletância no comprimento de onda 800 nm ao invés da banda espectral do NIR e 670 nm ao invés da banda do R.

Para reduzir a variabilidade da radiação fotossinteticamente ativa devido à presença de diversos materiais não fotossintetizantes, foi desenvolvido o MCARI (índice de refletância modificado da absorção de clorofila), proposto por DAUGHTRY *et al.* (2000). Este índice é uma variante do índice de refletância absorção de clorofila (CARI), proposto por KIM *et al.* (1994), sendo uma medida da profundidade de absorção da clorofila a 670 nm em relação à refletância em 550 e 700 nm. O índice MCARI pode ser quantificado através da Equação 3.

$$MCARI = [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0,2(\rho_{700} - \rho_{550})] \frac{\rho_{700}}{\rho_{670}} \quad (3)$$

em que:

$\rho_{700}$  – refletância do alvo no comprimento de onda 700 nm;

$\rho_{670}$  – refletância do alvo no comprimento de onda 670 nm;

$\rho_{550}$  – refletância do alvo no comprimento de onda 550 nm.

A razão entre as refletâncias nos comprimentos de onda 700 e 670 nm foi introduzida para minimizar os efeitos combinados da refletância do solo e de materiais fotossintetizantes. DAUGHTRY *et al.* (2000) testaram o efeito combinado do MCARI e OSAVI, calculando a razão entre estes índices, para reduzir as contribuições da refletância do solo e aumentar a sensibilidade à variação do teor de clorofila na folha.

Em estudo realizado por ABRAHÃO (2007), índices de vegetação foram testados para discriminar doses de nitrogênio em *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia, não havendo tendência de um mesmo índice sobressair para discriminar as doses de N, porém, dentre eles o índice  $VARI_{RedEdge}$  (índice de vegetação resistente à atmosfera na região do visível utilizando a banda de transição do vermelho ao infravermelho) foi um dos melhores. Este índice, proposto por GITELSON *et al.* (2002), pode ser calculado a partir da Equação 4.

$$VARI_{RedEdge} = \frac{\rho_{RedEdge} - 1,7\rho_{Red} + 0,7\rho_{Blue}}{\rho_{RedEdge} + 2,3\rho_{Red} - 1,3\rho_{Blue}} \quad (4)$$

em que:

$\rho_{RedEdge}$  – refletância do alvo na banda do infravermelho-próximo;

$\rho_{Red}$  – refletância do alvo na banda do vermelho;

$\rho_{Blue}$  – refletância do alvo na banda do azul.

Mesmo com diferenças sutis em respostas da vegetação na faixa do visível, a sensibilidade desse índice é de moderada a alta para estimar quantitativamente a fração de vegetação, muito maior do que para o NDVI (GITELSON *et al.*, 2002).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Implantação do Experimento

O experimento foi implantado no Setor Forragicultura do Departamento de Zootecnia, no campus da Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa-MG, situada na Zona da Mata com latitude 20°45'14''(S) e longitude 42°52'54''(W) com altitude de aproximadamente 649 m, no período de janeiro a abril de 2012. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, com relevo plano.

O clima da região de Viçosa, segundo a classificação Köpen adaptada para o Brasil, é do tipo Cwb, definido como tropical de altitude, com verão brando e chuvoso e inverno frio e seco (GOLFARI, 1975). Os dados diários de precipitação, brilho solar, temperatura média do ar e umidade relativa do ar foram obtidos da estação meteorológica da Universidade Federal de Viçosa que dista, aproximadamente, 400 m da área experimental.

O experimento foi desenvolvido em pastagem de *Brachiaria decumbens* estabelecida há aproximadamente 10 anos. Os tratamentos constituíram de uma parcela testemunha (sem aplicação de N), parcela de referência (dose única de N de 150 kg ha<sup>-1</sup>) e três diferentes técnicas para aplicação de N em doses variáveis. Nos tratamentos de aplicação de doses variáveis, foram aplicados inicialmente o equivalente a 50 % da dose na parcela de referência, ou seja, 75 kg ha<sup>-1</sup> e, aos 14 e 18 cm de altura das plantas da parcela de referência, foi calculado o Índice de Suficiência de Nitrogênio (NSI) (FRANCIS e PIEKIELEK, 1999). Quando o NSI da parcela era inferior a 0,95, foram aplicadas 25 % da dose de N da parcela de referência, equivalente a 37,50 kg ha<sup>-1</sup>. Dessa maneira, os tratamentos foram os seguintes:

- T<sub>0</sub>: parcela testemunha, sem aplicação de adubo nitrogenado;
- T<sub>1</sub>: parcela de referência, com aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de adubo nitrogenado na forma de ureia em dose única;
- T<sub>2</sub>: utilizou como variável espectral a leitura do clorofilômetro portátil (SPAD);

- T<sub>3</sub>: utilizou como variável espectral o índice de vegetação VARI<sub>RedEdge</sub><sup>1</sup>;
- T<sub>4</sub>: utilizou como variável espectral a razão entre os índices de vegetação MCARI<sup>2</sup> e OSAVI<sup>3</sup>.

A altura das plantas foi medida com uma régua de metal em cinco pontos aleatórios dentro de cada parcela, considerando a altura das plantas na parcela como a média dos pontos amostrados.

Com essas leituras, foi calculado o NSI, conforme a Equação 5 (FRANCIS e PIEKIELEK, 1999):

$$NSI = \frac{VS_{ptv}}{VS_{pr}} \quad (5)$$

em que:

NSI – índice de suficiência de nitrogênio;

VS<sub>ptv</sub> – variável espectral na parcela com aplicação a taxa variada; e

VS<sub>pr</sub> – variável espectral na parcela de referência.

O delineamento utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos foram alocados em parcelas de 3 m x 3 m, ou seja, perfazendo 9 m<sup>2</sup>. O pasto foi roçado inicialmente (roçadeira costal) a 5 cm de altura com retirada da massa das parcelas.

Antes do início desse estudo o solo da pastagem foi analisado e posteriormente passou por correção da fertilidade conforme recomendação da 5ª aproximação (RIBEIRO *et al.*, 1999), com exceção do N. Cada parcela recebeu dose de 350 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples, sendo que as parcelas do bloco 5 também receberam a dose de 86 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. Na Tabela 1, é apresentado o resultado da análise de solo para o P e K e na Figura 2, é apresentado o croqui da área experimental.

<sup>1</sup>Índice de vegetação resistente a atmosfera, proposto por GITELSON *et al.* (2003)

<sup>2</sup>Índice de vegetação modificado para absorção de clorofila, proposto por DAUGHTRY *et al.* (2000)

<sup>3</sup>Índice de vegetação ajustado otimizado do solo, proposto por RONDEAUX *et al.* (1996)

Tabela 1: análise de solo da área experimental para P e K em cada bloco

Identificação	P (mg dm <sup>3</sup> )	K (mg dm <sup>3</sup> )
B1	2,9	137
B2	1,5	133
B3	1,6	98
B4	1,6	94
B5	1,8	55

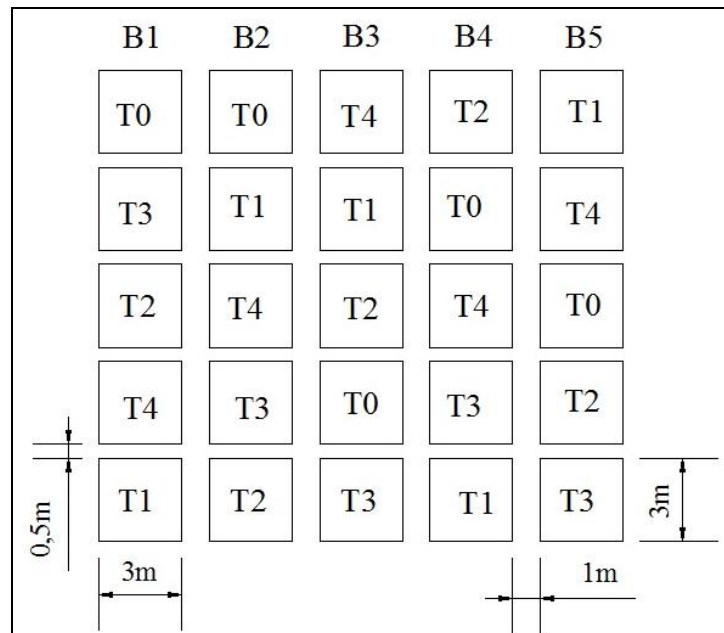


Figura 2: Croqui da área experimental.

Deste modo, ao final de cada ciclo, ou seja, quando as plantas da parcela de referência atingiram 25 cm de altura, as parcelas com os tratamentos T2, T3 e T4 receberam o máximo de 100 % da dose de referência.

Quando as plantas na parcela de referência atingiram 25 cm de altura foi realizado corte das plantas a 5 cm do solo utilizando como gabarito 4 quadrados de madeira, cada um com 0,25 m<sup>2</sup> e, posteriormente, avaliada a biomassa em todas as parcelas.

Este procedimento foi realizado por três ciclos, ou seja, foram realizados três cortes. Na Tabela 2 estão apresentadas as datas de início e término de cada ciclo e as datas em que foram feitas as coletas das variáveis espectrais de acordo com a altura da planta da parcela

de referência (T1). Ao final de cada corte, o procedimento se repetiu adotando os mesmos critérios de avaliação, iniciando com a aplicação de dose única de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N nas parcelas de referência e 75 kg ha<sup>-1</sup> nas parcelas que receberam os outros três tratamentos.

Tabela 2: Datas de início e término de cada ciclo e dos registros das variáveis espectrais de acordo com a altura das plantas da parcela de referência (T1)

	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo
Início	23/01/2012	17/02/2012	14/03/2012
Término	16/02/2012	14/03/2012	09/04/2012
14 cm (T1)	03/02/2012	29/02/2012	28/03/2012
18 cm (T1)	08/02/2012	07/03/2012	03/04/2012
25 cm (T1)	16/02/2012	14/03/2012	09/04/2012

### 3.2 Caracterização da resposta espectral

A refletância espectral foliar foi medida com o instrumento ASD Field SpecPro espectrômetro FR (Analytic Spectral Devices, Boulder, EUA), com o adaptador “plant probe” para medidas de contato com a folha. O espectrorradiômetro possui faixa espectral entre 350-1.100 nm e a faixa útil de leitura foi entre 450 e 900 nm, descartando assim dados espectrais ruidosos nos extremos. Antes do registro dos dados foi realizada calibração de refletância utilizando placa de referência branca alocada no próprio adaptador para coletas pontuais.

Em cada parcela, 30 folhas do extrato médio do pasto em 30 perfilhos diferentes foram identificadas aleatoriamente para a amostragem, sendo estas medições realizadas quando as plantas da parcela de referência atingiram 14, 18 e 25 cm.

As variáveis espectrais foram leituras obtidas com um clorofilômetro portátil (Figura 3) e índices de vegetação calculados a partir dos dados da resposta espectral com espectrorradiômetro (Figura 4) quando as plantas da parcela de referência (T1) atingiram 14 e 18 cm de altura.

Para estimar o índice de clorofila foliar em cada parcela foi utilizado o clorofilômetro portátil (SPAD 502) de forma indireta e não destrutiva.

Os valores medidos pelo equipamento (valores SPAD) correspondem às medidas indiretas do índice de clorofila na folha (COSTA *et al.*, 2001). As folhas das plantas foram posicionadas entre o emissor e o receptor do equipamento de modo que a radiação transmitida através da folha fosse convertida em sinais eletrônicos. Os valores foram

calculados com base na quantidade de radiação transmitida pela folha na faixa do vermelho e do infravermelho-próximo (SCHEPERS et al., 1996).

Em cada parcela foram utilizadas 30 folhas identificadas aleatoriamente para a obtenção dos valores SPAD. A partir das quais foram obtidas as médias dos valores, que foram consideradas como o valor SPAD da parcela.



Figura 3: Leitura da variável espectral com clorofilômetro portátil, SPAD 502.



Figura 4: Leitura de refletância das plantas utilizando instrumento ASD Field SpecPro espectrômetro FR (Analytic Spectral Devices, Boulder, EUA), com o adaptador “plant probe”.

Os índices de vegetação  $VARI_{RedEdge}$ , e a razão  $MCARI/OSAVI$  foram calculados utilizando a refletância obtida aos 14 e 18 cm de altura das plantas da parcela de referência

de acordo com as Equações 6 a 8 descritas a seguir. Utilizou-se para esses cálculos o software *EXCEL*.

$$VARI_{RedEdge} = \frac{\rho_{700} - 1,7\rho_{670} + 0,7\rho_{490}}{\rho_{700} + 2,3\rho_{670} - 1,3\rho_{490}} \quad (6)$$

$$OSAVI = \frac{\rho_{800} - \rho_{670}}{\rho_{800} + \rho_{670} + 0,16} 1,16 \quad (7)$$

$$MCARI = [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0,2(\rho_{700} - \rho_{550})] \frac{\rho_{700}}{\rho_{670}} \quad (8)$$

em que:

$\rho_{800}$  – refletância do alvo no comprimento de onda 800 nm;

$\rho_{700}$  – refletância do alvo no comprimento de onda 700 nm;

$\rho_{670}$  – refletância do alvo no comprimento de onda 670 nm;

$\rho_{550}$  – refletância do alvo no comprimento de onda 550 nm;

$\rho_{490}$  – refletância do alvo no comprimento de onda 490 nm.

### 3.3 Determinação de Massa Seca

Quando as plantas na parcela de referência atingiram 25 cm de altura, foram quatro amostras em área delimitada por gabarito de madeira de 0,25 m<sup>2</sup> (Figura 5). As plantas no interior do gabarito foram cortadas a 5 cm do solo e as amostras acondicionadas em sacos de papel e pesadas para a determinação da massa verde. Da massa verde foram retiradas sub amostras, identificadas e acondicionadas em sacos de papel. O processo seguinte foi a secagem em estufa com circulação forçada de ar por 72 horas a 65 °C (CABEZAS, 2011). Ao final, foi feita a pesagem para estimar a produção de massa seca em kg ha<sup>-1</sup>.



Figura 5: Área demarcada para amostragem, na parte central da parcela, onde foram alocados os quatro gabaritos.

### 3.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste Duncan de comparação de médias, a 5 % de probabilidade, para comparar a produção de massa seca entre os tratamentos. Essas análises foram realizadas no software *Statistical Analysis System* versão 9.2.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dados meteorológicos e desenvolvimento das plantas

Na Figura 6 estão apresentadas as variações de temperatura durante o período experimental, identificando o início e o término de cada ciclo de avaliação do pasto. Durante o primeiro ciclo a temperatura média foi de 22,5 °C, a mínima média 18,25 °C e a máxima média 29,3 °C. No segundo ciclo a temperatura média foi de 22,4 °C, a mínima média 17,87 °C e a máxima média foi de 29,73 °C. Durante o terceiro ciclo a temperatura média foi de 21,56 °C, a mínima média 18,37 °C e a máxima média foi de 27,64 °C.

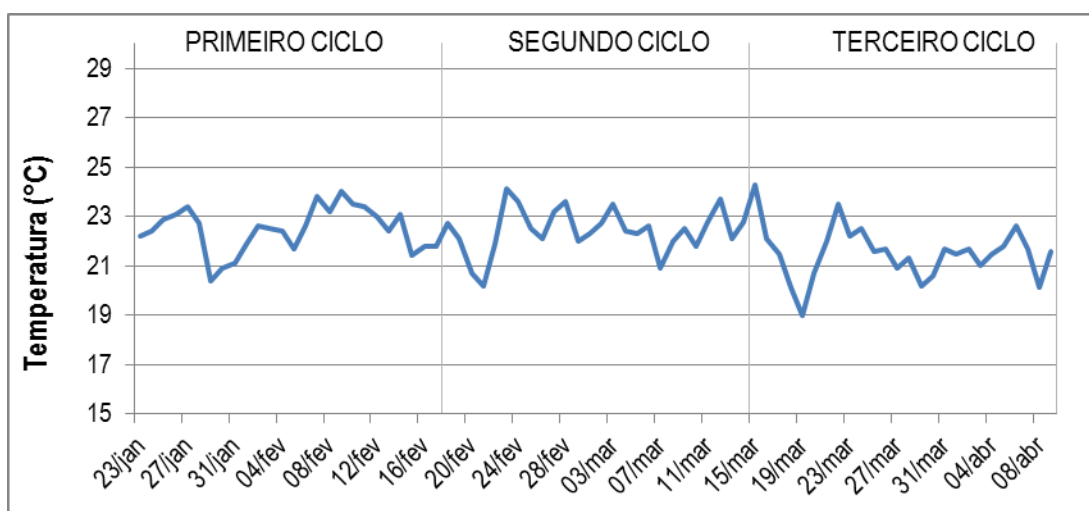


Figura 6: Variação da temperatura média ao longo do período experimental nos três ciclos de avaliação.

Na Figura 7 estão apresentados a variação da precipitação diária e o brilho solar diário durante os três ciclos de avaliação do pasto.

No primeiro ciclo a precipitação total foi de 171,0 mm com 199,7 horas de brilho solar, no segundo ciclo de 6,5 mm e 218,6 horas de brilho solar e, no terceiro ciclo 120,5 mm e 141,5 horas de brilho solar.

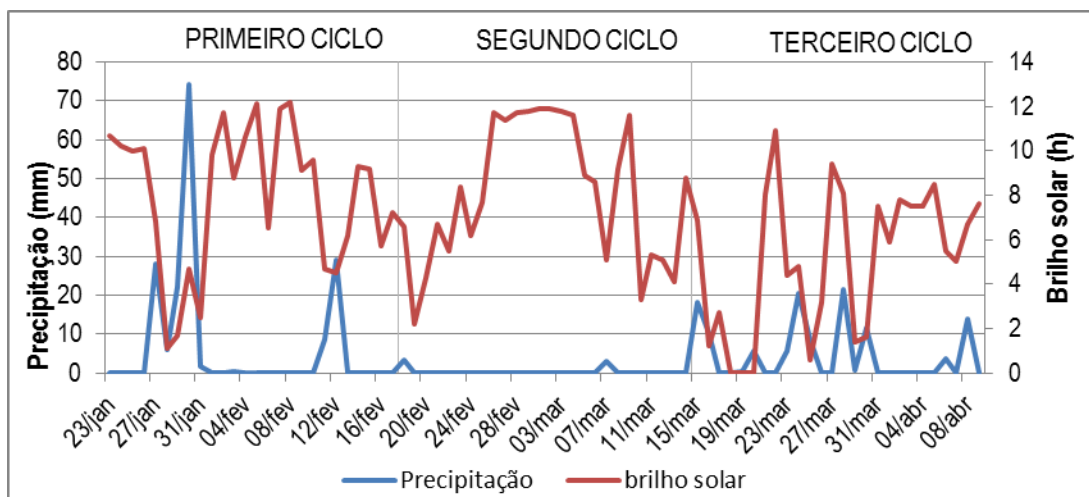


Figura 7: Precipitação pluvial e brilho solar diários durante o período experimental relativos aos três ciclos de avaliação.

Durante o primeiro ciclo ocorreu a maior quantidade de chuvas, porém essas não foram bem distribuídas, concentrando-se no início e no final do ciclo, diferente do terceiro ciclo, com precipitação próxima à do primeiro ciclo e bem distribuída ao longo do período de avaliação, caracterizando o final do verão e início do outono. Já no segundo ciclo houve baixa precipitação, que ocorreu no início e próximo ao fim do ciclo, situação atípica para o verão, pois houve quase um mês de seca. Quanto ao brilho solar, o primeiro ciclo registrou média de 7,98 horas diárias de brilho solar. O segundo ciclo foi o que esteve exposto a maior quantidade de horas ao sol, com média de 8,10 horas diárias de exposição. O terceiro ciclo, foi o que registrou menor exposição ao brilho solar, correspondendo a 5,24 horas diárias em média.

Na Figura 8 está apresentada a dispersão gráfica entre a produção média de massa seca e a altura média atingida pelas plantas em cada tratamento ao término de cada ciclo.

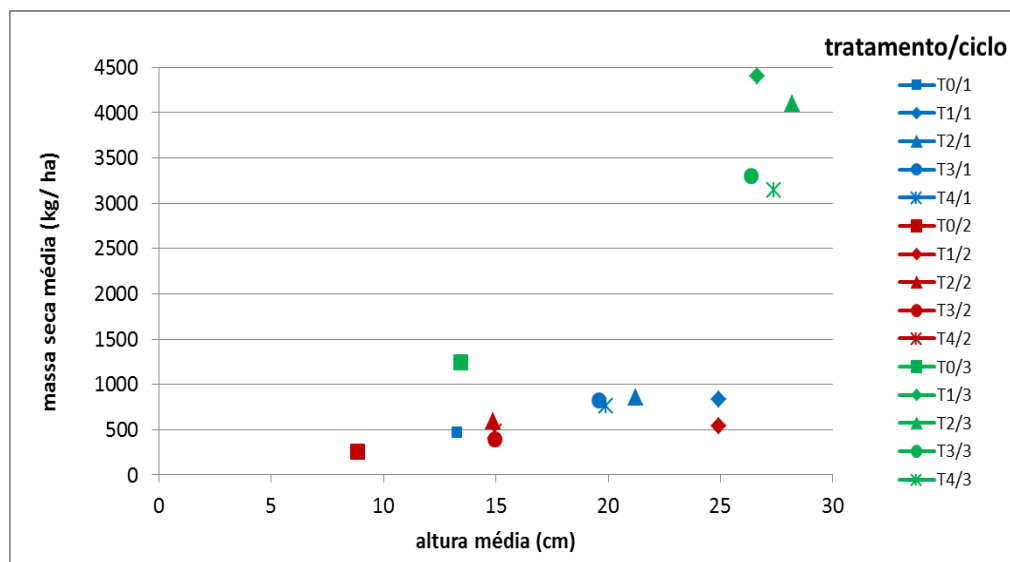


Figura 8: Dispersão da produção média de massa seca e altura média atingida pelas plantas ao término de cada ciclo em cada tratamento.

Como pode ser observado, no terceiro ciclo ocorreu maior produção média de massa seca e as plantas atingiram maior altura média no momento do corte. Este foi o período em que foi registrada maior precipitação pluvial, fator que contribuiu para a absorção do N pelas plantas com consequente aumento da massa seca e altura das plantas, outro fator que pode ter contribuído é o efeito residual dos tratamentos.

A produção das forrageiras depende de fatores definidos pela composição genética da espécie, fatores climáticos como temperatura, luminosidade e água, entre outros. Em trabalho realizado por BAUER *et al.* (2011), os autores constataram que mesmo sob irrigação, outras características climáticas influenciaram o desenvolvimento de forrageiras, especialmente no acúmulo de forragem. Geralmente, as menores produções de forrageiras de clima tropical são registradas no inverno, refletindo efeitos da baixa precipitação nessa época do ano. As baixas temperaturas e menor luminosidade também determinam mudanças fisiológicas afetando o crescimento da planta forrageira.

MOTA *et al.* (2010), ao avaliarem, durante o período seco do ano, o efeito de quatro doses de nitrogênio (100, 300, 500 e 700 kg ha<sup>-1</sup> ano) e de seis lâminas d'água (0, 20, 40, 80, 100 e 120 % da evapotranspiração de referência) sobre a produção do capim-elefante e a altura de plantas, concluíram que a combinação da adubação nitrogenada com lâminas d'água aumentou a altura das plantas e a produção de massa seca da forrageira. A maior produção de massa seca (6.445,72 kg) foi atingida quando foi aplicada 100 % da evapotranspiração com 500 kg ha<sup>-1</sup>ano de N.

CASTAGNARA *et al.* (2011), ao avaliarem quatro doses de N (0, 40, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup>) em *Brachiaria sp.* cv. Mulato e *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça, observaram que a aplicação de N aumentou a produção de massa verde e seca, a taxa de acúmulo de forragem, a altura do dossel e o número de perfilhos das forrageiras estudadas. A associação da altura de plantas, número de folhas e produção de massa seca interferiram diretamente na taxa de acúmulo de massa seca, sendo que esta varia amplamente em função de condições edafoclimáticas e de manejo.

OLIVEIRA *et al.* (2010) estudaram os efeitos da adubação nitrogenada sobre o crescimento do capim-tifton 85 (*Cynodon spp.* cv. Tifton 85), em termos de densidade de plantas e altura do dossel, índice de área foliar e interceptação de radiação fotossinteticamente ativa, com aplicação de quatro doses de N (0; 150; 300; 450 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia) aplicadas em duas vezes. As avaliações foram realizadas semanalmente, entre 10 e 40 dias após o corte. Tanto a densidade de plantas como a altura do dossel respondeu à adubação nitrogenada, em função das doses de N e interação com as condições ambientais. A expansão da área foliar e a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa associada também foram influenciadas direta e proporcionalmente pelas doses de N aplicadas.

## 4.2 Adubação nitrogenada com dose única e variável

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados a análise estatística e os resultados de massa seca produzida pelo capim-braquiária e a quantidade média de adubo nitrogenado aplicada em cada data de avaliação (Tabela 2) no primeiro ciclo de manejo. Os quatro tratamentos que receberam adubo nitrogenado não diferiram entre si quanto à produção de massa seca, ou seja, apenas a testemunha ( $T_0$ ) diferiu dos demais tratamentos, e todos os tratamentos utilizaram uma menor quantidade de N.

Tabela 3: Análise estatística no primeiro ciclo de manejo

F.V.	G.L.	Soma do Quadrado	Quadrado Médio	F cal.	Pr > F
Tratamento	4	517305,8199	129326,4550	3,13	0,0444
Bloco	4	165726,7494	41431,6874	1,00	0,4353
Resíduo	16	661865,980	41366,624		
Total	24	1344898,549			

Tabela 4: Massa seca (MS) média produzida no primeiro ciclo de manejo e doses médias de N aplicadas

Tratamento	$N_{inicial}$ (kg ha <sup>-1</sup> )	Número de parcelas tratadas (14 cm)	Número de parcelas tratadas (18 cm)	$N_{total}$ (kg ha <sup>-1</sup> )	Médias* (kg ha <sup>-1</sup> )
$T_{SPAD}$	75	3	2	112,5	856,7 a
$T_{REF}$	150	0	0	150	837,7 a
$T_{VARI}$	75	0	0	75	822,3 a
$T_{MCARI/ OSAVI}$	75	0	0	75	762,6 a
$T_0$	0	0	0	0	468,9 b

SPAD – dose variada; REF – dose única; VARI<sup>RedEdge</sup>- dose variada; MCARI/ OSAVI - dose variada; 0 – testemunha; \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

Neste primeiro ciclo de avaliação, apenas o tratamento que utilizou o SPAD para recomendação da adubação indicou a necessidade de aplicação de adubo, além da aplicação inicial de 75 kg ha<sup>-1</sup>. Na primeira data de aplicação (Tabela 2), de acordo com a indicação do NSI, foram aplicados em média 22,5 kg ha<sup>-1</sup> apenas em 3 das 5 parcelas

possíveis de receberem o adubo nitrogenado. Na segunda data de aplicação, de acordo com a indicação do NSI, foram aplicados em média 15 kg ha<sup>-1</sup> apenas em 2 de 5 parcelas possíveis de receberem o adubo nitrogenado. Com estas quantidades de adubo aplicadas a produção de massa seca foi de 856,7 kg ha<sup>-1</sup>, sendo equivalente à produção de massa seca obtida pela parcela que recebeu a dose única de adubo.

Logo após a data de aplicação (Tabela 2) da dose única de N na parcela de referência, ocorreu um período de chuvas que pode ter ocasionado lixiviação do N, contribuindo, dessa maneira, para a não absorção do N pelas plantas. Assim, as parcelas que foram monitoradas pelo SPAD, ao serem parceladas as doses, apresentaram uma tendência de mesma produção de massa seca mesmo aplicando menor quantidade de N do que a parcela de referência.

A baixa recomendação de adubação pelas variáveis espectrais neste primeiro ciclo pode ser atribuída principalmente por neste primeiro ciclo ter ocorrido desuniformidade na distribuição pluvial (Figura 7), o que pode ter limitado a absorção de N pelas plantas. Com isso, a metodologia foi eficiente para identificar que a planta não tinha condições de absorver mais N. Se houvesse aplicação de adubo nesse caso causaria mais perdas e maior contaminação do meio ambiente.

Logo, qualquer tratamento, exceto a testemunha, poderia ser utilizado para recomendação da adubação nitrogenada. Porém, deve ser observado que, como não houve diferença estatística entre a produção de massa seca, os tratamentos que utilizaram menor quantidade de adubo foram mais vantajosos para recomendação da adubação em dose variada neste ciclo.

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentados a análise estatística e os resultados de massa seca produzida pelo capim-braquiária e a quantidade média de adubo nitrogenado aplicado em cada data de avaliação (Tabela 2) para o segundo ciclo de manejo. Também neste ciclo todos os tratamentos apresentaram produtividade maior que a testemunha. Como podem ser observados, os tratamentos com dose variável que utilizaram o SPAD e a razão MCARI/OSAVI não obtiveram produção de massa seca diferente do tratamento que recebeu a dose fixa de adubo nitrogenado, porém tiveram produção de massa seca diferentes entre si, com vantagem para o SPAD. Todos os tratamentos com adubação em dose variada utilizaram menor quantidade de adubo.

Tabela 5: Análise estatística no segundo ciclo de manejo

F.V.	G.L.	Soma do Quadrado	Quadrado Médio	F cal.	Pr > F
Tratamento	4	341492,6936	85373,1734	13,02	<0,0001
Bloco	4	331657,3856	82914,3464	12,65	<0,0001
Resíduo	16	104909,3264	6556,8329	12,83	<0,0001
Total	24	778059,4056			

Tabela 6: Massa seca (MS) média produzida no segundo ciclo de manejo e doses médias de N aplicadas

Tratamento	N <sub>inicial</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Número de parcelas tratadas (14 cm)	Número de parcelas tratadas (18 cm)	N <sub>total</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Médias* (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>SPAD</sub>	75	1	0	82,5	592,04 a
T <sub>REF</sub>	150	0	0	150	540,58 a b
T <sub>MCARI/ OSAVI</sub>	75	1	1	90	477,28 b c
T <sub>VARI</sub>	75	0	1	82,5	399,86 c
T <sub>0</sub>	0	0	0	0	258,36 d

SPAD – dose variada; REF – dose única; MCARI/ OSAVI – dose variada; VARI<sub>RedEdge</sub>– dose variada; 0 – testemunha; \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

Neste segundo ciclo de avaliação todos os tratamentos utilizados para recomendação da adubação nitrogenada indicaram necessidade de aplicação do adubo de acordo com o NSI, além da dose inicial aplicada em todos os tratamentos de 75 kg ha<sup>-1</sup>. Nos dois tratamentos SPAD e VARI<sub>RedEdge</sub>, foram aplicados em média 7,5 kg ha<sup>-1</sup>, na primeira e segunda data de aplicação (Tabela 2), respectivamente. Já no tratamento que utilizou a razão de índices, MCARI/ OSAVI, foram aplicados em média um total de 15 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo o equivalente a 7,5 kg ha<sup>-1</sup> na primeira data de aplicação e 7,5 kg ha<sup>-1</sup> na segunda data.

Praticamente não ocorreu precipitação durante este ciclo, apenas 6,5 mm, fator que certamente contribuiu para baixa produção de massa seca quando comparado a do primeiro ciclo. Logo, também neste ciclo, a aplicação de adubo em dose variável tendeu a ser o fator para melhor eficiência na utilização de N, já que, com baixa pluviosidade e temperaturas

elevadas o N (ureia) tem maior chance de ser volatilizado, portanto, a quantidade de N que foi aplicada provavelmente estava em consonância com a capacidade de absorção da forrageira.

Assim, neste ciclo, o tratamento mais indicado para recomendação da adubação nitrogenada é o SPAD, já que, atingiu a maior produção de massa seca, igual a da parcela de referência, porém com menor quantidade de adubo aplicado.

Nas Tabelas 7 e 8 estão apresentados a análise estatística e os resultados de massa seca produzida pelo capim-braquiária e a quantidade média de adubo nitrogenado aplicado em cada data de avaliação (Tabela 2) no terceiro ciclo de manejo. Como pode ser observada, a adubação em dose única produziu a mesma massa seca que a do tratamento com dose variada utilizando o SPAD. Não houve diferença também na recomendação entre os tratamentos VARI<sub>RedEdge</sub> e a razão MCARI/ OSAVI, ambos apresentaram maior produção de massa seca que a da testemunha.

Tabela 7: Análise estatística no terceiro ciclo de manejo

F.V.	G.L.	Soma do Quadrado	Quadrado Médio	F cal.	Pr > F
Tratamento	4	3043593,40	7608983,85	24,76	<0,0001
Bloco	4	970172,00	242543,00	0,79	0,5490
Resíduo	16	4917090,75	307318,17		
Total	24	36323198,15			

Tabela 8: Massa seca (MS) média produzida no terceiro ciclo de manejo e doses médias de N aplicadas

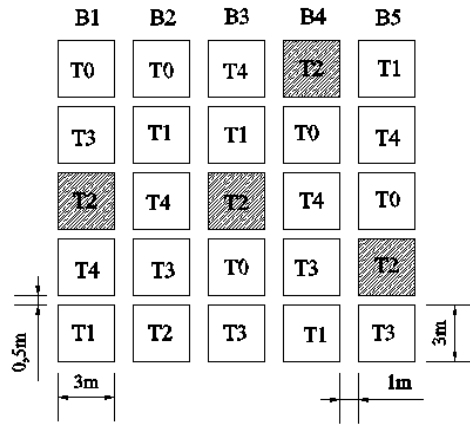
Tratamento	N <sub>inicial</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Número de parcelas tratadas (14 cm)	Número de parcelas tratadas (18 cm)	N <sub>total</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Médias* (kg ha <sup>-1</sup> )
T <sub>REF</sub>	150	0	0	150	4400,8 a
T <sub>SPAD</sub>	75	2	2	105	4100,6 a
T <sub>VARI</sub>	75	3	1	105	3302,8 b
T <sub>MCARI/ OSAVI</sub>	75	0	0	75	3143,0 b
T <sub>0</sub>	0	0	0	0	1243,6 c

REF – dose única; SPAD – dose variada; VARI<sub>RedEdge</sub> - dose variada; MCARI/ OSAVI - dose variada; 0 – testemunha; \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

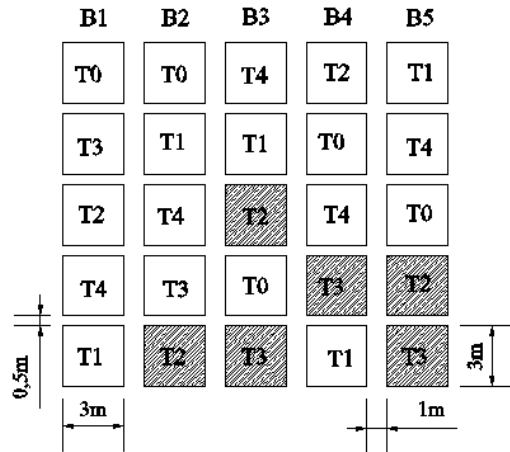
No terceiro e último ciclo de manejo do capim-braquiária todos os tratamentos utilizados para recomendação da adubação nitrogenada indicaram necessidade de aplicação do adubo de acordo com o NSI, com exceção da razão de índices MCARI/ OSAVI que recebeu apenas a dose inicial de 75 kg ha<sup>-1</sup>. Além da dose inicial aplicada em todos os tratamentos de acordo com o SPAD foram aplicados em média 15 kg ha<sup>-1</sup> na primeira data de aplicação e 15 kg ha<sup>-1</sup> na segunda data de aplicação (Tabela 2). O tratamento referente ao índice VARI<sub>RedEdge</sub> recebeu, na primeira data de aplicação em média 22,5 kg ha<sup>-1</sup> e na segunda data de aplicação (Tabela 2), 7,5 kg ha<sup>-1</sup>. Nos tratamentos SPAD e índice VARI<sub>RedEdge</sub> foi aplicada no total mesma quantidade de adubo (105 kg ha<sup>-1</sup>), porém esses tiveram produção de massa seca diferente entre si, sendo o maior valor de produtividade registrado quando se utilizou o SPAD.

Este terceiro ciclo foi o que teve a melhor distribuição pluvial e também maior produção de massa seca. Em estudo realizado com capim-elefante por VITOR *et al.* (2009) foi testado o efeito da aplicação de quatro doses de N (100, 300, 500 e 700 kg ha<sup>-1</sup>) e de seis lâminas d'água (0, 20,40, 80, 100 ou 120 % da evapotranspiração), a produção de massa seca acumulada durante o experimento aumentou linearmente em relação às doses de nitrogênio e às lâminas d'água aplicadas, demonstrando a importância da umidade do solo na absorção de N e produção das plantas.

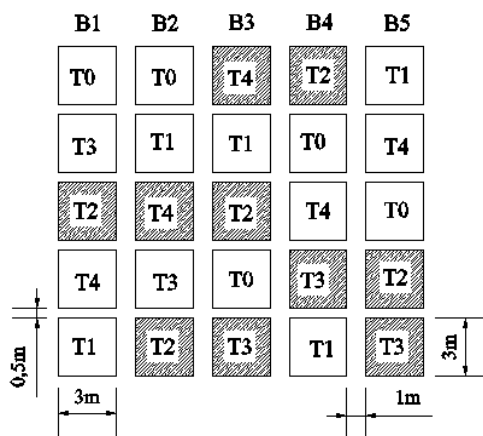
A maior dose de N aplicada na leitura quando o capim-braquiária atingiu 14 cm de altura, dia 28/03 (Tabela 2), no tratamento que utilizou o VARI<sub>RedEdge</sub> pode ter levado a lixiviação do N impedindo que a planta forrageira pudesse absorver todo o N aplicado, tendo em vista que logo após esta data ocorreram intensas chuvas (Figura 7). A planta forrageira já poderia também ter atingido seu limite de absorção, não sendo aproveitada toda a dose aplicada de 105 kg ha<sup>-1</sup>. Ambas as possibilidades, lixiviação ou limite de absorção de N, causam contaminação do meio ambiente e perdas. Na Figura 9 estão representadas por hachuras todas as parcelas que receberam adubo em dose variada ao longo dos três ciclos de manejo.



(a)



(b)



(c)

Figura 9: Parcelas que foram tratadas com dose variada de adubo no primeiro ciclo (a), segundo ciclo (b) e terceiro ciclo de manejo (c).

Todos os blocos receberam ao menos uma vez dose variada de adubo nitrogenado em pelo menos uma das parcelas. O tratamento que utilizou o SPAD, como foi demonstrado anteriormente foi o único que indicou necessidade de aplicação de adubo através do NSI em todos os três ciclos de manejo, sendo no total, aplicado em todos os blocos.

Como foi observado pelos dados apresentados nas Tabelas 4, 6 e 8, o único tratamento que não diferiu da parcela de referência em todos os ciclos, ou seja, em três condições climáticas diferentes foi o SPAD, sendo este o tratamento recomendado para adubação nitrogenada em taxa variada. Mesmo o SPAD se mostrando mais eficiente para recomendação de adubação nitrogenada com taxa variada, este equipamento apresenta desvantagem por ser um sensor de contato e poderia ter sua adoção comprometida devido ao grande número de pontos amostrais necessários para elaboração de um mapa de aplicação em taxa variada. WEBSTER e OLIVER (1992) mostraram que para estimar o variograma de uma região com precisão são exigidos um mínimo de 150 a 200 pontos amostrais.

As outras variáveis espectrais utilizadas neste estudo apresentaram pior resposta que o SPAD, provavelmente, devido ao fato de que foram desenvolvidas para dossel, com o intuito de minimizar efeitos da atmosfera e do solo sob a refletância das plantas. O NDVI, por exemplo, proposto por ROUSE *et al.* (1974) é utilizado com sucesso para classificar a distribuição global de vegetação, inferir as variabilidades ecológicas e ambientais e produtividade; para diminuir os efeitos da presença do solo, foi proposto o índice SAVI (índice de vegetação ajustado para o solo) por HUETE (1988). Existem muitos outros índices de vegetação que minimizam alguns desses efeitos indesejados sob a refletância do dossel das plantas. No entanto, no presente trabalho, estes índices foram utilizados na medição foliar, não tendo interferência do solo. O desenvolvimento de índices mais específicos para a identificação de N foliar pode melhorar ainda mais a eficiência do método proposto.

Na Tabela 9 estão apresentadas a soma do nitrogênio aplicado e a soma da massa seca produzida nos três ciclos de manejo em cada tratamento e a eficiência de cada tratamento, sendo esta calculada pela razão entre a massa seca produzida e a quantidade de adubo nitrogenado aplicado em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Tabela 9: Nitrogênio total aplicado, massa seca total produzida nos três ciclos de manejo e eficiência de cada tratamento (MS/N)

<b>Tratamento</b>	<b>N total (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Médias (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>MS/ N</b>
T <sub>REF</sub>	450	5.779,08	12,84
T <sub>SPAD</sub>	300	5.849,34	19,50
T <sub>VARI</sub>	262,5	4.524,96	17,24
T <sub>MCARI/ OSAVI</sub>	240	4.382,88	18,26
T <sub>0</sub>	0	1.970,86	

REF – dose única; SPAD – dose variada; VARI<sub>RedEdge</sub>- dose variada; MCARI/ OSAVI - dose variada; 0 – testemunha

Como pode ser observado na Tabela 9, o tratamento mais eficiente foi o que utilizou o SPAD e a parcela com dose única de aplicação de adubo, mesmo produzindo no total a segunda maior quantidade de massa seca, foi o tratamento que apresentou menor eficiência. Apesar de ter aplicado quantidade muito grande de adubo, 450 kg ha<sup>-1</sup>, este pode ter sido lixiviado ou pode não ter sido absorvido pelas plantas já que sua aplicação ocorreu em um intervalo de tempo relativamente pequeno. Comparando-se a eficiência dos tratamentos fica clara a maior eficiência da adubação em dose variada em relação à dose única de aplicação.

### 4.3 Estudo da resposta espectral

A resposta espectral foi obtida através da leitura, com espectrorradiômetro, da refletância das plantas e foi calculada a média de 30 pontos registrados em cada parcela para representar a resposta espectral da cultura em cada tratamento. Nas Figuras 10, 11 e 12 pode-se observar a resposta espectral das plantas, em função das diferentes técnicas de aplicação de N, correspondente à altura de 25 cm da parcela de referência.

Após análise das curvas espectrais foi constatado que a *Brachiaria decumbens* apresenta resposta espectral de vegetação verde, com dois picos de absorção na região do visível, próximo aos comprimentos de onda 480-500 nm e 680 nm, refletindo aproximadamente 5 % da energia, e um pico de refletância em 550 nm refletindo entre 10 e 15 % da energia. Na região do infravermelho a refletância ficou próxima dos 40 %.

A resposta espectral esperada para as plantas na parcela testemunha, único tratamento que diferiu de todos os outros nos três ciclos, ocorreu somente no segundo ciclo, onde na região do visível foi registrada a maior refletância, sugerindo a deficiência em pigmentos que são responsáveis pela absorção da energia, como a clorofila. Já no infravermelho-próximo foi registrada a refletância mais alta que pode estar relacionada à estrutura das folhas, ou seja, nos outros ciclos a testemunha não seguiu o padrão esperado.

ZHAO *et al.* (2005) avaliaram os efeitos da deficiência de nitrogênio (N) sobre a fisiologia e propriedades de refletância hiperespectrais em folhas do sorgo. A deficiência de N reduziu significativamente a área foliar, concentração de clorofila e a taxa de fotossíntese, o que resultou em menor produção de biomassa, afetaram também a transpiração foliar e a eficiência do uso da água. A refletância espectral da folha, especialmente nas regiões visível e infravermelho-próximo, foi mais sensível para a detecção do status de N para a cultura do sorgo. O aumento da refletância nos comprimentos de onda 555 e 715 ( $\pm 5$ ) nm foi o principal fator relacionado à deficiência de N. Alterações na refletância da folha nessas regiões espectrais foram principalmente relacionadas com qualquer nível de N ou concentração de clorofila das folhas.

Qualquer distúrbio fisiológico na folha leva a um aumento na refletância na região do visível (KNIPLING, 1970). No entanto, os distúrbios fisiológicos não são os fatores que influenciam diretamente a alteração na refletância da folha. É um fator secundário, pois as

mudanças no conteúdo de clorofila, estrutura do mesófilo e características da superfície da folha que influenciam a refletância foliar (GRANT, 1987).

A falta de informação sobre a quantidade de clorofila foliar comprometeu uma análise mais detalhada sobre a resposta espectral da forrageira *Braquiaria decumbens* sob diferentes doses de N.

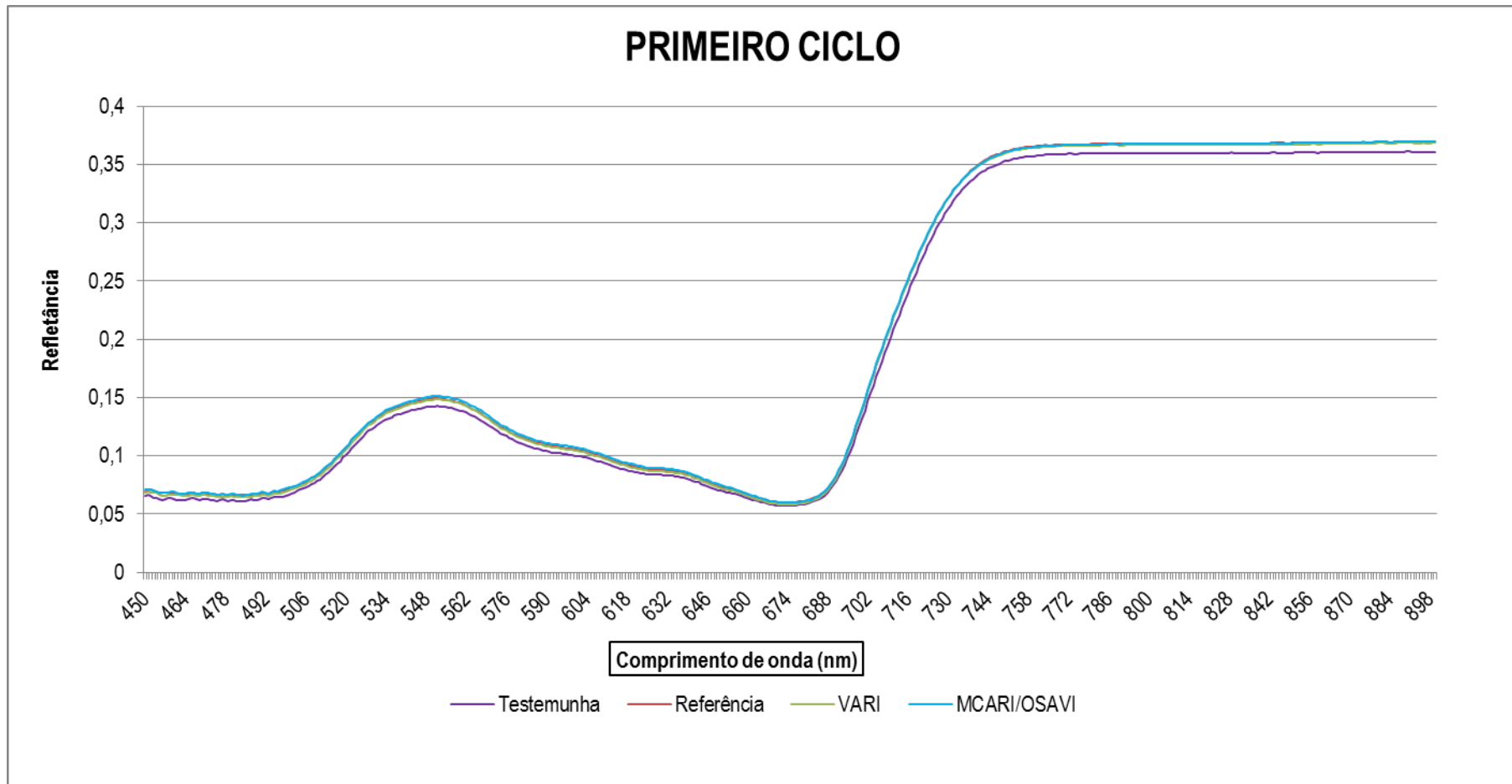


Figura 10: Resposta espectral da *Brachiaria decumbens* com 25 cm de altura, após rebrotação, de altura das plantas na parcela de referência (dose única de N) para todos os tratamentos no primeiro ciclo de manejo.

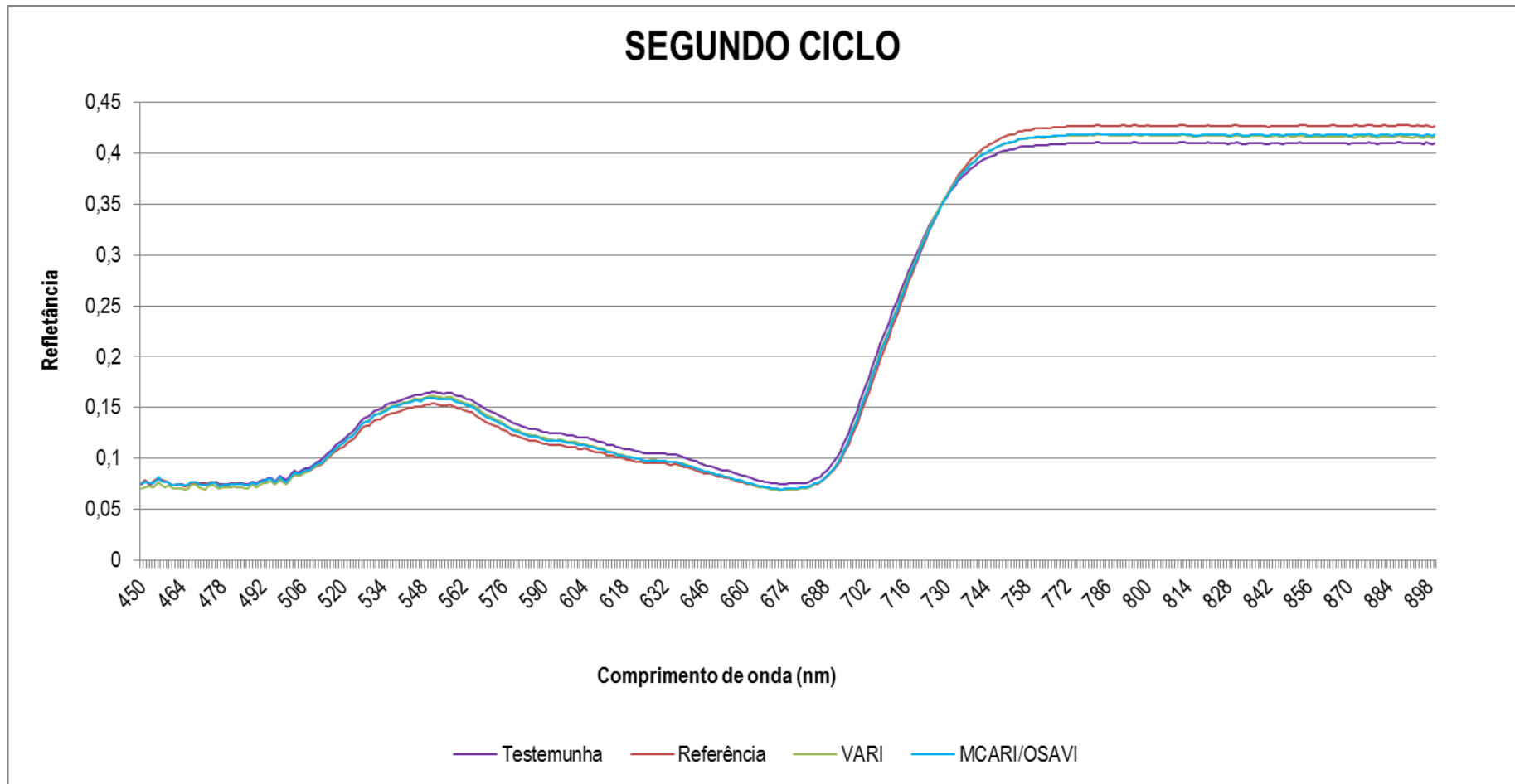


Figura 11: Resposta espectral da *Brachiaria decumbens* com 25 cm de altura, após rebrotação, de altura das plantas na parcela de referência (dose única de N) para todos os tratamentos no segundo ciclo de manejo.

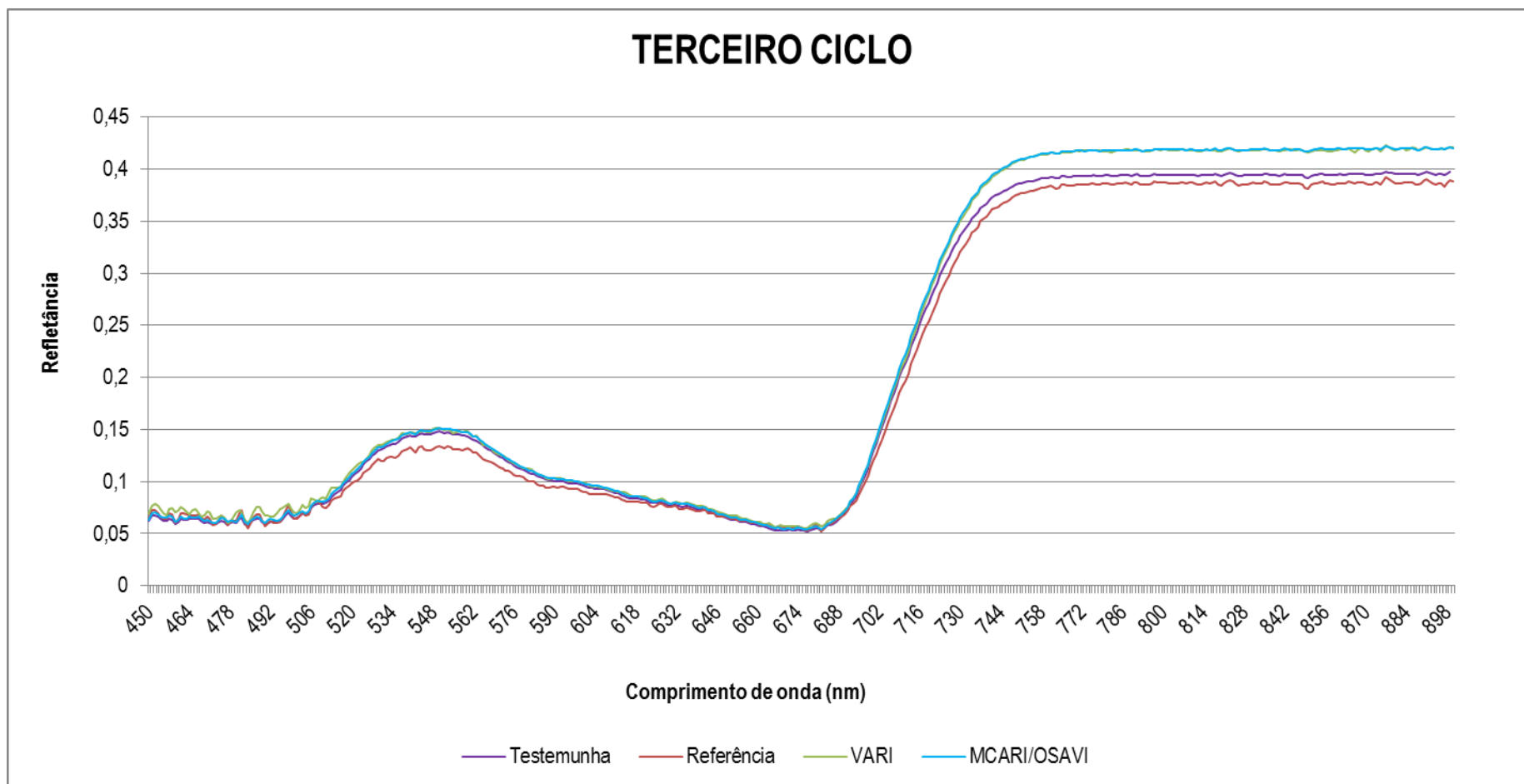


Figura 12: Resposta espectral da *Brachiaria decumbens* com 25 cm de altura, após rebrotação, de altura das plantas na parcela de referência (dose única de N) para todos os tratamentos no terceiro ciclo de manejo.

## 5. CONCLUSÕES

- A recomendação da adubação nitrogenada em dose variável se mostrou eficiente em relação à aplicação em dose única para a *Brachiaria decumbens*;
- Para leituras pontuais das variáveis espectrais, o clorofilômetro portátil se mostrou mais indicado que os índices de vegetação para recomendar adubação nitrogenada em pastagens de *Bachiaria decumbens*;
- O padrão espectral da *Bachiaria decumbens* colhida a 25 cm de altura no período de janeiro a abril em Viçosa-MG apresenta características de vegetação verde.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Foi utilizado neste trabalho o NSI, sendo que foi aplicado N quando esse foi inferior a 0,95. Poderia ser realizado trabalho para testar a viabilidade desse índice para indicar a necessidade de aplicação de adubo nitrogenado variando seu valor de cinco em cinco pontos percentuais, por exemplo, de 0,80 a 0,95, sendo testados neste intervalo quatro valores como referência para aplicar ou não o adubo.

As coletas pontuais das variáveis espectrais não incluem a densidade de vegetação quando é analisada a resposta espectral da cultura. Portanto, para realizar coletas da refletância no dossel pode ser mais interessante incluir a avaliação de IAF (Índice de área foliar), característica que é utilizada para estimar cobertura vegetal.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, S. A. **Resposta espectral do capim-tanzânia à adubação nitrogenada e densidades de plantio**. 2007. 83f. (Dissertação). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

ABRAHÃO, S. A. **Discriminação de classes de teores de nitrogênio e de clorofila foliares e de produtividade do feijoeiro usando sistema de sensoriamento remoto de baixo custo**. 2011. 86 f. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M. D.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência agrotécnica**, p. 1643-1651, 2003.

BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. J. Crop biomass evaluation using radiometric measurements. **Photogrammetria**, v. 43, n. 5, p. 241-256, 1989.

BASSO, B.; CAMMARANO, D.; GRACE, P. R.; CAFIERO, G.; SARTORI, L.; PISANTE, M.; LANDI, G.; FRANCHI, S. D.; BASSO, F. Criteria for Selecting Optimal Nitrogen Fertilizer Rates for Precision Agriculture. **Ital. J. Agron. / Riv. Agron.**, v. 4, p. 147-158, 2009.

BAUER, M. D. O.; PACHECO, L. P. A.; CHICHORRO, J. F.; VASCONCELOS, L. V.; PEREIRA, D. F. C. Produção e características estruturais de cinco forrageiras do gênero *brachiaria* sob intensidades de cortes intermitentes. **Ciência Animal Brasileira**, v. 12, n. 1, 2011.

BAUER, M. E.; VANDERBILT, V. C.; ROBINSON, B. F. Spectral properties of agriculture crops and soils measured from space, aerial, field and laboratory sensors. In: Congress of International Society of Photogrametry, 1980. Hamburg. **Proceedings...** Hamburg, 1980. p.56-73.

BOWMAN, W. D. The relationship between leaf water status, gas exchange, and spectral reflectance in cotton leaves. **Remote Sensing of Environment**, v. 30, p. 249-255, 1989.

BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; FERREIRA, G. B.; LIMA, R. D. L. S. D.; BELTRÃO, N. E. D. M.; SILVA, B. B. D. Predição da adubação nitrogenada através da utilização do índice *spad* para o algodoeiro no semi-árido. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 368-382, 2009.

CABEZAS, W. A. R. L. Manejo de gramíneas cultivadas em forma exclusiva e consorciada com *B. ruziziensis* e eficiência do nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 2, p. 130-145, 2011.

CAHN, M. D.; HUMMEL, J. W.; BROUER, B. H. spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 3, p. 1240-1248, 1994. .

CASTAGNARA, D. D.; ZOZ, T.; KRUTZMANN, A.; UHLEIN, A.; MESQUITA, E. E.; NERES, M. A.; OLIVEIRA, P. S. R. D. Produção de forragem, características estruturais e eficiência de utilização do nitrogênio em forrageiras tropicais sob adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1617-1648, 2011.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D. W.; MA, B. L.; SMITH, D. L. Inter-Relationships of Applied Nitrogen, Spad, and Yield of Leafy and Non-Leafy Maize Genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1173-1194, 2001.

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; DE COLSTOUN, E. B.; MCMURTREY III, J. E. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229-239, 2000.

DOBERMANN, A.; PING, J. L. Geostatistical Integration of Yield Monitor Data and Remote Sensing Improves Yield Maps. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 285-297, 2004.

DUFFERA, M.; WHITE, J. G.; WEISZ, R. Spatial variability of Southeastern U.S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. **Geoderma**, v. 137, n. 3-4, p. 327-339, 2007.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (Oryza Sativa L.)**. 2007. 150 f. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

FAGUNDES, J. L.; JUNIOR, D. D. N.; MISTURA, C.; MORAIS, R. V. D.; FONSECA, D. M. D.; VITOR, C. M. T.; REIS, G. D. C.; GOMIDE, J. A.; MARTUSCELLO, J. A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 397-403, 2005.

FILHO, M. P. B.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, 2008.

FRANCIS, D. D.; PIEKIELEK, W. P. **Assessing Crop Nitrogen Needs with Chlorophyll Meters**. SSMG-12: 4 p. 1999.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76-87, 2002.

GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T. J.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophys. Res. Lett.**, v. 30, n. 5, p. 1248, 2003.

GOLFARI, L. **Zoneamento Ecológico do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado: 1975. 65p.

GRANT, L. Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 22, n. 2, p. 309-322, 1987.

GUILHERME, L. R. G.; VALE, F. R.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: Esal; Faepe: 1995. 171 p.

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

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal**, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>>. Acesso em: 15 de junho de 2012.

JÚNIOR, M. C. D. S.; PINTO, F. D. A. D. C.; FONSECA, D. M. D.; QUEIROZ, D. M. D.; MACIEL, B. F. Detecção do efeito da adubação nitrogenada em *Brachiaria decumbens* Stapf. utilizando um sistema de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 3, p. 411-419, 2008.

KIM, M. S.; DAUGHTRY, C. S. T.; CHAPPELLE, E. W.; MCMURTREY III, J. E. The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (Apar). **Proceedings of the 6th Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing**, p. 299-306, 1994.

KNIPLING, E. B. Physical and Physiological Basis for the Reflectance of Visible and Near-Infrared Radiation from Vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 1, p. 155-159, 1970.

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**. 2006. 129 f. (Mestrado em Mecanização Agrícola). Engenharia Agrícola, Universidade Federal e Santa Maria, Santa Maria.

LEE, W. S.; ALCHANATIS, V.; YANG, C.; HIRAFUJI, M.; MOSHOU, D.; LI, C. Sensing technologies for precision specialty crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 1, p. 2-33, 2010.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande - MS, 2007: Editora UNIDERP, 2007.

MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF, 2001: Editora Universidade de Brasília-UnB, 2001. 261 p.

MINOLTA. **Clorofilômetro SPAD-502 Manual de Instruções**. Minolta, Osaka, Japan: Minolta Camera Co. Ltd.: 22 p. 1989.

MOREIRA, L. M.; SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A.; MORAIS, R. V.; MISTURA, C. Produção animal em pastagem de capim-braquiária adubada com

nitrogênio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 4, p. 914-921, 2011.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

MOTA, V. J. G.; REIS, S. T. D.; SALES, E. C. J. D.; JÚNIOR, V. R. R.; OLIVEIRA, F. G. D.; WALKER, S. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1191-1199, 2010.

MUTANGA, O.; SKIDMORE, A. K.; VAN WIEREN, S. Discriminating tropical grass (*Cenchrus ciliaris*) canopies grown under different nitrogen treatments using spectroradiometry. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 263-272, 2003.

NASCIMENTO, M. C.; RIVA, R. D. D.; CHAGAS, C. D. S.; OLIVEIRA, H. D.; DIAS, L. E.; FILHO, E. I. F.; SOARES, V. P. Uso de imagens do sensor ASTER na identificação de níveis de degradação em pastagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 196-202, 2005.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blucher: 2010. 387 p.

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

ORTIZ, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. 2003. 205 f. (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R. e NETTO, J. D. S. M. (Ed.). **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília-DF: Editora Universidade de Brasília-UnB, 2001.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa - MG: 1999. 359p.

RIPPLE, W. J. Relationships of spectral reflectance to leaf water stress. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 10, p. 1669-1675, 1986.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, n. 2, p. 95-107, 1996.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the Third ERTS Symposium, 1974. Washington DC. p.309-317.

SCHEPERS, J. S.; BLACKMER, T.; VARVEL, G. E.; WALTER-SHEA, E. A. Nitrogen Deficiency Detection Using Reflected Shortwave Radiation from Irrigated Corn Canopies. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 1, 1996.

SINGH, P. K.; PARRY, F. A.; PARVEEN, K.; NARAYAN, S.; AMIN, A.; VAIDYA, A. PRECISION FARMING AND ITS ROLE IN VEGETABLE PRODUCTION. **International Journal of Current Research**, v. 3, n. 4, p. 74-81, 2011.

SOLARI, F. **Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields**. 2006. 157p (PhD). University of Nebraska, Lincoln

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

TUMBO, S. D.; WAGNER, D. G.; HEINEMANN, P. H. Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. **Transactions of the ASAE**, v. 45, n. 3, p. 815-823, 2002.

USDA. United States Department of Agriculture. **Livestock and products semi-annual, 2012**. Disponível em: [http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Livestock%20and%20Products%20Semi-annual\\_Brasilia\\_Brazil\\_1-3-2012.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Livestock%20and%20Products%20Semi-annual_Brasilia_Brazil_1-3-2012.pdf). Acesso em: 15 de junho de 2012.

VIANA, M. C. M.; FREIRE, F. M.; FERREIRA, J. J.; MACÊDO, G. A. R.; CANTARUTTI, R. B.; TABIM, M. H.; MASCARENHAS. Adubação nitrogenada na produção e composição química do capim-braquiária sob pastejo rotacionado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1497-1503, 2011.

VITOR, C. M. T.; FONSECA, D. M. D.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; JÚNIOR, D. D. N.; JÚNIOR, J. I. R. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 435-442, 2009.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v. 43, n. 177-192, 1992.

ZHAO, D.; REDDY, K. R.; KAHANI, V. G.; REDDY, V. R. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. **European Journal of Agronomy**, v. 22, p. 391-403, 2005.