

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE ENGENHARIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO**

**Uso de imagens multiespectrais de baixo  
custo para classificar níveis de N aplicados  
ao solo em Agricultura de Precisão**

**Ramon de Souza Victorino da Silva**

**2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**USO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS DE BAIXO CUSTO PARA**  
**CLASSIFICAR NÍVEIS DE N APLICADOS AO SOLO EM**  
**AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**RAMON DE SOUZA VICTORINO DA SILVA**

**Orientador:**

**Dr. Carlos Alberto Alves Varella**

**Co-orientador:**

**Dr. Rafael Coll Delgado**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de Concentração em Sistemas Agrícolas.

**Seropédica, RJ**

**Fevereiro de 2016**

553.93

S586u

T

Silva, Ramon de Souza Victorino da, 1985-  
Uso de imagens multiespectrais de baixo  
custo para classificar níveis de N  
aplicados ao solo em agricultura de  
precisão / Ramon de Souza Victorino da Silva  
- 2016.

56 f.: il.

Orientador: Carlos Alberto Alves  
Varella.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e  
Ambiental.

Bibliografia: f. 53.

1. Nitrogênio - Teses. 2. Solos - Teor  
de nitrogênio - Teses. 3. Pastagens -  
Teses. 4. Engenharia ambiental - Teses. I.  
Varella, Carlos Alberto Alves, 1955-. II.  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola e Ambiental. III.  
Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL



**PGEAAmb**  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Agrícola e Ambiental

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos dezoito dias do mês de fevereiro de dois mil e dezesseis, às 14 horas, no Auditório do Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, reuniu-se a Banca Examinadora designada na forma regimental pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental - PGEAAmb, para julgar a Dissertação de Mestrado intitulada "Uso de imagens multiespectrais de baixo custo para classificar níveis de N aplicados ao solo em Agricultura de Precisão", apresentada pelo candidato **Ramon de Souza Victorino da Silva**, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciências – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental. Aberta a sessão pública, o candidato expôs o trabalho e, em seguida, foi arguido oralmente pelos membros da Banca, que após deliberação, decidiu pela:

Aprovação


Reprovação

Nos termos do Regulamento Geral dos Cursos de Pós-Graduação desta Universidade, foi lavrada a presente Ata, lida e julgada, e em seguida assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo candidato e pela Coordenadora do Programa, em ciência do evento.

Banca Examinadora:

  
Prof. Carlos Alberto Alves Varella, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Orientador

  
Prof. Everaldo Zonta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

  
Prof. Francisco de Assis de Carvalho Pinto, Universidade Federal de Viçosa

Candidato:

  
Ramon de Souza Victorino da Silva

Coordenadora do PGEAAmb:

  
Prof.ª Camila Ferreira de Pinho, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

**Prof.ª Camila Ferreira de Pinho**  
Coordenadora do Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola e Ambiental  
IT / UFRRJ

Aos meus pais  
Ramiro Pereira da Silva  
e  
Marcia de Souza Victorino

*“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”*

*Ayrton Senna*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai, pela dedicação e ajuda na instalação do experimento em campo.

A minha noiva Bruna Gonçalves pela dedicação, orientação e apoio nas atividades prestadas em campo neste projeto.

Aos Professores Carlos Alberto Alves Varella e Rafael Coll Delgado, pela orientação e comprometimento ao projeto, acima de tudo pela amizade.

Aos meus grandes amigos Professores Romulo Cardoso Valadão e Marcos Gervasio Pereira pelo apoio nas atividades de pesquisa e colaborações técnicas.

Ao ex-coordenador do Programa de Pós-Graduação Engenharia Agrícola e Ambiental, Professor Leonardo Duarte Batista, pela incentivo, motivação e comprometimento na realização do programa em nossa universidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

A Empresa Feno Rio Agro LTDA pelo apoio, disponibilização e financiamento deste projeto.

Aos estagiários Ana Paula da Silva e Mateus Palheta, pelo apoio na coleta de dados em campo e aos meus amigos Jaqueline Kalaoum , Professores Conan Salvador, Alexandre Lioi, Everaldo Zonta, Clemente e Francisco de Assis, pela colaboração e discussões técnicas.

## RESUMO

SILVA, Ramon de Souza Victorino, UFRRJ, 2016. **Uso de imagens multiespectrais de baixo custo para classificar níveis de N aplicados ao solo em Agricultura de Precisão**  
Orientador: Carlos Alberto Alves Varella. Conselheiros: Rafael Coll Delgado, Everaldo Zonta e Marcos Pereira Gervásio

O objetivo geral deste projeto foi desenvolver um classificador estatístico com base em algoritmos utilizando o teorema bayesiano para predição de doses de nitrogênio aplicadas ao solo, através de imagens multiespectrais de baixo custo em pastagens de Tifton85. A partir de informações obtidas nessas imagens foram calculados os índices espectrais, os quais foram utilizados em um vetor de características para discriminar níveis de N aplicados ao solo. A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia, Área de Máquinas e Energia na Agricultura. Os dados foram obtidos de um experimento instalado no campo de produção da Empresa Feno Rio Agro LTDA, parceira do projeto. As imagens foram adquiridas em 2 momentos uma após 36 dias decorrentes ao corte de uniformização da cultura utilizando um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) e aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56 dias utilizando uma plataforma de captação de imagens de um experimento com 6 parcelas contendo respectivamente os tratamentos (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N), as análises estatísticas foram realizadas no programa computacional SAS versão estudante, utilizando o procedimento PROC DISCRIM. Determinou-se funções discriminantes para cada dose de nitrogênio, utilizando-se como vetores de características os índices de vegetação (NDVI, GNIR, SAVI, GNDVI, RNIR). Essas funções discriminantes foram testadas em um classificador bayesiano, sendo que a maior acurácia de classificação foi utilizando os índices de vegetação em conjunto obtendo um coeficiente Kappa e a exatidão global de 83% e 80%, respectivamente. Os resultados indicam que imagens multiespectrais de baixo custo podem ser utilizadas para desenvolver classificadores de doses de nitrogênio aplicadas ao solo. Esses classificadores poderão ser aplicados em algoritmos computacionais em sistemas de controle de máquinas agrícolas para aplicação de fertilizantes a taxas variáveis em agricultura de precisão.

## ABSTRACT

SILVA, Ramon de Souza Victorino, Low-cost multispectral images used to sort N levels applied to the soil in Precision Agriculture. Advisor: Carlos Alberto Alves Varella. Directors: Rafael Coll Delgado, Everaldo Zonta and Marcos Pereira Gervasio; Instituto de Agronomia, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2016.

The aim of this project was to develop a statistical classifier based on algorithms using Bayesian theorem for prediction of nitrogen applied to the soil using low cost multispectral images Tifton85 pastures. From information obtained from these images the indexes were calculated spectrum, which was used in a feature vector for discriminating N levels applied to the soil. The research was developed in the Rural Federal University of Rio de Janeiro, Department of Engineering, Machinery Area and Energy in Agriculture. The data were obtained from an experiment installed in the production area of Company Feno Rio Agro LTDA, partner in the project. Images were acquired in 2 times one after 36 days due to the cutting standardization of culture using a UAV (Unmanned Aerial Vehicle) and at 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56 days using an imaging platform an experiment with 6 portions 250m<sup>2</sup> (10x25m) containing respectively the treatments (0, 50, 100, 150, 200 and 250 kg ha<sup>-1</sup> N), statistical analyzes were performed the computer program SAS version student using PROCDISCRIM procedure. It was determined discriminant functions for each dose of nitrogen, using as feature vectors vegetation indices (NDVI, GNIR, SAVI, GNDVI, RNIR). These discriminant functions were tested in a Bayesian classifier, and the highest accuracies were using vegetation indices together getting a Kappa coefficient and overall accuracy of 83% and 80%, respectively. The results indicate that low cost multispectral images can be used to develop classifiers of nitrogen applied to the soil. These binders may be applied in computational algorithms in agricultural machinery control systems for fertilizer application at variable rates in precision agriculture.



# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	10
1.1 Tifton 85 ( <i>C. DACTYLON</i> ) .....	10
1.2 Adubação Nitrogenada.....	11
1.3 Métodos de avaliação do N foliar .....	12
1.4 Agricultura de Precisão .....	13
1.5 Sensoriamento Remoto .....	15
1.6 Índices de Vegetação .....	15
<b>2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	16
<b>CAPÍTULO I. CLASSIFICADOR DE NÍVEIS DE N APLICADOS AO SOLO UTILIZANDO IMAGENS DE BAIXO CUSTO EM PASTAGENS DE TIFTON 85</b> .....	24
RESUMO .....	25
1. INTRODUÇÃO .....	26
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	26
2.1 Aquisição das imagens .....	27
2.2 Extração do vetor de características .....	27
2.3 Desenvolvimento do classificador .....	28
2.4 Treinamento e acurácia do classificador .....	29
2. RESULTADOS E DISCUSÃO .....	30
2.5 Aquisição de imagens .....	30
2.6 Extração do vetor de características .....	31
2.7 Desenvolvimento do classificador .....	31
2.8 Treinamento e acurácia do classificador .....	32
3. CONCLUSÕES .....	33
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
<b>CAPÍTULO II. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO CLASSIFICADOR PARA DOSES DE N APLICADOS AO SOLO EM PASTAGENS DE TIFTON85</b> .....	37

RESUMO .....	38
1. INTRODUÇÃO .....	39
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	39
3.1 Aquisição de imagens .....	39
3.2 Obtenção dos vetores de características .....	40
3.3 Determinação do N foliar .....	41
3.4 Desenvolvimento e acurácia do classificador .....	41
4. RESULTADOS E DISCUSÃO .....	43
4.1 Aquisição das imagens .....	43
4.2 Obtenção dos índices de vegetação .....	43
4.3 Determinação do N foliar .....	44
4.4 Desenvolvimento e acurácia do classificador .....	45
5. CONCLUSÕES .....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>51</b>

## INTRODUÇÃO

A degradação de pastagens ao longo dos anos é um fato preocupante entre os produtores, seja este devido ao manejo inadequado do sistema. A carência de uma adubação nitrogenada adequada resulta numa queda ao longo dos anos da capacidade suporte deste sistema e do acúmulo de matéria seca, sendo assim uma queda no ganho do peso vivo dos animais. A agricultura de precisão é uma nova tecnologia para manejo de sistemas agrícolas com base em informações georeferenciadas. Agricultura de precisão, segundo Saraiva & Cugnasca (1998), é um novo paradigma de gerenciamento agrícola, que se baseia no conhecimento e na consideração da variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção e da própria produtividade. Pode ser considerada como a habilidade em se monitorar e acessar a atividade agrícola em nível local, com o objetivo de aumentar a eficiência do processo produtivo (QUEIROZ et al., 2000). De acordo com Tschiedel & Ferreira (2002), a agricultura de precisão pode ser considerada como um amplo conceito, englobando tecnologias e novos conhecimentos de informática, eletrônica, geoprocessamento, entre outros. Este conceito incorpora um grande número de conhecimentos científicos e alta tecnologia, apresentando ao produtor novos termos, conceitos e equipamentos.

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver e analisar um classificador estatístico com base em algoritmos estatísticos utilizando o teorema bayesianos para predição de doses de nitrogênio aplicadas ao solo, utilizando imagens multiespectrais de baixo custo na cultura em pastagens de Tifton85.

Esta dissertação foi redigida na forma de dois artigos científicos. No primeiro artigo avaliou-se a utilização de variáveis canônicas e índices de vegetação isoladas para estimar a predição de doses de nitrogênio aplicadas ao solo utilizando um sistema de baixo custo instalado em um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). No segundo artigo avaliou-se diferentes épocas para predição de doses de nitrogênio aplicadas ao solo através das variáveis canônicas, utilizando como vetores de características uma plataforma de aquisição de imagens instalada ao solo.

## 1. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1. Tifton 85 (*C. DACTYLON*)

O híbrido Tifton 85, utilizado neste projeto, é uma cultivar perene, resultado do cruzamento do Tifton 68 com uma introdução de *C. dactylon* (PI 290884), proveniente da África do Sul, considerado bem adaptado às regiões tropicais e subtropicais, sendo tolerante a baixas temperaturas e à seca (ALVIM et al., 1998), assim como parte das plantas do grupo C4, tendo uma melhor capacidade fotossintética mais eficiente em comparação com o grupo C3.

Sendo amplamente utilizado em pastagens para alimentar bovinos e equinos é considerada uma forrageira produtora de muitos estolões com alta propagação, planta rizomatosa e com alta produtividade, destacando-se por ser uma das melhores forrageiras para produção de matéria seca e alta digestibilidade.

Segundo Hill et al. (2001), o Tifton 85 foi desenvolvido para possuir alta produtividade, alta qualidade de forragem ao gado de pastagem e para produção de feno. A qualidade, persistência e valor alimentar desta forrageira tem sido questionada, mas as experiências realizadas desde 1988 indicaram poucos problemas com esta forrageira, além de possuir uma capacidade notável de responder a fertilização nitrogenada após o seu ano de estabelecimento.

De acordo com Fonseca (2006), o capim híbrido Tifton 85 (*Cynodon dactylon Pers. X C. niemfuensis Vanderyst*) se destaca entre as cultivares de pastagens em função de suas

características: (i) alta qualidade no potencial produtivo e elevado potencial para produção de feno (HILL et al., 1993; ALVIM et al., 1999); (ii) elevada resposta a adubação à adubação nitrogenada, sendo essa diretamente ligado ao potencial de água no solo ( MARCELINO et al, 2003); (iii) altas taxas de captação de retenção de água e nutrientes; (iv) alta tolerância à salinidade e à sodicidade dos solos (GRATTAN et al., 2004).

As gramíneas no geral aumentam sua produtividade quando irrigadas Segundo Benedetti et al.(2001), pastagens com capim Tanzânia cultivados sobre irrigação, com sistema de manejo com cortes realizados a cada 30 dias na época chuvosa, obteve produtividade de 5,7 t. ha<sup>-1</sup> de massa verde, nos períodos de época seca a produtividade observada foi de 2,9 t. ha<sup>-1</sup>. Segundo Salisbury & Ross (1974), em gramíneas como o Tifton 85 a importância da água está correlacionada aos processos fotossintéticos, nas condições de estresse por déficit hídrico ocorre uma menor disponibilidade de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese limitando os processos de alongamento celular. A adaptação da planta em condições de estresse hídrico, promove detrimento da parte aérea em prol do sistema radicular, promovendo a capacidade de competição por luz, devido a redução da área foliar, ocorrendo uma queda de produção da planta. (NABINGER,1997).

## 1.2. Adubação Nitrogenada

O nitrogênio faz parte do conjunto dos elementos principais do processo de crescimento das plantas, sendo nas folhas sua assimilação na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e reduzido a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> através da enzima nitrato redutase. Nos sistemas radiculares e em outros tecidos da planta, ocorre a redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, tendo a assimilação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dependente do metabolismo de fotoassimilados presentes nas folhas. Tendo o processo de assimilação concluído, o N absorvido será translocado para os meristemas terminais (folhas emergentes, folhas em expansão e raízes) e armazenado nas estruturas de reserva (raiz).

De acordo com Malavolta (1997), a absorção de N, induz o aumento da área foliar, ocorrendo assim a curvatura das folhas sendo ampliada de modo a interferir na incidência de raios luminosos, deste modo a uma interferência na produção de gemas vegetativas, produção de ramos e na capacidade de produção das culturas. O aumento de N eleva a respiração, ocorrendo um aumento na fonte de energia do sistema, causando um déficit no acúmulo de matéria seca. Segundo Beadle (1993), o manejo do cultivo está subsidiado ao conhecimento da partição e alocação de fotoassimilados, tendo como objetivo a produtividade.

De acordo com Taiz & Zeiger (2004), o N integra a estrutura molecular das plantas e atua na etapa das reações de síntese de pigmentos, como a clorofila a e b responsáveis pela eficiência fotossintética das plantas, tendo a conversão da radiação luminosa em energia. O teor de clorofila está associado com a concentração de N foliar, sendo 70% do N presente nas folhas estão nos cloroplastos, responsável pelas reações de fotossíntese da planta, atuando na síntese e na estrutura das moléculas de clorofila (WOOD et al.,1993; BLACKMER & SCHEPPERS, 1995; GIL et al., 2002) O uso dos fotoassimilados por parte dos meristemas foliares, pode limitar a biomassa vegetal. (LEMAIRE & AGNUSDEI,1999). As plantas C4 são mais eficientes nas reações de fotossíntese em que as plantas C3, devido a saturação das plantas C3 em intensidades luminosas mais baixas que espécies C4.

As plantas C4 utilizam menos a enzima Rubisco, responsável pela fixação de CO<sub>2</sub>, quando comparadas as plantas C3, por gastar menos energia (ATP) neste processo de fixação, se tornam mais eficientes na utilização do nitrogênio, apresentando menores concentrações de N foliar em plantas C3 quando comparadas as plantas C4.

O N aplicado na solução do solo, está submetido a perdas por lixiviação, volatilização (CARVALHO & SARAIVA,1987). Corsi & Nussio (1993) citam que o efeito da eficiência do uso do N e as respostas em termos de produção somente ocorrerão quando há um equilíbrio na

solução do solo, ocorrendo um gradiente favorável aos processos de absorção por parte da planta. O rendimento da produtividade é limitado pela ausência de qualquer um dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento dos vegetais na solução do solo, posto que todos os demais estejam disponíveis em quantidades adequadas (LIEBIG, 1842).

RIBEIRO & PEREIRA (2010); observaram que o NC (nitrogênio contido) no tecido foliar da planta, aumenta à medida que há um aumento no incremento de N disponível a planta influenciando nos teores de proteína bruta, ocorrendo uma melhora na digestibilidade em vitro do teor de matéria seca (DIVMS), promovendo um aumento na participação da matéria seca das folhas na matéria seca total da planta. Esta aplicação promove um acúmulo de tecidos fibrosos, elevando o potencial destes na matéria seca das plantas (CECATO et al., 2001).

Segundo Whitehead & Raistrick(1993), o N influencia tanto na produção de forragem, quanto no alongamento do tamanho foliar individual como no dossel. Favoretto et al.(1988), constataram um aumento significativo da produção de MS, quando se elevou os níveis de N presentes na solução do solo, aplicando as doses de 0, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em capim colômbio, sendo avaliado durante o verão (novembro a março).

Herling et al. (2000) citam a adubação nitrogenada adequada em espécies de *Panicum maximum*, podem alcançar produções de MS acima de 50 t MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Utilizando aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup>, obtiveram 24,3 t ha<sup>-1</sup> no verão e 7,4 t ha<sup>-1</sup> no inverno. Sisti et al. (1999), utilizando a mesma dose de adubação nitrogenada, obtiveram 23,8 t ha<sup>-1</sup> no verão e 4,9 t ha<sup>-1</sup> no inverno, sendo observada na produção de MS do capim Mombaça.

De acordo com Soria (2002), doses de N superiores a 756 kg ha<sup>-1</sup> ano não produzem efeitos crescentes sobre a produção de M.S.O autor ressalta a relação entre o preço de compra e o teor do nutriente deve ser o fator preponderante para aquisição do fertilizante nitrogenado em adubação de pastagens. Vicente-Chandler et al. (1961) afirmaram que doses de nitrogênio superiores a 600 kg ha<sup>-1</sup> ano provocam a diminuição na quantidade do nutriente recuperado pela planta, ocorre uma maior desnitrificação do nutriente, assim como a indução de toxidez na planta provocado pelo excesso de N. A adubação nitrogenada em pastagens no Brasil, devido ao custo elevado da adubação, é restrita a campos destinados a produção de feno ou pastagens em sistemas intensivos de pastejo rotativo, realizando adubações de 150 a 250 kg N ha<sup>-1</sup> (MARTINS & FONSECA,1998).

A vital necessária importância do monitoramento da dosagem adequada de N na planta, diagnostica sua necessidade ou não do nutriente, apresentando melhorias no processo produtivo, como na maximização do manejo e lucros.

### 1.3. Métodos de avaliação do N foliar

A avaliação do estado nutricional da planta é a forma mais utilizada para determinar a necessidade de adubação. (MALAVOLTA et al., 1997). A determinação do nível nutricional de N nos vegetais, são preditas pelo teor de clorofila presente nas folhas, devido a correlação positiva do teor de N presente na planta com a quantidade deste pigmento. (BOOIJ et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; 2002; 2003). Os métodos de avaliação do teor de N foliar consistem nos métodos diretos e métodos indiretos, com base no índice relativo de clorofila e análise do tecido foliar. Os métodos diretos ou conhecidos como métodos clássicos, são métodos analíticos que consiste na utilização de solventes orgânicos, através de processos de digestão e titulação com ácido sulfúrico ocorrendo a destruição dos tecidos foliares para extração dos pigmentos de clorofila. Os métodos indiretos por clorofilômetro, utilizam feixes de luz em determinados comprimentos de onda, onde captam o teor do pigmento de clorofila sem que haja destruição do tecido foliar, sendo um método fácil e prático na obtenção de resultados.

Segundo Ritchie (2008) a variação das metodologias, associadas à extração dos pigmentos de clorofila utilizando os métodos diretos, estão associadas a fatores como: a pureza do grau de solvente utilizado na extração, dentre eles o ácido sulfúrico, atuando na elevada permeabilidade das membranas, permitindo uma maior solubilização mais eficiente das proteínas do material em análise (RONEN & GALUN, 1984); as equações utilizadas para o cálculo de concentração de clorofila (PORRA, 2005) e a temperatura e o tempo da incubação da amostragem (TAIT & HIK, 2003). Contudo são necessários ajustes da metodologia para extração de clorofila, no intuito de se obter a máxima eficiência da amostragem, tendo em vista que a abundâncias das moléculas variam de acordo com a espécie vegetal estudada. (BARBIERI et al, 2010; CRUZ et al., 2007).

O clorofilômetro trata-se de um sensor ativo que mede o índice de cor verde nas folhas, correlacionando com o teor de clorofila nos cloroplastos, estando associadas ao teor de nitrogênio das células do mesófilo (REIS et al. 2006). Sua operação consiste no método indireto, sendo capaz de estimar o índice relativo da clorofila foliar (IRC) (GODOY et al., 2008), sem que haja a destruição do tecido foliar, além de proporcionar leitura instantânea do material em análise e determinação de baixo custo, evitando gastos com solventes e análise laboratorial, como no caso do método direto. O clorofilômetro não detecta no material o consumo de luxo quando o N se acumula na folha na forma de nitrato não ocorrendo uma associação com os pigmentos fotossintetizantes como a clorofila, deste modo não sendo detectado pelo clorofilômetro.

Blackmer et al. (1993) observaram fatores que podem afetar a aferição da intensidade da cor verde da folha pelo medidor de clorofila, sendo estes a presença da disponibilidade de N foliar, a idade do material em amostra e teor de água na planta, densidade de plantas, cultivar, disponibilidade de outros nutrientes, fatores de estresse ambiental ou fatores biótipos.

A técnica do uso do clorofilômetro permite o manejo mais preciso da gestão da adubação nitrogenada em condições de campo (PETERSON et al., 1993; BULLOCK, 1994; MURDOCK et al., 1997; SHAPIRO et al., 2006; ROSTAMI et al., 2008). Em diversas pesquisas englobando várias culturas estudadas, o uso do clorofilômetro obteve resultados satisfatórios, sendo capaz de determinar o valor do teor de clorofila foliar para o monitoramento do nível de N, sendo elas o milho (GODOY et al., 2007; ZHANG et al., 2008a), café (GODOY et al., 2008), arroz (BULLOCK, 1994; THIND et al., 2010), e feijão (CARVALHO et al., 2003; SILVEIRA et al., 2003; SORATTO et al., 2004; SANT'ANA et al., 2010; MAIA, 2011).

#### **1.4. Agricultura de Precisão**

A agricultura de precisão tem como objetivo o monitoramento da atividade agrícola em pequenas subdivisões da área total (VARELLA et al., 2005). A agricultura de precisão permite a capacidade do monitoramento da atividade agrícola em um nível local (QUEIROZ et al., 2000). A potencialidade da agricultura de precisão, permite o manejo específico da produção agrícola, sendo ele considerado uma forma de manejo sustentável.

Segundo Mantovani et al. (1998), o manejo sustentável das técnicas de agricultura de precisão deve ser compreendido como um conjunto de atividades agrícolas, em que há uma minimização dos danos causados ao meio ambiente e sem prejuízos as reservas naturais. Deste modo a agricultura de precisão, compila a ideia de compromisso no uso da terra, para gerações futuras. O sistema de manejo sustentável provém algo mais além da manutenção dos índices de produtividade.

Os sistemas de manejo tradicionais, se tornam ineficiente no tratamento dos fatores de variabilidade que afetam a produção, deste modo os sistemas de manejo tradicionais tratam o sistema produtivo como um todo e não como uma unidade diferenciada de um sítio específico. Segundo Capelli (1999), os sistemas de manejo tradicionais promovem uma não uniformidade

no sistema de produção, visando a variabilidade produtiva de grandes áreas como homogênea e não a variabilidade de produtiva de um sítio específico, levando ao conceito da necessidade média para aplicação dos insumos, como por exemplo a mesma quantidade de fertilizante ou formulação seja utilizada para toda área, atendendo apenas as necessidades médias e não a necessidade específica de cada parte do campo.

A agricultura de precisão tem como principal conceito aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, de acordo com a tecnologia e os custos envolvidos (DOBERMANN, 2004).

Segundo Queiroz et al. (2000), os primeiros estudos sobre a agricultura de precisão iniciaram-se em 1929, em meados de 1980 surge o desenvolvimento de sensores, para doses combinadas, sendo estes sensores de taxas variáveis para aplicação de insumos. Na década de 90, com o desenvolvimento de sistemas de posicionamento global GPS e LPS, ocorreu uma expansão dos sistemas de manejo voltados à agricultura de precisão através do sensoriamento remoto, permitindo a localização com o máximo de exatidão, tornado os sistemas de manejos tradicionais cada vez mais ineficientes no tratamento da variabilidade agrícola (DAVIS et al., 1998)

Conforme Canzian et al. (1999), nos campos agrícolas ocorre variações como no tipo de solo, fertilidade e outros fatores que afetam a produção. Com o avanço dos sistemas de posicionamento global, as medições destas variabilidades do campo podem ser medidas e registradas mais precisamente, ocorrendo uma otimização das aplicações em cada ponto situado, podendo ser gerados mapas dos fatores de produção de uma determinada área.

Segundo Stafford (2000), a agricultura de precisão necessita de um grande número de informações que só será possível com os avanços obtidos no processamento computacional. Contudo, para acessar a variabilidade espacial são necessários um maior número de observações que no sistema convencional. Desta forma, uma das maiores dificuldades dessa nova tecnologia é a obtenção de dados, que devido a grande quantidade de observações necessárias, torna essa etapa do processo difícil e de alto custo. Uma das alternativas para estimar a variabilidade espacial tem sido a confecção de mapas de produtividade. Esses mapas são geralmente produzidos com dados obtidos por sensores instalados em colhedoras, que só apresentam o resultado após a colheita (VARELLA, 2004)

Segundo Antuniassi (1998), os princípios básicos de um sistema de agricultura de precisão estão no detalhamento pelo mapeamento dos fatores de produção e aplicação localizada de insumos. Com o avanço dos sistemas de informação e da alta tecnologia computacional, o mapeamento do sistema produtivo se tornou mais preciso e detalhado. A utilização de ferramentas com base na geoestatística possibilitou maior aferição dos dados coletados de um determinado sítio específico da área agrícola

A geoestatística é uma ferramenta para a representação da dependência espacial das amostragens, no qual através da Teoria das Variáveis Regionalizada analisa as variâncias entre as amostras de um determinado estudo de uma área, levando em conta a distância entre elas. (CLARK, 1979). A geoestatística utilizada no mapeamento dos fatores de produção, se torna uma ferramenta de vital importância na tomada de decisões do sistema de produção.

A agricultura de precisão é capaz de auxiliar na tomada de decisão, baseada nas estratégias de manejo adotadas com a finalidade de aumentar a eficiência no gerenciamento agrícola (FERRAZ et. al., 2012), tendo uma maior rentabilidade das colheitas.

Segundo Parkin & Blackmore (1999), a meta para gestão agrícola não pode ser somente maximizar o rendimento, mas a maximização da vantagem financeira dentro de uma série de fatores ambientais e financeiros. O sucesso da aplicação da agricultura de precisão depende de fatores como o entender agrônomo do sistema de produção administrado (REETZ & FIXEN, 1999).

## 1.5. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto consiste em uma ferramenta utilizada pela agricultura de precisão para auxiliar nas tomadas de decisões, sendo este um sistema capaz de aplicar medições em objetos sem o contato físico (LIU et al., 2010). Estas medições são feitas através de sensores que detectam modificações em seu campo eletromagnético.

Os sensores eletromagnéticos têm como função a medição de taxas energéticas de um objeto e sua interação com o meio ambiente no qual está situado. Esta aferição da medição do objeto tem como resultado final uma imagem contida os dados desta variação das taxas energéticas, ou seja, através de uma imagem podemos obter a análise da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo objeto em diversas faixas espectrais. Em vegetações, os sensores medem diferentes percentuais de reflectância de uma luz solar emitido pelas folhas do dossel da cultura em estudo.

O resultado da medição do objeto é um conjunto de pixel, que formam a imagem, sendo pixel uma unidade mínima da superfície detectada pelo sensor. A imagem é composta por um sistema bidimensional baseado em linhas e colunas, contendo coordenadas X e Y. Este grid de linhas e colunas formam o raster da imagem, onde em cada pixel estão contidos os valores radiométricos da superfície medida pelo sensor, em diferentes comprimentos de onda. Esta imagem obtida pelo sensor é definida como uma representação matricial dos elementos detectados pelo sensor.

Segundo Lee et al. (2010) e Thind et al. (2010), técnicas de sensoriamento remoto auxiliam na obtenção de dados quando estão relacionados ao vigor da vegetação e atributos físico-químicos do solo. Através de medições de reflectância de dosséis e reflectância dos solos, sendo este aferidas por sensores contidos em plataformas aéreas, plataformas orbitais ou plataformas terrestres.

Estudo comparativo de aferição da reflectância da luz solar, sobre folhas em dosséis de culturas, tem apresentado elevadas correlações com os critérios biofísicos da cultura como identificação de pragas, detecção déficit hídrico na cultura, determinação de índice de produtividade e déficit de nutrientes (AHAMED et al., 2011; MULLA, 2012). Deste modo, o dossel vegetativo se caracteriza pelos componentes que a compõe, na organização e sua estrutura que afetam diretamente as interações com a radiação solar (ASSUNÇÃO, 1989; COLWELL, 1974).

Carvalho Junior et al. (2008) realizaram um estudo de mapeamento na Floresta Atlântica da Serra dos Órgãos-RJ, utilizando técnicas de sensoriamento remoto para identificação de espécies vegetais e determinação de classe delimitadas como, agropecuária, Campos de Altitude, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Floresta Secundária e áreas sem vegetação.

Delgado R. C. et al. (2012) analisaram um classificador para arvore de decisões em dados de sensores orbitais para identificação de área plantada com cana-de açúcar, em diferentes épocas de plantio. Este estudo permitiu uma análise temporal do uso e ocupação do solo para o monitoramento de áreas agrícolas, utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

## 1.6. Índices de Vegetação

Segundo Abrahão et al. (2009), a agricultura de precisão utiliza técnicas do sensoriamento remoto, onde imagens são transformadas em índices de vegetação, que estão correlacionados com variáveis agrônômicas, tais como fertilidade do solo, pragas, doenças e produtividade.

Os índices de vegetação têm sido amplamente utilizados na área de sensoriamento remoto no intuito de reduzir a diferença de brilho, em materiais idênticos, causados por



diferenças na topografia do terreno, sombras ou mudanças sazonais no ângulo e intensidade da iluminação solar. Além disso, permitem realçar características de interesse e reduzir o número de bandas necessárias à interpretação, concentrando a informação (JENSEN, 2009).

Índices vegetativos da diferença normalizada baseados na reflectância referente à faixa do vermelho (NDVI) ou verde (GNDVI) do espectro, são frequentemente utilizadas para a análise do teor nutricional das plantas, bem como a sua produtividade e qualidade (MOGES et al., 2004). Segundo os mesmos autores, em um experimento no qual se avaliou a biomassa, o teor de nitrogênio foliar e a produtividade na cultura do trigo de inverno, constatou-se que para cada estágio de crescimento o NDVI e o GNDVI apresentaram-se maiores coeficientes de correlação com o índice de nitrogênio do que com o acúmulo de biomassa, concluindo assim que nenhum índice tem uma maior vantagem sobre o outro.

Diversos pesquisadores têm concluído que os índices de vegetação têm correlação com a produtividade (BLACKMER et al., 1996; STONE et al., 1996; DIKER et al., 2001). Contudo, estes estudos têm sido realizados no campo da estatística univariada, isto é, cada índice de vegetação tem sido correlacionado isoladamente com a produtividade, e um dos maiores problemas encontrados tem sido a influência do solo na reflectância do dossel das culturas. Devido isso, vários índices têm sido desenvolvidos com o objetivo de minimizar essa influência, tais como Índice de Vegetação Ajustado do Solo (SAVI), proposto por HUETE (1988); SAVI modificado, proposto por QI et al. (1994); SAVI otimizado, proposto por RONDEAUX et al. (1996).

Varella et al. (2005) testaram um classificador estatístico para o mapeamento da produtividade do milho, através de dados de índices de vegetação extraídos de imagens aéreas digitais. Como resultado, indicaram que, através de um teste de coeficiente Kappa do classificador acima de 79% das áreas estudadas, as imagens aéreas digitais podem ser utilizadas para o mapeamento da produtividade das culturas do milho.

Em um modelo experimental, Hill et al. (2004), mostraram que a composição de imagens pode estimar a taxa média de crescimento e também pode fornecer uma variabilidade espacial do potencial de crescimento da cultura. Os autores obtiveram correlações significativas entre índices determinados e observados na taxa de crescimento de forragens em fazendas na

zona agrícola da Austrália, tendo valores  $R^2$  de 0,67, 0,75 e 0,70.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, S. A. et al. **Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n. 9, p. 1637–1644, 2009.

AHAMED, T.; TIAN, L.; ZHANG, Y.; TING, K. C. **A review of remote sensing methods for biomass feedstock production.** Biomass and Bioenergy, V. 35, n. 7, p. 2455-2469, 2011. Doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.028

ALVIM, M. J., XAVIER, D. F., BOTRELI, M. & MARTINS, C. E. **Resposta do coast-cross (Cynodon dactylon (L.) Pers.) a Diferentes Doses de Nitrogênio e Intervalos de Cortes.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.27(5), pp. p.833-840, 1998.

ANTUNIASSI, U.R. **Agricultura de precisão: aplicação localizada de agrotóxicos.** In: GUEDES, J.V.C.; DORNELES, S.H.B. (Org.) Tecnologia e segurança na aplicação dos

agrotóxicos - novas tecnologias. Santa Maria: Departamento de Defesa Fitossanitária; Sociedade de Agronomia de Santa Maria, p.53-63, 1998.

ARGENTA, G. et al. **Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, p. 109-119, 2003.

ARGENTA, G. et al. **Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 37, p. 519-27, 2002.

ARGENTA, 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, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001.

ASSUNÇÃO, G.V. **Sensoriamento remoto na Agricultura: Conceitos básicos, metodologia e aplicações.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE (INPE -4806-MD/39), São José dos Campos, abril de 1989.

BARBIERI, J. et al. **Comparação de métodos diretos de extração e quantificação dos teores de clorofilas em folhas do capim Tifton85,** Ciência Rural, Vol.40(3), pp.633-636, 2010.

BEADLE, C. L. Growth analysis. In: HALL, D.O.; BOLHARNORDENKAMPF, H.F.; LEEGOOD, R.C. (Eds.) **Photosynthesis and production in a changing environment.** London: Pergamon Prees. p.36-45, 1993.

BENEDETTI, E.; COLMANETTI, A. L.; DEMÉTRIO, R.A. **Produção e composição bromatológica do capim Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia irrigado em solo de cerrado.** Veterinária Notícias, Uberlândia, v.7, n.2, p.123-128, 2001.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VIGIL, M. F. **Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing.** Communications in Soil Science & Plant Analysis, v. 24, n. 17-18, p. 2507-2516, 1993.

BLACKMER T.M.; SCHEPERS, J. S.; 1995. **Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn.** Journal of Production Agriculture 8 (1): 56-60, Jan./Mar.1995

BLACKMER, T. M. et al. **Analysis of aerial photography for nitrogen stress within corn fields.** Agronomy Journal, v. 88, n. 5, p. 729-733, 1996.

BOOIJ, R.; VALENZUELA, J. L.; AGUILERA, C. **Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods.** In: HAVERKORT, A. J.; MACKERRON, D. K. L. (Eds.). Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen: Wageningen Pers, p. 72-82, 2000.

BULLOCK, D. **Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for on-farm N management of corn in Illinois.** In: ILLINOIS FERTILIZER CONFERENCE, 1994, Urbana. Proceedings... Urbana: University of Illinois, 1994

- CAPELLI, N.L. **Agricultura de precisão Novas tecnologias para o processo produtivo.** LIE. DMAQAG. FEAGRI. UNICAMP, 1999. Disponível em <http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.doc>.
- CARVALHO, M. A. C.; et al. **Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 445-450, maio/jun. 2003
- CARVALHO, M.M.; SARAIVA, O.F. **Resposta do capim-gordura (*Melinis minutiflora Beauv.*) a aplicações de nitrogênio, em regime de cortes.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.16, n.5, p.442-454, 1987
- CARVALHO JÚNIOR, O. A. et al. **Mapeamento da vegetação na floresta atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 26, n. 3, p. 331-345, 2008.
- CANZIAN, E. et al. **Projeto de um monitor de semeadora com GPS para pesquisa em agricultura de precisão.** Disponível na Internet. <http://www.pcs.usp.br/~laa/projetos.html> em, v. 27, 1999.
- CECATO, U. et al. **Avaliação de cultivares do gênero *Cynodon* com e sem nitrogênio.** Acta Scientiarum, v.23, n.4, p.781-788, 2001.
- CLARK, I. **The semivariogram Part I.** Eng. & Min. J., v. 180, n.7, p.90-94, 1979.
- CORSI, M.; NUSSIO, L.G. **Manejo do capim-elefante: correção e adubação do solo.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 10., 1993, Piracicaba. Anais. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p.87-116, 1993.
- COLWELL, J.E. **Vegetation canopy reflectance.** Remote Sensing of Environment, v.3, n.3, p.175-183. 1974
- CRUZ, A.C.F. et al. **Métodos comparativos na extração de pigmentos foliares de três híbridos de *Bixa orellana* L.** Revista Brasileira de Biociências, v.5, Supl.2, p.777-779, 2007.
- DAVIS, G., CASADY, W.: MASSEY, R **Precision agriculture: An introduction. Water quality.** University of Missouri- System, 1998. P.8. Disponível na Internet. <http://www.fse.missouri.edu/mpac/pubs/wq0450.pdf>
- DELGADO, R. C. et. Al; **Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 32, n. 2, mar./abr. p. 369-380, 2012.
- DIKER, K.; BAUSCH, W. C.; HEERMANN, D. F. **Monitoring temporal changes of irrigated corn by aerial images.** Annual International ASAE Meeting July 30-August 1, Sacramento, California, USA Paper No. 01-1144, 2001.
- DOBERMANN, A.; PING, J. L. **Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps.** Agronomy journal, v. 96, n. 1, p. 285-297, 2004.

FAGERIA, N. K., BALIGAR, V. C., & JONES, C. A. (2010). **Growth and mineral nutrition of field crops**. CRC PRESS.

FANCELLI, Antônio Luiz; DOURADO NETO, Durval. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, p. 360, 2000.

FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; TUPINAMBÁ, C.F. **Estudo do nitrogênio na produção e composição bromatológica do capim-colonião e seus aspectos econômicos**. Científica, v.16, n.1, p.71-78, 1988

FERRAZ, G. A. S.; et. al. **Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira**. Engenharia Agrícola. v.32, n.1, p.140-150, 2012.

GIL, P. T. et al. **Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata**. Hortic. bras, v. 20, n. 4, 2002.

GODOY, L. J. G.; et al.. **Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de Brachiaria decumbens**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 38-44, jan. /fev., 2007.

GODOY, L. J. G. et al. **Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, p. 217-226, 2008.

GRATTAN, S. R., et al. **Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems: III. Potential implications for ruminant mineral nutrition**. Agricultural water management, 70(2), 137-150, 2004.

HERLING, V. R. et al. Tobiata, Tanzânia e Mombaça. In: **Simpósio 17º sobre manejo da pastagem, tema a planta forrageira no sistema de produção**. Piracicaba, 2000. Anais. Piracicaba: FEALQ. p. 21-64, , 2000.

HILL, G. M.; GATES, R. N.; WEST, J. W. **Advances in bermudagrass research involving new cultivars for beef and dairy production**. Journal of Animal Science, v. 79, n. E-Suppl, p. E48-E58, 2001.

HILL, M. J; DONALD, G. E.; HYDER. M. W; SMITH, R. C. G. **Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data**. Remote Sensing of Environment, v. 93, n. 4, p. 528-545, 2004.

HILL, G. M.; GATES, R. Nx; BURTON, G. W. **Forage quality and grazing steer performance from Tifton 85 and Tifton 78 bermudagrass pastures**. Journal of Animal Science, v. 71, n. 12, p. 3219-3225, 1993.

JENSEN, J. **Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e**. Pearson Education India, 2009.

LEE, W. S.; et al. **Sensing technologies for precision specialty crop production**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 74, n. 1, p. 2-33, 2010. Doi.org/10.1016/j.compag.2010.08.005.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. **Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization.** In: GRASSLAND AND ECOPHYSIOLOGY AND ECOLOGY, Curitiba. Anais.Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p.165-186,1999.

LIEBIG, J. **Chemistry in its application to agriculture and physiology.** J. Owen, 1842.

LIU, Jianguo et al. **Estimating crop stresses, aboveground dry biomass and yield of corn using multi-temporal optical data combined with a radiation use efficiency model.** *Remote Sensing of Environment*, v. 114, n. 6, p. 1167-1177, 2010.

MAIA, S. C. M. **Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro.** 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

MALAVOLTA, et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações/.** 2. ed., ver. e atual. Piracicaba: Potafos, 1997.

MARCELINO, K. R. A. et al. **Manejo da adubação nitrogenada de 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.

MARTINS, C.E.; FONSECA, D.M. **Manejo e fertilidade do solo em pastagens de capim-elefante.** *Inf. Agropec.*, 19(192): 44-54, 1998.

MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. **Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão.** In: SILVA, F. M. da.(Coord.). *Mecanização e agricultura de precisão.* Poços de Caldas : UFLA/SBEA,p.109-157, 1998.

MOGES, S.M.; RAUN, W.R.; MULLEN, R.W. et al. **Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield.** *Journal of Plant Nutrition*, v.27, n.8, p.1431-1441, 2004

MOREIRA, L.M.; DA FONSECA, D.M.; VÍTOR, C.M.T. et al. **Renovação de pastagem degradada de capim-gordura com a introdução de forrageiras tropicais adubadas com nitrogênio ou em consórcios.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.2, p.442-453, 2005

MURDOCK, L.; JONES, S.; BOWLEY, C.; NEEDHAM, P.; JAMES, J.; HOWE, P. **Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat.** Lexington: Cooperative Extension Service, University of Kentucky, 4 p, 1997.

MULLA, D. J. **Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps.** *Biosystems Engineering*, v. 114, n. 4, p. 358-371, 2013.

NABINGER, C. **Princípios da exploração intensiva de pastagens.** In: Simposio sobre manejo de pastagens, 13, 1997, Piracicaba. Anais Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p.15-95, 1997.

PARKIN, C. S.; BLACKMORE, B. S. **A precision farming approach to the application of agrochemicals.** v. 27, p. 7, 1999. Disponível em <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/BAAS/BAAS.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2015.

PETERSON, T. A.; BLACKMER, T. M.; FRANCIS, D. D.; SCHEPERS, J. S. **Using a chlorophyll meter to improve N management.** Historical materials from University of Nebraska-Lincoln Extension, Paper nº1353. 1993 Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/1353>. Acesso em: 15 fev. 2015

PORRA, R. J. **The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b.** In: Discoveries in Photosynthesis. Springer Netherlands, p. 633-640, 2005

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

QUEIROZ, D.M de et al. **Agricultura de precisão na produção de grãos.** BORÉM, A.; GIUDICE, MP; QUEIROZ, DM; MANTOVANI, EC, p. 1-41, 2000.

REETZ, H. F. Jr.; FIXEN, P.E. **Strategic approach to site-specific systems.** Site-specific management guidelines. Disponível na Internet. [http://www.farmresearch.com/SSMG/ssmg-28/SSMG 28.pdf](http://www.farmresearch.com/SSMG/ssmg-28/SSMG%2028.pdf) em 04 Dez. 1999

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. **Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila.** Bragantia, v.65, n.1, p.163-171, 2006.

RIBEIRO, K. G; PEREIRA, O. G.. **Valor nutritivo do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e idades de rebrotação.** Veterinária e Zootecnia, v. 17, n. 12, p. 560-567, 2010.

RITCHIE, R. J. **Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls a, b, c, and d and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents.** Photosynthetica, v. 46, n. 1, p. 115-126, 2008.

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

RONEN, R. ; GALUN, M. **Pigment extraction from lichens with dimethyl sulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation.** Environmental and Experimental Botany 24: 239–245,1984.

ROSTAMI, M.; KOOCHEKI, A. R.; MAHALLATI, M. N.; KAFI, M. **Evaluation of chlorophyll meter (SPAD) data for prediction of nitrogen status in corn (Zea maysL.).** American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, Dubai, v. 3, n. 1, p. 79-85, 2008

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. da. **Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, out./dez. 2010

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E. **Sistemas para agricultura de precisão: equipamentos e programas**. Mecanização e Agricultura de Precisão. Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, p. 159-202, 1998.

SALISBURY, F. D.; ROSS, C. **Plan physiology Wards**. 1974.

SAS Institute. University Edition: **-SAS Institute Inc**.

SEGARRA, Eduardo; DARWISH, M. Ragy; ETHRIDGE, Don E. **Returns to municipalities from integrating crop production with wastewater disposal**. Resources, conservation and recycling, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1996.

STONE, M.L.; SOLIE, J.B.; RAUN, W.R.; WHITNEY, R.W.; TAYLOR, S.L.; RINGER, J.D. **Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat**. Transactions of the ASAE, v.39, n.5, p.1623-1631, 1996.

SISTI, C. P. J. et al. **Efeitos de oferta de forragem e de períodos de descanso sobre a produção, perdas e resíduo de matéria secado capim Mombaça**. (*Panicum maximum* Jacq.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36, Porto Alegre, 1999. Anais. Porto Alegre: SBZ, 1999.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. **Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, set. 2003.

SORIA, L.G.T. **Produtividade do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. Cv. Tanzânia) em função da lâmina de irrigação e de adubação nitrogenada**. 170 f (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C. de; ARF, O. **Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 895-901, set. 2004.

SHAPIRO, C. A. et al. **Using a chlorophyll meter to improve N management**. Lincoln, NE: University of Nebraska-Lincoln Extension Bulletin G, v. 1632, 2006.

STAFFORD, J., 2000. **Implementing precision agriculture in the 21st century**. Journal of Agricultural Engineering Research, Volume v.76, pp. p.267-275.

TAIT, M.A.; HIK. D.S. **Is dimethylsulfoxide a reliable solvent for extracting chlorophyll under field conditions** *Photosynthesis Research*, v.78, n.1, p.87-91, 2003.

TAIZ, L. et al. Nutrição mineral. **Fisiologia vegetal**, v. 3, p. 95-113, 2004.

THIND, H. S. et al. **Need based nitrogen management using the chlorophyll meter and leaf colour chart in rice and wheat in South Asia: a review**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 88, n. 3, p. 361-380, 2010

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

**VARELLA, C. A. A.; PINTO F. A. C.; QUEIROZ D.M.; Mapeamento da produtividade agrícola utilizando imagens aéreas digitais. 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão agosto de 2005 - Embrapa Milho e Sorgo - Sete Lagoas, MG. 2005**

**VARELLA, C.. A estimativa da produtividade e do estresse nutricional da cultura do milho usando imagens digitais. Viçosa(MG): Editora UFV,2004.**

**VICENTE-CHANDLER, J.; FIGARELLA, J.; SILVA, S. Effects of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Pangola grass in Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, v.45, n.1, p.37-45, 1961.**

**WHITEHEAD, D. C.; RAISTRICK, N. The volatilization of ammonia from cattle urine applied to soils as influenced by soil properties. *Plant and Soil*, v. 148, n. 1, p. 43-51, 1993.**

**WOOD, C. W.; REEVES, D. W.; HIMELRICK, D. G. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: a review. In: *Proc. Agron. Soc. NZ*. p. 1-9, 1993**

**ZHANG, J.; BLACKMER, A. M.; ELLSWORTH, J. W.; KOEHLER, K. J. Sensitivity of chlorophyll meters for diagnosing nitrogen deficiencies of corn in production agriculture. *Agronomy Journal*, Madison, v. 100, n. 3, p. 543-550, May/June 2008a.**



# **CAPÍTULO I**

## **CLASSIFICADOR DE NÍVEIS DE N APLICADOS AO SOLO UTILIZANDO IMAGENS DE BAIXO CUSTO EM PASTAGENS DE TIFTON 85**

## **RESUMO**

A redução dos custos de produção com aplicação de insumos, como fertilizantes, utilizando informações obtidas através de imagens digitais, é um dos principais temas da agricultura de precisão. Contudo o custo para aquisição das imagens utilizando câmeras multiespectrais é elevado, sendo necessário o estudo da substituição por câmeras customizadas de baixo custo, tornando essa tecnologia acessível aos produtores. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um classificador para predição de doses de N aplicadas ao solo em pastagens de Tifton 85, a partir de câmeras multiespectrais de baixo custo, instaladas em um VANT. Realizou-se análises discriminantes das doses de N aplicada ao solo, em função de informações utilizando índices de vegetação, obtendo-se cinco funções discriminantes para cada dose de N. Os resultados indicam uma elevada acurácia do classificador com coeficiente Kappa e exatidão global de 80% e 83%, respectivamente. Os classificadores obtidos através de imagens multiespectrais de baixo custo podem ser utilizados para classificar doses de N aplicadas ao solo, onde poderão ser aplicados em algoritmos computacionais em sistemas de controle de máquinas agrícolas para aplicação de fertilizantes a taxa variável

**Palavras-chave:** agricultura de precisão; VANT; taxa variável.

## **Inexpensive custom cameras for the acquisition of Precision**

### **Agriculture in pictures**

#### **ABSTRACT:**

The reduction in production costs with application of inputs such as fertilizers, using information obtained from digital images is one of the main themes of precision agriculture. However the cost for the acquisition of images using multispectral cameras is high, requiring the study of substitution by low-cost custom cameras, making this technology accessible to producers. The aim of this study was to develop a classifier for predicting N doses applied to the soil in Tifton 85 pastures, from low cost multispectral cameras, installed in a UAV. Held discriminant analysis of N rates applied to the soil, according to information using vegetation indices, yielding five discriminant functions for each dose of N. The results indicate a high accuracy classifier with Kappa coefficient and overall accuracy of 80 % and 83%, respectively. The classifiers obtained through low-cost multispectral images can be used to sort N doses applied to the soil, which can be applied to computer algorithms in agricultural machinery control systems for fertilizer application at variable rates

**Keywords:** classifier of nitrogen; uav; variable rate.

## 1. INTRODUÇÃO

A aplicação de fertilizantes e insumos agrícolas a taxa variável promove menor impacto ambiental com redução dos custos de produção, sendo um dos temas principais da Agricultura de Precisão.

A agricultura de precisão pode ser entendida como o manejo de sítios específicos em sistemas agrícolas (COSTA et al., 2012). Neste tipo de manejo agrícola, um conjunto de tecnologias e informações georreferenciadas são utilizadas com objetivo de capturar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do sistema agrícola que são correlacionados com a produtividade das culturas.

A utilização de imagens digitais para prever a variabilidade espacial de atributos em sistemas agrícolas vem sendo estudado por diversos pesquisadores (LI et al., 2015; GUIJARRO et al., 2015; BAESSO et al., 2007;). Para aquisição de imagens pode-se utilizar plataformas terrestres, aéreas ou orbitais. As plataformas aéreas denominadas Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) vêm se apresentando como uma alternativa promissora para aquisição de imagens aéreas em agricultura de precisão (ELARAB et al., 2015; BELLVERT et al., 2014;).

A aplicação de sensores passivos instalados em VANT para adquirir imagens em culturas agrícolas, utilizando as bandas do infravermelho próximo (em inglês – NIR), vermelho (em inglês – RED) e verde (em inglês – GREEN), RGB (Red, Green e Blue) e infravermelho próximo (NIR), foram utilizadas por vários pesquisadores como: Zarco-Tejada et al. (2012) utilizaram imagens aéreas multiespectrais obtidas com um VANT para o mapeamento da clorofila em vinhedos; Torres-Sanchez et al. (2015) utilizaram câmera instalada em VANT para detecção da qualidade da vegetação em plantios herbáceos.

Trabalho pioneiro de Herwitz et al. (2004) descreve o uso de câmeras multiespectrais em VANT para detectar anormalidades em sistemas de irrigação, fertilização e maturação dos frutos dos sistemas produtivos agrícolas. Entretanto, câmeras multiespectrais, equipadas com sensores que possuem a capacidade de adquirir imagem da banda do infravermelho próximo, possuem elevado custo de aquisição. Devido a isso, diversos pesquisadores têm estudado a substituição de câmeras multiespectrais por câmeras customizadas de baixo custo para aquisição de imagens em agricultura de precisão (ZHANG et al., 2016; DWORAK et al., 2015; HUNT et al., 2010;).

De acordo com o exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um classificador estatístico, a partir de informações obtidas em imagens multiespectrais de baixo custo, para discriminar níveis de N aplicados ao solo em pastagens do capim Tifton 85.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no campo de pesquisa do Instituto de Tecnologia localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Município de Seropédica, RJ. As imagens foram adquiridas após 36 dias decorrentes ao corte de uniformização da cultura do capim Tifton 85 (*Cynodon spp*), em um experimento, com 6 parcelas 250m<sup>2</sup> (10x25m<sup>2</sup>) e 5 repetições 50m<sup>2</sup> (10x5m), sendo as parcelas formadas pelas doses de N (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg. ha<sup>-1</sup> de N).

## 2.2. Aquisição das imagens

Utilizou-se um sistema de aquisição de imagens multiespectrais de baixo custo, denominado doravante RGBI. Este sistema composto por duas câmeras digitais de uso comum (RGB colorida), marca FUJIFILM, modelo FinePix Z20fd, tamanho da imagem 3.648 colunas x 2.736 linhas, aproximadamente 10 megapixels, distância focal de 6,3 mm, formato do sensor de captura (CCD) 1/2,3. Em uma das câmeras foi adaptado um filtro óptico passa-alta modelo RT-830, permitindo a passagem de radiação na faixa espectral do infravermelho próximo (NIR), compreendida entre 750-1000nm. As imagens foram processadas para as diferentes faixas espectrais: Bandas do azul (460 nm), verde (540 nm) e vermelho (660 nm) e infravermelho-próximo (750 nm). Este sistema foi acoplado na parte inferior de um VANT de asa fixa modelo ZAGGI (Figura 1).



Figura 1 Aeronave não tripulada (VANT) modelo ZAGGI utilizada para obtenção das imagens.

As câmeras foram programadas com resolução de 10MP, onde as predefinições para obtenção do ajuste focal foram ajustadas para o modo manual, procurou minimizar os efeitos do nível de branco na imagem sendo ajustado para nível zero e a sensibilidade do sensor CCD foi definido para ISO-100, procurou-se minimizar os efeitos dos ajustes automáticos da câmera sobre a imagem. Utilizou-se um cartão SD (cartão memória) classe 10, a fim de proporcionar um maior sincronismo e um menor delay na resposta de aquisição de imagens entre as câmeras. O disparo da câmera foi feito através de dispositivo automático, ajustado para adquirir uma imagem a cada 3s.

## 2.3. Extração do vetor de características

O vetor de características de cada tratamento foi composto por índices de vegetação, sendo estes utilizando o programa computacional MATLAB v9 (MATHWORKS, 2000). Foram calculados os valores médios dos pixels em cada repetição dos tratamentos, utilizando as bandas das imagens RGB colorida e imagens falsa cor infravermelho (IRG). As bandas do vermelho (R) e verde (G) foram extraídas de imagens adquiridas com câmera RGB colorida e a banda do infravermelho próximo (NIR), foi extraída da banda do vermelho (R) de imagens adquiridas com câmera RGB modificada para infravermelho. A Figura 2 ilustra o processamento de imagens utilizado para calcular índices de vegetação a partir de imagens falsa cor infravermelho de baixo custo IRG, sendo composta por: 1ª. banda infravermelho próximo (I), 2ª. banda vermelho (R) e 3ª. banda verde (G). Os índices de vegetação utilizados neste trabalho foram Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), razão entre o

vermelho e o infravermelho (RNIR), razão entre o verde e o infravermelho-próximo(GNIR), índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) onde se utilizou 0,5 como constante(L) para ajustamento do solo sobre a reflectância do dossel e índice de vegetação da diferença normalizada do verde (GNDVI), respectivamente ROUSE et al. (1974), (WIEGAND et al. (1977), BAUSH & DUKE (1996), HUETE (1998) e GITELSON et al. (1996).

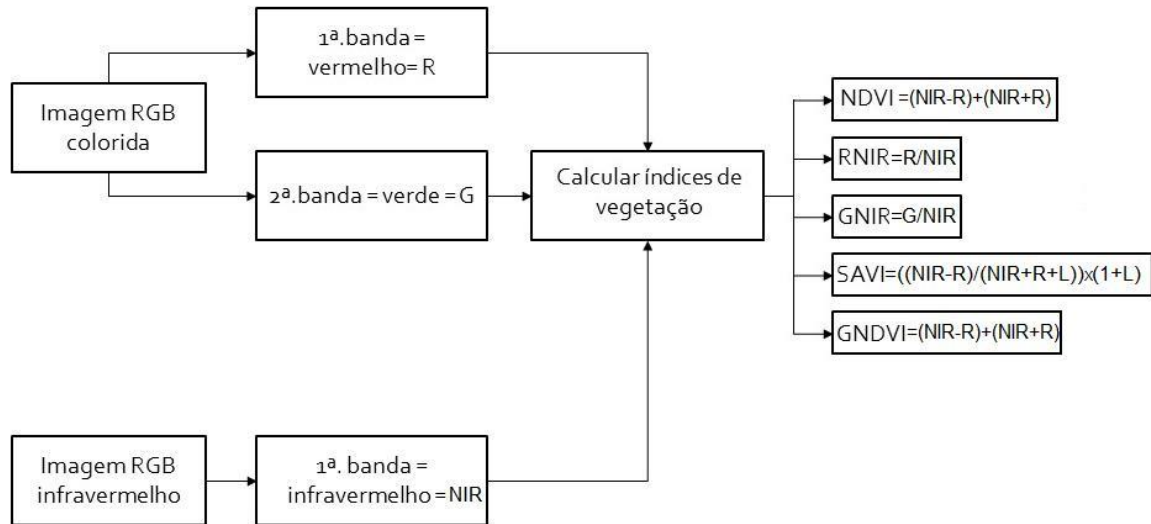


Figura 2. Processamento de imagens para extração dos índices de vegetação a partir de imagens falsa cor infravermelho de baixo custo IRG.

## 2.4. Desenvolvimento do classificador

Utilizou-se o programa computacional Statistical Analysis System (SAS) versão estudante, aplicando o procedimento denominado CANDISC, para realização das análises dos escores das variáveis canônicas dos índices de vegetação. Esta análise permite a redução de um conjunto de variáveis em um subespaço de menor dimensão, em um conjunto de maior importância, tendo como objetivo obter a 1ª variável canônica e testar essa variável em uma análise discriminante para classificar níveis de N aplicados ao solo.

Para ajuste das funções discriminantes, testou-se cada índice separadamente, um vetor de características composto por índices de vegetação (1) e um vetor de características composto pelos escores da 1ª variável canônica (2).

$$V_{\text{índices}} = [\text{NDVI RNIR GNIR SAVI GNDVI}] \quad (1)$$

$$V_{\text{can}} = [\text{CAN1}] \quad (2)$$

As funções discriminantes obtidas foram testadas em classificadores desenvolvidos com base no teorema de Bayes, permitindo calcular a probabilidade a posteriori,  $P(C_j | X)$ , no qual um indivíduo seja classificado na classe  $C_j$ . Para o cálculo desta probabilidade a posteriori, leva-se em consideração a probabilidade a priori de ocorrência de cada classe (Sy et al., 2015). De acordo com Johnson & Wicher (1999) o indivíduo é classificado cuja a classe apresentar maior valor. As funções discriminantes foram obtidas, considerando a matriz de co-variância comum a todas as classes, conforme a Equação 3:

$$D_j(X) = -\frac{1}{2} (X - \mu_j)' \Sigma^{-1} (X - \mu_j) + \ln(P_j) \quad (3)$$

em que  $\theta_i$  = valor da função discriminante linear referente a classe  $i$  de  $N$ ;  $\mu_i$  = valor do objeto a ser classificado;  $\Sigma^{-1}$  = matriz da co-variância comum da classe  $i$ ;  $P_i$  = probabilidade a priori da classe  $i$ , esta frequência de ocorrência das classes em análise foi atribuída com valor de 0,1666 (1 para cada 6 classes de  $N$ ).

Neste estudo, foram obtidas cinco funções lineares discriminantes, sendo esta uma para cada nível de  $N$  aplicado no solo, os valores de  $D_1$  ( $\theta_1$ ),  $D_2$  ( $\theta_2$ ), ...,  $D_5$  ( $\theta_5$ ) referem-se as classes de  $N$ , onde o maior valor encontrado para  $\theta_i$ , será a probabilidade a classe onde o indivíduo pertence. Para obtenção das funções discriminantes foram utilizados o algoritmo do programa computacional SAS denominado DISCRIM.

## 2.5. Treinamento e acurácia do classificador

Para determinação de acurácia do classificador e treinamento estatístico, foram utilizados o método de validação cruzada onde seleciona todos os dados observados deixando um dado de fora da análise (GIRI, 2004), sendo 29 vetores observados para treinamento do classificador e um vetor utilizado para acurácia da classificação, a acurácia da classificação foi estimada pela média dos acertos das funções discriminantes obtidas.

A acurácia da classificação foi acessada utilizando os valores do Índice Kappa (LANDIS & KOCCH, 1977), e a exatidão global sendo está o número de classes corretamente classificadas dividido pelo número total de classes. A determinação do Índice Kappa foi determinada através da Equação 4 (Cruz et al., 2008):

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (4)$$

$$\theta = \frac{1}{\Sigma}$$

$$\theta_2 = \frac{1}{\Sigma(\Sigma)}$$

em que:

$n$  = número de colunas ( e linhas ) em uma matriz de confusão.  $m_{ij}$  = elemento (i, j) da matriz de confusão.  
 $N$  = número total de observações.

Para a determinação da exatidão global foi utilizada a Equação 5:

$EG\% = P_{11}$   
 $EG\%$  = Índice de exatidão global;

$P_c$  = número de indivíduos corretamente classificados;

$P_t$  = número total de indivíduos. (5)

Utilizou-se o teste Z para comparação entre os coeficientes Kappas utilizando a Equação 6 (CONGALTON & MEAD, 1983):

$$Z = \frac{\hat{K}_1 - \hat{K}_2}{\sqrt{v_{11} + v_{22}}} \quad (6)$$

em que:

$Z = \frac{\text{valor Z calculado}}{\sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}}$

$\sigma_1^2$  = variância do Kappa do classificador 1;  $\sigma_2^2$  = variância do Kappa do classificador 2.

O resultado será significativo se o valor do teste Z tabelado for menor que o valor Z calculado, rejeitando-se a hipótese nula, concluindo que os dois classificadores são diferentes. Comparou-se os coeficientes Kappa ao nível de 5% de probabilidade (Z tabelado=1.96).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Aquisição de imagens

A Figura 3 ilustra o resultado das imagens obtidas com o sistema de aquisição de baixo custo RGBI, instalada no VANT, adquiridas a 350m de altura do solo. A imagem à esquerda ilustra a imagem RGB obtida com a câmera RGB colorida e a direita a imagem IRG adquirida com a câmera RGB customizada. A figura 4 ilustra o grid de pixels de cada tratamento utilizados para os cálculos dos índices de vegetação

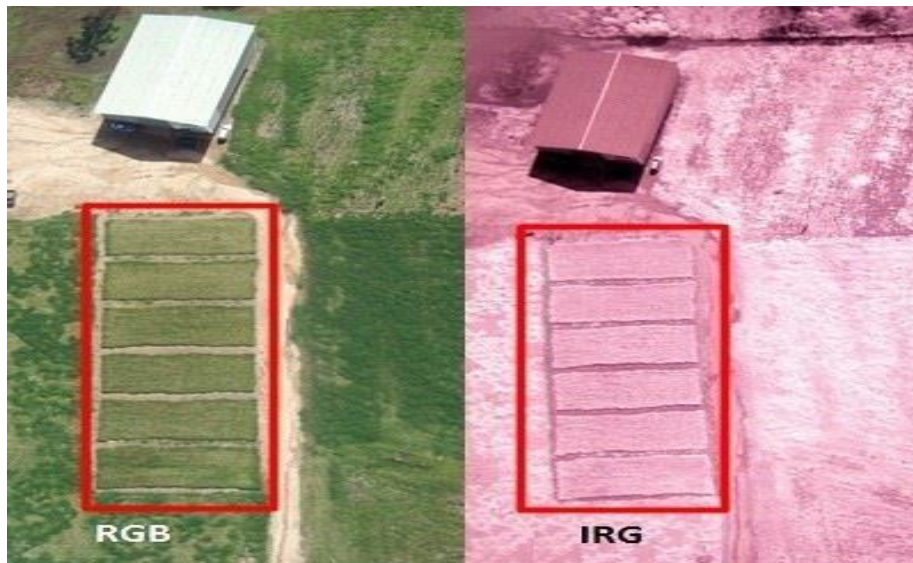


Figura 3. Imagem do colorida RGB e IRG infravermelho obtidas com o sistema RGBI instalado no VANT.

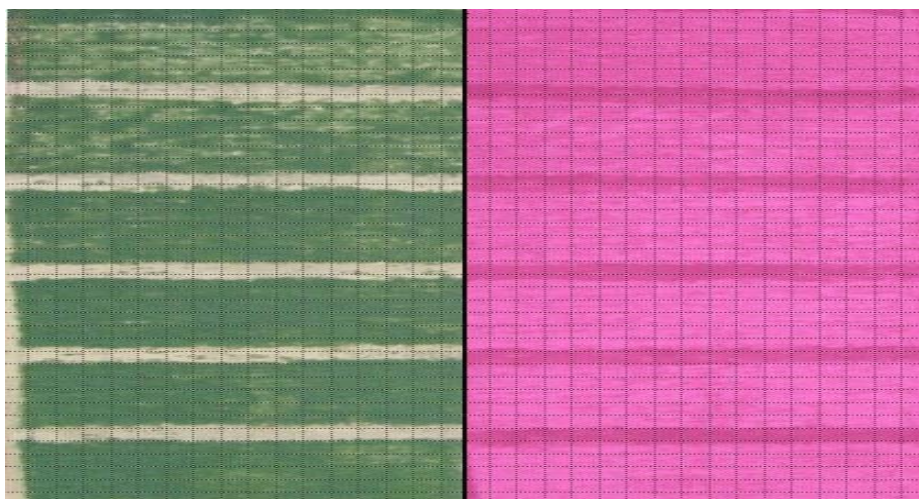


Figura 4. Grid de pixels das imagens coloridas RGB e IRG infravermelho, utilizados para os cálculos dos índices de vegetação.

### 3.2. Extração do vetor de características

Na Tabela 1 são apresentados o resultado da média dos vetores de características originais (ORIG) e características canônicas (CAN), extraídos das imagens RGB e IRG obtidas com o sistema RGBI, utilizados nos modelos estatísticos para predição dos seis níveis dosagens de N aplicados ao solo.

Tabela 1. Média dos vetores de características originais (ORIG) e características canônicas (CAN) utilizado no desenvolvimento dos classificadores.

Doses de N	ORIG					CAN
	NDVI	SAVI	GNDVI	GNIR	RNIR	CAN
0	0,1962	0,2938	0,1001	0,8179	0,6718	25,0511
50	0,2259	0,3383	0,1283	0,7725	0,6316	-3,0681
100	0,3429	0,5136	0,2009	0,6654	0,4894	-6,978
150	0,3664	0,5487	0,2153	0,6456	0,4638	-5,6353
200	0,3654	0,5472	0,2111	0,6514	0,4649	-6,1316
250	0,3594	0,5381	0,2007	0,6661	0,4719	-4,6509
CV%	22	22	24,5	11	20	-242,28

### 3.3. Desenvolvimento do classificador

Os resultados obtidos pelo método de validação cruzada, quando analisado cada variável individualmente apresentou um erro de classificação para doses de N aplicado ao solo de 47%, Kappa 44% e E.G 53% para as variáveis NDVI, RNIR, SAVI, GNDVI e 40% para o erro de classificação, 52% Kappa e EG 60% utilizando as variáveis GNIR e GNDVI. O resultado dos escores das variáveis canônicas (CAN) dos índices de vegetação apresentou um erro 46,67% na classificação das doses de N aplicado ao solo, obtendo um Kappa 44% e E.G 53%. Utilizando os dados originais (ORIG) onde todas as variáveis dos os índices de vegetação foram utilizados







em conjunto obteve um erro de classificação de 16,67%, com um Kappa de 80% e E.G 83%. O teste Z apresentou resultado significativo apenas para os dados originais (ORIG), onde a acurácia da classificação não ocorreu ao acaso. Deste modo utilizaram-se os dados originais em conjunto, tendo como escolha o menor erro obtido, o maior índice Kappa, maior E.G e o teste Z significativo. A Tabela 2 expressa os resultados da matriz de erro de classificação utilizando os dados de índice de vegetação em conjunto (ORIG), variáveis canônicas (CAN) e cada índice de vegetação analisado individualmente:

Tabela 2. Resultados obtidos pelo método de validação cruzada

V a r i á v e l	Erro classificação	Kappa	E.G	Teste Z
ND VI	47%	44%	53%	ns
RNIR	47%	44%	53%	ns
GNIR	40%	52%	60%	ns
SAVI	47%	44%	53%	ns
GND VI	40%	52%	60%	ns
CAN	47%	44%	53%	ns
ORIG	17%	80%	83%	sig

ns= não significativo ao nível de 5%

Com a utilização dos dados originais em conjunto (ORIG) obteve-se as 6 funções discriminantes (Tabela 3) para discriminação das doses de N aplicadas ao solo:

Tabela 3. Funções Discriminantes de níveis de N aplicados no solo

Classes
0
50
100
150
200
250
-
1
4
1
8
5028+ 7946119NDVI-22281378RNIR+50432020GNIR-21214034SAVI+ 69037614GNDVI

### 3.4. Treinamento e acurácia do classificador

Os resultados da classificação obtidos através da aplicação das funções discriminantes de N ao solo são expressos no Quadro 1 onde os dados das 30 amostras observadas 25 amostras formam classificadas corretamente. A acurácia do classificador através do teste de coeficiente Kappa resultou 80% sendo classificada como quase perfeita, obtendo um acerto global de 83%, resultando em um erro global de classificação para doses de N aplicadas ao solo de 16,66% com 5 amostras classificadas erroneamente.

Quadro 1. Matriz de erro de classificação, expressando o número de observações e porcentagens de classificação de doses de N aplicados ao solo.

Classes	Amostra de referência						Erro de comissão	Kappa	
	0	50	100	150	200	250			
0	5 100%	0	0	0	0	0	5 100%	100%	
50	0	4 80%	1	0	0	0	5 100%	80%	
100	0	0	5 100%	0	0	0	5 100%	100%	
150	0	0	1	3 60%	1	0	5 100%	60%	
200	0	0	0	0	4 80%	1	5 100%	80%	
250	0	0	0	1 20%	0	4 80%	5 100%	80%	
<b>Total coluna</b>	5 16,67%	4 13%	7 23%	4 13%	5 16,67%	5 16,67%	30 100%		
<b>Erro de omissão</b>	0	20%	0	40%	20%	20%			
<b>Erro de global</b>	16,67%								

As classes 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, obtiveram Kappa de 100% obtendo uma perfeita classificação. A classe 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, obteve uma acurácia de 80% para o índice Kappa, sendo uma excelente classificação, onde ocorreu um erro de omissão de 20%, este erro foi devido a classificação errônea da dose de 100kg ha<sup>-1</sup> de N na classe. Analisado a classe 150kg ha<sup>-1</sup> de N, obteve-se um Kappa de 60% considerada satisfatória, apresentando um erro de omissão de 40%, devido ao erro de classificação da amostra 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N na classe. Para a classe 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, o índice Kappa foi de 80% sendo considerado sua classificação como substancial, apresentando um erro de omissão de 20%, devido a ocorrência da amostra 250 kg ha<sup>-1</sup> de N ter sido classificada na classe. A classe 250 kg ha<sup>-1</sup> de N, apresentou uma classificação substancial com 80% de Kappa e erro omissão 20%, devido a classificação da amostra 150 kg ha<sup>-1</sup> de N dentro da classe.

Apesar da ocorrência de 16,67% do erro global, sendo resultado do erro de classificação entre algumas amostras, 60% deste erro global indicam uma dosagem maior em referência a real dosagem aplicada ao solo, e 40% de doses de N menores que a dosagem real aplicada ao solo. Os resultados podem ser considerados satisfatórios pois considera-se a resposta da produtividade da forragem Tifton 85, corresponde a adubação nitrogenada de forma linear crescente (Gomes et al., 2015; Quaresma et al., 2011), não prejudicando a produtividade com dosagens de até 400kg kg ha<sup>-1</sup> de N (Ribeiro & Pereira, 2012).

#### 4. CONCLUSÕES

As funções discriminantes utilizando todo os índices de vegetação aplicados em conjunto, foram melhores do que aplicar separadamente e utilizar a primeira canônica (CAN), para classificação de doses de N aplicadas ao solo. Os resultados indicam que imagens multiespectrais de baixo custo podem ser utilizadas para desenvolver classificadores de doses de nitrogênio aplicadas ao solo. Esses classificadores poderão ser aplicados em algoritmos computacionais em sistemas de controle de máquinas agrícolas para aplicação de fertilizantes a taxas variáveis em agricultura de precisão.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUSH, W. C.; DUKE, H. R. **Remote sensing of plant nitrogen status in corn.** Transactions of the ASAE, v. 39, n. 5, p. 1869-1875, 1996. < <http://dx.doi.org/10.13031/2013.27665> >
- BAESSO, M.; PINTO, F. A. C., QUEIROZ, D. M.; VIEIRA, L.B.; ALVES, E. A. **Determinação do "status" nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando imagens digitais coloridas.** Engenharia Agrícola, 27(2), 520-528, 2007 <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000300022>>
- BERNI, J.A.J., ZARCO-TEJADA, P.J., SUÁREZ, L., FERERES, E. **Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle** Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, v. 47, n. 3, p. 722-738, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2008.2010457>>
- BELLVERT, J., ZARCO-TEJADA, P.J., GIRONA, J., FERERES, E.; **Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: Comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle;** Precision agriculture, v. 15, n. 4, p. 361-376, 2014.<<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-013-9334-5>>
- COSTA, C. ; GUILHOTO, J. J. M. **Impactos potenciais da agricultura de precisão sobre a economia brasileira.** Revista de Economia e Agronegócio-REA, v. 10, n. 2, 2015.
- CRUZ, E. S., CARVALHO, D. F., VARELLA, C. A. A., SILVA, L D. B., SOUZA, W J., PINTO, F A. C. **Comparação de classificadores de imagens digitais na determinação da cobertura do solo.** Engenharia Agrícola, 28(2), 237-244, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000200004>>
- DWORAK, V.; HUEBNER, M.; SELBECK, J.. **Precise Navigation of Small Agricultural Robots in Sensitive Areas with a Smart Plant Camera.** Journal of Imaging, v. 1, n. 1, p. 115-133, 2015. <<http://dx.doi.org/10.3390/jimaging1010115>>
- ELARAB, M. et al. **Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture.** International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 43, p. 32-42, 2015. < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2015.03.017> >
- GITELSON, A.A., Y.J. KAUFMAN, AND M.N. MERZLYAK, 1996. **Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS,** Remote Sens. Environment, v.58, n3, p.289-298, 1996. < [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7) >
- GIRI, N. C. **Multivariate statistical analysis.** 2th. ed. New York: Marcel Dekker, 2004. 558p.
- GUIJARRO, M. et al. **Discrete wavelets transform for improving greenness image segmentation in agricultural images.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 118, p. 396-407, 2015. < <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.011> >

GOMES, EDER P. et al. **Produtividade de capim Tifton 85 sob irrigação e doses de nitrogênio.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 19, n. 4, p. 317-323, 2015. < <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p317-323> >

HUETE, A. R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI).** Remote sensing of environment, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. < [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X) >

HUNT, E.R., JR.; HIVELY, W.D.; FUJIKAWA, S.J.; LINDEN, D.S.; DAUGHTRY, C.S.T.; MCCARTY, G.W. **Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring.** Remote Sens. , 290-305, 2010, 2. <<http://dx.doi.org/10.3390/rs2010290>>

HERWITZ, S. R. et al. **Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support.** Computers and electronics in agriculture, v. 44, n. 1, p. 49-61, 2004. < <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.02.006> >

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W.; **Applied Multivariate statistical analysis**, 4. ed., Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 816 p,1999.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** Biometrics, United States, p. 159-174, 1977. < <http://dx.doi.org/10.2307/2529310> >

LI, H; ZHAO, C.; GUIJUN, Y.; HAIKUAN, F; **Variations in crop variables within wheat canopies and responses of canopy spectral characteristics and derived vegetation indices to different vertical leaf layers and spikes ;** Remote Sensing of Environment, v.169, p. 358-374, 2015.< <http://dx.doi:10.1016/j.rse.2015.08.021> >

MATHWORKS. **Image Processing Toolbox for use with MATLAB Release 12.** Image Processing Toolbox User's Guide Revised for Version 2.2.2, 511p. Massachusetts, 2000

QUARESMA, J. P. S.; et al. **Produção e composição bromatológica do capim-tifton 85 (Cynodon spp.) submetido a doses de nitrogênio.** Acta Scientiarum Animal Science, v.33, n. 2, p.145-150, 2011.< <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i2.9261> >

ROUSE JR, J.W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** NASA special publication, v. 351, p. 309, 1974.

RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G. **Produtividade de matéria seca e composição mineral do capim-tifton 85 sob diferentes doses de nitrogênio e idades de rebrotação.** Ciênc. agrotec., Lavras , v. 35, n. 4, p. 811-816 <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000400022>.>

SAS Institute. University Edition:-SAS Institute Inc.

SAKAMOTO, T; SHIBAYAMA, M.; KIMURA, A.; TAKADA, E. **Assessment of digital camera-derived vegetation indices in quantitative monitoring of seasonal rice growth.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 66, n. 6, p. 872-882, 2011.< <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.08.005> >

SY, M.M.; ANCELET, S.;HENNER, P.;HURTEVENT, P.;SIMON,C.M.; **Foliar interception of radionuclides in dry conditions: a meta-analysis using a Bayesian modeling approach;** J Environ Radioact.; p.147:63-75, 2015. <<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.05.007>>

TORRES-SÁNCHEZ J, LÓPEZ-GRANADOS F, PEÑA JM. **An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops.** v. 114, p. 43-52, 2015 < <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.019> >

WIEGAND, C. L. et al. **Vegetation indices in crop assessments. Remote Sensing of Environment,** v. 35, n. 2, p. 105-119, 1991. < [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90004-P](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90004-P) >

WILLERS, J.L; WU, J; HARA C.O; JENKINS J.N. **A categorical, improper probability method for combining NDVI and LiDAR elevation information for potential cotton precision agricultural applications ;** Computers and electronics in agriculture, v. 82, p.15–22, 2012.< <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2011.11.010> >

ZARCO-TEJADA, P.J.; GONZÁLEZ-DUGO, V; BERNI, J.A.; **Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera** Remote Sens. Environ., 117, pp. 322– 337, 2012.< <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.007> >

ZHANG, J.; YANG, C.; SONG, H.; HOFFMANN, W.C.; ZHANG, D.; ZHANG, G. **Evaluation of an Airborne Remote Sensing Platform Consisting of Two Consumer-Grade Cameras for Crop Identification.** Remote Sens. 8, 257. 2016, < <http://dx.doi.org/10.3390/rs8030257> >

## **CAPÍTULO II**

### **AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO CLASSIFICADOR PARA DOSES DE N APLICADOS AO SOLO EM PASTAGENS DE TIFTON85**



## RESUMO

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a acurácia de um classificador para doses de N aplicados ao solo, gerado através de um sistema de aquisição de imagens de baixo custo (RGBI) correlacionado com o clorofilômetro e análise de N foliar, sendo aplicados para tomada de decisão em agricultura de precisão. Utilizou-se imagens de câmeras multiespectrais de baixo custo, onde partir de informações obtidas nessas imagens foram calculados os índices de vegetação, no qual foram aplicados em um classificador para discriminar níveis de N aplicados ao solo em pastagens de Tifton 85. As imagens foram adquiridas aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56 dias utilizando uma plataforma de captação de imagens. As análises estatísticas foram realizadas no programa computacional SAS, onde através do procedimento PROCDISCRIM, gerou-se uma função para cada dose de nitrogênio, utilizando-se como características: índices de vegetação (NDVI, GNIR, SAVI, GNDVI, RNIR). Essas funções foram testadas em um classificador bayesiano, sendo que a maior acurácia de classificação foi obtida aos 49 dias com um índice Kappa de 83%. Os resultados indicam que imagens multiespectrais de baixo custo podem ser utilizadas para desenvolver classificadores de doses de nitrogênio aplicadas ao solo. Esses classificadores poderão ser aplicados em algoritmos computacionais em sistemas de controle de máquinas agrícolas para aplicação de fertilizantes a taxas variáveis em agricultura de precisão.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão; imagens digitais; taxa variável.

## ABSTRACT

The overall objective of this research was to evaluate the classifier to N doses applied to the soil, generated through an acquisition of low cost imaging system (RGBI) correlated with chlorophyll and leaf nitrogen analysis being applied to decision-making in agriculture accuracy. We used images of multispectral cameras low cost, where from information obtained from these images were calculated vegetation indices, which were applied in a classifier to discriminate N levels applied to the soil in grazing Tifton 85. The images were acquired 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56 days using an imaging platform. Statistical analyzes were conducted in SAS computer program where through PROCDISCRIM procedure was generated a function to each dose of nitrogen, using the following characteristics: vegetation index (NDVI, GNIR, SAVI, GNDVI, RNIR). These functions were tested in a Bayesian classifier, and the highest accuracies were obtained at 49 days with a Kappa index of 83%. The results indicate that low cost multispectral images can be used to develop classifiers of nitrogen applied to the soil. These binders may be applied in computational algorithms in agricultural machinery control systems for fertilizer application at variable rates in precision agriculture.

**Keywords:** Precision agriculture; digital images; variable rate

# 1. INTRODUÇÃO

A adubação nitrogenada promove um aumento significativo na produtividade das pastagens sendo a uréia a fonte de N mais utilizada no Brasil, fornecendo 40% do N. Contudo, a sua aplicação e de outros insumos agrícolas vem a cada ano aumentando os custos da produção agrícola.

A aplicação a taxa variável permite ao produtor a redução dos custos de produção, uma vez que são aplicadas doses variáveis de insumo, atendendo os sítios específicos de cada local, conseqüentemente reduzindo os impactos ambientais e otimizando o processo produtivo (BOTTEGA et al.;2013).

A agricultura de precisão pode ser entendida como o manejo destes sítios específicos em sistemas agrícolas. Neste tipo de manejo agrícola, um conjunto de tecnologias e informações Georeferenciadas são utilizadas com objetivo de se capturar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos dos sistemas agrícolas. A utilização de imagens digitais multiespectrais para prever a variabilidade espacial de atributos em sistemas agrícolas, vem sendo estudado por diversos pesquisadores (LI et al, 2015; GUIJARRO, 2015; BAESSO, 2007; VARELLA 2002). Contudo o alto custo das câmeras multiespectrais é um fator limitante ao seu uso. Devido a isso várias pesquisas têm sido realizadas com o intuito de substituir essas câmeras por câmeras multiespectrais customizadas (NIJLAND et al, 2014; RICHARDSON et al., 2009) para aquisição de imagens em agricultura de precisão, tornando essa tecnologia mais barata e acessível aos produtores agrícolas.

De acordo com o exposto, objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia de um classificador para doses de N aplicados ao solo, gerado através de um sistema de aquisição de imagens de baixo custo (RGBI) para discriminar níveis de N aplicados ao solo em pastagens do capim Tifton 85. Onde correlacionou sua acurácia com análises de N foliar e o uso do clorofilômetro.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área do campo de pesquisa do Instituto de Tecnologia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Município de Seropédica, RJ. As análises foram realizadas no período de julho a setembro de 2015, aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56 dias decorrentes ao corte de uniformização da cultura, com 6 parcelas  $22,5\text{m}^2$  ( $9 \times 2,5\text{m}^2$ ) e em cada parcela 5 repetições  $1,25\text{m}^2$  ( $1,5 \times 1,5\text{m}$ ), sendo as parcelas formadas pelas doses de N (0, 50, 100, 150, 200 e  $250\text{kg ha}^{-1}$  de N).

### 2.1. Aquisição de imagens

Utilizou-se um sistema de aquisição de imagens multiespectrais de baixo custo, denominado doravante RGBI. Este sistema composto por duas câmeras digitais de uso comum (RGB colorida), marca FUJIFILM, modelo FinePix Z20fd, tamanho da imagem 3.648 colunas x 2.736 linhas, aproximadamente 10 megapixels, distância focal de 6,3 mm, formato do sensor de captura (CCD) 1/2,3. Em uma das câmeras foi adaptado um filtro óptico passa-alta modelo RT-830, permitindo a passagem de radiação na faixa espectral do infravermelho próximo (NIR), compreendida entre 750-1000nm. As imagens foram processadas para as diferentes faixas espectrais: Bandas do azul (460 nm), verde (540 nm) e vermelho (660 nm) e infravermelho-próximo (750 nm).

As câmeras foram programadas com resolução de 10MP, onde as predefinições para obtenção do ajuste focal foram ajustadas para o modo manual, procurou minimizar os efeitos do nível de branco na imagem sendo ajustado para nível zero e a sensibilidade do sensor CCD

foi definido para ISO-100, procurou-se minimizar os efeitos dos ajustes automáticos da câmera sobre a imagem. Utilizou-se um cartão SD (cartão memória) classe 10, a fim de proporcionar um maior sincronismo e menor tempo de erro na resposta de aquisição de imagens entre as câmeras.

O sistema RGBI foi inserido na haste de uma plataforma de captação de imagens feita em alumínio (Figura 5) posicionado a 2,5m do solo. Por meio de uma tela LCD (em inglês liquid crystal display) instalada na base da plataforma e conectada a saída de imagem nas câmeras do sistema RGBI, o observador visualizava em tempo real a imagem observada pelo sensor semicondutor de captação de imagens CCD (em inglês-charge-coupled device) das câmeras. A imagem era adquirida após o disparo fotográfico feito através de um dispositivo remoto instalado na câmera, obtendo-se 2 imagens por repetição sendo estas a imagem RGB e imagem falsa cor infravermelho (IRG), com tamanho de 1800x1800 pixels.

As imagens foram obtidas no período de 10 horas às 14 horas da manhã, onde se obtém a máxima eficiência da interceptação solar e evitando dias com altas nebulosidades, com intuito de se obter maiores ângulos solares, maior luminosidade e menores sombreamentos.



Figura 5: Plataforma de aquisição de imagens utilizando o sistema RGBI. A imagem superior esquerda ilustra a tela LCD inserida na plataforma, onde se obtém todas as informações do sistema de aquisição

## 2.2. Obtenção dos vetores de características

O vetor de características de cada tratamento foi composto por índices de vegetação, sendo estes calculados utilizando o programa computacional MATLAB v9 (MATHWORKS, 2000) . Foram calculados os valores médios dos pixels em cada repetição dos tratamentos, utilizando as bandas das imagens RGB colorida e imagens falsa cor infravermelho (IRG). As bandas do vermelho (R) e verde (G) foram extraídas de imagens adquiridas com câmera RGB colorida e a banda do infravermelho próximo (NIR), foi extraída da banda do vermelho (R) de imagens adquiridas com câmera RGB modificada para infravermelho. Os índices de vegetação utilizados neste trabalho foram Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), razão entre o verde e o infravermelho-próximo (GNIR), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) onde se utilizou 0,5 como constante (L) para ajustamento do solo sobre a reflectância do dossel e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do Verde (GNDVI),

respectivamente ROUSE et al. (1974), BAUSH & DUKE (1996), HUETE (1998) e GITELSON et al. (1996).

Além da determinação dos vetores de características utilizando índices de vegetação, utilizou-se o índice SAVI para calcular o Índice de Área Foliar (IAF) (JENSEN, 2009), sendo esta a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo conforme a Equação 1:

$$= \frac{0,69 - \dots}{-\ln(0,69) 0,91}$$

### 2.3. Determinação do N foliar

Para determinação do nitrogênio contido na folha, foram feitas medições de quantificação do teor de clorofila utilizando métodos indiretos, onde não há destruição do material, e métodos diretos, onde há destruição do material coletado em todas as épocas de análise. Para a realização do método direto utilizou-se um medidor de clorofila portátil Clorofilog-Falker, onde utiliza a transmitância dos comprimentos de onda na faixa do vermelho (635 e 660 nm) e infravermelho (880 nm), sendo ajustado para mensuração de Índices de Corofila Falker (ICF), quanto maior for o ICF maior é a quantidade de clorofila presente na planta. Utilizou-se a primeira lígula visível a partir do ápice do perfilho, sendo aferida 3 medições por folha no terço médio da lâmina foliar (SILVA et al, 2011) O índice ICF da parcela foi determinado pela média de 10 folhas a cada repetição.

Para realização do método indireto realizou-se as coletas das folhas utilizadas no método direto e levadas para estufa ventilada a 65°C durante 72 horas, logo após foi triturada em um moinho portátil e realizada a extração de N foliar utilizando o extrator com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a de acordo com a metodologia Tedesco (1995).

### 2.4. Desenvolvimento e acurácia do classificador

Para o desenvolvimento do classificador para predição de doses de N aplicados ao solo, utilizou-se o algoritmo denominado CANDISC, utilizado no programa computacional Statistical Analysis System (SAS) onde os dados obtidos pelos índices de vegetação foram reduzidos para um subespaço com menor dimensão, em um conjunto de dados agrupados com maior importância. Esta técnica de redução chamada análise discriminante canônica(CAN), são realizadas para obtenção de vetores de características utilizadas nos modelos de classificação Bayesianos (ZHANG & SLAUGHTER, 2011), onde permite calcular a probabilidade a posteriori, ( ), no qual um indivíduo seja classificado na classe a classe ( ). Para o cálculo desta probabilidade a posteriori, leva-se em consideração a probabilidade a priori de ocorrência de cada classe (Sy et al., 2015). De acordo com Jonhson & Wicher (1999) o indivíduo é classificado cuja a classe apresentar maior valor. As funções discriminantes foram obtidas, considerando a matriz de co-variância comum a todas as classes, conforme a Equação 2:

$$() = ' \Sigma^{-1} \dots - \frac{1}{2} ' \Sigma^{-1} \dots + \ln ( ) \quad (3)$$

em que ( )= valor da função discriminante linear referente a classe ( ) de ; = valor do objeto a ser classificado;  $\Sigma^{-1} \mu_i$ = matriz da co-variância comum da classe i; ( )= probabilidade a priori da classe i, esta frequência de ocorrência das classes em análise foi atribuída com valor de 0,1666 (1 para cada 6 classes de N).

Utilizou-se o algoritmo do programa computacional Statistical Analysis System (SAS) denominado DISCRIM, onde se realizou o procedimento de validação cruzada (CROSS-VALIDATION) para análise de classificação dos níveis de N aplicados ao solo com base nos dados obtidos pela análise discriminante canônica(CAN).

A acurácia do classificador foi baseada nos valores de referência do Índice Kappa (LANDIS & KOCCH, 1997), através de um modelo proposto por Congalton & Mead (1986), citado por Duro (2012), utilizando a matriz de erros de classificação para obtenção do índice utilizando a Equação 3 a seguir:

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (3)$$

$$\theta = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}}$$

$$\theta_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ii}}$$

em que:

n= número de colunas ( e linhas ) em uma matriz de confusão.  $m_{ij}$  = elemento (i, j) da matriz de confusão.  
N = número total de observações.

Para a determinação da exatidão global foi utilizada a Equação 4:

$$EG\% = \frac{Pc}{Pt} \quad (4)$$

EG% = Índice de exatidão global;  
Pc= número de indivíduos corretamente classificados;  
Pt= número total de indivíduos.

Utilizou-se o teste Z para comparação entre os coeficientes Kappas utilizando a Equação 5 (CONGALTON & MEAD,1983):

$$Z = \frac{\hat{K}_1 - \hat{K}_2}{\sqrt{\frac{1}{n} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (5)$$

em que:

Z= valor Z calculado;

$n_1$  = variância do Kappa do classificador 1;  $n_2$ =variância do Kappa do classificador 2.

O resultado será significativo se o valor do teste Z tabelado for menor que o valor Z calculado, rejeitando-se a hipótese nula, concluindo que os dois classificadores são diferentes (Z tabelado=1.96). Comparou-se os coeficientes Kappa ao nível de 5% de probabilidade.

Foi realizado a análise de regressão entre os vetores de características canônicas (CAN) sobre seu efeito com os níveis de N aplicados, em que a significância do coeficiente de correlação foi analisada. As análises de regressão foram feitas no programa computacional SAS utilizando o procedimento REG. Após os resultados da análise de regressão, foram obtidas as estimativas do coeficiente de correlação de Person entre as variáveis canônicas (CAN) com as leituras do SPAD e os resultados obtidos com a extração do N foliar. Esta análise foi realizada utilizando o procedimento CORR do programa computacional SAS.

### 3. RESULTADOS E DISCUSÃO

#### 3.1. Aquisição das imagens

A Figura 6 ilustra o resultado das imagens dos tratamentos obtidos com o sistema de aquisição de baixo custo, instalado em uma plataforma de captação de imagens a 2,5m de altura do solo. A imagem RGB à esquerda ilustra a imagem obtida com a câmera RGB colorida e à direita a imagem IRG adquirida com a câmera RGB modificada para infra-vermelho (NIR).



Figura 6: Imagem colorida RGB e IRG infravermelho obtidas com o sistema RGBI a 2,5m do solo.

#### 3.2. Obtenção dos índices de vegetação

Na Figura 7 são apresentados o resultado da média dos vetores de características originais obtidos através dos índices de vegetação, extraídos das imagens RGB e IRG obtidas com o sistema RGBI, utilizados para predição dos seis níveis de N (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N) aplicados ao solo nos dias 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56 dias cultura.

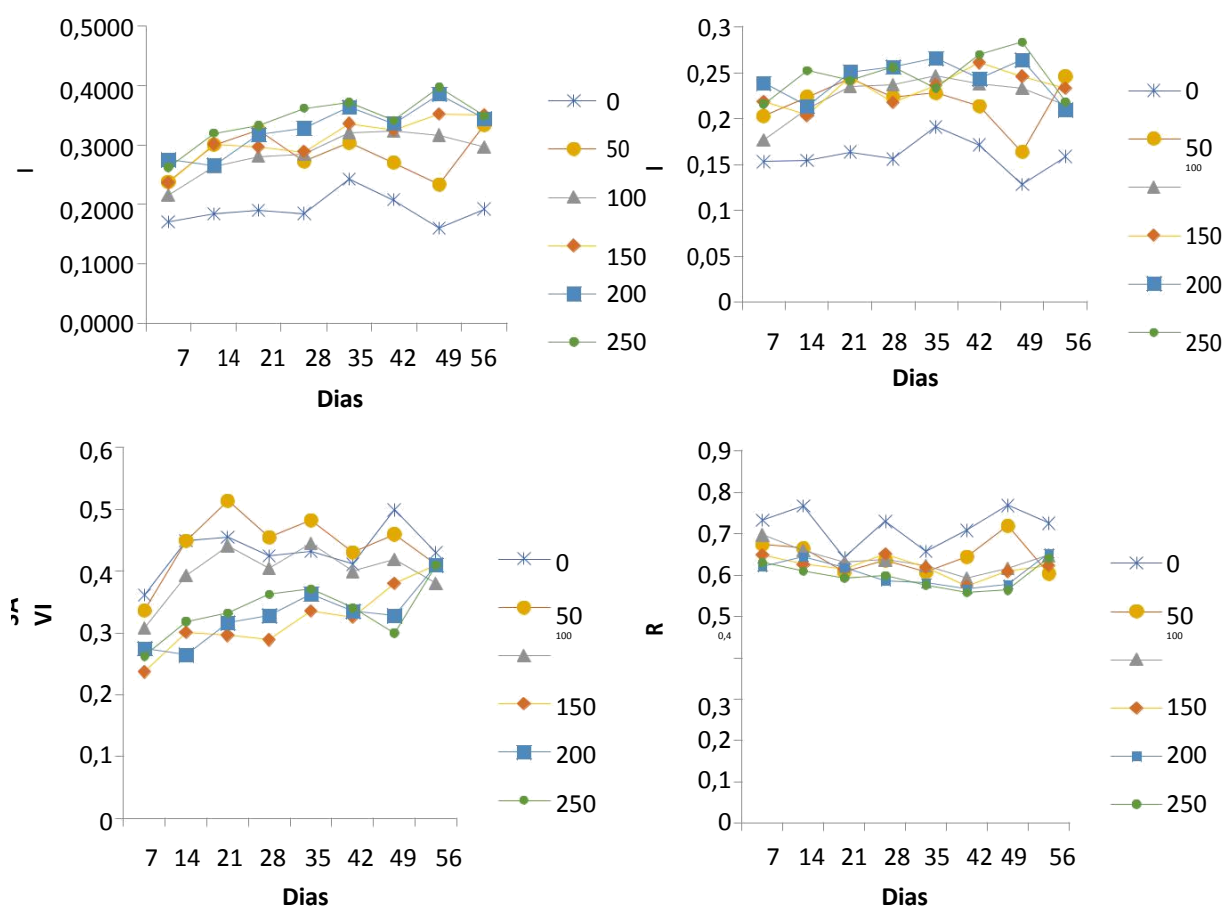


Figura 7 : Resultado da média dos vetores de características originais obtidos através dos índices de vegetação, extraídos das imagens RGB e IRG obtidas com o sistema RGBI.

Obteve-se aos 49 dias uma elevação no NDVI e GNDVI, para os níveis de 200 e 250 kg de N<sup>-1</sup> e uma redução acentuada nos níveis de 0 e 50 kg de N<sup>-1</sup> onde os índices apresentaram o maior vigor vegetativo e a maior presença de pigmentos verdes como clorofila conforme expresso no índice GNDVI. Os índices SAVI e GNIR aos 49 dias, apresentaram resultados onde seus altos valores para as doses 0 e 50 kg de N<sup>-1</sup> expressam uma menor biomassa e um baixo volume da vegetação, apresentando uma maior expressão do solo. Os valores de GNDVI foram próximos aos encontrados por Silva Junior et al. (2013) aos 28 dias utilizando *Brachiária decumbens*.

### 3.3. Determinação do N foliar

Os resultados obtidos pelo método indireto através do uso do clorofilômetro e os resultados através do método direto onde foi avaliado a % de N foliar são expressos na Figura 8:

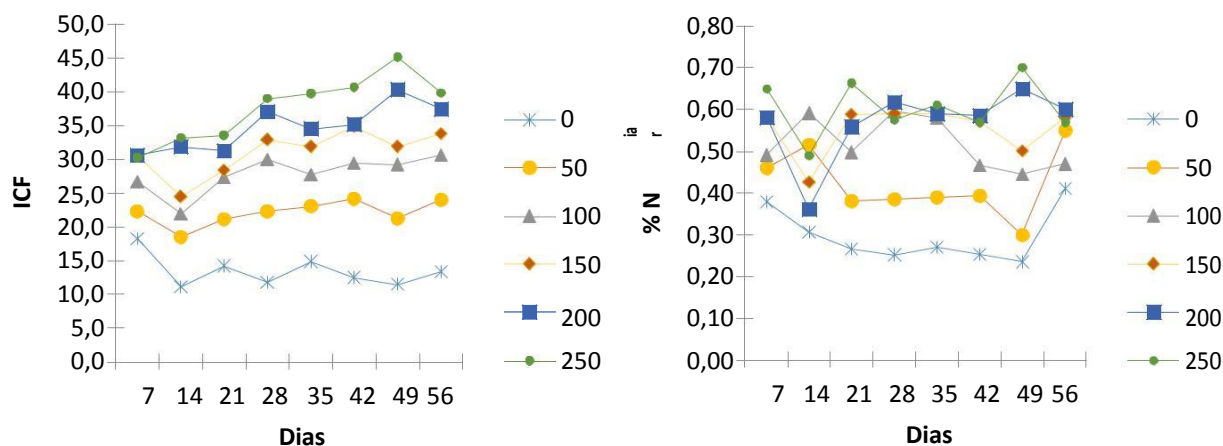


Figura 8 : Resultados da % N Foliar e índice de clorofila Falker

Os gráficos expressos na Figura 8 aos 49 dias apresentou comportamento semelhante nas variações dos tratamentos, onde foi observado uma elevação tanto na % N foliar e ICF para os níveis de 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N e uma redução nas doses de 0 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, a mesma variação de comportamento nos tratamentos quando comparado aos índices de vegetação: NDVI, GNDVI, GNIR, conforme a Figura 7. Os valores obtidos no ICF foram similares aos encontrados por Premazzi & Monteiro (2002) e Junior et al. (2012), onde obtiveram valores máximos entre 39,4 e 44,2.

### 3.4. Desenvolvimento e acurácia do classificador

Aplicando a análise discriminante, utilizando os dados dos escores das variáveis canônicas (CAN) dos índices de vegetação, onde todas as variáveis foram analisadas em conjunto para os 7, 14, 21, 35, 42, 49, 56 dias, obteve-se os resultados da avaliação do classificador para predição de N ao solo utilizando o método de validação cruzada, expresso no Quadro 1.

Quadro 1: Resultados da validação cruzada para predição de níveis de N aplicados ao solo

Dias	Amostra de referência						Erro global	Kappa	E.G	Z
	0	50	100	150	200	250				
7	5	1	5	0	4	0	50%	47%	55%	ns
	100%	20%	100%	0	80	0				
14	5	1	3	3	1	2	56%	38%	48%	ns
	100%	20%	60%	60%	20%	40%				
21	5	0	4	3	3	0	50%	40%	50%	ns
	100%	0	80%	60	60%	0				
28	5	4	4	1	0	0	53%	36%	46%	ns
	100%	80%	80%	20%	0%	0				
35	4	4	4	1	2	2	43%	48%	56%	ns
	80%	80%	80%	40	40%	40%				
42	4	5	1	5	0	0	50%	40%	50%	ns
	80%	100%	20%	100%	0	0%				
49	5	4	4	5	4	4	13,33%	84%	86%	sig
	100%	80%	80%	100%	80	80%				
56	5	3	3	2	2	0	50%	40%	50%	ns
	100	60%	60%	40%	40%	0%				

ns= não significativo ao nível de 5%



Para os dias 7,14,21 e 42 dias o classificador obteve um erro global de classificação em torno de 50%, entretanto aos 7,14,21,28,49 e 56 dias foi capaz de obter um acerto de 100% na amostra de referência 0 kg ha<sup>-1</sup> de N para as 5 repetições e aos 42 dias um acerto de 100% nas amostras de referência 50 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N para as 5 repetições. Aos 35 dias o classificador obteve um erro de classificação de 43%. Aos 49 dias obteve-se o menor de classificação de doses de N aplicadas ao solo, classificando corretamente os tratamentos 0 e 150 kg<sup>-1</sup> N/ha. Observou-se nas amostras de referência 50,100,200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N, o classificador obteve 80% de acerto classificando corretamente 4 repetições em cada amostra de referência.

Os resultados da análise do comportamento dos classificadores através do índice Kappa e equação global ao longo dos dias estudados observados no Quadro 1, apresentaram uma maior acurácia aos 49 dias, obtendo uma acurácia de 83% sendo classificada como quase perfeita e uma equação global de 86%, os demais dias obteve-se uma acurácia em torno de 40% obtendo uma moderada classificação de acordo com Landis & Kocch (1977), apresentando uma equação global em torno de 50%. O teste Z apresentou resultado significativo apenas para as análises aos 49 dias, onde determinou-se que a acurácia da classificação não ocorreu ao acaso.

A maior acurácia encontrada ao 49 dias, foi comparada através do resultado do teste de análise de regressão dos índices de vegetação através escores das variáveis canônicas(CAN ), sobre o seu efeito em comparação aos níveis de N aplicados ao solo conforme ilustra a Figura 9. A análise apresentou uma interação significativa para todas as amostras, onde aos 49 dias apresentou os maiores valores com 0,90 para coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e 258,17 para o valor F, comparado com os demais resultados das amostras.

Dias	R <sup>2</sup>	F
7	0,59	39,66*
14	0,57	37,41*
21	0,45	22,79*
28	0,69	63,15*
35	0,78	99,73*
42	0,74	81,26*
49	0,90	258,17*
56	0,66	56,76*

\* Significativo a 5%

Figura 9: Análise de regressão dos índices de vegetação através escores das variáveis Canônicas (CAN 1), sobre o seu efeito correlacionado aos níveis de N.

A adubação nitrogenada proporciona aumento na produção de forragem por promover alterações no número e no peso dos perfilhos. Em pastos com baixa população de perfilhos, a maior disponibilidade de N pode aumentar o número e o tamanho dos perfilhos até determinado valor, a partir do qual as plantas passam a competir entre si por fotoassimilados (SANTOS et al., 2009), com isso, o número de perfilhos tende a diminuir, deste modo o maior equilíbrio entre número de perfilhos e a competição por fotoassimilados pode ser expressa aos 49 dias, onde se encontra a maior acurácia do classificador. Além deste equilíbrio outro fator a ser correlacionado com a acurácia encontrada pelo classificador pode ser expresso pelo IAF (Índice de Área Foliar), neste trabalho os maiores índices de IAF foram encontrados entre os 42 e 49 dias como expresso na Figura 10, aos 56 dias ocorreu uma queda acentuada do IAF. O maior valor de IAF foi observado nas doses de 200 e 250kg/N<sup>-1</sup> aos 49 dias, com valores de 1,80 e 2,14 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> respectivamente. Os resultados obtidos foram diferentes dos encontrados por Gomide (1996) e Oliveira et al. (2000), devido ao fotoperíodo nos meses de julho a setembro

serem baixos. Os autores observaram respectivamente valores máximos de IAF 5,4 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> aos 42 dias de idade para a cultura de Tifton 85 (*Cynodon dactylon*) e aos 47 dias com valores máximos de IAF com 4,9 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. O fotoperíodo no qual foram realizados os experimentos são similares, os dois autores realizaram nos meses de dezembro a fevereiro onde possui maior fotoperíodo acarretando alterações nas características morfológicas da cultura.

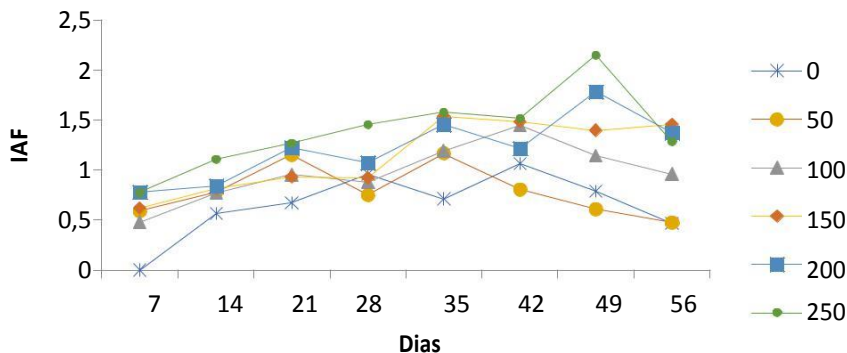


Figura 10: Resultado do IAF da área experimental

Os resultados encontrados das estimativas do coeficiente de correlação de Person entre as variáveis canônicas (CAN) entre leituras do clorofilômetro e os resultados obtidos com a extração do N foliar expressos na Figura 11, apresentaram uma alta correlação entre a CAN1 e as variáveis ICF, onde aos 49 obteve-se a maior correlação com 0,91% entre CAN1 e ICF, 0,82% entre CAN1 e % N foliar. Todos os resultados da correlação foram significativos ao nível de significância de 0,5%.

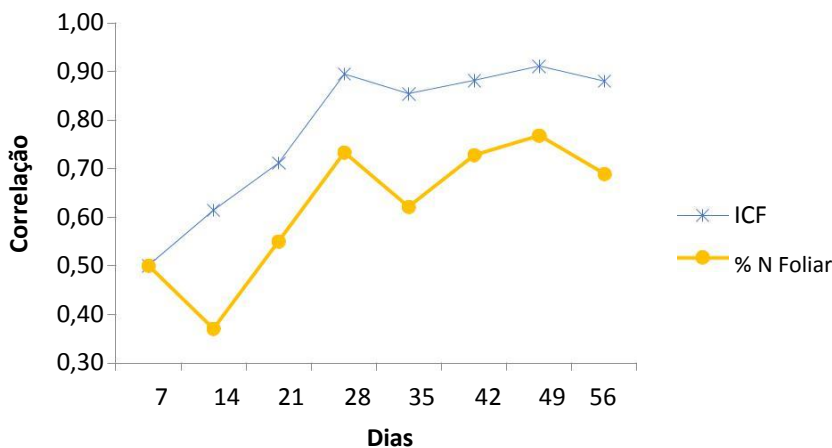


Figura 11: Correlação entre as variáveis canônicas com Índice Clorofila Falker e % N Foliar

## 4. CONCLUSÕES

Conclui-se que em função dos resultados obtidos pelo classificador estatístico no presente estudo, pode-se estimar níveis de N aplicados ao solo através de imagens utilizando sistemas de baixo custo (RGBI), onde este sistema pode ser instalado em máquinas agrícolas para utilização em aplicações de insumos a taxa variável.

A maior acurácia do classificador encontrada aos 49 dias sugere a sua utilização em torno deste período com intuito de predição de adubação nitrogenada, para correção ou futura aplicação após o corte subsequente.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAESSO, M.; PINTO, F. A. C., QUEIROZ, D. M.; VIEIRA, L.B.; Alves, E. A. **Determinação do "status" nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando imagens digitais coloridas.** Engenharia Agrícola, 27(2), 520-528, 2007

BAUSH, W. C.; DUKE, H. R. **Remote sensing of plant nitrogen status in corn.** Transactions of the ASAE, v. 39, n. 5, p. 1869-1875, 1996. < <http://dx.doi.org/10.13031/2013.27665> >

BOTTEGA, E. L. et al. **Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro.** Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan. 2013.

CONGALTON, RUSSELL G.; MEAD, ROY A. **A review of three discrete multivariate analysis techniques used in assessing the accuracy of remotely sensed data from error matrices.** Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, n. 1, p. 169-174, 1986.

DURO, DENNIS C.; FRANKLIN, STEVEN E.; DUBÉ, MONIQUE G. **A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery.** Remote Sensing of Environment, v. 118, p. 259-272, 2012.

OLIVEIRA, M. A., et al. . **Análise de crescimento do capim-bermuda 'Tifton 85'(Cynodon spp.).** Rev. bras. zootec, 29(6), pag.1930-1938. 2000.

FALKER, **Automação agrícola. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila.** (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre, 33p. 2008.

GITELSON, A.A., Y.J. KAUFMAN, AND M.N. MERZLYAK, 1996. **Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS,** Remote Sens. Environment, v.58, n3, p.289-298, 1996. < [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7) >

GOMIDE, C.A.M., GOMIDE, J.A. **Morfogênese e análise decrescimento de cultivares de *Panicum maximum*.** In:REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRADE ZOOTECNIA, 33, 1996, Fortaleza. *Anais*.Fortaleza:SBZ, 1996. p.403-405.

GUIJARRO, M; RIOMOROS, I; PAJARES; G; ZITINSKI; P. **Discrete wavelets transform for improving greenness image segmentation in agricultural imagens;** Computers and Electronics in Agriculture, Volume 118, Pages 396-407, 2015.

HUETE, A. R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI).** Remote sensing of environment, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. < [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X) >

JUNIOR, E. B. et al. **Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85.** Ciência Rural, v. 42, n. 12, p. 2241-2245, 2012.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W.; **Applied Multivariate statistical analysis**, 4. ed., Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 816 p,1999.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** *Biometrics*, United States, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1997.

LI, HELI et al. **Variations in crop variables within wheat canopies and responses of canopy spectral characteristics and derived vegetation indices to different vertical leaf layers and spikes.** *Remote Sensing of Environment*, v. 169, p. 358-374, 2015.

MATHWORKS. **Image Processing Toolbox for use with MATLAB Release 12.** Image Processing Toolbox User's Guide Revised for Version 2.2.2, 511p. Massachusetts, 2000.

NIJLAND, W., DE JONG, R., DE JONG, S. M., WULDER, M. A., BATER, C. W., & COOPS, N. C. (2014). **Monitoring plant condition and phenology using infrared sensitive consumer grade digital cameras.** *Agricultural and Forest Meteorology*, 184, 98-106.

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.

ROUSE JR, J.W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** *NASA special publication*, v. 351, p. 309, 1974.

RICHARDSON, A.D., BRASWELL, B.H., HOLLINGER, D.Y., JENKINS, J.P., OLLINGER, S.V..**Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenology.** *Ecol. Appl.* 19, 1417–1428. 2009.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; BALBINO, E.M. *et al.* **Capim-braquiária diferido e adubado com nitrogênio: produção e características da forragem.** *Rev. Bras. Zootec.*, v.38, p.650-656, 2009

SILVA JUNIOR, Mário C. da et al . **Using an aerial system of remote sensing to detect different nutritional status in *Brachiaria decumbens*.** *Eng. Agríc. Jaboticabal* , v. 33, n. 5, p. 1049-1062,2013.< <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000500016>>

SILVA, R.; VALÉRIA M. M. et al. **Uso de clorofilometro na avaliação da adubação nitrogenada e potássica no capim Tifton 85.** *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 12, n. 3, 2011.

TEDESCO, J.M., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., BOHNEN, H., VOLKWEISS, S.J.**Análise de Solo, Plantas e outros materiais.** . UFRGS, Porto Alegre, Brazil. 1995

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ., D. M. ; SENA J., DARLY G. de. **Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais.** *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient*, vol.6, n.2, pp. 225-229, 2002 ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200007>.

WIEGAND, C. L. et al. **Vegetation indices in crop assessments. Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 2, p. 105-119, 1991. < [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90004P](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90004P)

>

ZHANG, Y.; SLAUGHTER, D. C. **Hyperspectral species mapping for automatic weed control in tomato under thermal environmental stress**. *Computers and electronics in agriculture*, v. 77, n. 1, p. 95-104, 2011.

## **CONCLUSÕES GERAIS**

Conclui-se que em função dos resultados obtidos pelo capítulo 1, CLASSIFICADOR DE NÍVEIS DE N APLICADOS AO SOLO UTILIZANDO IMAGENS DE BAIXO CUSTO EM PASTAGENS DE TIFTON 85 e capítulo 2 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO CLASSIFICADOR PARA DOSES DE N APLICADOS AO SOLO EM PASTAGENS DE TIFTON85, indicam que os sistemas de imagens multiespectrais de baixo custo RGBI podem ser utilizados para desenvolver classificadores de doses de nitrogênio aplicadas ao solo. Esses classificadores poderão ser aplicados em algoritmos computacionais em sistemas de controle de máquinas agrícolas para aplicação de fertilizantes a taxas variáveis em agricultura de precisão.

Para uma melhor acurácia do sistema RGBI, convém sua utilização entorno dos 49 dias com intuito de predição de adubação nitrogenada, para correção ou futura aplicação após o corte subsequente.

