

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**Uso de imagens digitais na diagnose do teor de nitrogênio foliar em  
plantas de alface**

**HORRANA FERREIRA RIBEIRO**

**GURUPI - TO  
DEZEMBRO DE 2016**



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO **TOCANTINS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**Uso de imagens digitais na diagnose do teor de nitrogênio foliar em  
plantas de alface**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de “Mestre” em Produção Vegetal.

Orientador: Tarcísio Castro Alves de Barros Leal

Co-orientador: Jacinto Pereira Santos

**GURUPI – TO  
DEZEMBRO DE 2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

R484u Ribeiro, Horrana Ferreira Ribeiro.  
USO DE IMAGENS DIGITAIS NA DIAGNOSE DO TEOR DE  
NITROGÊNIO FOLIAR EM PLANTAS DE ALFACE. / Horrana Ferreira  
Ribeiro Ribeiro. – Gurupi, TO, 2016.

62 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do  
Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-  
Graduação (Mestrado) em Produção Vegetal, 2016.

Orientador: Tarcísio Castro Alves de Barros Leal

Coorientador: Jacinto Pereira Santos

1. Lactuca sativa L.. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Diagnose  
Foliar. 4. Nitrogênio. I. Título

**CDD 635**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de  
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que  
citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime  
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da  
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

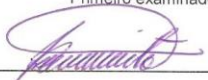
Defesa nº 11/2016

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE HERRANA  
FERREIRA RIBEIRO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
PRODUÇÃO VEGETAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**

Aos 16 dias do mês de Dezembro do ano de 2016, às 8 horas, no(a) Sala 2 do PG-PV, Câmpus Universitário de Gurupi-TO/ Universidade Federal do Tocantins reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. Tarcísio Castro Alves de Barros Leal do Câmpus Universitário de Gurupi-TO/ Universidade Federal do Tocantins, Prof. Co-orientador Dr. Jacinto Pereira Santos do Câmpus Universitário de Gurupi / Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. Ildon Rodrigues do Nascimento do Câmpus Universitário de Gurupi / Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de Herrana Ferreira Ribeiro, intitulada "USO DE IMAGENS DIGITAIS NA DIAGNOSE DO TEOR DE NITROGÊNIO FOLIAR EM PLANTAS DE ALFACE". Após a exposição, a discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, habilitando-o(a) ao título de Mestre/doutor em Produção Vegetal.


Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jacinto Pereira Santos  
Primeiro examinador

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ildon Rodrigues do Nascimento  
Segundo examinador

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Tarcísio Castro Alves de Barros Leal  
Orientador e presidente da banca examinadora

Gurupi, 16 de Dezembro de 2016.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis  
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Produção

*A Deus, pelo amor pleno e infinita sabedoria. Seu fôlego de vida em mim me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades. Aos meus amados pais, Gisele Ferreira dos Santos e Demerson Robert Ribeiro, por serem meu porto seguro. Aos meus irmãos Izabela Ferreira Ribeiro e Demerson Robert Ribeiro Junior, por serem minha fonte de paz e felicidade.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Gratidão eterna a Deus, pelo amor pleno e infinita sabedoria.

A Universidade Federal do Tocantins, por possibilitar a realização de um sonho, concluir o Mestrado em Produção Vegetal.

Ao professor e orientador Dr. Tarcísio Castro Alves de Barros Leal, pelos ensinamentos, respeito e oportunidade para realização do Mestrado em Produção Vegetal, meus sinceros agradecimentos.

Ao meu coorientador Dr. Jacinto Pereira Santos, não apenas pelo conhecimento repassado a mim, mas também pela compreensão, paciência e companheirismo.

A todos os professores que ministraram disciplinas no curso de Mestrado em Produção Vegetal, pela amizade, dedicação, colaboração e pelo conhecimento transmitido.

Aos amigos-irmãos Adriana Augusta Neto, Joilton Lopes Sousa, Kamilla Sousa, Maria Tereza Barbosa e Aquiles Bandeira, pela parceria e por torcerem por mim em cada vitória alcançada. As queridas Cynthia Lhourrana e Fabiana Thays, pela ajuda na condução deste trabalho.

Aos meus pais amados Gisele Ferreira dos Santos e Demerson Robert Ribeiro, por serem meu bem maior e amor eterno. Aos meus irmãos amados Izabela Ferreira Ribeiro e Demerson Robert Ribeiro Junior, por todo o carinho e amor genuíno.

Aos meus avós Jerônimo Ribeiro Neto e Iracy Virginia Zuffi Ribeiro, ao meu tio Douglas Rogério Ribeiro e minha madrastra Cristiane Fonseca Goulart, por acreditarem em mim e pelas energias positivas que serem me transmitiram.

Ao meu amor Athos Ricardo Daneluz, pela amizade, respeito, cumplicidade e paciência eterna. Aos meus sogros amados, por todo o acolhimento.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aos que fizeram parte desta longa jornada, os meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 Hortaliças no Brasil e no Tocantins.....	15
2.2 Alface .....	19
2.2.1 Origem.....	19
2.2.2 Características da cultura .....	20
2.3 Adubação mineral .....	22
2.3.1 Nitrogênio e sua importância para a cultura da alface .....	23
2.3.2 Clorofila .....	25
2.4 Sensoriamento Remoto a favor da agricultura.....	26
2.4.1 O sistema de cores RGB. ....	31
3 MATERIAL E METODOS.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
5 CONCLUSÕES .....	50
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

<b>Figura 1:</b> Interação conceitual entre folha da cultura e luz incidente .....	27
<b>Figura 2:</b> Mudas de alface ( <i>Lactuca sativa L.</i> ) produzidas em bandejas de isopor de 288 células. ....	62
<b>Figura 3:</b> Coleta de níveis digitais nas bandas R-Red, B-Blue e G-Green de plantas de alface ( <i>Lactuca sativa L.</i> ), com o uso do <i>software</i> Spring .....	62
<b>Figura 4:</b> Relação do teor de clorofila “a”, “b” e total (“a” + “b”) com diferentes doses de nitrogênio em plantas de alface ( <i>Lactuca sativa L.</i> ). ....	35
<b>Figura 5:</b> Gráfico de dispersão e análise de regressão entre teores relativos de clorofila total e índice digital (G-B), de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa L.</i> ).....	47



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Análise de variância das clorofilas “a”, “b” e total (“a” + “b”) obtidas através do medidor de clorofila clorofiLOG, em folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.) em função de doses de N .....	34
<b>Tabela 2:</b> Valores de níveis digitais das bandas espectrais (B-Blue, G-Green e R-Red) de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.) coletados pelo <i>software</i> Spring em função de doses de N .....	36
<b>Tabela 3:</b> Teores relativos de clorofila “a”, clorofila “b” e clorofila total em folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.), coletados pelo aparelho portátil clorofilômetro (SPAD-502) em função de doses de N .....	37
<b>Tabela 4:</b> Correlação entre os teores de clorofila total e níveis digitais da banda R-Red, de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.).....	39
<b>Tabela 5:</b> Correlação entre os teores de clorofila total e níveis digitais da banda G-Green, de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.) .....	39
<b>Tabela 6:</b> Correlação entre os teores de clorofila total e níveis digitais da banda B-Blue de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.) .....	40
<b>Tabela 7:</b> Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R+G+B), de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	41
<b>Tabela 8:</b> Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R+G), de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	42
<b>Tabela 9:</b> Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R+B), de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	42
<b>Tabela 10:</b> Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (G+B), de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	43
<b>Tabela 11:</b> Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R-G), de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	43
<b>Tabela 12:</b> Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R-B), de folhas de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.)	44

**Tabela 13:** Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (G-B), de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*) ..... 45

**Tabela 14:** Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (G-R), de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*) ..... 45

**Tabela 15:** Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (B-R), de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*) ..... 46

**Tabela 16:** Correlação de entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (B-G), de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*) ..... 46

## RESUMO

A quantificação da clorofila pode ser feita por métodos diretos, destrutivos, ou indiretos, não destrutivos. Estes últimos vêm sendo mais utilizados por serem mais rápidos e terem menor custo, exemplos são os medidores portáteis SPAD. Dados coletados com câmeras digitais também podem ser utilizados para detectar níveis de estresse nutricional, permitindo ajustes no programa de adubação nitrogenada, ainda durante o ciclo da cultura. Objetivou-se avaliar a resposta espectral de plantas de alface submetidas a diferentes doses de nitrogênio e correlacionar valores de refletância espectral com os teores de clorofila obtidos a partir de métodos convencionais. Foi instalado um experimento de alface (*Lactuca sativa L.*) com 6 tratamentos (0; 50; 100; 150; 200 e 250 kg/ha) de N aplicado na forma de uréia e 4 repetições, onde foi avaliado a correlação entre os teores relativos de clorofila foliar e os níveis digitais de 3 bandas espectrais (Vermelho-R, Verde-G e Azul-B). Os teores relativos de clorofila foram coletados por aparelho portátil SPAD e os níveis digitais foram extraídos da análise de imagens fotográficas digitais através do *software* Spring. Concluiu-se que a banda Green apresenta boas perspectivas para classificações de reflectância e que o uso de câmeras digitais na agricultura constitui um importante avanço em tecnologia em termos de auxílio à tomada de decisões.

**Palavras chave:** *Lactuca sativa L.*; sensoriamento remoto; diagnose foliar;

## ABSTRACT

The quantification of chlorophyll can be done by direct, destructive, or indirect, non-destructive methods. The latter are being used more often because they are faster and cost less, examples are SPAD portable meters. Data collected with digital cameras can also be used to detect levels of nutritional stress, allowing adjustments in the nitrogen fertilization program, even during the crop cycle. In this sense, the objective was to evaluate the spectral response of lettuce plants submitted to different doses of nitrogen and to correlate values of spectral reflectance with the chlorophyll content obtained from conventional methods. A lettuce (*Lactuca sativa* L.) experiment was carried out with 6 treatments (0; 50; 100; 150; 200 e 250 kg/ha) and 4 replicates, where the correlation between the relative levels of leaf chlorophyll and the digital levels of 3 spectral bands was evaluated (Red, Green e Blue). The relative contents of chlorophyll were collected by SPAD portable apparatus and the digital levels were extracted from the analysis of digital photographic images through the Spring software. It was concluded that the Green band presents good prospects for reflectance ratings and that the use of digital cameras in agriculture constitutes an important advance in technology in terms of decision support.

**Key words:** *Lactuca sativa* L.; remote sensing; leaf diagnosis;

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A alface pertence à família *Asteraceae* (*Compositae*), subfamília *Cichorioideae*, gênero *Lactuca* (LOPES, 2002), espécie *Lactuca sativa L.*, sendo uma espécie que apresenta cultivares com variação de forma, cor e textura das folhas, o que caracteriza os diferentes tipos comerciais (CARVALHO FILHO et al., 2009). É composta basicamente por folhas, respondendo, portanto, muito bem aos nutrientes que promovem o crescimento vegetativo, em especial o nitrogênio (RESENDE et al., 2005).

O setor de hortaliças é um ramo do agronegócio em pleno crescimento, movimentando, anualmente, milhões de reais em toda a sua cadeia. Dentre as folhosas produzidas no Tocantins, a alface (*Lactuca sativa L.*) é cultivada por produtores de hortaliças, constituindo importante fonte de receita para os mesmos (AZEVEDO et al., 2000). Segundo ALENCAR et al. (2012), para muitos produtores da região sul do estado, essa hortaliça representa uma ótima fonte de renda, com um rápido retorno do investimento empregado.

Para as plantas de alface, o nitrogênio (N) é o segundo nutriente mais exigido (BENINNI et al., 2005) por estar diretamente associado às características vegetativas, reprodutivas e morfológicas (MALAVOLTA et al., 2006). O manejo correto da adubação nitrogenada é importante para obtenção de produto de elevado padrão comercial e nutricional. Além disso, o uso indiscriminado desse nutriente pode vir a prejudicar o ambiente, a qualidade do produto, além de aumentar o custo de produção (SILVA et al., 2010).

O nitrogênio é componente estrutural de várias moléculas e estruturas da planta, destacando-se a clorofila, pigmento responsável pela fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2004). O teor de clorofila na folha é utilizado para predizer o nível nutricional de nitrogênio em plantas, pois este pigmento tem correlação positiva com o teor de nitrogênio. (BOOIJ et al., 2000). Essa relação é atribuída principalmente ao fato de 50 a 70 % do N total das folhas ser integrante de enzimas (CHAPMAN e BARRETO, 1997) associadas aos cloroplastos (STOCKING e ONGUN, 1962).

A quantificação da clorofila pode ser feita por métodos diretos, destrutivos, ou indiretos, não destrutivos. As determinações de quantidade de clorofila foliar

por intermédio dos métodos tradicionais requerem destruição das amostras de tecido e muito trabalho nos processos de extração e quantificação. O desenvolvimento de medidores portáteis de clorofila, que permitem medições instantâneas do valor correspondente ao seu teor na folha sem destruí-la, constitui alternativa para estimar o teor relativo desse pigmento na folha (DWYER et al., 1995; ARGENTA et al., 2001).

Outro método não destrutivo também utilizado para obtenção do teor de clorofila é a medição da refletância da cultura por meio de radiômetros ou câmeras digitais, sendo que o sistema de visão artificial se torna o mais viável economicamente, além de apresentar grande potencial de utilização na agricultura de precisão (SENA JUNIOR et al., 2007). Visão artificial é caracterizada como a obtenção de informações de imagens ou quaisquer dados multidimensionais. Dados coletados com câmeras digitais podem ser utilizados para detectar níveis de estresse nutricional por nitrogênio em tempo real para a adubação de cobertura (NOH et al., 2006).

O teor de clorofila está estreitamente ligado ao estado nutricional da planta e que sua quantificação é fundamental na agricultura, sendo importante fonte de pesquisa para o desenvolvimento de novas metodologias de aplicação de nutrientes que visam a obtenção de dados com eficiência, rapidez e baixo custo.

Objetivou-se avaliar a resposta espectral de plantas de alface submetidas a diferentes doses de nitrogênio e correlacionar valores de refletância espectral com os teores de clorofila obtidos a partir de método convencional com o uso do aparelho clorofilômetro (SPAD-502).

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Hortaliças no Brasil e no Tocantins**

A produção de hortaliças no Brasil corresponde a 6% do PIB agropecuário nacional. Estima-se que a área explorada seja de 800 mil hectares, com produção aproximada de 16 milhões de toneladas (BISCARO et al., 2013). A produção de hortaliças possibilita a geração de grande número de empregos, sobretudo no setor primário, devido à elevada exigência de mão-de-obra desde a sementeira até a sua comercialização (SILVA e COSTA, 2010). Estima-se que cada hectare de hortaliças gere, em média, entre 3 a 6 empregos diretos e um número idêntico de empregos indiretos (SEBRAE NACIONAL, 2015).

As hortaliças em sistemas de produção em campo aberto exigem investimento médio inicial de US\$ 1 mil a US\$ 5 mil por hectare, e geram mais lucro a cada hectare cultivado, do que quando comparada a outras culturas, como os grãos. Por isso, apesar das variações cíclicas e sazonais das hortaliças, os negócios no setor são bastante atrativos. Em condições normais de mercado, estima-se que as hortaliças gerem renda entre US\$ 2 mil e US\$ 20 mil por hectare. Essa variação acontece porque os lucros obtidos dependem do valor agregado do produto e da conjuntura de mercado. Além disso, a maior rentabilidade da cultura é condicionada ao alto nível tecnológico, incluindo cultivares mais produtivos e manejo adequado da cultura (SEBRAE NACIONAL, 2015).

No Tocantins, de acordo com dados do Desenvolvimento Rural do Tocantins (Ruraltins), o segmento de hortaliças folhosas tem registrado um crescimento considerável (BRITO, L., 2011). Em 2008, a área plantada no Estado era de 185 ha. No ano seguinte, subiu para 385 ha e em 2010 chegou a 397 ha, um aumento médio de 20% ao ano. Atualmente, as cidades de Palmas, Gurupi, Araguaína, Porto Nacional e Paraíso são as maiores produtoras de hortaliças do Estado.

Com o intuito de promover uma alimentação mais saudável e de qualidade ao agricultor familiar, em janeiro de 2014 o Ruraltins colocou em ação o projeto Produção Agroecológica Sustentável (PAS), que consiste na instalação de

hortas circulares irrigadas, integradas a produção de aves e peixes. Atualmente, mais de 20 hortas circulares estão instaladas em diversos municípios do Estado, beneficiando 345 famílias e uma média de 1.720 pessoas, contribuindo para o consumo e comercialização dos produtores familiares tocantinenses. Além das hortas circulares, há as convencionais, que é uma ação constante do Ruraltins. Em 2015 foram instaladas 1.346 em todo o Estado, chegando a beneficiar mais de 1.633 famílias. Essas hortas estão sendo cultivadas em áreas urbanas e rurais, como escolas, presídios, aldeias indígenas, comunidades quilombolas e tradicionais (CARDOSO, 2016).

Estima-se que entre 55% e 60% do volume de hortaliças é comercializada pelos mercados atacadistas, que movimentam uma média anual de 15 milhões de toneladas de hortaliças oriundas da produção nacional e importada, totalizando um valor no atacado superior a R\$ 10 bilhões (SEBRAE NACIONAL, 2015).

SANTOS et al (2011) traçaram um perfil das redes supermercadistas que comercializam hortaliças no município de Palmas, capital do Estado do Tocantins. Neste estudo, redes supermercadistas apresentam estruturas diferenciadas para a aquisição de hortaliças, sendo utilizado um sistema misto para a compra dos produtos, ou seja, parte fornecidos por produtores da região e as demais advindas do mercado externo. Os pequenos produtores, localizados na região de Palmas, são fornecedores potenciais de hortaliças do tipo folhosas, sendo estas distribuídas com frequência diária, porém de forma descentralizada. Todavia, são poucos os casos de produtores da região que sugerem a diversificação da produção com uma boa estratégia para aumentar a variedade de produtos a serem oferecidos ao mercado local.

REARDON et al. (2005) destacaram que as mudanças organizacionais nos sistemas de compras dos supermercados e a exigências impostas por esses agentes, como o desenvolvimento de padrões privados, implicam esperanças e preocupações para pequenos produtores rurais. As esperanças estão relacionadas com as oportunidades criadas pela expansão e diversificação do mercado, proporcionando aumento na possibilidade de renda para os produtores. Entretanto, são necessárias diversas mudanças de caráter gerencial e tecnológico para adaptar à realidade do produtor rural às novas exigências do mercado. No Brasil, observou-se que aqueles produtores incapazes de atender



as exigências impostas pelas grandes redes varejistas mantém o fornecimento através do canal tradicional, as CEASA's, ou buscam canais alternativos para o escoamento dos seus produtos (MACHADO, 2004).

SANTOS et al. (2011) afirma que, por meio de um enfoque integrador das atividades agrícolas e não agrícolas, seja possível promover um modelo de desenvolvimento rural que permita aos seus habitantes melhorarem suas condições de emprego, renda e qualidade de vida. O desafio dos produtores da região sul do Estado do Tocantins é incorporar inovações científicas e tecnológicas no aproveitamento de suas potencialidades. Também necessitam de apoio, estímulo e fomentação das iniciativas de produção, comercialização e consumo de alimento, bem como, contribuir para a garantia do sucesso ao alimento em quantidade, qualidade e regularidade adequadas, gerando renda e tornando-os capazes de atender as exigências das grandes centrais de compras.

A alface é a folhosa mais consumida no Brasil e a 3ª hortaliça em maior volume de produção, perdendo apenas para a melancia e o tomate, segundo a Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM, 2015). Com área cultivada em torno de 80 mil ha em todo o território brasileiro no ano de 2011, a alface destaca-se pela importância econômica e produtividade, sendo no estado de São Paulo o maior produtor, seguido do Rio de Janeiro e Minas Gerais (HORTIBRASIL, 2013). A expansão da cultura da alface para áreas de clima tropical enfrentou problemas devido às altas temperaturas e a pluviosidade elevada, características destas regiões. No estado do Tocantins o cultivo da alface é realizado durante todo o ano, porém com menor área cultivada no período do verão, justamente devido a ocorrência de chuvas e temperaturas elevadas nesta época.

Devido a sua alta perecibilidade, normalmente é plantada próximo aos centros consumidores, sendo necessário produzi-la nas mais variadas regiões brasileiras ao longo do ano (FERREIRA et al., 2008). Em âmbito nacional, estimativas do Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças da EMBRAPA mostram que, em todo o território brasileiro, existem 66.301 propriedades rurais produzindo alface comercialmente, dos quais, 30% estão na região sudeste, 30% na região sul, 26% na região nordeste, 7% na região centro-oeste e 6% na região norte, com produção de 525.602 toneladas (HORTIBRASIL, 2013).

A estrutura necessária para a produção da alface pode variar conforme a tecnologia disponível, a região produtora, o clima, a topografia e o mercado consumidor. Em cada sistema existente, os produtores buscam maior produção e rentabilidade. A literatura enfatiza a possível utilização de cinco tipos diferentes de sistemas de produção, sendo eles: campo aberto (convencional), orgânico, túnel baixo, estufa e hidropônico. Por se tratar de um investimento inicial menor, a produção de hortaliças a campo aberto é um dos sistemas mais utilizados na agricultura brasileira e o mesmo pode obter altas produtividades, de acordo com o tipo de manejo, durante o cultivo (YURI et al, 2012). A propagação da alface é sexuada, ou seja, se dá por meio de sementes e os possíveis métodos utilizados são a formação de mudas em sementeiras ou bandejas de isopor ou ainda a semeadura direta.

O consumo da alface tem aumentado não só pelo crescente aumento da população brasileira, mas também pela tendência de mudança no hábito alimentar do consumidor, tornando-se inevitável o aumento da produção. (OHSE et al., 2001). Nos últimos anos, as mudanças no hábito de consumo tem levado a segmentação do setor de hortaliças no Brasil, alterando seu modo de produção e comercialização (FAULIN e AZEVEDO, 2003).

Atualmente, o consumo médio de alface *per capita* brasileiro situa-se em torno de 1,5 kg/ano, considerado baixo pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A recomendação da OMS é de 400 g por dia, ou 147 kg por habitante ao ano (EAEAGRICOLA, 2014). De maneira generalizada, seu consumo está concentrado nas classes A e B e nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Em relação a importância do consumo de hortaliças com alto teor de clorofila, TANAKA E YAMASGISHI (1997) citam que a ingestão de clorofila promove efeitos estimulantes no crescimento de tecidos, atuando como uma substância promotora da multiplicação de fibroblastos, células do tecido conjuntivo, responsáveis pelo processo de cicatrização.

## **2.2 Alface (*Lactuca sativa* L.)**

### **2.2.1 Origem**

Embora acompanhem o homem desde sempre, as hortaliças passam despercebidas nos meandros da História, mais apta a registar as culturas e os produtos agrícolas com maior peso económico e social (ALMEIDA, 2009). A cultura da alface é utilizada na alimentação humana desde 500 anos a.C. Hortaliça originária do Leste do Mediterrâneo, foi muito popular na Roma antiga e introduzida na Europa pelos romanos (DAVIS et al., 1997). Posteriormente, difundiu-se rapidamente para a França, Inglaterra e, posteriormente, por toda a Europa, mostrando-se uma cultura muito popular e de uso extensivo. No continente americano foi trazida pelos colonizadores por volta do século XV e desde 1647 é cultivada no Brasil (RYDER e WHITAKER, 1976).

## 2.2.2 Características da cultura

A alface é uma planta herbácea, com caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas. Estas folhas são grandes, lisas ou crespas, fechando-se ou não na forma de uma “cabeça”. Sua coloração varia de verde amarelado ao verde escuro, sendo que algumas cultivares apresentam as margens arroxeadas. As raízes são do tipo pivotante, podendo atingir 0,60 m de profundidade quando em semeadura direta, porém, apresentam ramificações delicadas, finas e curtas, explorando apenas os primeiros 0,25 m de solo (FILGUEIRA, 2008).

É uma hortaliça folhosa de importância capital na dieta alimentar devido ao seu baixo valor calórico (SANAVITA, 2005). Cada 100 g de folhas de alface contém apenas 15 kcal, o que a torna um alimento importante em dietas de restrição calórica (BEZERRA et al., 2006). Além disso, contém boas quantidades de sais minerais e vitaminas A, B1, B2, B6 e C.

A alface pode, didaticamente, ser dividida em seis grupos distintos: repolhuda manteiga, repolhuda crespa (americana), solta lisa, solta crespa, mimosa e romana (FILGUEIRA, 2003). As alfaces do grupo repolhuda são as que formam cabeça e as que não formam cabeça são consideradas de folhas soltas.

O tipo crespo é predominante no Brasil, com 70% do mercado (COSTA e SALA, 2005; RODRIGUES et al., 2007). No entanto, existe a tendência de diferenciação da cultivar, com a oferta de produtos para atender às diversas demandas e preferências dos consumidores. Assim, neste novo cenário de mercado, foi introduzida no Brasil na década de 80 um novo grupo de alface, hoje conhecida como repolhuda crespa ou “alface americana”. Este grupo teve uma grande aceitação pelas redes de *fast food* e tal fato se deve principalmente pela sua capacidade de manter as características físicas quando em contato com altas temperaturas, por exemplo, no interior dos sanduíches, e também por conservar-se por um período de tempo maior após a colheita, isto é, apresentar maior capacidade de armazenamento. (YURI et al., 2002).

Por ser uma planta originária de clima ameno, Silva (1995) explica que, quando a alface se encontra em locais com condições de temperatura elevada

seu ciclo vegetativo torna-se acelerado, antecipando a fase reprodutiva em detrimento da produtividade e qualidade do produto, o que ocasiona acúmulo excessivo de látex e, conseqüentemente, torna as folhas amargas, rígidas e de tamanho e número reduzidos.

### **2.3 Adubação mineral**

Plantas crescem e se desenvolvem absorvendo água e elementos minerais do solo e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) através das folhas. Uma série de elementos minerais são individualmente necessários para o crescimento e o desenvolvimento da planta somente ocorrerá se todos estiverem adequadamente disponíveis, e sendo modificados ou cessando se algum deles não for adequadamente suprido. O fator limitante ou deficiente muitas vezes pode ser a água, a luz solar ou até mesmo o CO<sub>2</sub>, mas mais frequentemente será um dos elementos minerais obtidos do solo. Estes elementos podem ser fornecidos por meio da aplicação de fertilizantes. (LIBUY, 2007)

A análise química do solo certamente é a principal ferramenta para o diagnóstico da fertilidade do solo e estabelecimento da necessidade de correção e adubação das culturas. Mas, o solo é um meio complexo, heterogêneo e nele ocorrem inúmeras reações químicas, físico-químicas e microbiológicas que influenciam a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes aplicados com os fertilizantes. Os tecidos das plantas, por sua vez, mostram o seu estado nutricional em um dado momento, de modo que a análise dos tecidos aliada à análise do solo permite o diagnóstico mais eficiente do estado nutricional da cultura e das necessidades de alterações no programa de adubação. Na folha ocorrem os principais processos metabólicos, portanto, é o órgão que melhor representa o estado nutricional da planta. O uso da diagnose foliar baseia-se nas premissas de que existem, dentro de limites, relações diretas entre teor foliar de nutrientes e produção (FAQUIN, 2002).

### 2.3.1 Nitrogênio e sua importância para a cultura da alface

Todos os elementos minerais essenciais têm importância do ponto de vista nutricional para a planta, sendo alguns exigidos em maior quantidade e outros em menor proporção. Para alface, o nitrogênio é o segundo elemento químico mais extraído (BENINNI et al., 2005). A maioria das recomendações de adubação nitrogenada para as culturas baseia-se na expectativa de produção e no teor de matéria orgânica do solo. Elas são fundamentadas na hipótese de que a matéria orgânica irá liberar nitrogênio (N) em tempo hábil para uso das plantas, além do N fornecido pelos fertilizantes, satisfazendo, assim, as necessidades das culturas (AMADO, 1997). No entanto, a utilização da matéria orgânica como parâmetro único para recomendar a adubação nitrogenada é insuficiente, pois, apesar de ser importante fonte de N, é necessário que este nutriente esteja liberado nas formas minerais ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) para absorção pelas plantas (ANGHINONI e SANTANA, 1986). No solo, em torno de 95% do N está na forma orgânica (não disponível) e apenas 5% na forma mineral (disponível) (KEENEY, 1982). Assim, a disponibilidade de N não tem sido eficientemente avaliada por meio de análises do solo e, por essa razão, o N-foliar vem sendo empregado como guia para recomendação de nitrogênio (QUAGGIO et al., 2005).

Em geral, a adubação nitrogenada recomendada para a alface gira em torno de 100 a 130 kg/ha de N, parcelados em 3 aplicações (IAC, 2005). Quando se utilizam doses excessivas de N, além do custo, existe ainda a preocupação ambiental, graças ao potencial poluidor do nitrato, altamente móvel no solo (TUMBO et al., 2002). Deve-se destacar ainda que a fixação industrial do N para produção de fertilizantes químicos é altamente dependente da energia proveniente de combustíveis fósseis (SENA JUNIOR et al., 2008). A otimização no uso dos insumos, além de contribuir para maximizar o retorno financeiro, reduz o impacto ambiental resultante das atividades agrícolas.

As fontes nitrogenadas mais utilizadas na agricultura brasileira são a ureia e o sulfato de amônio (BARBOSA FILHO et al., 2015). De acordo com SCIVITTARO et al. (2004), a ureia destaca-se pela facilidade de acesso no mercado, menor custo por unidade de N, elevada solubilidade e compatibilidade

para uso em mistura com outros fertilizantes. Essa fonte nitrogenada apresenta em torno de 45% de nitrogênio solúvel em água, que no solo transforma-se em amônia (NH<sub>3</sub>), passando em seguida para formas mais oxidadas como nitrito e nitrato (MALAVOLTA et al., 2002).

O nitrogênio promove maior aumento no rendimento da cultura da alface, bem como no peso médio da cabeça, sendo por essa razão, utilizado em grandes quantidades. Sua deficiência retarda o crescimento e causa má formação da cabeça, as folhas mais velhas amarelecem e caem com facilidade (FURLANI, 1998).



### **2.3.2 Clorofila**

A clorofila, pigmento que dá a cor verde à planta, é responsável pelo processo de fotossíntese da planta, onde através da quebra das moléculas de água e gás carbônico, na presença de luz, acontece liberação de gás oxigênio e geração de compostos orgânicos como glicose, frutose, sacarose e amido. A molécula de clorofila possui uma estrutura baseada num sistema tetrapirrólico, no qual anéis de pirrol, compostos por quatro carbonos e um nitrogênio, formam um circuito conjugado fechado, coordenados por um átomo de magnésio central (STREIT et al., 2005).

Como grande parte do N contido nas folhas é integrante das enzimas que estão associadas aos cloroplastos e participam da síntese das moléculas de clorofila, o teor de clorofila pode ser utilizado como um indicador do nível de N na planta. Diversos estudos têm apontado que o teor de clorofila pode ser empregado como variável para avaliação do estado nutricional de N das plantas, apresentando correlação positiva com o rendimento das culturas (ARGENTA et al., 2001; FONTES et al., 1997).

## 2.4 Sensoriamento Remoto a favor da agricultura

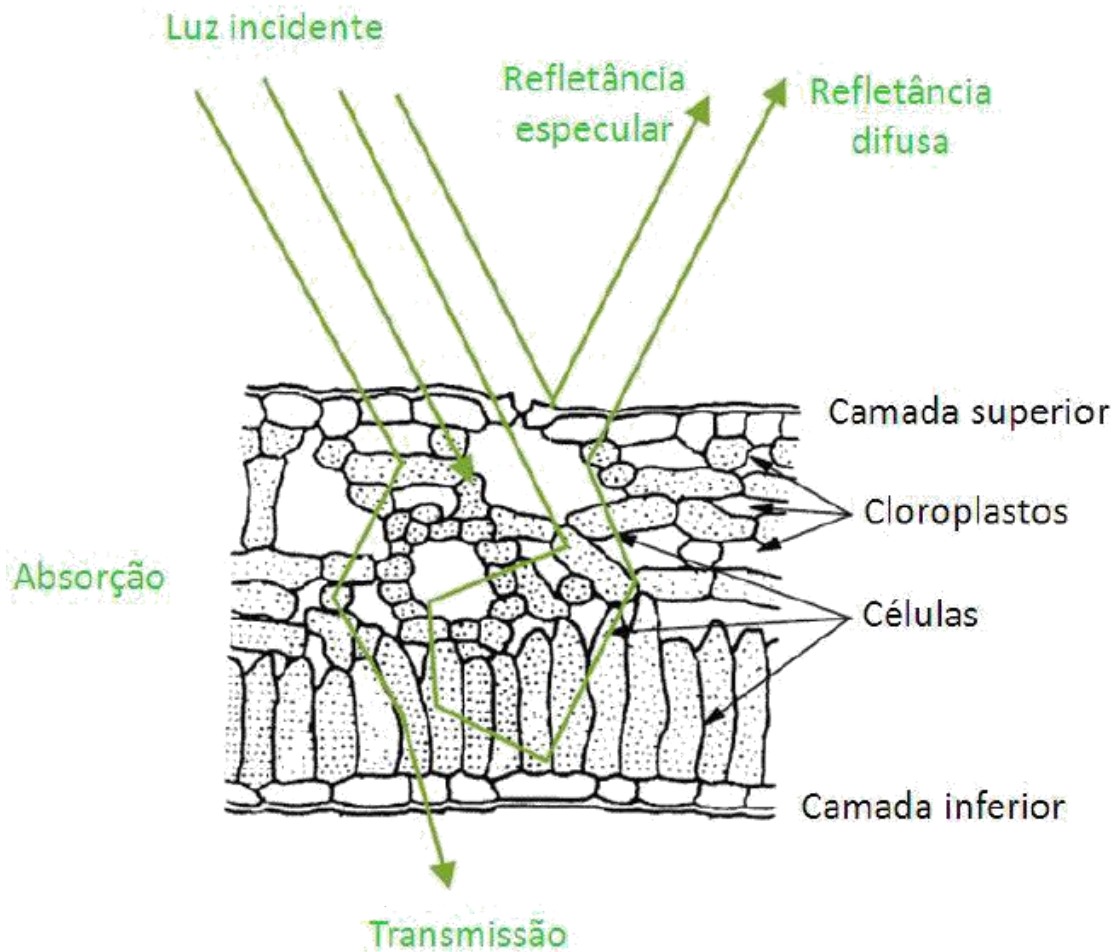
Atualmente a diretriz na agricultura é a racionalização de insumos e custos. Aliado a esta premissa, a agricultura de precisão, segundo MOLIN (2004), é um conjunto de tecnologias e procedimentos com o objetivo de otimizar as lavouras e sistemas de produção, tendo como elemento chave o manejo da variabilidade da produção e dos fatores envolvidos. Entre as ferramentas utilizadas na agricultura de precisão destaca-se o sensoriamento remoto. Este, é caracterizado pelo conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos. A radiação solar ao atingir a superfície da planta resulta em três frações: absorvida, refletida e transmitida, que dão origem aos componentes absorvância, refletância e transmitância, respectivamente.

As medidas de refletância vêm sendo utilizadas como indicadoras do estado nutricional das culturas referente ao N. Os aspectos positivos desta tecnologia referem-se à pequena necessidade de procedimentos laboratoriais e, conseqüentemente, menores custos. Além disso, o tempo entre amostragens e resultados é muito menor do que quando são feitas análises de indicadores do solo. Isto é essencial para a correção de deficiência de N (SCHRODER et al., 2000).

Plantas expressam sua deficiência por N a partir de alguns indicadores, sendo que o de maior potencial, apontado pela pesquisa e atual indústria do ramo, é a mensuração da refletância da luz que incide sobre o vegetal (MOLIN, 2009). A refletância vegetal é afetada pela estrutura interna das folhas (EITEL et al., 2008), fundamentalmente em função da dispersão que ela sofre no mesófilo, exemplificado na Figura 1.

Uma pequena faixa do espectro tem sido utilizada para o sensoriamento de nitrogênio em plantas; trata-se da região do visível e do infravermelho próximo compreendidos entre 400 e 850 nm (PORTZ, 2011). A combinação da refletância de objetos da superfície em dois ou mais comprimentos de onda, especialmente

na região do visível e infravermelho, é chamada de índice de vegetação, cuja finalidade é destacar uma propriedade particular da vegetação. Os Índices de Vegetação (IVs) são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo teor de clorofila (JENSEN, 2009).



**Figura 1:** Interação conceitual entre folha da cultura e luz incidente. Fonte: Adaptado de material técnico interno Yara Internacional, citado por PORTZ, 2011.

Da luz que incide sobre a folha do vegetal, parte é prontamente refletida pela camada superior da folha (refletância especular) e outra parte sofre 3 diferentes tipos de interações, são elas: uma parte penetra-se na folha e é absorvida no mesófilo, e em decorrência do grande número de paredes celulares

no interior da folha, outra parte transpassa a folha e se perde e, por fim, a última parte é refletida como radiação difusa. Esse comportamento é distinto em diferentes comprimentos de onda, o que forma a base para o uso de bandas do espectro como fonte de informação. Os principais mecanismos que influenciam na quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas são os pigmentos, compostos pelas clorofilas “a” e “b”, pelos carotenóides, xantofilas e antocianinas, espaços ocupados pela água, ar e estruturas celulares com dimensões do comprimento de onda da radiação incidente (MOREIRA, 2005), como grãos de amido, mitocôndrias, ribossomos, núcleo e outros plastídios (BARBOSA, 2014). Há outros fatores que também afetam a energia refletida pelas folhas, como conteúdo de água, maturação ou idade da folha, posição nodal, condição de iluminação, pubescência e senescência (GATES et al., 1965)

O comportamento espectral dos alvos da superfície terrestre é representado por curvas de refletância espectral, que representam a variação da energia refletida pelos objetos em cada comprimento de onda. Esta diferença na radiação refletida torna possível a identificação e diferenciação dos objetos em produtos de sensores remotos (NOVO, 2008). No estudo do comportamento espectral da vegetação, a curva espectral da vegetação sadia é caracterizada pela intensa absorção da radiação eletromagnética nas regiões do azul e do vermelho, causada pela quantidade de pigmentos fotossintetizantes, e pela intensa reflexão do infravermelho próximo, causada pela estrutura foliar (BARBOSA, 2014). De acordo com SCHRÖDER et al. (2000), parâmetros obtidos pela combinação da refletância no vermelho com o infravermelho próximo podem ser bons indicadores da tonalidade de verde da cultura e, conseqüentemente, do teor de clorofila.

Na maioria dos países em que a agricultura está em estágios mais avançados, o uso do teor de matéria orgânica do solo como parâmetro indicador do nível de N no sistema solo/planta durante a estação de cultivo está sendo substituído por outros métodos. Dentre as técnicas com potencial para avaliar o estado de nitrogênio da planta em tempo real destaca-se a análise da intensidade do verde das folhas (GIL et al., 2002). Este dado pode ser determinado por meio de mensurações de refletância (MA et al., 1996) e de absorção (ARGENTA et al., 2001). A deficiência de nutrientes no vegetal afeta de forma significativa as propriedades ópticas, provocando clorose, a qual é

responsável pelo aumento da refletância na região do visível, devido ao decréscimo do teor de clorofila (PONZONI, 2001).

O uso do teor de clorofila na avaliação do estado nutricional das plantas em relação ao N demonstra grande potencial, se apresentando eficaz para prever a necessidade desse elemento para as culturas (ARGENTA et al., 2001).

Um dos métodos indiretos utilizados para avaliar o teor de clorofila nas folhas no campo de maneira não destrutiva se baseia na medida da absorvância de luz pela clorofila por meio de equipamentos portáteis medidores de clorofila, como o clorofilômetro SPAD (Soil Plant Analysis Development) e o colorímetro Minolta CR. Estes métodos tem sido utilizados para prever o estado nutricional com relação ao nitrogênio em diversas culturas (ARGENTA et al., 2001). As leituras efetuadas pelo medidor portátil correspondem ao teor relativo de clorofila presente na folha da planta. Os valores são calculados pelo equipamento com base na quantidade de luz transmitida pela folha em dois comprimentos de ondas, com diferentes absorvâncias de clorofila. (MINOLTA CAMERA, 1989). A medida SPAD, portanto, avalia dois pontos, um de alta absorvância, na região do vermelho, onde há um pico de absorvância pela clorofila e outro na região do infravermelho, onde ocorre a máxima transmitância e remoção do efeito da espessura da folha e o seu grau de hidratação, podendo-se estimar indiretamente o teor de clorofila (SOUZA et al., 2011). PURCELL et al, (2010) citam que as desvantagens no uso do medidor SPAD incluem um alto custo inicial do equipamento e que é necessário que se faça um grande número de medições para se ter uma de que fato seja representativa.

Outra forma de avaliação da clorofila de forma indireta é através do uso de ferramentas para medições de refletância da cultura por meio de equipamentos que avaliam o espectro de refletância do objeto, como os radiômetros ou câmeras digitais, os quais têm sido empregados para identificar essa disponibilidade nutricional nas plantas. SENA JÚNIOR (2005) citou que o uso de imagens digitais pode tornar-se a opção mais viável economicamente, devido à popularização das câmeras. Dados coletados com câmeras digitais podem ser utilizados para detectar níveis de estresse nutricional por nitrogênio, em tempo real, para a adubação em cobertura (NOH et al., 2006). Além disso, as imagens de alta resolução obtidas com essas câmeras podem permitir a avaliação de outras características como, por exemplo, a textura nas imagens. A principal

desvantagem das câmeras digitais é a menor resolução espectral em relação aos radiômetros, mas é uma limitação que pode ser contornada pela utilização de filtros específicos na câmera (SENA JÚNIOR et al., 2008).

A aplicação da refletância para fins agrícolas teve início nos anos de 1970, quando espectrômetros de infravermelho foram usados para medir a clorofila em folhas de plantas (LUKINA et al., 1997). A refletância da cultura pode ser medida por radiômetros, que operam em bandas espectrais específicas, ou avaliada por meio de imagens orbitais, aéreas ou obtidas a partir de equipamentos agrícolas (visão artificial). Embora os desafios para a implementação dos sistemas de visão artificial na área agrícola sejam grandes (KASSLER, 2001), os mesmos apresentam grande potencial de utilização na coleta de dados em agricultura de precisão (PINTO et al., 2001). Considera-se que os dados obtidos por sensoriamento remoto são medida direta das condições da cultura, que integra o efeito da maioria dos fatores ambientais (MORIONDO et al., 2007).

### **2.4.1 O sistema de cores RGB**

Viabilizar a obtenção de resultados com dispositivos móveis que estimem as clorofilas “a” e “b” e outros dispositivos que simultaneamente capturem a imagem e estabelecem os índices de cores RGB gerando estimativa de N sob iluminação natural é fundamental para o monitoramento da cultura e a diagnose de N no campo (WANG et al. 2014).

Todas as moléculas de pigmentos que absorvem radiação eletromagnética na faixa do visível e conseqüentemente, determinam as cores das folhas, são passíveis de serem capturadas por câmeras fotográficas e podem captar a reflectância em RGB.

O sistema de cores RGB tem a possibilidade de liberdade para o analista explorar as possíveis combinações de três bandas, para obter a imagem colorida de melhor contraste. Ele é controlado pela escolha adequada das bandas em função do comportamento espectral dos alvos presentes na imagem. (MENEZES; ALMEIDA 2012).

Por conveniência, a maioria dos arquivos digitais atuais usam números inteiros entre 0 e 255 para especificar estas quantidades. O número 0 indica ausência de intensidade e o número 255 indica intensidade máxima de iluminação. Uma cor no modelo de cores RGB, que é o modelo considerado como um dos mais conhecidos utilizado em sistemas do meio digital, pode ser descrita pela indicação da quantidade de vermelho, verde e azul que contém.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências da Universidade Federal do Tocantins – UFT, câmpus de Gurupi-TO, localizado na latitude sul 11°43'45", longitude oeste 49°04'07" e altitude média de 280 m, no período compreendido entre os meses de outubro a dezembro de 2016. Na região sul do Estado do Tocantins o clima regional é do tipo B1wA'a' úmido com moderada deficiência hídrica (KÖPPEN, 1948).

A análise química do substrato apresentou os seguintes resultados: pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,3; P (meh): 1,6 mg.dm<sup>3</sup>; K: 0,26 cmolc/dm<sup>3</sup>; Ca: 0,4 cmolc/dm<sup>3</sup>; Mg: 0,2 cmolc/dm<sup>3</sup>; Al: 0,10 cmolc/dm<sup>3</sup>; H+Al: 3,40 cmolc/dm<sup>3</sup>; M.O.: 1,6 dag/kg; C.O.: 0,9 da/kg; B: 0,3 mg/dm<sup>3</sup>; Cu: 0,7 mg/dm<sup>3</sup>; Fe: 58 mg/dm<sup>3</sup>; Mn: 3,0 mg/dm<sup>3</sup>; Zn: 0,8 mg/dm<sup>3</sup>; SB: 0,86 cmolc/dm<sup>3</sup>; CTCt: 4,26 cmolc/dm<sup>3</sup>; V: 20%;

Corrigiu-se a acidez do solo de acordo com a recomendação baseada no livro 5ª aproximação de Minas Gerais, através do método da saturação por bases, elevando-a a 70%.

Adicionou-se casca de arroz carbonizada e areia na proporção de 1:1:2 (substrato-casca de arroz : areia : solo) com o objetivo de melhorar a estrutura física do substrato.

Utilizou-se a cultivar de alface Lucy Brown®, do tipo americana. Foram utilizadas mudas produzidas em bandejas de isopor de 288 células (Figura 02, em anexo). Aos 10 dias após plantio (DAP) fez-se o transplante das mudas para vasos de 5 litros protegidos com sombrite 70%.

Foi empregado o delineamento inteiramente casualizado – DIC, com seis tratamentos e quatro repetições, perfazendo um total de 24 parcelas. Os tratamentos constituem-se de seis doses diferentes de N, na forma de uréia, dividida em três aplicações: 1/3 na base, 1/3 com 10 dias após transplante (DAT) e 1/3 com 15 dias após transplante (DAT). Os tratamentos receberam as seguintes dosagens: 0 kg/ha (testemunha); 50 kg/ha; 100 kg/ha; 150 kg/ha; 200 kg/ha; 250 kg/ha;

Os demais nutrientes requeridos pela cultura foram aplicados de maneira uniforme em todos os vasos de acordo com o resultado da análise de solos, ficando apenas o nitrogênio como limitante na produção do alface. As irrigações



diárias foram efetuadas até a capacidade de campo para que não ocorresse nenhuma influência do déficit hídrico nas plantas.

O teor relativo de clorofila foi determinado em folhas recém maduras totalmente expandidas através do somatório das concentrações de clorofilas “a” e “b” por meio do medidor portátil de clorofila (SPAD-502). Concomitantemente à coleta de dados com o medidor portátil, capturou-se fotos da mesma folha da planta com o auxílio de uma câmera fotográfica digital. A leitura foi realizada dois dias após a aplicação de N em cobertura, entre 7:00 e 9:00 horas a.m.

As imagens foram processadas para extração de características (valores digitais) com o auxílio do *software* Spring (figura 03, em anexo), versão 5.2.7, disponibilizado gratuitamente para *download* no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Foram observados os valores de nível digital obtidos nos pixels de cada banda RGB das imagens adquiridas em quatro locais diferentes na folha, a fim de homogeneizar os resultados: nervura central, próximo à nervura, meio da folha e bordadura. A partir destes valores foram calculadas as médias que representaram a estimativa do índice de reflectância nos espectros avaliados.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de correlação linear simples a fim de se determinar a banda que mais se adequa ao estudo. Os valores obtidos com o clorofilômetro (SPAD-502) foram relacionados com os níveis digitais extraídos no *software* Spring, mediante análise de regressão (95% de confiança), tendo-se os teores de clorofila como variável dependente (y) e os valores de nível digital como variável independente (x). Foi utilizado o programa Excel para gerar as equações.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados através do aparelho portátil clorofilômetro foram submetidos a análise estatística a 5% de significância e, de acordo com o teste F (Tabela 1), houve necessidade de análise complementar, sendo feito regressão simples.

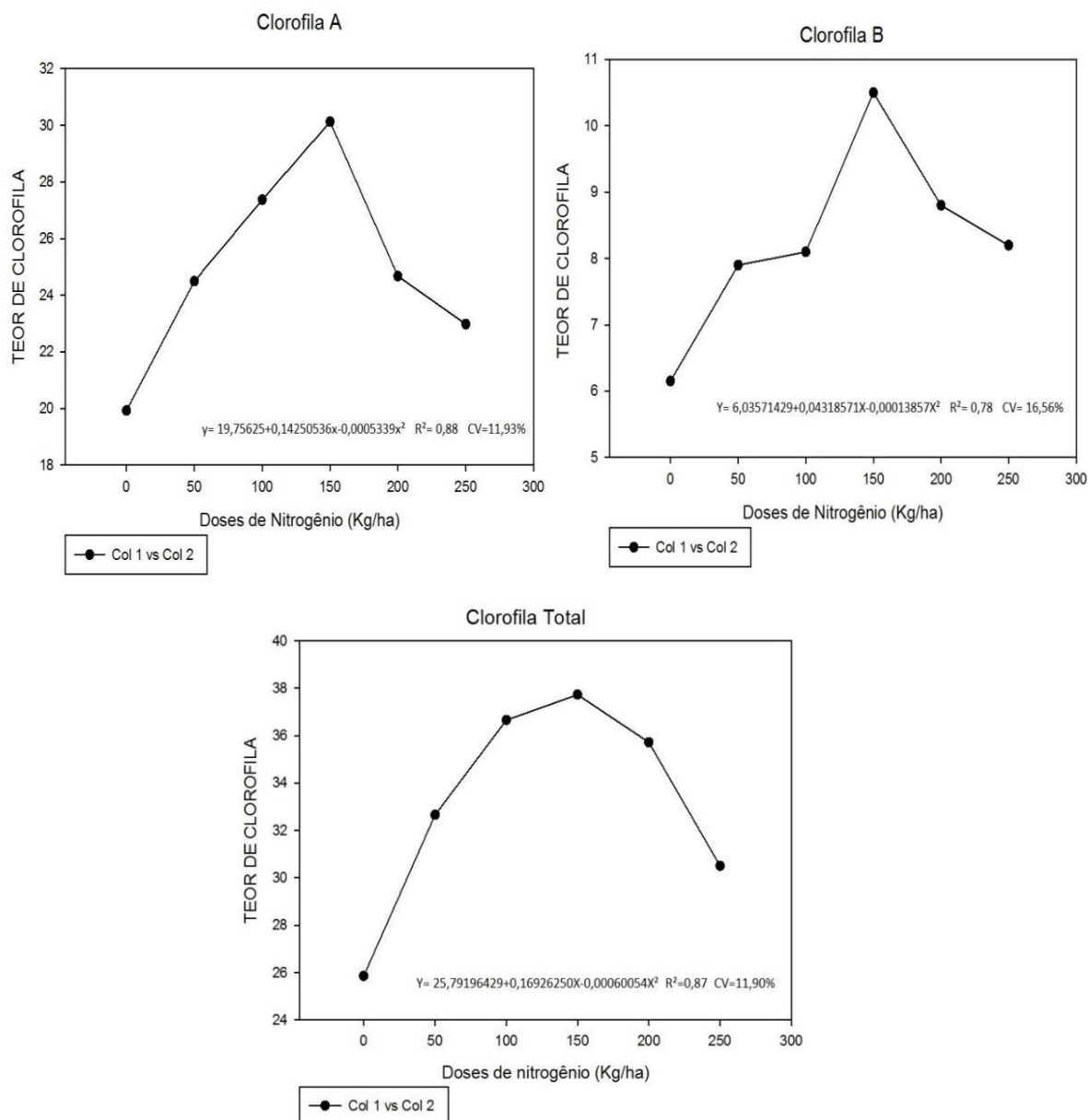
**Tabela 1.** Análise de variância das clorofilas “a”, “b” e total (“a” + “b”) obtidas através do medidor de clorofila clorofiLOG, em folhas de alface (*Lactuca sativa L.*) em função de doses de N.

V. independente	V. dependente	GL	Equação	Teste F
Doses de N	Clorofila a	5	$19,7563+0,1425x-0,0005x^2$	8.080*
	Clorofila b	5	$6,0357+0,0432x-0,0001x^2$	4.183*
	Clorofila total	5	$25,7920+0,1693x-0,006x^2$	6.576*

\*Significativo a nível de 5% através do teste F.

As respostas apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,88 para a clorofila “a”, 0,78 para a clorofila “b” e 0,87 para a clorofila total (“a” + “b”). De acordo com Richardson et al., (2002) e Neves et al., (2005), a determinação do conteúdo de clorofila “b” por meio dos equipamentos portáteis é mais difícil quando comparada à leitura da clorofila “a”, isto ocorre devido ao fato de o comprimento de onda emitido pelo aparelho aproximar-se mais ao pico de absorção da clorofila “a”, do que ao pigmento “b”.

Os valores da clorofila total, quando submetidas à análise de variância forneceram a equação quadrática e através dela evidenciou-se que com o ponto de máxima eficiência (variável X) de 153,64 kg/ha de N proporcionou melhor resposta, como pode ser observado na Figura 4.



**Figura 4:** Relação do teor de clorofila “a”, “b” e total (“a” + “b”) com diferentes doses de nitrogênio em plantas de alface (*Lactuca sativa L.*).

O N é um nutriente integrante das enzimas que estão associadas aos cloroplastos e participam da síntese das moléculas de clorofila, de modo que o aumento do suprimento de N às plantas, até determinado limite, proporciona incremento no teor de clorofila e intensidade de cor verde nas folhas da planta (FONTES; ARAÚJO, 2007). Tais respostas também foram comprovadas em trabalhos na cultura da alface (VIANA et al., 2008), abobrinha (PORTÔ et al. 2011) e tomate (FERREIRA et al., 2006).

A média entre quatro pontos distintos da mesma folha tem o objetivo de formar uma amostra representativa dos níveis digitais coletados, como pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Valores de níveis digitais das bandas espectrais (B-Blue, G-Green e R-Red) de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*) coletados pelo *software* Spring em função de doses de N.

TRATAMENTO (KG/HA)	REPETIÇÃO	MÉDIAS		
		B-BLUE	G-GREEN	R-RED
0	1	44,5000	175,5000	146,5000
	2	37,5000	140,5000	102,5000
	3	29,7500	156,7500	127,0000
	4	39,7500	170,0000	135,7500
	<i>Média final</i>		<i>37,8750</i>	<i>160,6875</i>
50	1	40,0000	165,5000	133,0000
	2	73,7500	167,2500	134,0000
	3	38,7500	159,0000	124,0000
	4	53,2500	155,5000	129,0000
	<i>Média final</i>		<i>51,4375</i>	<i>161,8125</i>
100	1	49,2500	154,7500	117,2500
	2	57,0000	177,0000	141,0000
	3	55,0000	176,7500	134,7500
	4	59,0000	157,5000	129,7500
	<i>Média final</i>		<i>55,0625</i>	<i>166,5000</i>
150	1	70,0000	160,2500	126,7500
	2	61,5000	172,0000	141,0000
	3	93,5000	188,0000	156,7500

	4	53,0000	172,5000	139,2500
<i>Média final</i>		<i>69,5000</i>	<i>173,1875</i>	<i>140,9375</i>
<b>200</b>	1	15,2500	145,0000	119,0000
	2	69,5000	168,5000	147,5000
	3	35,5000	138,7500	107,7500
	4	30,5000	166,2500	135,7500
<i>Média final</i>		<i>37,6875</i>	<i>154,6250</i>	<i>127,5000</i>
<b>250</b>	1	69,7500	175,2500	150,0000
	2	48,5000	162,0000	128,2500
	3	83,2500	173,7500	135,2500
	4	63,7500	194,5000	152,0000
<i>Média final</i>		<i>66,3125</i>	<i>176,3750</i>	<i>141,3750</i>

UDDLING et al. (2007) citam que a falta de linearidade entre os teores relativos sugere que a distribuição da clorofila na superfície da folha apresenta certa desuniformidade, sobretudo em folhas bem esverdeadas o que pode levar a uma subestimação dos valores do clorofilômetro (SPAD-502) em folhas com altos teores de clorofila.

Os teores de clorofila “a” e “b”, bem como sua somatória, totalizando o teor de clorofila total, utilizado nas correlações, pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3:** Teores relativos de clorofila “a”, clorofila “b” e clorofila total em folhas de alface (*Lactuca sativa L.*) coletados pelo aparelho portátil clorofilômetro (SPAD-502) em função de doses de N.

TRATAMENTO	REPETIÇÃO	DADOS COLETADOS		
		Clor A	Clor B	Clor Total
<b>0</b>	1	22,6000	6,1000	28,7000
	2	23,2000	7,4000	30,6000
	3	19,3000	6,5000	25,8000

	4	17,7000	6,4000	24,1000
<i>Média final</i>		<i>20,700</i>	<i>6,6000</i>	<i>27,3000</i>
<b>50</b>	1	22,8000	8,3000	31,1000
	2	22,2000	8,3000	30,5000
	3	23,0000	7,6000	30,6000
	4	23,9000	8,7000	32,6000
<i>Média final</i>		<i>22,975</i>	<i>8,225</i>	<i>31,2000</i>
<b>100</b>	1	22,4000	8,1000	30,5000
	2	27,1000	8,4000	35,5000
	3	21,4000	7,2000	28,6000
	4	24,5000	9,6000	34,1000
<i>Média final</i>		<i>23,850</i>	<i>8,325</i>	<i>32,1750</i>
<b>150</b>	1	27,3000	11,6000	38,9000
	2	27,2000	12,0000	39,2000
	3	26,2000	10,7000	36,9000
	4	24,9000	9,9000	34,8000
<i>Média final</i>		<i>26,400</i>	<i>11,050</i>	<i>37,4500</i>
<b>200</b>	1	22,1000	8,1000	30,2000
	2	24,7000	9,4000	34,1000
	3	27,7000	13,3000	41,0000
	4	21,0000	7,9000	28,9000
<i>Média final</i>		<i>23,875</i>	<i>9,675</i>	<i>33,5500</i>
<b>250</b>	1	17,1000	5,2000	22,3000
	2	25,8000	10,3000	36,1000
	3	26,4000	11,0000	37,4000
	4	20,2000	7,4000	27,6000
<i>Média final</i>		<i>22,375</i>	<i>8,475</i>	<i>30,8500</i>

Os valores obtidos da média de pontos distintos da folha (Tabela 3) comprovaram que as doses de nitrogênio aplicadas a cada tratamento tiveram relação direta com o teor de clorofila nas folhas de alface. Essa correlação positiva é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70% do N total da folha

ser integrantes de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997).

A análise de correlação entre os valores de níveis digitais obtidos em cada banda espectral (R, B e G) e os teores relativos de clorofila total variou de acordo com a banda analisada.

A correlação entre a banda Red e os teores de clorofila total foi de +0,479, como pode ser observado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Correlação entre os teores de clorofila total e níveis digitais da banda R-Red de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
CLOROF. T	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
NÍVEL DIGITAL (R)	127,9375	130,0000	130,6875	140,9375	127,5000	141,3750

	CLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
CLOROF. T	1	
NÍVEL DIGITAL	0,479182	1

A correlação entre a banda Green e os teores de clorofila total foi de +0,284, como pode ser observado na Tabela 5.

**Tabela 5:** Correlação entre os teores de clorofila total e níveis digitais da banda G-Green de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
------------	---	----	-----	-----	-----	-----

<b>COLOROF. T</b>	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
<b>NÍVEL DIGITAL (G)</b>	160,6875	161,8125	166,5000	173,1875	154,6250	176,3750

COLOROF. NÍVEL	
T	DIGITAL
COLOROF. T	1
NÍVEL DIGITAL	0,284023
	1

A correlação entre a banda Blue e os teores de clorofila total foi de +0,548, como pode ser observado na Tabela 6.

**Tabela 6:** Correlação entre os teores de clorofila total e níveis digitais da banda B-Blue de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
<b>COLOROF. T</b>	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
<b>NÍVEL DIGITAL (B)</b>	37,8750	51,4375	55,0625	69,5000	37,6875	66,3125

COLOROF. NÍVEL T	
	DIGITAL
COLOROF. T	1
NÍVEL DIGITAL	0,548055
	1

As correlação encontradas não foram satisfatórias, pois não se aproximaram de -1, o qual seria o resultado esperado devido ao princípio de funcionamento do aparelho portátil SPAD (transmitância) ser inversamente proporcional ao funcionamento de uma imagem capturada por câmera digital fotográfica (reflectância). HABOUDANE et al. (2002), citam que, com o objetivo



de minimizar variações causadas por fatores externos e promover o realce dos objetos de interesse, podem ser utilizados índices espectrais, que são combinações entre as bandas espectrais. De acordo com SCHRÖDER et al. (2000), parâmetros obtidos pela combinação da reflectância no vermelho ou verde com o infravermelho próximo podem ser bons indicadores da tonalidade de verde da cultura e, conseqüentemente, do teor de clorofila.

Com o objetivo de minimizar os efeitos causados pelas variações externas e encontrar melhor similitude entre as variáveis, fez-se a análise entre os teores relativos de clorofila total e os índices espectrais, que são combinações entre diferentes bandas.

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de somatória das três bandas (R+G+B) foi de +0,465, como pode ser observado na Tabela 7.

**Tabela 7:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R+G+B) de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
CLOROF. T	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
NÍVEL DIGITAL (R+G+B)	326,5000	343,2500	352,2500	383,6250	319,8125	384,0625

	CLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
CLOROF. T	1	
NÍVEL DIGITAL	0,465163	1

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de somatória das bandas (R+G) foi de +0,375, como pode ser observado na Tabela 8.

**Tabela 8:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R+G) de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
<b>CLOROF. T</b>	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
<b>NÍVEL DIGITAL (R+G)</b>	288,6250	291,8125	297,1875	314,1250	282,1250	317,7500

	CLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
CLOROF. T	1	
NÍVEL DIGITAL	0,375089	1

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de somatória das bandas (R+B) foi de +0,533, como pode ser observado na Tabela 9.

**Tabela 9:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R+B) de folhas de alface (*Lactuca sativa L.*).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
<b>CLOROF. T</b>	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
<b>NÍVEL DIGITAL (R+B)</b>	165,8125	181,4375	185,7500	210,4375	165,1875	207,6875

	CLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
CLOROF. T	1	
NÍVEL DIGITAL	0,533929	1

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de somatória das bandas (G+B) foi de +0,455, como pode ser observado na Tabela 10.

**Tabela 10:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (G+B) de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
COLOROF. T	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
NÍVEL DIGITAL (G+B)	198,5625	213,2500	221,5625	242,6875	192,3125	242,6875

	COLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
COLOROF. T	1	
NÍVEL DIGITAL	0,455604	1

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de subtração das bandas (R-G) foi de +0,241, como pode ser observado na Tabela 11.

**Tabela 11:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R-G) de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
COLOROF. T	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500

NÍVEL DIGITAL (R-G)	-32,7500	-31,8125	-35,8125	-32,2500	-27,1250	-35,0000
	CLOROF. T		NÍVEL DIGITAL			
CLOROF. T			1			
NÍVEL DIGITAL	0,241023		1			

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de subtração das bandas (R-B) foi de -0,55, como pode ser observado na Tabela 12.

**Tabela 12:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (R-B) de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
CLOROF. T	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
NÍVEL DIGITAL (R-B)	90,0625	78,5625	75,6250	71,4375	89,8125	75,0625

	CLOROF. T		NÍVEL DIGITAL	
CLOROF. T			1	
NÍVEL DIGITAL	-0,55011		1	

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de subtração das bandas (G-B) foi de -0,779, como pode ser observado na Tabela 13.

**Tabela 13:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (G-B) de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
COLOROF. T	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
NÍVEL DIGITAL (G-B)	122,8125	110,3750	111,4375	103,6875	116,9375	110,0625

	COLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
COLOROF. T	1	
NÍVEL DIGITAL	-0,77917	1

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de subtração das bandas (G-R) foi de -0,241, como pode ser observado na Tabela 14.

**Tabela 14:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (G-R) de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
COLOROF. T	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
NÍVEL DIGITAL (G-R)	32,7500	31,8125	35,8125	32,2500	27,1250	35,0000

	COLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
COLOROF. T	1	

NÍVEL DIGITAL -0,24102 1

---

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de subtração das bandas (B-R) foi de +0,55, como pode ser observado na Tabela 15.

**Tabela 15:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (B-R) de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.).

TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
CLOROF. T	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
NÍVEL DIGITAL (B-R)	-90,0625	-78,5625	-75,6250	-71,4375	-89,8125	-75,0625

	CLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
CLOROF. T	1	
NÍVEL DIGITAL	0,550109	1

A correlação entre os teores de clorofila total e a combinação de subtração das bandas (B-G) foi de +0,151, como pode ser observado na Tabela 16.

**Tabela 16:** Correlação entre os teores de clorofila total e índices espectrais da combinação das bandas (B-G) de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.).

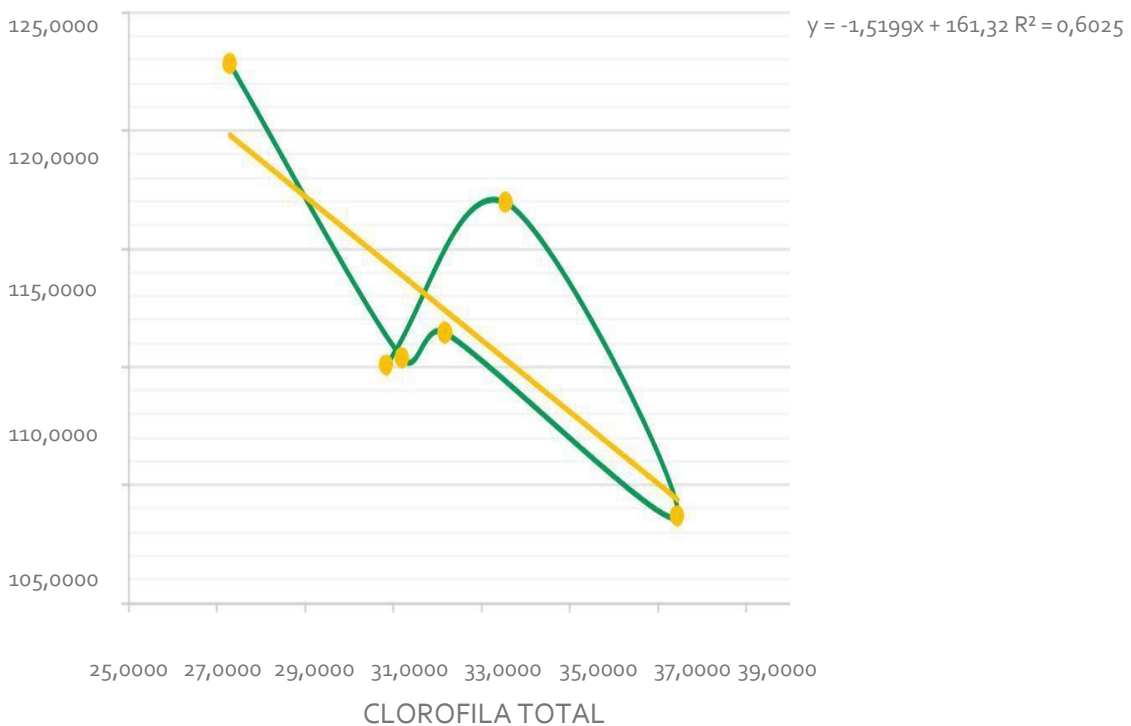
TRATAMENTO	0	50	100	150	200	250
------------	---	----	-----	-----	-----	-----

<b>COLOROF. T</b>	27,3000	31,2000	32,1750	37,4500	33,5000	30,8500
<b>NÍVEL DIGITAL (B-G)</b>	-122,8125	-110,3750	-111,4375	-103,6875	-116,9375	-75,0625

	COLOROF. T	NÍVEL DIGITAL
COLOROF. T	1	
NÍVEL DIGITAL	0,151326	1

A correlação entre os índices espectrais e os teores de clorofila total (clorofila “a” + clorofila “b”) variaram conforme a combinação de banda analisada, compreendendo valores entre -0,77 e +0,55. Os valores combinados e subtraídos entre as bandas Green e Blue foram os que mais se aproximaram de -1, o qual seria o resultado ideal.

A análise de regressão (Figura 5) realizada entre teores relativos de clorofila total e índice digital (G-B), indica um R<sup>2</sup> de 0,6025, valor considerado baixo em dados estatísticos.



**Figura 5:** Gráfico de dispersão e análise de regressão entre teores relativos de clorofila total e índice digital (G-B), de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.)

O medidor de clorofila utiliza as bandas vermelho e infravermelho próximo para avaliar o conteúdo de clorofila nas folhas. Estas, por sua vez, tratam-se de faixas do espectro eletromagnético onde a luz é absorvida pela clorofila, enquanto que a banda verde trata a reflectância da luz (SENA JÚNIOR, 2008). Em todas as combinações significativas de bandas espectrais realizadas por SENNA JÚNIOR et al. (2008), a banda verde estava presente, indicando sua importância para a classificação, assim como se pode observar nos resultados obtidos no presente trabalho, o qual demonstrou melhor nível de correlação através da relação entre as bandas (G-B).

BACKES et al. (2010) defendem que a manipulação das imagens digitais, por meio de programas editores de imagem, fornece índices que expressam a cor verde da planta, correlacionando-se positivamente com a concentração de N na folha. Avaliações realizadas na cultura grama esmeralda (BACKES et al. 2010), capim 'Tifton 85' (SIMÕES et al. 2015), trigo (SENA JÚNIOR et al. 2007), também constataram relação significativa utilizando análise de imagem digital. No entanto, o resultado obtido no presente trabalho não pode ser considerado ideal. Tal fato pode ser explicado devido os dados terem sido coletados na primeira fase de desenvolvimento da cultura, dois dias após a primeira adubação. ARGENTA et al. (2001) citam que, para avaliação do nível de N na planta nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho, a leitura realizada não é muito precisa.

SENA JÚNIOR et al. (2008), afirmam que a maior eficiência dos classificadores com as características extraídas das imagens em relação aos classificadores SPAD, deve-se ao tipo de informação extraída. O SPAD realiza estimativa pontual da clorofila nas folhas das plantas, ao passo que a informação extraída das imagens integra informação do dossel da cultura. Assim, ao se utilizar a média dos valores dos "pixels", a informação engloba, além da cor das



folhas, informações sobre a variação de tonalidade de verde. Essa informação não é avaliada pelo medidor de clorofila, mas está presente nas imagens do dossel.

Por outro lado, as informações extraídas das imagens estão sujeitas a ruídos provocados por fatores ambientais, sendo o principal deles a iluminação. Nesse caso, para minimizar possíveis efeitos da variação de iluminação, além da utilização de índices (combinações entre bandas), poderiam ser amostradas folhas no campo para a obtenção de imagens em condições de iluminação controlada, coletar imagens sob céu nublado ou fotografar junto às plantas uma placa-padrão para posterior normalização das imagens. Além da iluminação, a presença de plantas daninhas e/ou falhas no plantio podem prejudicar a classificação.

As imagens podem ser coletadas a partir de câmera digital fotográfica, equipamentos agrícolas, aeronaves ou até mesmo aeromodelos, o que torna sua aquisição bastante versátil. Por outro lado, o medidor de clorofila utilizado no trabalho exige contato físico com as folhas, o que, muitas vezes, leva à coleta de dados em poucos pontos no campo, o que pode acarretar indicação inadequada da distribuição espacial do estado nutricional da cultura (NOH et al., 2006). Ressalta-se, entretanto, que já se encontram disponíveis no mercado medidores de clorofila capazes de coletar os dados sem necessidade de contato físico.

## 5 CONCLUSÕES

A utilização de imagens digitais para a identificação do estado nutricional de plantas de alface apresenta boas perspectivas para resultados positivos relativos aos teores de nitrogênio foliar, uma vez que as leituras de clorofila determinadas pelo clorofilômetro e níveis digitais RGB extraídos das imagens correlacionaram-se positivamente com as doses de nitrogênio aplicadas a cada tratamento.

A correlação entre o aparelho portátil medidor de clorofila e as bandas espectrais apresentaram correlações variáveis, porém, ainda são necessários estudos aprofundados e com outros nutrientes para comprovar sua eficiência, pois se trata de um método rápido, não invasivo e com grande potencial de estimativa em tempo real.

A banda espectral Green é referência para resultados relacionados à classificações de reflectância, bem como a associação entre as bandas Green e Blue.

As imagens digitais se tornarão um dos métodos mais viáveis para a estimativa da refletância do dossel devido a sua popularização.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, T. A. S.; TAVARES, A. T.; CHAVES, P. P. N.; FERREIRA, T. A.; NASCIMENTO, I. R. 2012. **Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. ISSN 1981-8203. Disponível em: <<http://gvaa.org.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1337/1318>> Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.

ALMEIDA, D. 2009. **A influência lusa na olericultura brasileira**. Associação brasileira de horticultura. Disponível em: <[http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev\\_1/pal08.pdf](http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_1/pal08.pdf)> Acesso em: 09 de Dezembro de 2016.

AMADO, T. J. C. 1997. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 201 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ANGHINONI, I.; SANTANA, MBM. 1986. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. SANTANA, MBM **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, p. 1-18.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R. F.; BORTOLINI, C.G. 2001. **Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais**. Ciência Rural, v.31, n.4, p. 715-722. ISSN 0103-8478. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/cr/v31n4/a27v31n4.pdf>> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS - ABCSEM. 2015. **Alface é a folhosa mais consumida no Brasil**. Notícias públicas Grupo Cultivar. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/noticias/alface-e-a-folhosa-mais-consumida-no-brasil>> Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.

AZEVEDO, S.M.; MALUF, W.R.; GOMES, L.A.A.; OLIVEIRA, A.C.B.; FREITAS, J.A.; ANDRADE-JUNIOR, V.C.; JESUS, N.; BRAGA, L.R.; LICURSI, V. 2000. **Herança da reação de resistência ao nematóide de galha em alface**. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 40, São Pedro-SP, 2000. Anais... Brasília, Horticultura Brasileira, v.18, suplemento, p.629-630.

BACKES, C.; VILLAS BÔAS, R.; LIMA, C. P.; GODOY, L. J. G.; BÜLL, L. T.; SANTOS, A. J. M. 2010. **Solos e nutrição de plantas. Estado nutricional em nitrogênio da grama esmeralda avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, em área adubada com lodo de esgoto**. Bragantia, Campinas, v. 69, n. 3, p. 661-668.

BARBOSA, A. P. 2014. **Imagens hiperespectrais no monitoramento da nutrição em citros**. Tese Doutorado em Agronomia. UNESP – Botucatu, SP.

Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq1135.pdf>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. 2015. **Fontes e métodos de aplicação de nitrogênio em feijoeiro irrigado submetido a três níveis de acidez do solo.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 28, n. 4, p. 785-792. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/5919>> Acesso em: 12 de Novembro de 2016.

BENINNI, E. R.Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J. 2005. **Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 3. Disponível em:

<<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2302/1982>> Acesso em: 11 de Novembro de 2016.

BEZERRA, F. N.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVA, E. O.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVEIRA, L. M.; CÂMARA, M. J. T.; NUNES, G. H. S. 2006.

**Qualidade nutricional de cenoura e alface cultivadas em Mossoró-RN em função da densidade populacional.** Horticultura Brasileira, p. 476-480. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/hb/v24n4/16.pdf>> Acesso em: 09 de Dezembro de 2016.

BISCARO, G. A.; MISSIO, C.; MOTOMIYA, A. V. A.; GOMES, E. P.; TAKARA, J. G.; SILVEIRA, B. L. R. 2013. **Produtividade e análise econômica da cultura do espinafre em função de níveis de fertirrigação nitrogenada.** Irriga, v.18, p.587-596. ISSN 1808-3765. Disponível em: < <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/155/864>> Acesso em: 5 de Dezembro de 2016.

BOOIJ, R.; VALENZUELA, J.L.; AGUILERA, C. 2000. **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. The Netherlands, Wageningen Pers, p. 72–82. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=JIAUcx8nWFQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Management+of+nitrogen+and+water+in+potato+production&ots=ix0rU00gMB&sig=Jw1IWWHD0nqwEK-pHgFGQAc4yMc#v=onepage&q&f=false>> Acesso em: 20 de Novembro de 2016.

BRITO, L. 2011. **Mercado de hortaliças folhosas em expansão no Tocantins.**

Notícias públicas Secretaria de Comunicação Social – SECOM. Disponível em:

<<http://secom.to.gov.br/noticia/45941/#sthash.dEJEUzkS.ivYWGuvv.dpuf>> Acesso em: 9 de Dezembro de 2016.

CARDOSO, A. 2016. **Ruraltins incentiva produção integrada e gera renda para o agricultor familiar.** Notícias públicas Governo do Tocantins – Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins. Disponível em: <at:<http://ruraltins.to.gov.br/noticia/2016/1/11/ruraltins-incentiva-producao-integrada-e-gera-renda-para-o-agricultor-familiar/#sthash.TT12vf3l.dpuf>> Acesso em: 09 de Dezembro de 2016.

CARVALHO FILHO, J. L.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R. 2009. **Tolerância ao florescimento precoce e características comerciais de progênies F4 de alface do cruzamento Regina 71 x Salinas 88.** Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 31, n. 1, p. 37-42. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/6607/6607>> Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.

CHAPMAN, S.C. e BARRETO, H.J. 1997. **Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth.** Agronomy Journal, 89:557-562. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/89/4/AJ0890040557>> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

DAVIS, R. M.; SUBBARAO, K. V.; RAID, R. N.; KURTZ, E. A. 1997. **Compendium of lettuce diseases.** St. Paul: The American Phytopathological Society. Disponível em: <<http://www.apsnet.org/apsstore/shopapspress/PageArchive/41868.aspx>> Acesso em: 9 de Dezembro de 2016.

DWYER, L. M., ANDERSON, A. M., MA, B. L., STEWART, D. W., TOLLENAAR, M.; GREGORICH, E. 1995. **Quantifying the non-linearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration.** Canadian Journal of Plant Sciences, v.75,v.1,p.179-182. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Matthijs\\_Tollenaar/publication/279869583\\_Quantifying\\_the\\_nonlinearity\\_in\\_chlorophyll\\_meter\\_response\\_to\\_corn\\_leaf\\_nitrogen\\_concentration/links/568d445408aeaa1481ae463d.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Matthijs_Tollenaar/publication/279869583_Quantifying_the_nonlinearity_in_chlorophyll_meter_response_to_corn_leaf_nitrogen_concentration/links/568d445408aeaa1481ae463d.pdf)> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

EAEAGRICOLA. 2014. **Alface, a paixão nacional entre as hortaliças.** Notícias públicas Revista EaeAgrícola. Disponível em: <<https://www.eaeagricola.com.br/curiosidades/alface-a-paixao-nacional-entre-as-hortalicas/>> Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.

EITEL, J. U. H. 2008. **Combined spectral index to improve ground-based estimates of nitrogen status in dryland wheat.** Agronomy Journal, Madison, v. 100, n. 6, p. 1694-1702, Nov./Dec. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/100/6/1694>> Acesso em: 18 de Novembro de 2016.

FAQUIN, V. 2002. **Diagnose do estado nutricional das plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE. Disponível em: <

[http://www.dcs.ufla.br/site/\\_adm/upload/file/pdf/Prof\\_Faquin/Diagnose%20do%20Est%20ado%20Nutricional%20das%20Plantas.pdf](http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Diagnose%20do%20Est%20ado%20Nutricional%20das%20Plantas.pdf)> Acesso em: 09 de Dezembro de 2016

FAULIN, E. J.; AZEVEDO, P. F. 2003. **Distribuição de hortaliças na agricultura familiar: uma análise das transações**. Informações Econômicas, SP, v. 33, n. 11, nov. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/publicacoes/pdf/tec3-1103.pdf>> Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.

FERREIRA, S; SANTOS, D.C; GOMES, L.A.A; MALUF, W.R. 2008. **Amplitude de variação quanto ao número de dias para florescimento em diferentes genótipos de alface**. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 48. Resumos... Maringá: ABH.

FERREIRA M. M. M; FERREIRA G. B; FONTES, P. C. R; DANTAS J. P.; 2006. **Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo**. Revista Ceres 53: 83-92.

FILGUEIRA, F.A.R. 2003. **Novo Manual de Olericultura – Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2ª ed. São Paulo: 412p.

FILGUEIRA, F. A. R. 2008. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2008. 402 p.

FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G.; CONDE, R. M. 1997. **Critical chlorophyll, total nitrogen, and nitrate-nitrogen in leaves associated to maximum lettuce yield**. Journal of Plant Nutrition 20: 1061-1068. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169709365318>> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

FURLANI, P.R. 1998. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia - NFT**. Campinas: Instituto Agrônômico. 30 p. (Boletim Técnico 168). Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300006720>> Acesso em: 12 de Novembro de 2016.

GATES, D. M.; GATES, H. J.; GATES, J. C.; GATES, V. R. 1965. **Spectral properties of plants**. Applied Optics, v. 4, n. 1, p. 11 – 20. Disponível em: <<https://www.osapublishing.org/ao/fulltext.cfm?uri=ao-4-1-11&id=13623>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.

GIL, P. T.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; FERREIRA, F. A. 2002. **Índice SPAD para o diagnóstico da produtividade da batata**. Horticultura Brasileira, 20: 611-615. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/hb/v20n4/14503.pdf>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.

HABOUDANE, D.; MILLER, J.R.; TREMBLAY, N.; ZARCO-TEJADA, P.J.; DEXTRAZE, L. 2002. **Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture**. Remote Sensing of Environment, New York, v.81, n.2-3, p.416-26. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425702000184>> Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.

HORTIBRASIL. 2013. **Alface em números**. Disponível em: <[http://hortibrasil.org.br/jnw/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1131:alface-em-numeros&catid=64:frutas-e-hortalicas-frescas&Itemid=82](http://hortibrasil.org.br/jnw/index.php?option=com_content&view=article&id=1131:alface-em-numeros&catid=64:frutas-e-hortalicas-frescas&Itemid=82)> Acesso em: 13 de Novembro de 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. 2005. **Hortaliças: alface**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/tecnologias/alface/alface>> Acesso em 12 de Novembro de 2016.

JENSEN, J. R. 2009. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. (Tradução da Segunda Edição). São José dos Campos. Parêntese Editora. 598 p.

KASSLER, M. 2001. **Agricultural automation in the new millennium**. Computers and Electronics in Agriculture, Oxford, v.30, n.1-3, p.237-40. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169900001678>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.

KEENEY, D. R. 1982. **Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution**. Nitrogen in agricultural soils, n. nitrogeninagriscs, p. 605-649, 1982. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/abstracts/agronomymonogra/nitrogeninagriscs/605>> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

KOPPEN, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**.

Fondo de Cultura Economica. México. 479 p. Disponível em: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UCC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=042713>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.

LIBUY, W. R. 2007. **CropKit – Manual Especializado sobre Manejo de Nutrição de Plantas**. SQM – The Worldwide Business Formula 107 p. Disponível em: <[http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop\\_Kit\\_Tobacco\\_L-PTG.pdf](http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tobacco_L-PTG.pdf)> Acesso em: 09 de Dezembro de 2016

LOPES, S.J. 2002. **Modelos referentes à produção de sementes de alface sob hidroponia**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. Disponível em: <<http://www.sidalc.net/cgi->

bin/wxis.exe/?IsisScript=AGB.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion= mfn=209070> Acesso em: 10 de Novembro de 2016.

LUKINA, E.V.; RAUN W.R.; STONE M.L.; SOLIE J.B.; JOHNSON G.V.; LEES H.L.; LARUFFA, J.M.; PHILLIPS S.B. 1997. **Effect of row spacing, N rate and growth stage on spectral radiance in winter wheat**. OSU Soil Fertility Research Highlights. Stillwater: Oklahoma State University, Department of Plant and Soil Sciences. p.251-8.

MA, B. L.; MORRISON, M. J.; DWYER, L. M. 1996. **Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize**. Agronomy Journal, Madison, v. 88, n. 6, p. 915-920.  
Disponível em:  
<<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/88/6/AJ0880060915>  
> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.

MACHADO, M. D. 2004. **Canais de distribuição para produtos da agricultura familiar: um estudo em hortaliças**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE. J. C. 2002. **Adubos e Adubações**. São Paulo: Nobel. 200 p. Disponível em: <  
<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=xz98RloTfIgC&oi=fnd&pg=PA9&dq=Adubos+e+Aduba%C3%A7%C3%B5es.&ots=cU42fHlse9&sig=50lumAePMe6f40heSYUHU1b6PWw#v=onepage&q&f=false>> Acesso em: 12 de Novembro de 2016.

MALAVOLTA, Eurípedes. 2006. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Editora Agronomia Ceres. 638p. Disponível em: <  
<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=INIA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion= mfn=022855>> Acesso em: 12 de Novembro de 2016.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

MINOLTA CAMERA Co., Ltda. 1989. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka, Minolta, Radiometric Instruments divisions. 1989. 22p.

MOLIN, J. P. 2004. **Tendências da agricultura de precisão no Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – Piracicaba, SP – ESALQ/USP. Disponível em:  
<[http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/pub\\_tendencias-da-agricultura-de-precisao-no-brasil-27-08-2014.pdf](http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/pub_tendencias-da-agricultura-de-precisao-no-brasil-27-08-2014.pdf)> Acesso em: 06 de Dezembro de 2016.

MOLIN, J. P. 2009. **Agricultura de precisão**. V. Encarte Técnico. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.



- MOREIRA, M.A. 2005. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 320p.
- MORIONDO, M.; MASELLI, F.; BINDI, M. 2007. **A simple model of regional wheat yield based on NDVI data**. European Journal of Agronomy, Amsterdam, v.26, n.3, p.266-74. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030106001390>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; MARTINS, F. A. D.; PÁDUA, T. R. P.; PINHO, P. J. **Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo**. Pesquisa Agropecuária. Brasileira, v.40, n.5, p.517-521, 2005.
- NOH, H; ZHANG, Q.; SHIN, B.; HAN, S.; FENG, L. 2006. **A neural network model of maize crop nitrogen stress assessment for a multi-spectral imaging sensor**. Biosystems Engineering, Amsterdam, v.94, n.4, p.477-85. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511006001462>> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.
- NOVO, E. M. L. M. 2008. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3ª edição. São Paulo: Edgard Blucher Ltda. 388 P.
- OHSE, S.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. DOS. 2001. **Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia**. Sci. Agric., v.58, n.1, p.181-85. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Durval\\_Dourado-Neto/publication/262458013\\_Quality\\_of\\_lettuce\\_cultivars\\_grown\\_in\\_hydroponic\\_solution/links/53e7a2060cf25d674ea5dc6a.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Durval_Dourado-Neto/publication/262458013_Quality_of_lettuce_cultivars_grown_in_hydroponic_solution/links/53e7a2060cf25d674ea5dc6a.pdf)> Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.
- PINTO, F.A.C.; SENA JÚNIOR, D.G.; QUEIROZ, D.M.; GOMIDE, R.L. 2001. **Visão artificial na agricultura de precisão**. In: BALASTREIRE, L.A. (Ed.) Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001. Piracicaba: ESALQ/USP. p.309-16.
- PÔRTO, M. L PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R; CECON P. R.; ALVES J.C.; ARRUDA, J. A.; **Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha**. Horticultura Brasileira. Jaboticabal v. 29, n. 3, 2011.
- PORTZ, G. 2011. **Obtenção de algoritmo agrônomo para sensor foto ativo de refletância vegetal visando à aplicação da adubação nitrogenada na cultura da cana de açúcar**. Dissertação Mestrado em Ciências. Área de concentração Engenharia de Sistemas Agrícolas. USP – Piracicaba, SP.

Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-29062011-080722/en.php> > Acesso em: 28 de Novembro de 2016.

PONZONI, F. J. 2001. **Comportamento Espectral da Vegetação**. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. (org) Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais. Brasília – DF. Editora Universidade de Brasília – UNB, Embrapa Cerrados. p. 157-199. Disponível em: < <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGB.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression= mfn=203614>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. 2005. **Manejo da fertilidade do solo na citricultura**. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. Citros. Campinas: Instituto Agrônomico e Fundag. P. 483-507.

REARDON, T.; BERDEGUÉ, J. A.; TIMMER, C. P. 2005. **Supermarketization of the “Emerging Markets” of the Pacific Rim: development and trade implications**.

Journal of Food Distribution Research, v. 36, n. 1. Disponível em: < [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32458255/36010003.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1481379131&Signature=DA85nT3dtdnwZ6k8xWYwL9Z%2B3fE%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSupermarketization\\_of\\_the\\_Emerging\\_Mark\\_e.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32458255/36010003.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1481379131&Signature=DA85nT3dtdnwZ6k8xWYwL9Z%2B3fE%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSupermarketization_of_the_Emerging_Mark_e.pdf)> Acesso em: 09 de Dezembro de 2016.

RESENDE, G.M; ALVARENGA, M.A.R; YURI, J.E; MOTA, J.H; SOUZA, R.J; RODRIGUES JÚNIOR, J.C. 2005. **Produtividade e qualidade pós-colheita da alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio**. Horticultura Brasileira 23: 976-981. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/%0D/hb/v23n4/a23v23n4.pdf>> Acesso em: 7 de Novembro de 2016.

RICHARDSON, A. D.; DUGAN, S. P.; BERLYN, G. P. **An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content**. New Phytologist, v.153, p.185-194, 2002.

RYDER, E. J.; WHITAKER, T. N. 1976. **Lettuce In: Evolution of crop plants**. New York: Longman Group.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. 2005. **‘Piraroxa’: Cultivar de alface crespa de cor vermelha intensa**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.23, n.1, p. 158-159. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/hb/v23n1/a33v23n1.pdf>> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

SANAVITA. 2005. **Importância dos alimentos in ‘natura’, frutas, hortaliças e grãos para nossa saúde**. Notícias públicas Da Redação. Disponível em: < <http://www.sanavita.com.br/?s=produtos+in+natura>> Acesso em: 09 de Dezembro de 2016.

SANTOS, P. R. R.; BARROS, C. L.; MURASHI, C. T.; LAZARI, T. M.; DELFINO, J. A.; LIMA, F. S. O. 2011. **Distribuição de hortaliças em redes supermercadistas de Palmas, Tocantins.** Horticultura Brasileira 29: S399-S403. Disponível em:

<[http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev\\_5/A4282\\_T6272\\_Comp.pdf](http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_5/A4282_T6272_Comp.pdf) > Acesso em: 09 de Dezembro de 2016.

SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. 2000. **Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art.** Field Crops Research, v. 66, n. 2, p. 151-164. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429000000721>> Acesso em:

15 de Novembro de 2016.

SCIVITTARO, W. B. S.; OLIVEIRA, R. P. MORALES, C. F. G.; RADMANN, E.B. 2004. **Adubação nitrogenada na formação de porta-enxertos de limoeiro cravo em tubetes.** Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 131-135. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbf/v26n1/a36v26n1.pdf>> Acesso em: 12 de Novembro de 2016.

SEBRAE NACIONAL. 2015. **O mercado de hortaliças no Brasil.** Notícias públicas. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-mercado-de-hortalicas-no-brasil,92e8634e2ca62410VgnVCM100000b272010aRCRD>> Acesso em: 09 de Dezembro de 2016.

SENA JÚNIOR, D. G. 2005. **Utilização de técnicas de visão artificial para ajuste da adubação nitrogenada em trigo.** Tese Doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 149 p.

SENA JÚNIOR, D.G.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M.; ALVES, E.A.; MAGALHÃES, J.R. 2007. **Influência do solo na identificação de doses de nitrogênio em trigo utilizando classificadores multivariados com base em imagens digitais.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE. p.385-392. Disponível em: <<http://martel.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.11/doc/385-392.pdf>> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

SENA JÚNIOR, D. G.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; KHOURY JÚNIOR, J. K. 2008. **Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.1, p.187-195. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n1/a19v28n1>> Acesso em: 12 de Novembro de 2016.

SILVA, D. S. O.; COSTA, C. C. 2010. **Caracterização dos vendedores de hortaliças da Feira de Pombal-PB**. Revista Verde, v.5, p.191-196. Disponível em: < <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/574/521>> Acesso em: 5 de Dezembro de 2016.

SILVA, F. A. M.; VILAS BOAS, R. L. ; SILVA, R. B. 2010. **Resposta da alfaca à adubação nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos**. Acta Scientiarum. Agronomy. DOI: 10.4025 Maringá, v. 32, n. 1, p. 131-137. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1340/1340>> Acesso em: 11 de Novembro de 2016

SIMÕES, C. R.; ROSSIELLO, R. O. P.; GRACIOSA, M. G.; MACHADO, M. L.; SILVA, C. F. 2015. **Imagens multiespectrais para avaliação de índice de área foliar e massa seca do capim 'Tifton 85', sob adubação nitrogenada**. Ciência Rural, Santa Maria, v.45, n.4, p.697-703. Disponível em: < <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5356023>> Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.

SOUZA, T. R.; SALOMÃO, L. C.; ANDRADE, T. F.; VILLAS BÔAS, R. L.; QUAGGIO, J. A. 2011. **Medida indireta da clorofila e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em plantas cítricas fertirrigadas**. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal – SP. v. 33, n. 3, p. 993-1003. Disponível em: < <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/6293>> Acesso em: 05 de Dezembro de 2016.

STREIT, M.N.; CANTERLE, L.P., CANTO, M.W.; HECKTHEUER L. H. H. 2005. **As Clorofilas**. Ciência Rural, v. 35, p. 748-755. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/v35n3/a43v35n3.pdf>> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

STOKING, C.R.; ONGUN, A. 1962. **The intracellular distribution of some metallic elements in leaves**. American Journal of Botany, 49:284- 289. Disponível em: < [http://www.jstor.org/stable/2439551?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/2439551?seq=1#page_scan_tab_contents)> Acesso em: 15 de Novembro de 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre. Artmed.

TANAKA, K.; YAMADA, A.; NODA, K.; SHOYAMA, Y.; KUBO, C.; NOMOTO, K. 1997. **Oral administration of a unicelular green algae, *Chlorella vulgaris*, prevents stress-induced ulcer**. Planta Medica, v. 63, n.5, p. 465-466. Disponível em: < <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2006-957736>> Acesso: 15 de Novembro de 2016.

TUMBO, S.D.; WAGNER, D.G.; HEINEMANN, P.H. 2002. **Hyperspectral-based neural network for predicting chlorophyll status in corn**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.45, n.3, p.825-32. Disponível em:

<<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=8857>> Acesso em: 12 de Novembro de 2016.

UDDLING, J.; GELANG-ALFREDSSON, J.; PIIKKI, K.; PLEIJEL, H. 2007.

**Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings.** Photosynth. Res., 91: 37-46.

Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007/s11120-006-9077-5>>

Acesso em: 10 de Dezembro de 2016.

VIANA, M. C. M.; FREIRE F. M.; GONÇALVES, L. D.; MASCARENHAS, M. H. T.; LARA, J. F. R.; ANDRADE C. L.T.; PURCINO, H. M. A.; **Índice de clorofila na folha de alface submetida a diferentes doses de nitrogênio.** Sete Lagoas-MG, Horticultura Brasileira v. 26, n. 2, p. 86-90, 2008.

WANG, Yuan et al. **Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light.** *Plant methods*, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2014.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M. DE; COSTA, N. D.; MOTA, J. H. 2012. **Cultivo de morangueiro sob diferentes tipos de mulching.** Horticultura Brasileira, v. 30, p. 424-427. Disponível em: <

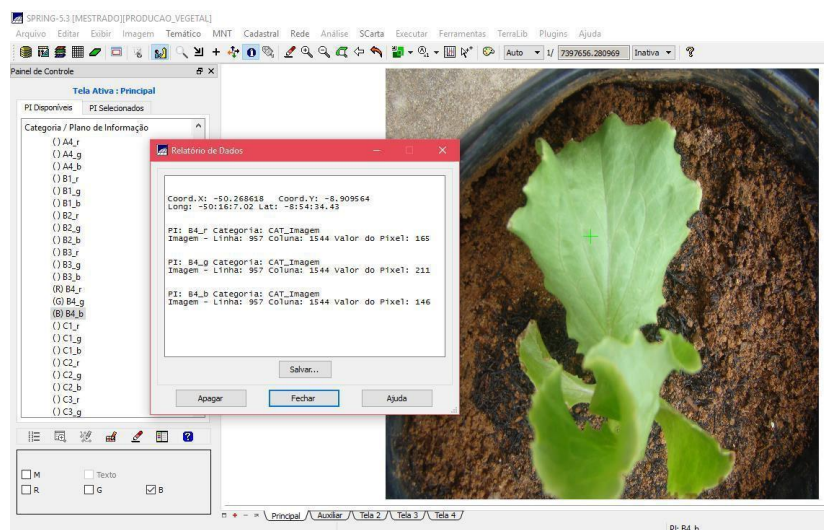
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/937670/1/Milanez.pdf>>

Acesso em: 20 de Novembro de 2016.

## ANEXOS



**Figura 2:** Mudas de alface (*Lactuca sativa L.*) produzidas em bandejas de isopor de 288 células. Fonte: RIBEIRO, H. F. (2016).



**Figura 3:** Coleta de níveis digitais nas bandas R-Red, B-Blue e G-Green de plantas de alface (*Lactuca sativa L.*), com o uso do software Spring. Fonte: RIBEIRO, H. F. (2016).