

RICARDO SOARES RAMOS

**USO DO NDVI NA ANÁLISE FENOLÓGICA DE ÁREAS IRRIGADAS
IDENTIFICADAS PELA TRANSFORMADA DE HOUGH**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

Ficha catalográfica preparada pela **Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Ramos, Ricardo Soares, 19-
R175u Uso do NDVI na análise fenológica de áreas irrigadas
2016 identificadas pela transformada de Hough / Ricardo Soares
 Ramos. – Viçosa, MG, 2016.
 ix, 74f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Nilcilene das Graças Medeiros.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.66-69.

1. Irrigação agrícola - Sensoriamento remoto.
2. Processamento de imagens. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 631.587

RICARDO SOARES RAMOS

**USO DO NDVI NA ANÁLISE FENOLÓGICA DE ÁREAS IRRIGADAS
IDENTIFICADAS PELA TRANSFORMADA DE HOUGH**

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

APROVADA: 30 de março de 2016.

Gérson Rodrigues dos Santos
(Coorientador)

José Marinaldo Gleriani
(Coorientador)

João Marcos Louzada

Nilcilene das Graças Medeiros
(Orientadora)

*Aos meus pais, Dimas e Martinha,
Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados,
A Nina Rosa*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Dimas e Martinha, pela base da minha vida, me proporcionando esta realização, Amo vocês!

Às minhas irmãs, Rosângela e Luciana, meu irmão Edimar e, em especial, à minha irmã Neide por sempre ser um espelho e minha esposa Nina Rosa pelo imensurável apoio, compreensão e carinho nas horas difíceis.

À UFV, pela oportunidade de realização do Mestrado.

À Professora Nilcilene Medeiros pela orientação, paciência na realização do trabalho, aprendizado, incentivo, profissionalismo e, acima de tudo, compreensão.

Ao Professor Gerson e Marinaldo, pelas contribuições e colaboração que foram de grande importância para conclusão deste trabalho.

A todos os professores que me ajudaram a realizar este sonho, não só meu, mas de toda minha família.

Aos amigos, pela compreensão nas horas que eu disse “não posso ir, pois tenho que estudar”.

A família AGROFLOR, que sempre me apoiou e me incentivou nesta fase de aprendizados e apertos.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho e torceram por mim na conquista de mais uma etapa, meus sinceros agradecimentos.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Objetivos	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. Sistema de Agricultura Irrigada por Pivô Central	4
2.2. Extração de Feições em Imagens Orbitais	6
2.2.1. Processamento Digital de Imagens	6
2.2.2. Imagens Orbitais	7
2.2.3. Correções Geométricas	11
2.2.4. Correções Radiométricas	12
2.2.5. Transformações Radiométricas ou Multiespectrais	15
2.2.6. Extração de feições	17
2.3. Inferência Estatística	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1. Área de estudo	28
3.2. Materiais utilizados	30
3.3. Metodologia	31
3.3.1. Identificação das áreas irrigadas por pivô central	33
3.3.2. Análise estatística das variações do NDVI em função dos ciclos fenológicos	37
4. RESULTADOS E ANÁLISES	46
4.1. Identificação das áreas irrigadas por Pivôs Centrais	46
4.2. Análise estatística das variações do NDVI em função dos estágios fenológicos	57
5. CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de estrutura do sistema de irrigação por pivô central.....	5
Figura 2: Modelo de áreas inutilizadas em um quadrado em irrigação por pivô central ..	6
Figura 3: Fluxograma dos processos de processamento de imagens digitais.	7
Figura 4: Linha do tempo das missões Landsat.	9
Figura 5: Comparação entre o comprimento das bandas espectrais entre os arquivos Landsat 7 e Landsat 8.....	13
Figura 6: Comportamento da reflectância da Vegetação	15
Figura 7: Etapas do processo de detecção de bordas pelo método de Canny.	22
Figura 8: Caracterização de uma circunferência de raio r e coordenadas de centro x_c, y_c	24
Figura 9: Exemplo de imagem da matriz de acumulação.	25
Figura 10: Localização da Área de Estudo	28
Figura 11: Localização dos Polos Nacionais de Pivô Central (2013).....	29
Figura 12: Fluxograma de atividades referente à metodologia proposta.	32
Figura 13: Imagem dos valores de NDVI em recorte com as áreas de pivô central para uma data.	39
Figura 14: Imagem dos pontos que foram utilizados para extrair os valores de NDVI das áreas de pivô central para uma data.	39
Figura 15: Estágios fenológicos da cultura do milho.....	41
Figura 16: Estágios fenológicos da cultura do feijão.	42
Figura 17: (A) Bandas do intervalo espectral do Vermelho para as 9 datas do ano. (B) Bandas do intervalo espectral do Infravermelho próximo para as 9 datas do ano. (C) NDVI obtido a partir das imagens (A) e (B) para as 9 datas do ano.....	47
Figura 18: (A) Resultado da soma das bandas do vermelho para as 9 datas do ano. (B) Resultado da soma das bandas do infravermelho próximo para as 9 datas do ano. (C) Resultado obtido na geração do NDVI a partir das imagens soma (A) e (B).	49
Figura 19: Resultado da conversão da tabela em áreas de pivô central.	51
Figura 20: Resultado da conversão da tabela em áreas de pivô central, sobrepostas à imagem utilizada como entrada no algoritmo de identificação.	52
Figura 21: Resultados das identificações dos pivôs centrais realizadas para a imagem de NDVI de cada uma das 9 datas (círculos em vermelho) e o resultado da identificação dos pivôs centrais usando a imagem NDVI da soma (círculos verdes).	54
Figura 22: Resultado das identificações realizadas por ANA & Embrapa/CNPMS (2014) (círculos vermelhos), sobreposto aos dados de identificação da Transformada de Hough com imagem pré-processada com o método da soma (círculos verdes).	56
Figura 23: Representação das variações do NDVI das 192 amostras do estudo.	58
Figura 24: Representação das variações do NDVI para as áreas plantadas com a cultura café.	59
Figura 25: Representação das variações do NDVI para as áreas plantadas com a cultura mamão	60

Figura 26: Representação das variações do NDVI para as áreas plantadas com a cultura feijão.....	61
Figura 27: Representação das variações do NDVI para as áreas plantadas com a cultura milho.	62
Figura 28: Representação das variações do NDVI para as áreas sem presença de plantio.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características espectrais das bandas do sensor OLI Landsat 8.	10
Tabela 2: Comparação entre áreas levantadas em 2013 e estimadas em 2006 (ha).....	30
Tabela 3: Datas das imagens OLI Landsat 8 selecionadas para o estudo de extração de feições.	33
Tabela 4: Datas das cenas do sensor Landsat 8 selecionadas para o estudo do NDVI. ...	38
Tabela 5: Modelo de tabela com os valores do NDVI por data e pivô central.	40
Tabela 6: Agrupamento realizado para a cultura do milho em função da descrição das fases fenológicas e seu tempo médio de ocorrência.....	41
Tabela 7: Agrupamento realizado para a cultura do feijão em função da descrição das fases fenológicas e seu tempo médio de ocorrência.....	42
Tabela 8: Resultado final dos agrupamentos das classes avaliadas neste estudo.	43
Tabela 9: Informações sobre a cultura presente em cada pivô do estudo	43
Tabela 10: Exemplo da tabela agrupada por NDVI em relação à classe fenológica.	44
Tabela 11: Exemplo da tabela com o resultado obtido na função criada no MatLab.	50
Tabela 12: Comparativo entre o numero de pivôs identificados usando o NDVI da soma com os NDVI's das cenas diárias.	55
Tabela 13: Quantificação dos valores para as identificações na área de irrigação por pivô central.....	56

RESUMO

RAMOS, Ricardo Soares, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2016, **Uso do NDVI na análise fenológica de áreas irrigadas identificadas pela transformada de Hough**. Orientadora: Nilcilene das Graças Medeiros. Coorientadores: Gérson Rodrigues dos Santos e José Marinaldo Gleriani.

Tendo em vista a importância da agricultura irrigada no país, principalmente para a produção de alimentos, utilizar técnicas que consigam estimar e calcular essas áreas de cultivo, tem sido de grande interesse em diversas áreas do conhecimento. A ideia principal deste trabalho é identificar as áreas de cultivo com irrigação pela técnica de pivô central através do processo de extração de feições baseado na Transformada de Hough para feições circulares. Esta função foi desenvolvida para identificar as feições de interesse por meio do reconhecimento das formas dos objetos encontrados na imagem, no caso deste estudo, circunferências. Na etapa de realce da imagem original foram utilizadas transformações radiométricas por meio de operações aritméticas entre bandas de mesma data para a criação de índices de vegetação, e operações entre bandas de datas distintas para destacar as feições de interesse. Para a realização das operações entre bandas distintas se tomou as devidas precauções quanto às correções radiométricas das imagens “brutas” para minimizar as distorções provocadas pelos efeitos atmosféricos. Assim, foi realizada a soma das bandas da região espectral do vermelho e do infravermelho próximo do sensor OLI Landsat 8 adquiridas em nove datas distintas do ano de 2014. A função de extração de feições foi executada para a imagem soma com os valores do índice de vegetação (NDVI). Os resultados obtidos a partir da imagem soma foram comparados com os resultados obtidos para cada data separadamente e também com o trabalho desenvolvido por ANA & Embrapa/CNPMS (2014). Os testes estatísticos aplicados basearam-se nas culturas presentes em parte dos talhões identificados. Foram analisadas as variações do comportamento do NDVI em função dos ciclos fenológicos das culturas ao longo do ciclo produtivo. Os resultados dos testes estatísticos sinalizaram que as variações do NDVI estão relacionadas às fases do ciclo fenológico das plantas.

ABSTRACT

RAMOS, Ricardo Soares, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, march de 2016, **Use the NDVI in phenological analysis of irrigated areas identified by the Hough transform.** Adviser: Nilcilene das Graças Medeiros. Co-advisers: Gérson Rodrigues dos Santos e José Marinaldo Gleriani.

Owing to the importance of irrigated agriculture in the country, principally for food production, usage techniques that are able to estimate and calculate these growth areas, has been of great interest in several knowledge areas. The main idea of this work is identify areas of crop irrigation by center pivot technique through the features extraction process based on the Hough Transform for circular features. This function was developed to identify features of interest athwart the recognition the forms of objects founded in the image, in the case of this study, circumferences. In the original image enhancement step, radiometric transformations were used to over arithmetic operations between bands of the same date for create vegetation indexes, and operations between bands of distinct dates to highlight features of interest. To carry out the operations between different bands took the necessary precautions to radiometric corrections of the raw images to minimize distortions caused by atmospheric effects. Accordingly, was held the summation of the bands from the spectral region of red and near infrared sensor OLI Landsat 8, acquired in nine different dates of the year 2014. The feature extraction function was accomplished for the image adds with the values of index vegetation (NDVI). The results obtained from that image was compared with the results obtained for each date separately and also to the work developed by ANA & EMBRAPA / CNPMS (2014). The statistical tests applied were based on the cultures present in part of the identified plots. Were analyzed the behaviorism variations from the NDVI depending on the phenological cycles of crops throughout the production cycle. The results of statistical tests signaled that NDVI variations are associated to the phases of phenological cycle of plants.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

O domínio em práticas da agricultura foi determinante para a evolução humana. O desenvolvimento das técnicas de cultivo das plantas proporcionou a Revolução Agrícola, dando início ao sedentarismo dos povos nômades possibilitando que os grupos sociais dominassem o espaço e se organizassem. Dentro do universo das técnicas de cultivo destaca-se o manejo da água através da irrigação que pode assegurar produtividade suficiente para a subsistência (SANT'ANA E COSTA, 2013; SILVA, 2013).

As primeiras técnicas de irrigação foram bastante rudimentares. Silva (2013) relata que no Brasil, em 1589, os jesuítas utilizavam irrigação em plantios de arroz na Fazenda Santa Cruz na cidade do Rio de Janeiro. Através do histórico da irrigação no Brasil, Sant'Ana e Costa (2013) concluem que, até a década de 60, as implementações de sistemas de irrigação foram com fins paliativos em anos de grandes estiagens na região Nordeste, mas a importância do manejo da água tornou-se evidente na agricultura moderna.

Hoje, porém, mais da metade das áreas irrigadas no Brasil estão na região Sul e Sudeste (CHRISTOFIDIS, 2013) tornando a atividade agrícola independente dos condicionamentos da natureza, propiciando maior produção e produtividade. Nas condições atuais, a irrigação permite o uso eficiente da água, da energia e de insumos, possibilitando colheitas fora da época tradicional e melhor qualidade do produto (MANTOVANI *et. al.*, 2006).

Christofidis (2013) relata que a área irrigada no Brasil cresceu de 1,1 milhões de ha em 1975 para 4,45 milhões de ha em 2006. E a Agência Nacional das Águas estimou em 5,4 milhões de ha em 2010, 20% a mais que 2006.

O grande desafio da irrigação no futuro está em manter-se sustentável diante de um cenário que prevê o aumento da população, do consumo de alimentos e de água, mas sem previsão de aumento da água doce no planeta, ou até mesmo, com a previsão de diminuição de água potável (COELHO *et al.*, 2013).

Diante da importância da agricultura irrigada na produção de alimentos para a população, conseguir estimar e calcular essas áreas e, conseqüentemente sua produção, tem sido objeto de estudos em diversas áreas do conhecimento, das quais podem se destacar o Sensoriamento Remoto e o Processamento Digital de Imagens (PDI) que permitem a extração destas informações referentes a área de estudo.

O processo de extração de feições não é uma tarefa simples, tendo em vista a existência dos variados tipos de estruturas, texturas e formas dos objetos da superfície terrestre.

Desta forma, num processo de extração de feições, onde geralmente, se utilizam apenas os valores de brilho da cena, a técnica da transformada de Hough destaca-se por ser um método de detecção de contornos baseado na extração seletiva das feições, com formas pré-definidas, dentre os variados tipos de feições da cena.

Vale ressaltar que a etapa de realce da imagem original é de fundamental importância para o processo de extração de feições, pois visa melhorar as características visuais da imagem, como o aumento de contraste das feições de interesse e diminuição de ruídos. Neste sentido, a criação de índices espectrais é bastante utilizada por realçar certos tipos de alvos da cena.

Para este trabalho, na etapa de realce de imagens foi utilizada uma operação aritmética de nove imagens correspondentes ao NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) obtidas por nove cenas sensor OLI Landsat 8, visando assegurar que pelo menos para uma das datas existiria algum tipo de plantio nos pivôs centrais, e conseqüentemente, uma resposta de maior realce para as referidas feições.

Além da identificação e extração dos alvos de interesse, que neste caso, são as áreas estabelecidas pelos pivôs centrais, outro fator de suma importância é compreender como se comporta os padrões espectrais das vegetações nas áreas cultivadas associando-as com as etapas de desenvolvimento das plantas.

Desta forma, este trabalho teve por finalidade a aplicação de técnicas de extração de feições utilizando a transformada de Hough para detecção de círculos, visando a identificação e extração de áreas com sistemas de irrigação por aspersão do tipo pivô central na região do Extremo Oeste da Bahia, em partes dos municípios de Luiz Eduardo Magalhaes, Barreiras e Riachão das Neves.

Além disso, analisaram-se os dados do NDVI ao longo de um período caracterizado por oito datas distintas para as culturas de café, milho, feijão, mamão e as

áreas sem cultivo identificando padrões característicos de variação do índice de acordo com o ciclo fenológico das plantas.

Diante do contexto apresentado, este trabalho foi dividido em cinco capítulos, conforme segue: Capítulo 1: Introdução - Apresenta uma breve introdução sobre os temas e metodologias apresentados neste trabalho. Capítulo 2: Composto por uma revisão de literatura com os termos apresentados neste trabalho. Capítulo 3: Composto pelos materiais utilizados neste trabalho e a metodologia proposta na busca dos objetivos. Capítulo 4: Apresenta os resultados e as análises, comparando os elementos avaliados e os resultados obtidos. Capítulo 5: Apresenta as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi identificar e extrair de forma semiautomática áreas de irrigação por meio de pivô central com cultivo, em imagens orbitais do sensor OLI Landsat 8 ao longo de um ano, através da Transformada de Hough, e relacionar a variação do NDVI com as características fenológicas das culturas nas áreas de cultivo utilizando técnicas da estatística clássica.

Considerando o objetivo geral, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Realçar em uma imagem as áreas de cultivo que utilizam técnicas de irrigação por pivô central, através da combinação de imagens orbitais adquiridas em diferentes datas ao longo de um ano, com uso da operação aritmética de soma;
- Identificação e extração automática de áreas de pivô central utilizando o algoritmo da transformada de Hough para feições circulares;
- Comparar as áreas identificadas como pivô central através da combinação de imagens de diferentes datas de aquisição ao longo de um ano e os resultados de identificação para cada data individualmente;
- Comparar os resultados obtidos a partir das metodologias empregadas neste trabalho e em ANA & Embrapa/CNPMS (2014) na determinação das áreas de pivô central;
- Realizar a análise estatística das variações do NDVI ao longo do ciclo produtivo das culturas de café, milho, feijão e mamão em função dos ciclos fenológicos das culturas nas áreas de cultivo identificadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Sistema de Agricultura Irrigada por Pivô Central

O crescimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade das culturas, estão diretamente vinculados aos fatores climáticos, que influenciam na atividade fotossintética das plantas. Dentre esses fatores destacam-se a precipitação, radiação solar e temperatura. Dos fatores citados, a precipitação pode ser compensada a partir de sistemas de irrigação.

A irrigação tem como principal função complementar o déficit hídrico dos solos promovido pela baixa intensidade de precipitação em algumas regiões ou, ainda, transformar regiões áridas e semiáridas em regiões produtivas (SETTI *et al.*, 2001).

A agricultura irrigada não é uma prática recente, Silva (2013) destaca que as grandes civilizações que habitavam às margens dos rios Nilo (no Egito, por volta de 6000 a. C.), Tigre e Eufrates (na Mesopotâmia, 4000 a. C.) e nos Jardins da Babilônia (2100 a. C.) já utilizavam a construção de canais e represamentos de água, por meio de diques, para irrigação por superfície.

Mesmo sendo utilizada há séculos, a prática de irrigação tem sua evolução relativamente recente. A partir da Revolução Industrial, com o acelerado crescimento populacional das cidades e a grande necessidade de matéria-prima para as indústrias, o manejo de água tornou-se primordial para o desenvolvimento da agricultura, colaborando tanto para o aumento das áreas de cultivo, quanto para produtividade das áreas já ocupadas (SANT'ANA e COSTA, 2013).

Desta maneira, nos últimos anos um novo conceito de agricultura irrigada foi adotado evoluindo de uma simples aplicação de água no solo para um importante instrumento no aumento da produção, produtividade e rentabilidade no campo, sendo esses sistemas utilizados para aplicação de fertilizantes, inseticidas e outros elementos que proporcionam a correção de alguns fatores na dinâmica do solo (MANTOVANI, 2006).

Os métodos utilizados para irrigação são divididos em três grupos: irrigação por superfície, irrigação localizada e irrigação por aspersão. Neste último se enquadra o sistema do pivô central, método este que será abordado neste trabalho por se tratar do

grupo a ser utilizado no processo de extração de feijões (MANTOVANI, 2006; SILVA, 2013).

Irrigação pelo método do pivô central

O pivô central é um sistema de movimentação circular suspensa por uma estrutura composta por torres, rodas e treliças que possuem uma linha lateral entre 200 e 800 metros (MANTOVANI, 2006). Na Figura 1 é exemplificada a estrutura de um sistema de irrigação de pivô central.



Figura 1: Modelo de estrutura do sistema de irrigação por pivô central.
Fonte: Irrigação (2015).

As principais vantagens desse método são economia no uso de mão de obra (um operador maneja vários pivôs), manutenção do mesmo alinhamento e velocidade em todas as irrigações, boa uniformidade de aplicação quando bem dimensionado e, após completar uma irrigação, o sistema estará posicionado para começar um novo ciclo de irrigação (SILVA, 2013).

Por outro lado, um aspecto desfavorável deste método, citado por Silva (2013), é que se o plantio possuir uma área quadrada há uma perda de aproximadamente 20% da área irrigada, como pode ser observado nas regiões A, B, C e D da Figura 2.

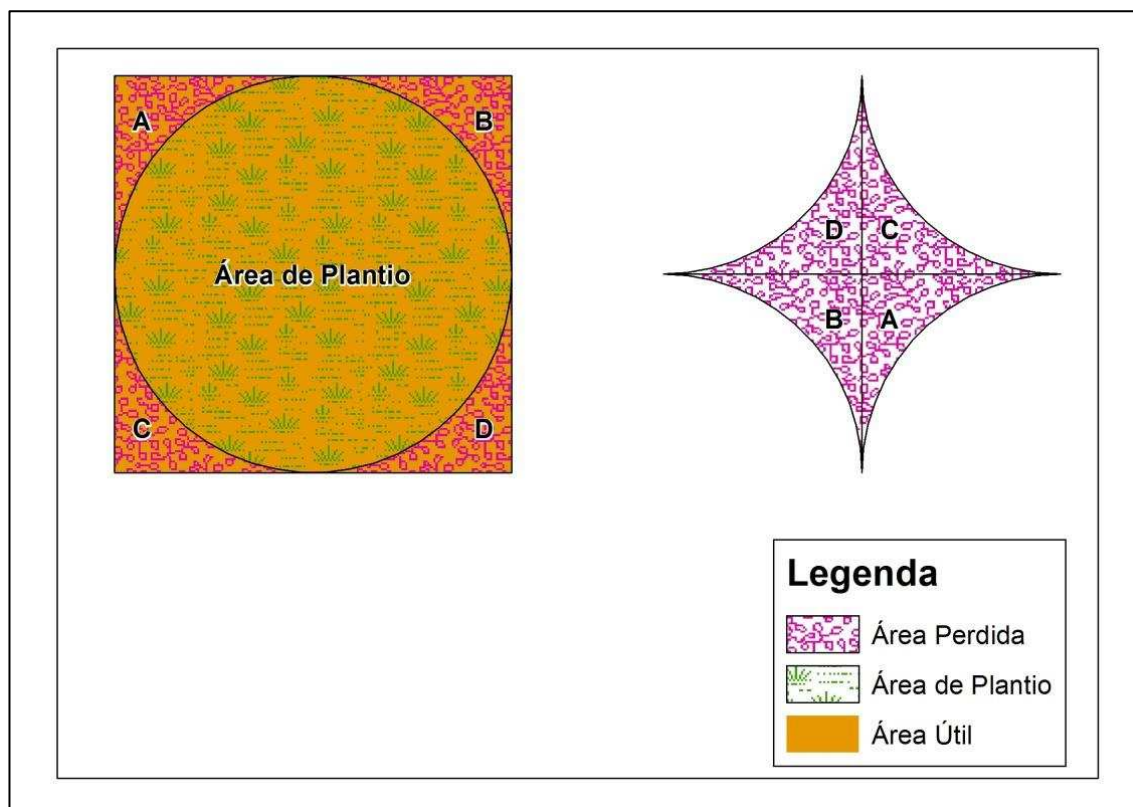


Figura 2: Modelo de áreas inutilizadas em um quadrado em irrigação por pivô central

2.2. Extração de Feições em Imagens Orbitais

2.2.1. Processamento Digital de Imagens

Lillesand e Kiefer (1994) definem o Processamento de Imagens Digitais (PDI) como um conjunto de técnicas de análise e manipulação de imagens digitais através do uso de ferramentas computacionais, com capacidade de processar grande volume de dados, usado para identificar e extrair informações da imagem, sobre fenômenos ou objetos que ocorrem na paisagem e são capturados por sensores.

Gonzalez e Woods (2007) destacam que o interesse no processamento de imagens digitais considera duas principais áreas de aplicação. A primeira está relacionada à aplicação de técnicas para a melhoria visual das imagens para interpretação humana da informação, já a segunda está relacionada ao processamento de dados das cenas para o reconhecimento automático dos alvos presentes na mesma.

Em suma, o uso de técnicas em PDI tenta simular a capacidade do sistema visual humano de reconhecer padrões espectrais contidos nas imagens. Durante as etapas do

processo de reconhecimento, através de operações matemáticas, os valores dos pixels da imagem são modificados, gerando novos valores com destaque nas regiões de interesse que podem ser, posteriormente, discriminados por um analista ou por métodos automáticos (PONZONI *et al.*, 2012).

Na Figura 3 é apresentado um fluxograma das etapas realizadas durante o processamento de imagens, desde sua aquisição. Todo procedimento realizado em PDI se destina a busca de um resultado do qual se deve codificar o domínio do problema sobre uma base de conhecimento, porém, existem situações em que não é necessária a aplicação de todas essas etapas (MATURANA, 2010).

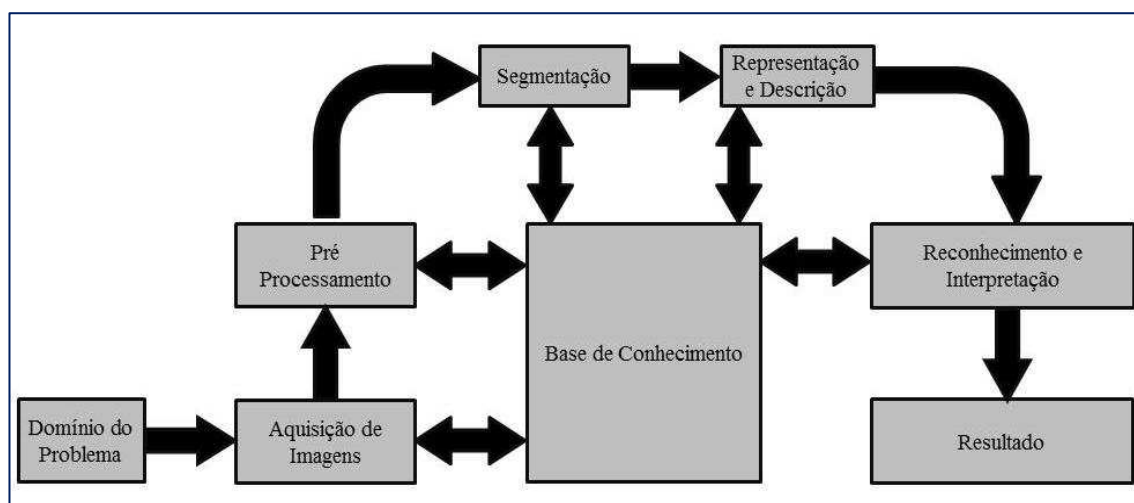


Figura 3: Fluxograma dos processos de processamento de imagens digitais.
Fonte: Adaptado de Maturana (2010).

Ao longo dos anos, a evolução dos sistemas de aquisição de imagens digitais acoplados a plataformas aerotransportadas ou orbitais, vem gerando um alto volume de dados para áreas cada vez mais extensas e em intervalo de tempo cada vez menores. Assim, novas técnicas de PDI nas áreas do Sensoriamento Remoto estão em constante desenvolvimento e vem sendo aplicadas tanto para a melhoria da qualidade visual de uma cena para interpretação dos analistas, quanto para extrações automáticas de informações sobre a superfície terrestre (AMINI, 2004).

2.2.2. Imagens Orbitais

O Sensoriamento Remoto é definido por Campos (2005) como a utilização de um conjunto de técnicas para estudar fenômenos e eventos adquirindo informações de objetos sem que haja contato físico entre o alvo e o sistema de aquisição. Dentre os

sistemas de aquisição de dados utilizados na geração dessas informações podem-se destacar os sensores que capturam a intensidade de fluxo de energia eletromagnética refletido dos objetos convertendo tais informações em imagens digitais.

As diferenças espectrais dos fluxos refletidos dos objetos são capturadas por sensores que registram as interações entre as faixas de radiação do espectro eletromagnético com os átomos que compõem a estrutura física de um alvo, convertendo-as na forma de variações de intensidade (PONZONI *et al.*, 2010).

Com o desenvolvimento dos sistemas orbitais nos últimos anos, se tornou comum à utilização de sensores acoplados as plataformas com o objetivo de obter o registro dos recursos naturais e do ambiente terrestre. Estes dados apresentam uma atualização periódica e são a base para a geração de produtos cartográficos com qualidade através da associação das técnicas de processamento de imagens digitais (VILELA *et al.*, 2000).

Desde o início do século XXI os avanços na área do Sensoriamento Remoto vêm sendo marcados pelo desenvolvimento e lançamento de diversas plataformas orbitais. Esta evolução está relacionada tanto pela criação de novos projetos de sensores com altas resoluções (espectral, temporal, radiométrica ou espacial) ou com a continuidade e evolução de sistemas já existentes, como por exemplo, o programa do sistema Landsat.

Sistema Landsat

O programa Landsat iniciou-se em meados da década de 60 com o nome de ERTS-1 (*Earth Resource Technology Satellite*), sendo posteriormente rebatizado de Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) em 1975. É constituído por uma série de missões de observação da Terra por satélite gerido conjuntamente pela NASA e pelo *United States Geological Survey* (USGS) com objetivo de permitir a aquisição de informações dos recursos naturais de forma periódica e com abrangência global (USGS, 2015b).

Em mais de 40 anos de existência o programa já efetuou o lançamento de 8 satélites com sensores de média resolução espacial, a fim de obter imagens da superfície terrestre. Por meio da Figura 4, pode-se verificar o histórico dos lançamentos desse sistema.

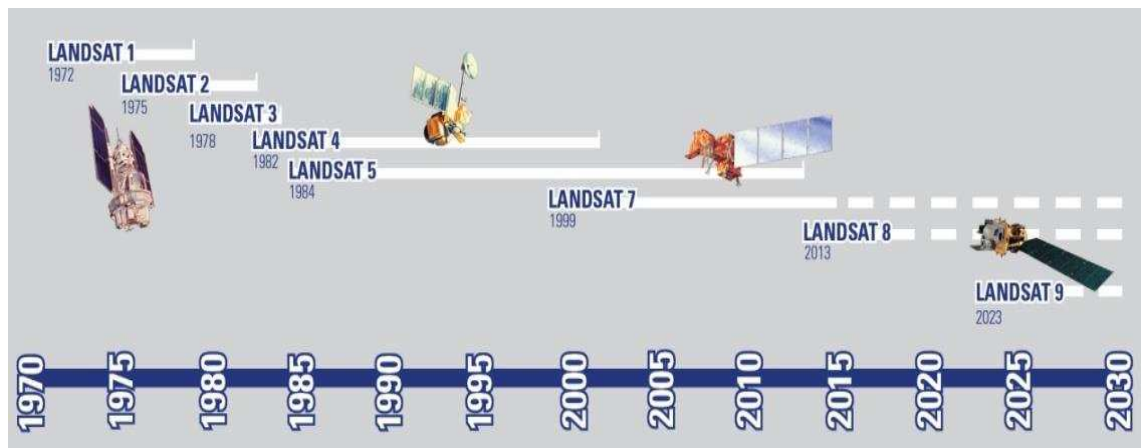


Figura 4: Linha do tempo das missões Landsat.

Fonte: Landsat (2015a).

O último satélite lançado pelo programa é denominado Landsat 8. Este satélite percorre sua órbita em 16 dias e apresenta em sua composição dois sensores imageadores: *Operational Land Imager (OLI)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*.

As imagens obtidas pelo sensor OLI consistem-se de nove bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros, exceto a banda 8, com 15 metros (pancromática). Já as imagens do sensor TIRS correspondem às bandas 10 e 11 (termal) e apresentam resolução espacial de 100 metros.

Na Tabela 1 é apresentado as relações dos intervalos espectrais das imagens do sensor OLI Landsat 8, ressaltando suas aplicações para individualizar feições da imagem, de acordo com a identidade espectral dos alvos.

Tabela 1: Características espectrais das bandas do sensor OLI Landsat 8.

Banda	Intervalo espectral (μm)	Principais características e aplicações da imagens obtidas pelo sensor OLI do sistema LANDSAT 8
1	(0,43 - 0,45) Costeira aerossol	Apresenta grande sensibilidade à presença de aerossóis e estudos costeiros.
2	(0,45 - 0,51) Azul	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenoides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
3	(0,53 - 0,59) Verde	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta).
4	(0,64 - 0,67) Vermelho	Permite analisar a variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata de galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(0,85 - 0,88) Infravermelho próximo	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas.
6	(1,57 - 1,65) SWIR 1	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
7	(2,11 - 2,29) SWIR 2	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: Adaptado de Landsat (2015b).

Além das características espectrais, as imagens adquiridas por sistemas orbitais utilizadas para fins de mapeamento da superfície terrestre são dependentes da sua qualidade final. Esta qualidade é condicionada a ocorrência de distorções originárias de diferentes fontes (sistema imageador, efeitos atmosféricos, etc.), denominadas distorções geométricas e distorções radiométricas. Estes efeitos devem ser eliminados ou minimizados por técnicas de pré-processamento para, posteriormente, tais imagens serem utilizadas como produtos cartográficos.

2.2.3. Correções Geométricas

As distorções que influenciam a precisão cartográfica referente ao posicionamento de objetos em uma imagem orbital, no seu estado bruto, devem ser corrigidas com o uso de técnicas denominadas de correção geométrica. Estas técnicas são aplicadas na etapa de pré-processamento com objetivo de restaurar a geometria da imagem (RICHARDS; JIA, 2006).

A correção geométrica deve ser capaz de modelar as distorções inerentes ao processo de aquisição das imagens. Estes erros são ocasionados pelas próprias características das plataformas dos sensores e suas correções são realizadas nas estações de recepção do satélite, usando dados de efemérides e as especificações da órbita e do sensor (D'ALGE, 1997).

As principais causas destas distorções são: variações na velocidade da plataforma, variações na velocidade do espelho de varredura (para o caso de sensores óticos mecânicos), distorções panorâmicas, efeito da curvatura terrestre, rotação da terra, variações de atitude e altitude da plataforma (D'ALGE, 1997).

Outra motivação para a realização da correção geométrica é a integração de mapas e outras informações na realização de análises comparativas de imagens multi-temporais onde se faz necessário certificar que os pixels das imagens utilizadas sejam referentes às mesmas áreas no terreno (D'ALGE, 2001).

Ainda que se utilizem as imagens do mesmo sensor a bordo da mesma plataforma de satélite, dificilmente essa coincidência nos pixels ocorrerá em imagens de datas distintas devido às distorções não sistemáticas causadas pelos movimentos do satélite. Portanto, antes de se comparar duas imagens de uma mesma área, é necessário que ambas estejam perfeitamente registradas entre si (D'ALGE, 2001).

Dentre os processos de registro de imagens para integração e comparação pode-se utilizar o georreferenciamento das imagens. Neste processo, a imagem registrada utiliza pontos de controle terrestre. Para cada coordenada do pixel na imagem (linha, coluna) é atribuído, através de uma relação matemática, um valor correspondente às coordenadas de um sistema de coordenadas cartográficas. Desta forma, a imagem adquire características de mapa com todos os pixels referenciados a um Sistema Cartográfico (D'ALGE, 2001).

As imagens do sensor OLI Landsat 8, ao serem adquiridas no banco de dados da USSG, apresentam o nível de correção geométrica que, segundo seu *site* oficial (<http://landsat.usgs.gov//landsat8.php>), apresentam uma precisão de posicionamento de aproximadamente 12 metros. Essas imagens estão referenciadas á projeção UTM e sistema de referência *Datum* WGS1984.

2.2.4. Correções Radiométricas

Durante os processos de aquisição de uma imagem por sensores orbitais, o registro e discretização dos valores de intensidade podem ser afetados por efeitos atmosféricos ou por falhas e/ou mau funcionamento dos detectores, afetando a qualidade radiométrica dos valores de brilho da cena. A estas distorções devem ser aplicadas técnicas de correção radiométricas que consistem na transformação dos valores obtidos originalmente pelo sensor em valores mais próximos ao real, que deveriam estar presentes na imagem (RICHARDS; JIA, 2006).

O mau funcionamento dos detectores se dá através da perda de sinal, desajustes e/ou perda da calibração dos sensores, provocando leituras maiores ou menores que os outros detectores para a mesma faixa espectral sobre a mesma área terrestre. Os fatores que colaboram com este tipo de erro vêm sendo minimizados com a evolução dos sistemas ao longo dos anos (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Já os erros relacionados com o efeito da atmosfera localizada entre o sensor e a superfície da Terra, ao adquirir as imagens, estão diretamente ligados à energia refletida pelos alvos que está sujeita aos processos de absorção e espalhamento dessa energia por gases, aerossóis, etc.. Desta forma, como os fenômenos na atmosfera se comportam de maneira variável ao longo do tempo é importante remover os efeitos atmosféricos,

especialmente para cenas usadas em análises comparativas de imagens multi-temporais (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Ao longo dos anos, várias técnicas e algoritmos têm sido desenvolvidos para amenizar os efeitos atmosféricos em imagens digitais, como por exemplo, as imagens obtidas pelo satélite Landsat 8, onde as novas bandas espectrais dos sensores OLI são mais estreitas visando minimizar os efeitos de absorção, como se pode observar na Figura 5. Porém somente com a redução das faixas espectrais mapeadas não é possível eliminar completamente os efeitos, visto que ainda permanece o efeito do espalhamento.

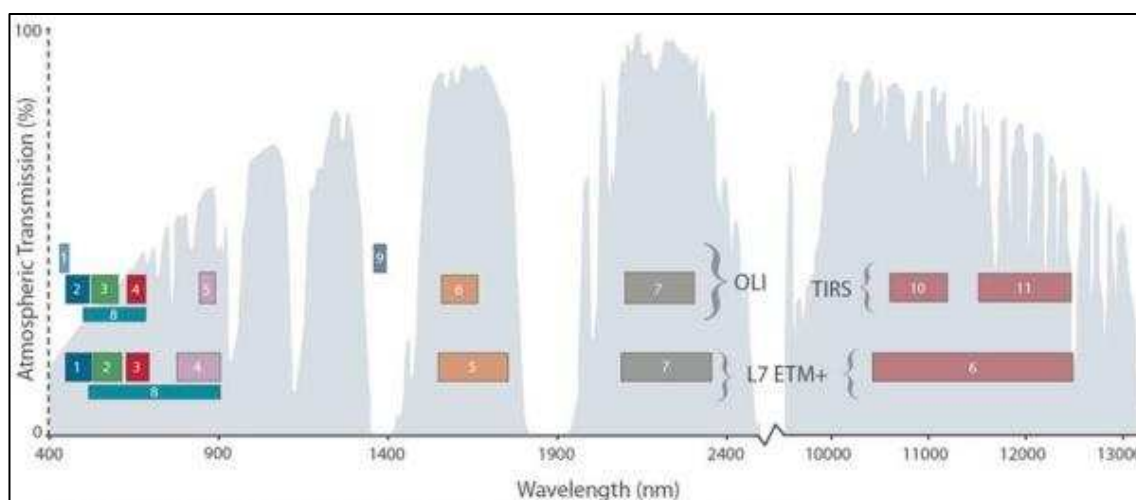


Figura 5: Comparação entre o comprimento das bandas espectrais entre os arquivos Landsat 7 e Landsat 8.

Fonte: Landsat (2013)

Para correção atmosférica dos valores adquiridos pelos sensores do sistema Landsat 8 é utilizada uma abordagem com algoritmo de transferência radiativa que leva em conta uma ampla gama de parâmetros, incluindo o ângulo de elevação solar, hora do dia, altura do sensor e ângulo de incidência, e as medições meteorológicas, tais como ozônio atmosférico e concentração de aerossol. Assim, para cada cena, cria-se um modelo com a simulação de suas distorções e, em seguida, procede as correções das imagens (USGS, 2015a).

Imagens Digitais como fonte de dados radiométricos

As imagens obtidas por sensores orbitais são representadas em valores digitais de acordo com uma escala radiométrica específica (2, 8, 16 bits etc.). Porém, os valores digitais são apresentados em escalas distintas para as diversas bandas de um sensor fazendo necessária a conversão desses valores para uma escala única. Após esta

conversão estes dados podem ser utilizados para comparação das propriedades espectrais dos objetos (PONZONI *et al.*, 2012).

Cada objeto responde de maneira diferente em uma faixa do espectro eletromagnético. A conversão dos valores digitais para parâmetros físicos, como radiância e reflectância, permite a caracterização espectral dos objetos estudados e este comportamento diferenciado entre os objetos para cada faixa do espectro é o fator que permite a interpretação, identificação e análise de diferentes objetos em uma cena, ou a detecção de mudanças ao longo do tempo (PONZONI *et al.*, 2012).

Todavia, para realizar a comparação entre objetos por meio de suas características espectrais, devem ser aplicadas as correções radiométricas nas imagens. Essas correções servem não apenas para apresentar imagens mais nítidas, mas imagens com maior precisão nos valores dos parâmetros físicos (radiância e reflectância) após a conversão. Além disso, o valor de intensidade medido pelo sensor no topo da atmosfera necessita da correção dos efeitos atmosféricos para gerar uma aproximação dos fenômenos na superfície terrestre (PONZONI *et al.*, 2012).

Este comportamento diferenciado pode ser compreendido em vários tipos de espécies vegetais que se comportam de forma característica e distinta em três regiões espectrais: as regiões do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio. No caso da vegetação, a região do visível normalmente apresenta baixa reflectância e tem o comportamento caracterizado pelas substâncias responsáveis pela pigmentação das plantas (PONZONI *et al.*, 2012).

Na região do infravermelho próximo, a vegetação apresenta alta reflectância, alta transmitância e baixa absorção. Este comportamento é caracterizado pela estrutura celular das folhas. Por fim, a região do infravermelho médio tem seu comportamento relacionado ao teor de umidade presente nas folhas. Pode-se observar na Figura 6 um gráfico que apresenta o comportamento da reflectância da vegetação em função do comprimento de onda.

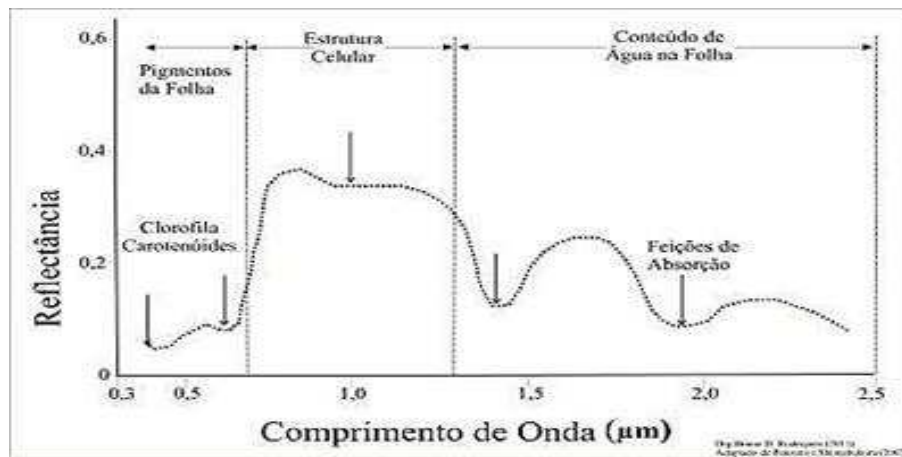


Figura 6: Comportamento da reflectância da Vegetação
 Fonte: Ponzoni *et al.* (2012).

Em virtude destas características, tem sido crescente o uso de imagens obtidas por sensores orbitais para o estudo das culturas agrícolas através de seu comportamento espectral, com o objetivo de identificar e estimar as áreas de produção, bem como as estimativas de produtividade e identificação das variedades. Porém, a resposta espectral do dossel de uma cultura pode ser influenciada por diversos fatores como: umidade, vigor vegetativo, cobertura vegetal do substrato, tipo de solo, topografia, espaçamento da cultura, variedade, idade da planta e culturas intercalares, entre outros (VIEIRA *et al.*, 2003).

2.2.5. Transformações Radiométricas ou Multiespectrais

As imagens obtidas por sensores multiespectrais proporcionam aos analistas a opção de gerar novas imagens utilizando operações matemáticas entre as bandas espectrais, permitindo a apresentação das informações obtidas de formas diferentes. A geração destas novas imagens por meio de operações matemáticas é chamada de transformações radiométricas (PONZONI *et al.*, 2012).

Estas operações matemáticas podem ser consideradas como uma técnica de processamento “Pixel a Pixel”, tornando as análises mais interessantes com a geração de novas informações a partir de várias bandas espectrais (PONZONI *et al.*, 2012). Além disso, as transformações podem maximizar a variável em estudo, que pode não ser perceptível nas imagens originais, e ainda minimizar diferentes fatores de variação na imagem, apresentando as informações em número reduzido de bandas.

Em Sensoriamento Remoto é extensiva à utilização de transformações radiométricas nos estudos de culturas agrícolas, principalmente pelo cálculo dos índices

de vegetação que são utilizados na avaliação da reflectância dos dosséis das culturas (EPIPHANIO *et al.*, 1996).

Índices de Vegetação

Os índices de vegetação são transformações radiométricas geradas a partir de combinações aritméticas entre os valores das respostas espectrais da vegetação nas diferentes regiões do espectro eletromagnético (RIZZI, 2004). Assim, realçam-se as diferenças entre as classes de vegetação por meio de medidas quantitativas, destacando as regiões de interesse. A escolha do índice adequado pode realçar feições que não podem ser observadas diretamente quando bandas originais são visualizadas (EPIPHANIO *et al.*, 1996).

De modo geral, os índices de vegetação são uma forma de relacionar as aquisições de imagens orbitais com os parâmetros da vegetação podendo ser também utilizados como forma de medir e quantificar as variáveis (biomassa ou vigor vegetativo) que podem representar e caracterizar diferentes espécies vegetais (PONZONI *et al.*, 2012).

Para gerar um índice de vegetação é necessária a conversão dos números digitais em valores de grandeza física, como reflectância, por exemplo, pois assim as variáveis utilizadas para o cálculo do índice estarão na mesma escala radiométrica para as diferentes bandas utilizadas (PONZONI *et al.*, 2012).

Dentre os índices de vegetação, pode-se destacar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), proposto por Rouse *et al.*, (1974) para separar as áreas com vegetação das áreas sem vegetação. Ele expressa a diferença entre as faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, sendo normalizada pela soma de suas bandas, como pode ser observado na equação dada a seguir (WANG *et al.*, 2005):

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{Infravermelho próximo} - \text{vermelho})}{(\text{Infravermelho próximo} + \text{vermelho})} \quad (1)$$

Este índice produz escalas de medidas lineares, variando entre -1 e +1, e sua adaptação por meio da normalização dos dados foi criada com o intuito de minimizar os problemas com divisão por zero. Dentro de sua escala (-1 a 1), geralmente, os valores próximos a 0 se referem a áreas sem vegetação ou com vegetações sem folhas, ou ainda áreas submetidas a um estresse hídrico e os valores próximos a 1 apresentam vegetação

com folhas saudáveis e bem nutridas do ponto de vista hídrico. Já os valores negativos, de modo geral, representam corpos d'água (PONZONI *et al.*, 2010).

Seus resultados estão relacionados às propriedades biofísicas das vegetações, como o Índice de Área Foliar (IAF), a biomassa, a área basal, entre outros (WANG *et al.*, 2005).

Ciclo Fenológico das Plantas

Os ciclos fenológicos das plantas referem-se a intervalos de tempo em que ocorrem os fenômenos de desenvolvimento das culturas, como a brotação, a floração e a frutificação, os quais estão correlacionados também com as condições ambientais (BERGAMASCHI, 2007).

Para caracterizar a dinâmica dos ciclos fenológicos em decorrência dos incrementos típicos de cada cultura se faz necessária a utilização do NDVI associado a análises multi-temporais. Desta forma, é possível descrever as características espectrais de uma cultura dentro de um período do seu ciclo, em função das respostas espectrais do conjunto das folhas que modificam suas características qualitativas e quantitativas a cada ciclo.

Por essa razão, a mesma cultura em talhões diferentes pode não ter as mesmas correspondências espectrais em função das variações fenológicas, ou culturas diferentes podem responder de forma semelhante.

2.2.6. Extração de feições

Um dos grandes desafios quando se trata de interpretação automática de imagens digitais em PDI é a implementação de um sistema com a capacidade do homem de assimilar, generalizar e extrair informações das feições de interesse das imagens. Por outro lado, em um método automático tem-se um ganho no processamento por meio do aumento da faixa de interpretação dentro do espectro eletromagnético, que para o sistema visual humano fica restrito a uma pequena faixa desse espectro (400 a 700nm) (GONZALEZ e WOODS, 2007).

O processo de extração de feições envolve o reconhecimento, interpretação e representação das informações de interesse dentre as diversas feições existentes em uma

imagem. Esta diversidade de elementos que compõe uma imagem, e que responde de forma diferente para cada faixa do espectro eletromagnético, aliada as distorções que podem ocorrer durante o processo de aquisição, tornam as técnicas de extração de feições uma tarefa complexa (ARTERO, 1999).

Os modelos de extração de feições que atingem bons índices de acerto em processamentos com interpretação automática são de grande interesse em diversas áreas do conhecimento. Em dados obtidos por Sensores Remotos orbitais ou aerotransportados, por se tratar de grandes extensões territoriais e conter alta diversidade nas informações, agrupar as entidades de interesse e trabalhar de forma seletiva são fundamentais para atingir os resultados desejados durante uma análise (AMINI, 2004).

Existem diversas abordagens que podem ser utilizadas para realizar um processo de extração de feições em uma imagem digital. Paine e Lodwick (1989) propõem as etapas na sequência apresentada:

- a) Suavização: a primeira etapa do processo é reduzir algumas variações de frequência espacial que produzem falsas bordas na imagem. Uma maneira de realizar a suavização é através de filtros de convolução do tipo passa-baixa, pois são de fácil implementação.
- b) Detecção de Bordas: consiste na aplicação de um detector de bordas, que normalmente é baseado na aplicação de operações que identificam as variações de frequência espacial na imagem, caracterizadas por mudanças bruscas de descontinuidade numa região. Geralmente uma diferenciação na região é a solução adotada.
- c) Limiarização: é a operação utilizada para eliminar algumas das bordas detectadas que apresentam uma baixa magnitude e devem ser desconsideradas para simplificar o processamento posterior.
- d) Afinamento de bordas: nesta etapa precisam ser afinadas as bordas identificadas que apresentam uma espessura de mais de um pixel, melhorando tanto a precisão da identificação, quanto a sua verdadeira localização, e apresentando como resultado feições com bordas com a largura de um *pixel*.
- e) Conexão: por fim, devem-se definir quais os pixels de borda devem ser agrupados, modelando as formas que compõe as linhas das feições de interesse para interpretação e reconhecimento.

Segundo Medeiros (2007), a grande variedade de operadores desenvolvidos para cada uma das etapas listadas acima torna difícil uma abordagem unificada sobre as técnicas existentes. Além disso, a ordem da sequência apresentada pode ser modificada ou, ainda, utilizada em combinações entre elas para elaborar o pré-processamento junto com outras técnicas melhorando o contraste da imagem.

Neste contexto, pode-se citar o Operador de Canny (1986) que reúne as etapas de suavização, limiarização, afinamento e conexão, numa abordagem considerada como sendo um detector de bordas.

Os detectores de bordas são técnicas de realce que visam identificar as regiões de alta variação de frequência espacial, realçando as regiões da imagem que apresentam uma mudança abrupta de intensidade entre duas feições (MATARUNA, 2010).

Nos processos de detecção de bordas o principal objetivo é reduzir o número de informações na imagem destacando as áreas de variação de frequência entre regiões. Por serem redutores de frequência os detectores de bordas tem como principal desvantagem a redução do contraste da imagem (GONZALEZ e WOODS, 2007).

Grande parte dos operadores de bordas são baseados nas definições de derivadas, com cálculos dos gradientes que medem a taxa de variação de intensidade para cada ponto da imagem variando também as direções de busca. Assim, as regiões com maiores variações de intensidade são as bordas e as com menores intensidades são as regiões homogêneas (SOUZA, 2012).

Desta forma, nos processos de extração de feições cujo objetivo é a delimitação dos contornos dos objetos da cena, o processamento prévio das imagens com a detecção de bordas é essencial, destacando as feições de interesse e auxiliando o ganho de eficiência durante o processo computacional (PISTORI *et al.*, 2005).

Dentre os diversos métodos de extração de feições tem-se a Transformada de Hough que se destaca por ser um método de rastreamento de contornos baseado na extração seletiva das feições.

A transformada de Hough é bastante conhecida na prática de processamento de imagens pela detecção e vetorização de linhas retas, círculos ou até mesmo feições irregulares. Sua principal vantagem é a viabilização da detecção de formas passíveis de parametrização, como linhas, círculos e elipses, e conseqüentemente, a discriminação de ruídos da imagem com relação às formas parametrizadas (MEDEIROS, 2007).

Diante do contexto, e como apresentado em Maturana (2010), o operador de Canny pode então ser usado como processamento prévio de detecção de bordas para identificação por meio da transformada de Hough, a fim de realçar as feições de interesse, para que sejam identificadas e extraídas com maior sucesso por este método de extração de feições.

Operador de Canny

Canny (1986) propôs uma rotina para o processo de detecção das bordas para os elementos de uma imagem de forma ótima. O autor destaca que para uma detecção ótima da borda é preciso que:

1. O algoritmo detecte tantas bordas quanto possível;
2. As bordas detectadas estejam o mais próximo possível da borda real; e
3. Cada borda na imagem seja detectada uma vez, e o ruído da imagem não deva criar bordas falsas.

Para a implementação do operador de Canny são necessários 4 estágios principais (CANNY, 1986):

- 1°. Suavização (*smoothing*): realizada pela convolução de um operador gaussiano. O resultado dessa etapa é uma imagem ligeiramente desfocada se comparada com a original, possibilitando assim, a redução dos ruídos que geram bordas erroneamente. Isto, conseqüentemente, reduz as altas frequências existentes na imagem.
- 2°. Cálculo dos gradientes de intensidade: as bordas podem se apresentar em vários sentidos. Assim 4 máscaras são usadas para detectar bordas horizontais, verticais e nas duas diagonais.
- 3°. “Matriz de decisão”: Os resultados das aplicações das máscaras da etapa anterior são armazenados em uma matriz, de forma que para cada pixel da imagem tenha-se o resultado do gradiente e a direção que o originou.
- 4°. Determinando as bordas: os gradientes com intensidade mais elevada são mais prováveis de serem bordas, porém não existem valores pré-definidos que determinam a partir de qual intensidade se é definida uma borda. Desta forma o operador de Canny utiliza dois limiares, um mais restritivo (valor mais alto) e um mais flexível (valor mais baixo). O limiar de valor mais alto visa à detecção das bordas que possuam os maiores valores de intensidade, eliminando grande

parte dos detalhes da cena com média e baixa intensidade, isolando assim, as bordas do restante da cena, porém regiões de bordas com intensidade menor do que o limiar estabelecido também são eliminadas. Já o limiar de valor mais baixo visa detectar a maioria das bordas, definindo-as melhor e detectando também muitos detalhes que são utilizados para o preenchimento das falhas de contorno na imagem com valor mais alto de limiar.

Uma vez completado todo o processo tem-se uma imagem binária, em que cada pixel é definido como um pixel de borda ou de não borda. Na Figura 7 são exemplificados todos os passos do processo.

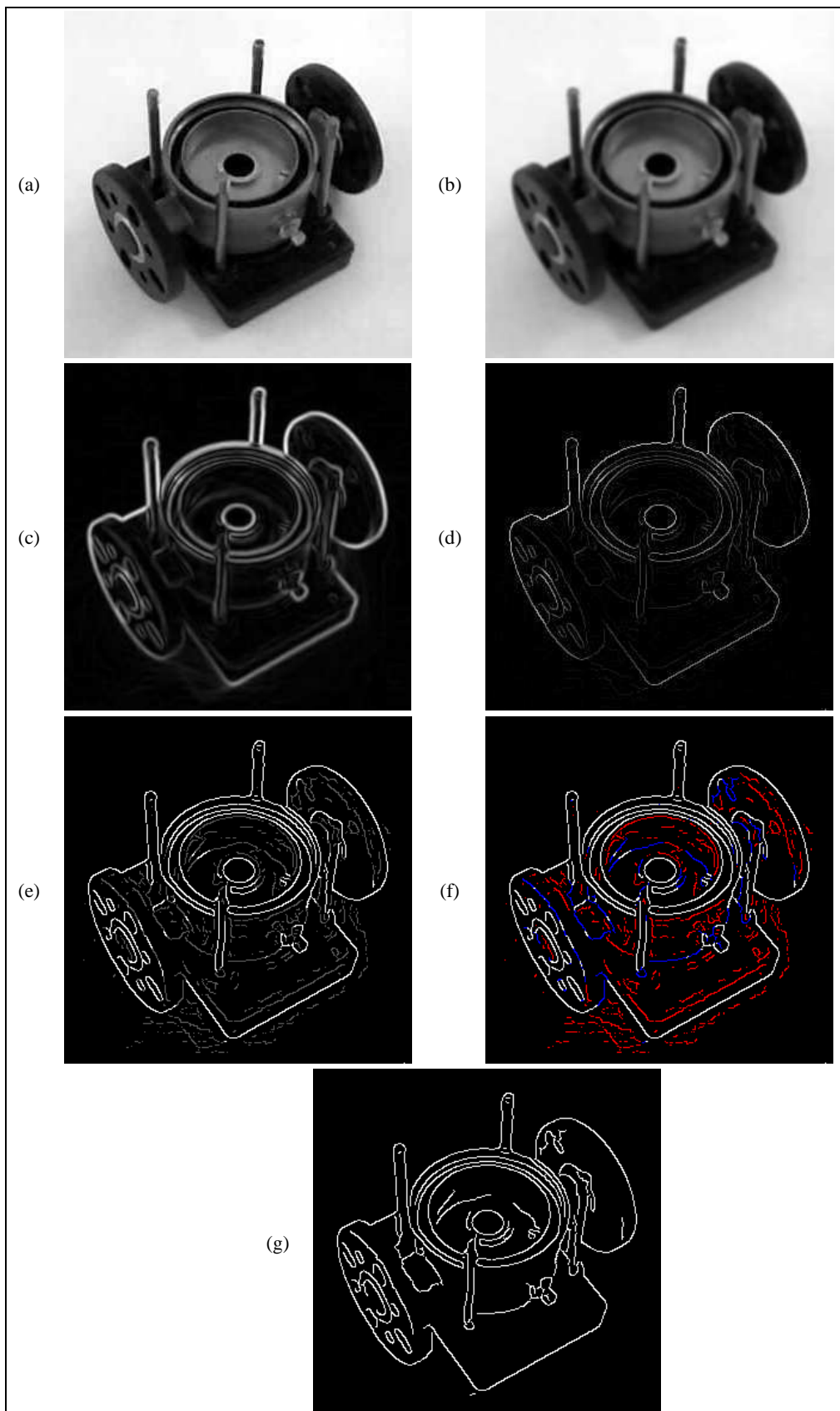


Figura 7: Etapas do processo de detecção de bordas pelo método de Canny. (a) Imagem Original (b) Suavização (c) Imagens geradas pelos gradientes de intensidade (d) Imagem com o limiar mais restritivo (e) Imagem com o limiar mais flexível (f) Rastreamento dos pixels na imagem mais flexível para incluir como borda (g) Resultado Final

Fonte: Adaptado de <http://www.cse.iitd.ernet.in/~pkalra/csl783/canny.pdf> (Acesso em outubro de 2015)

Transformada de Hough

Desenvolvida por Paul Hough na década de 60, a transformada de Hough é uma técnica de extração de feições por meio do reconhecimento de padrões, capaz de identificar os limites dos elementos que compõe uma imagem digital, tais como retas, círculos, elipses, dentre outras formas (MEDEIROS, 2007). Desde sua primeira publicação, surgiram muitos outros trabalhos aprimorando e otimizando a transformada de Hough, que pode ser aplicada até para formas generalizadas atualmente.

Normalmente, para realizar a aplicação da transformada de Hough, se faz necessária a utilização de um pré-processamento da cena a fim de destacar as bordas dos limites das feições presentes na imagem. É necessário também após a etapa de pré-processamento a etapa de limiarização, obtendo uma imagem binária, que é o dado de entrada para a transformada de Hough (MEDEIROS, 2007).

Posteriormente, o reconhecimento é feito pela transformação da imagem com sua representação na forma de parâmetros, que são descritos através da equação geral do elemento que se deseja representar (MACEDO, 2005).

Os parâmetros são armazenados na forma de uma matriz acumuladora em que cada posição da matriz corresponde a um intervalo no espaço real dos parâmetros. Assim, cada ponto da imagem que satisfizer a equação parametrizada, incrementa em uma unidade o contador correspondente a sua posição. Ao final, os contadores que tiverem o valor mais alto corresponderão aos parâmetros da curva descrita na imagem (MACEDO, 2005).

Como neste trabalho os objetos a serem estudados possuem formas circulares, será dada ênfase apenas para a transformada de Hough com identificação de círculos.

Transformada de Hough - Identificação de círculos

As feições circulares podem ser identificadas por meio da Transformada de Hough assimilando a implementação do algoritmo à principal característica das figuras geométricas circulares: a equidistância de todos os pontos presentes em seu perímetro a um ponto fixo em seu centro através da distância denominada raio (PISTORI *et al.*, 2005).

Para a parametrização de uma circunferência através da Transformada de Hough os pontos são discretizados no espaço de parâmetros, utilizando uma matriz

acumuladora tridimensional contendo os parâmetros x_c , y_c e r . Esses valores da matriz representam os elementos da equação geral da circunferência:

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2 \quad (2)$$

em que x_c e y_c são as coordenadas cartesianas do centro do círculo, r é o seu raio e x e y são os pontos de borda a serem testados. Esta equação é obtida através de um triângulo retângulo inserido dentro da circunferência, como pode ser observado na Figura 8.

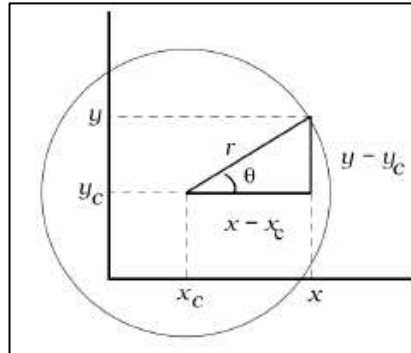


Figura 8: Caracterização de uma circunferência de raio r e coordenadas de centro x_c , y_c .
Fonte: Pistori *et al.* (2005).

Por se tratar de um espaço de maior dimensão, com três variáveis, a utilização da equação geral da circunferência pode comprometer a eficiência computacional. Além disso, devido à dificuldade de evidenciar algumas variáveis em função de outras, como evidenciar as coordenadas do centro x_c e y_c em função das demais variáveis, se torna mais adequado utilizar a função do círculo pela sua forma polar apresentada na Equação 3 (MACEDO, 2005):

$$\begin{aligned} x &= x_c + r \cdot \cos(\theta) \\ y &= y_c + r \cdot \sin(\theta) \end{aligned} \quad (3)$$

em que (r, θ) são as coordenadas polares de um círculo. As coordenadas polares também são apresentadas nestas equações também podem ser visualizadas na Figura 8.

O conhecimento prévio do raio do círculo que se pretende identificar ou pelo menos ter o conhecimento de um intervalo em que ele pertence, auxilia a minimizar o espaço de busca do processo pela equação polar aumentando sua eficiência. Com esta informação e os valores dos pontos de borda (x, y) em cada círculo é criada a matriz de acumulação.

A matriz de acumulação é formada por uma imagem com as mesmas características matriciais da original. Para cada ponto (x, y) de borda da imagem

original, encontram-se todos os possíveis valores das coordenadas de centro (x_c, y_c) em função do raio (r) . No final do processo, as células que tiverem os maiores números de pontos acumulados como possível ponto de centro, dentro da matriz acumuladora, indicam o valor da coordenada x, y da circunferência que se pretende identificar (PISTORI *et al.*, 2005). Na Figura 9 é ilustrado este processo.

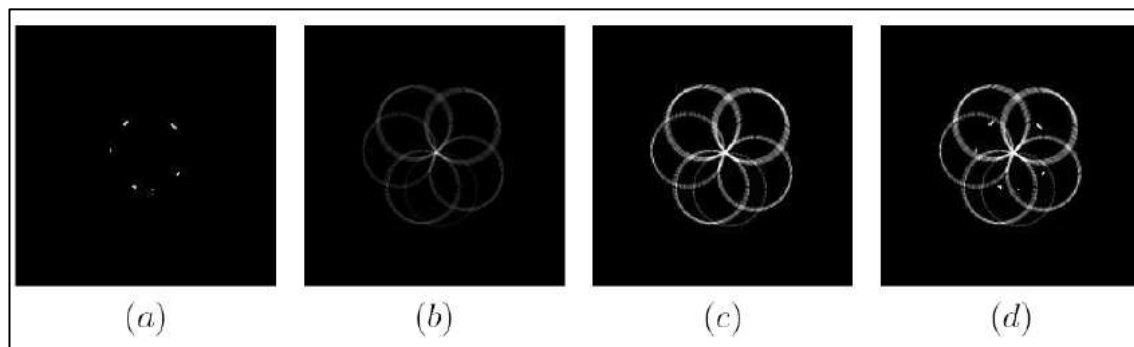


Figura 9: Exemplo de imagem da matriz de acumulação.

(a) imagem original; (b) ponto da matriz acumuladora; (c) realce da imagem (b) para facilitar a visualização; (d) imagem composta pela original e sua matriz acumuladora.

Fonte: Pistori *et al.* (2005).

Pode-se, ainda, observar na Figura 9 que, após a criação da matriz acumuladora, a identificação e discretização das feições circulares passam a ser um problema simples de identificação dos pontos de máximo na matriz de acumulação.

2.3. Inferência Estatística

A ideia geral da Estatística se remete a entender, explicar, estimar ou prever eventos ou fenômenos ao nosso redor, traduzindo os dados que se têm por meio da geração de informações que nos retornam uma ideia geral deste fenômeno. Desta forma, pode-se dizer que as análises estatísticas são medidas quantitativas e qualitativas derivadas de um conjunto de dados que descrevem várias informações (WONG; LEE, 2005).

Os processos de estimação de um estudo científico são realizados por meio de métodos cientificamente desenvolvidos com finalidade de apresentar um valor que represente uma quantidade fixa e desconhecida, utilizando para isso expressões algébricas que são definidas em função das amostras observadas (FERREIRA, 2009).

Nesse sentido a estatística inferencial busca obter uma conclusão acerca de uma população, baseando-se na informação derivada de uma amostra, sendo composta por processos de estimação e testes de hipóteses (FERREIRA, 2009).

Dentre os métodos de estimadores podemos destacar o da máxima verossimilhança, introduzido por R.A. Fisher em 1922. Neste método considera-se que uma amostra ($X_1, X_2, X_3 \dots$) é aleatória dentro de uma população apresentando uma função de densidade a partir de uma $f(x)$ de cada variável (FERREIRA, 2009).

Desta forma, como os valores amostrais são independentes é possível definir uma função de verossimilhança (L) pelo produtório das densidades de cada valor da amostra, definida na equação 4.

$$L = f(X_1)f(X_2)f(X_3) \dots f(X_n) = \prod_{i=1}^n f(X_i) \quad (4)$$

Como o objetivo do estimador da máxima verossimilhança é elevar ao máximo o valor de L , deve-se tomar a primeira derivada de L igualando a equação a 0 e posteriormente resolve-la para obter o estimador (FERREIRA, 2009).

Existe a possibilidade da obtenção de estimadores de máxima verossimilhança para alguns tipos de densidades específicos, como Bernoulli, Exponencial e Normal. Em função da utilização neste trabalho, será demonstrado matematicamente somente o caso da distribuição Normal que é dada a partir da equação 5:

$$\begin{aligned} L &= \prod_{i=1}^n f(X_i) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(X_i-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \\ &= \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{n/2}} e^{-\left[\frac{1}{2\sigma^2}\sum_{i=1}^n (X_i-\mu)^2\right]} \end{aligned} \quad (5)$$

Tomando-se o logaritmo:

$$\ln L = -\frac{n}{2}\ln(2\pi) - \frac{n}{2}\ln(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2}\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2 \quad (6)$$

Para encontrar o máximo deriva-se $\ln L$ em relação aos parâmetros M e S , igualam-se as equações resultantes a zero e resolve-se o sistema formado.

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \sigma^2} = \frac{-n}{2\sigma^2} + \frac{1}{2(\sigma^2)^2}\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2 \quad (7)$$

e

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \mu} = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu) \quad (8)$$

Iguala-se a segunda derivada (8) a zero, resolve-se para M e obtém-se:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\hat{\sigma}^2} \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{\mu}) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{\mu}) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n \hat{\mu} &= 0 \\ n\hat{\mu} &= \sum_{i=1}^n X_i \\ \hat{\mu} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \bar{X} \end{aligned} \quad (9)$$

Substitui-se M na equação 5, iguala-se a expressão resultante a zero e obtém-se:

$$\begin{aligned} \frac{-n}{2\hat{\sigma}^2} + \frac{1}{2(\hat{\sigma}^2)^2} \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{\mu})^2 &= 0 \\ \frac{-n}{2\hat{\sigma}^2} &= \frac{-1}{2(\hat{\sigma}^2)^2} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \\ \frac{2n(\hat{\sigma}^2)^2}{2\hat{\sigma}^2} &= \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \\ \hat{\sigma}^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} = \frac{(n-1)S^2}{n} \end{aligned} \quad (10)$$

Logo, $\hat{\mu} = \bar{X}$ e $\hat{\sigma}^2 = (n-1)S^2/n$ são os estimadores de máxima verossimilhança dos parâmetros μ e σ^2 da distribuição normal, respectivamente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área do estudo deste trabalho está localizada na região do Extremo Oeste da Bahia, entre as latitudes 11°36'S e 11°53'S e as longitudes 45°32'O e 45°50'O, totalizando uma área de aproximadamente 965km², inseridas na Bacia do Rio Grande, interceptando partes dos municípios de Luiz Eduardo Magalhães, Barreiras e Riachão das Neves (Figura 10).

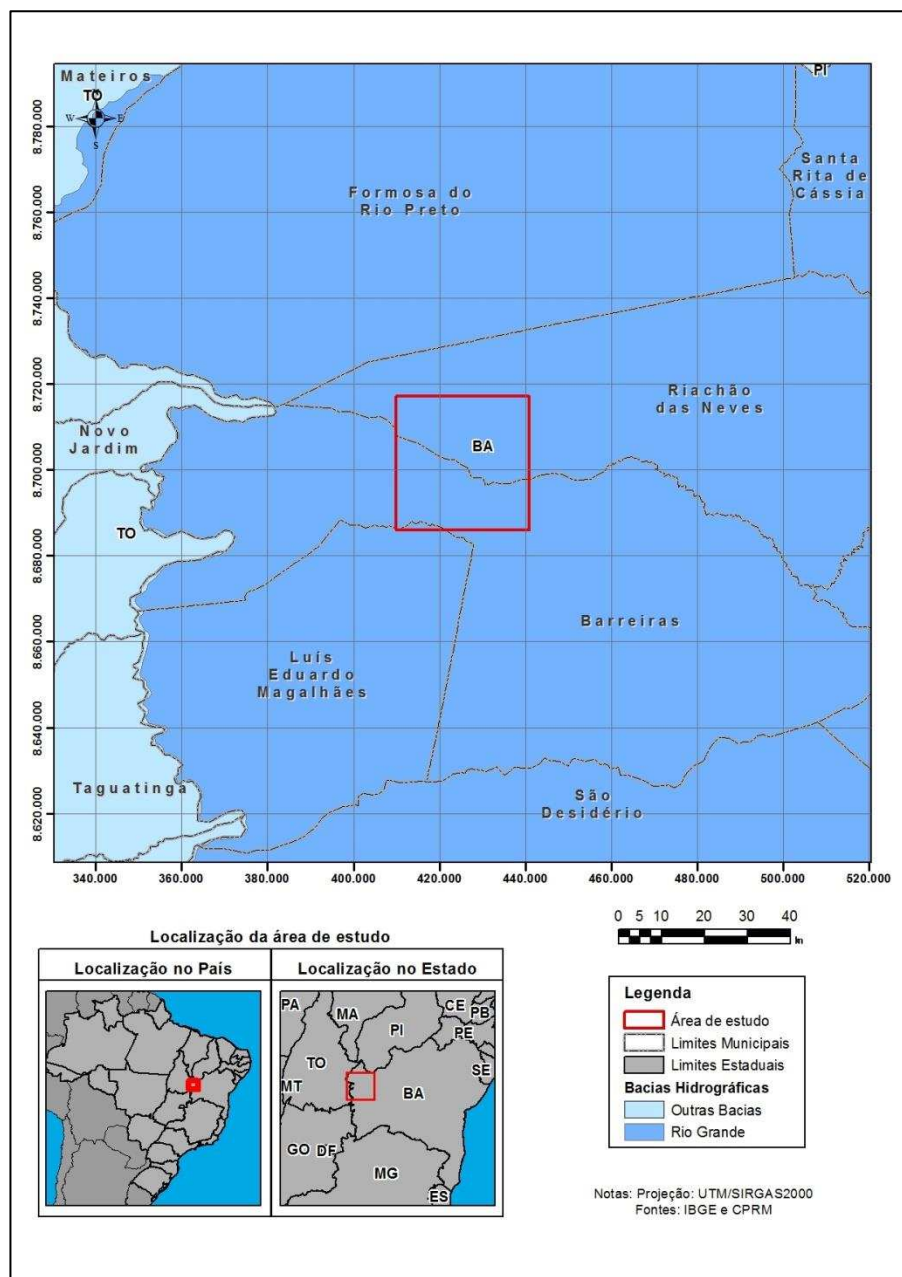


Figura 10: Localização da Área de Estudo

Nas últimas décadas a região de estudo tem sofrido uma descaracterização de grande parte do aspecto original devido a um intenso processo de expansão da fronteira agrícola. Além disso, as condições climáticas da região são classificadas como Aw (clima tropical com estação seca de Inverno) no método de Köppen, apresentando precipitação média entre 1.100 a 1.700 mm/ano com uma estação seca de aproximadamente 5 meses entre maio e setembro, condicionando a ocupação das áreas por plantações extensivas de soja, café, arroz e algodão por meio de uma agricultura mecanizada e de irrigação contínua (SANTANA *et al.*, 2000).

O aumento da irrigação nestas áreas a tornaram um dos polos nacionais de irrigação por pivô central, apresentando o maior crescimento das áreas de cultivo com esta técnica, entre os anos de 2006 e 2013 pode ser observado na Figura 11 e nos dados apresentados na Tabela 2.

Assim, a escolha desta área de estudo se justifica pela grande quantidade de feições circulares e pela notória importância da atividade de irrigação para o desenvolvimento regional, conforme dados disponíveis em ANA & Embrapa/CNPMS (2014).

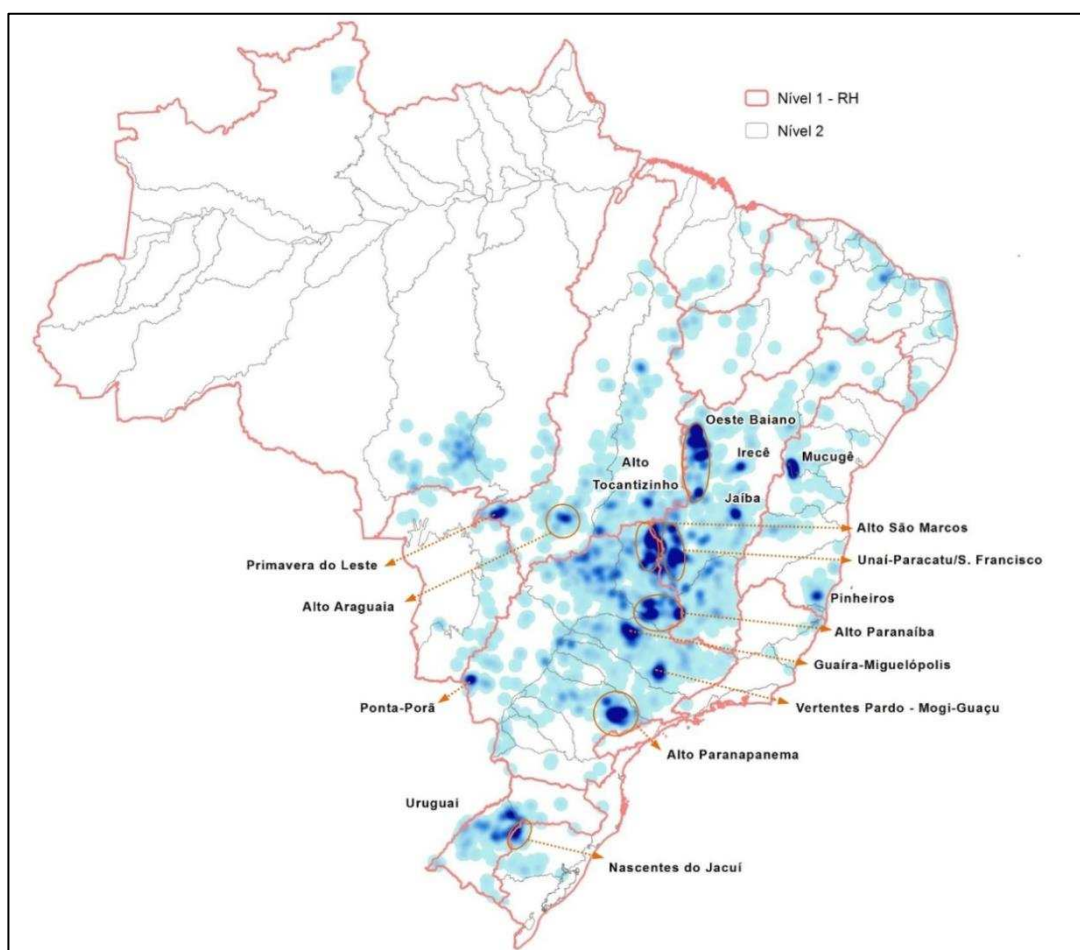


Figura 11: Localização dos Polos Nacionais de Pivô Central (2013).

Fonte: ANA & Embrapa/CNPMS (2014).

Tabela 2: Comparação entre áreas levantadas em 2013 e estimadas em 2006 (ha)

UF	Área Pivôs Centrais –2006 (Censo Agropecuário)	Área Pivôs Centrais – 2013	Crescimento (%)
BA	75.231	192.223	155,5%
MT	30.909	67.071	117,0%
MG	169.877	366.428	115,7%
TO	6.084	10.759	76,8%
DF	7.608	13.212	73,7%
RS	44.926	76.081	69,3%
GO	134.000	210.724	57,3%
CE	5.283	7.857	48,7%
AL	73.041	775	(2013 inferior a 2006)
ES	23.319	12.808	(2013 inferior a 2006)
MA	8.774	7.531	(2013 inferior a 2006)
MS	28.488	25.882	(2013 inferior a 2006)
PB	9.834	1.035	(2013 inferior a 2006)
PE	20.887	2.334	(2013 inferior a 2006)
PI	1.271	1.181	(2013 inferior a 2006)
PR	15.542	9.202	(2013 inferior a 2006)
RJ	11.339	86	(2013 inferior a 2006)
RN	7.926	2.578	(2013 inferior a 2006)
SC	1.020	394	(2013 inferior a 2006)
SE	5.510	337	(2013 inferior a 2006)
SP	209.027	168.674	(2013 inferior a 2006)
RR	0	2.001	(2006 = 0)
Total	892.887	1.179.176	32,1%

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2006) e ANA & Embrapa/CNPMS (2014).

3.2. Materiais utilizados

Os materiais utilizados neste trabalho para os processamentos dos dados foram:

- Imagens *Landsat 8* do sensor OLI (*Operational Land Imager*), com resolução espacial de 30 metros, Bandas 4 e 5 (Vermelho e Infravermelho próximo, respectivamente) adquiridas no *site* USGS para 9 datas do ano de 2014;

- Imagens Landsat 8 *Surface Reflectance* do sensor OLI, com resolução espacial de 30 metros, Bandas 4 e 5 (Vermelho e Infravermelho próximo, respectivamente) adquiridas no *site* USGS para 9 datas do ano de 2014;
- Dados das culturas das áreas de pivô central fornecidos pelas fazendas da região;
- *Software* ArcGIS 10.2, para manipulação dos dados espaciais, álgebra dos mapas através de operações matemáticas entre imagens;
- *Software* Matlab R2012b para desenvolvimento da rotina de identificação semiautomática das áreas de pivô central, e;
- *Software* R para processamentos estatísticos dos valores de NDVI.

3.3. Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho foi definido em duas partes, como pode ser observado no fluxograma de atividades apresentado na Figura 12. Na primeira parte foi realizadas as etapas dos processos referentes à identificação e extração semiautomática das feições circulares que representam as áreas de pivô central da área de estudo desta pesquisa.

Já na segunda, algumas áreas identificadas na primeira etapa foram utilizadas como referência espacial para aquisição dos valores de NDVI, em imagens orbitais de diferentes datas ao longo de um ano. Estes valores do índice foram relacionados a classes predefinidas em função dos ciclos fenológicos das culturas, e posteriormente as variações do índice ao longo de um ciclo produtivo foram analisadas por meio de técnicas estatísticas.

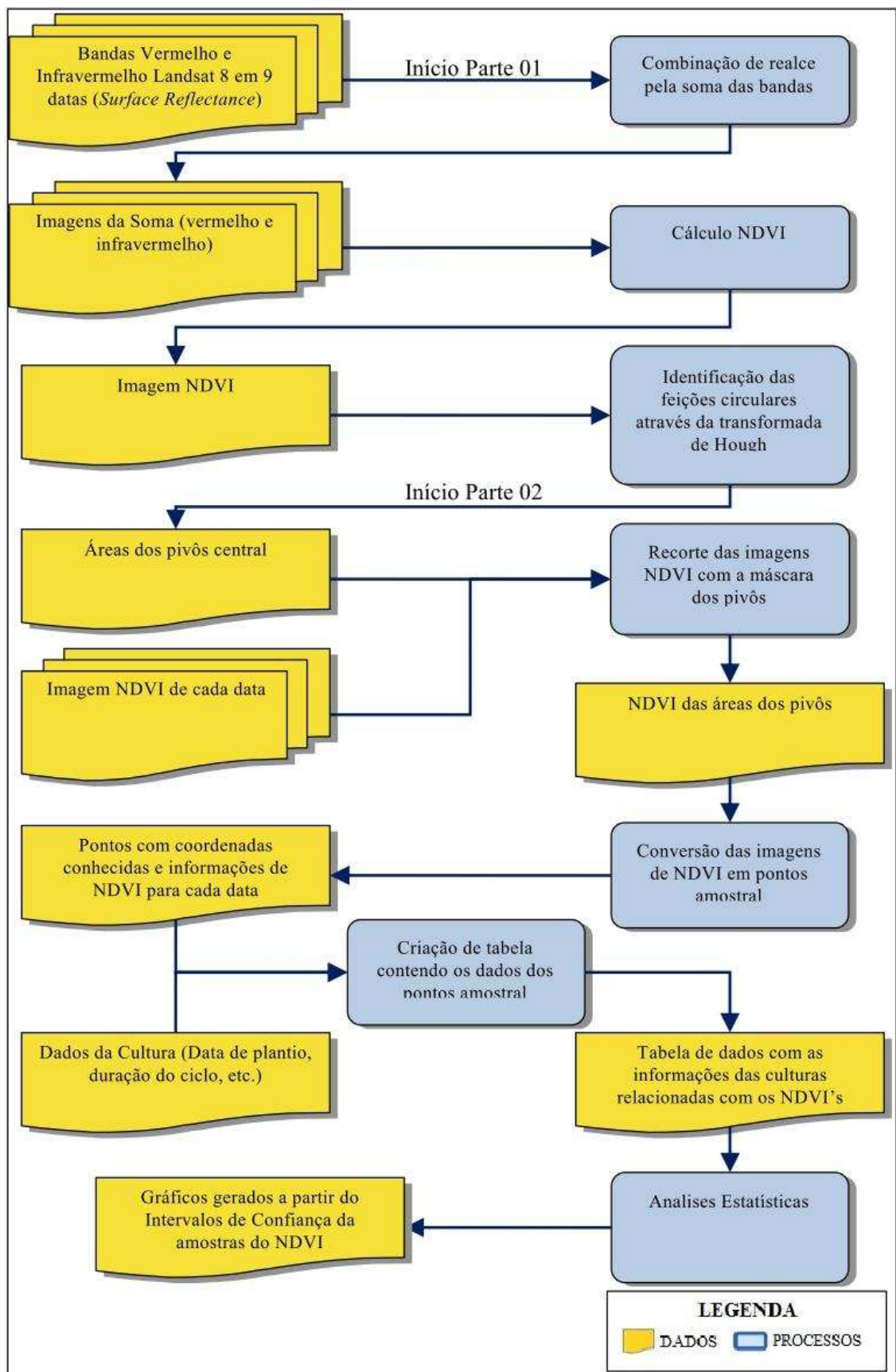


Figura 12: Fluxograma de atividades referente à metodologia proposta.

3.3.1. Identificação das áreas irrigadas por pivô central

Aquisição e pré-processamento dos dados

As cenas da missão Landsat 8 são fornecidas pelo *United States Geological Survey* (USGS) em seu banco de dados na internet, no endereço <http://earthexplorer.usgs.gov>.

No processo de aquisição destas imagens no portal da USGS foram localizadas as áreas de interesse a fim de identificar as imagens correspondentes. A região deste estudo foi identificada como parte das cenas do sistema de imageamento órbita (*path*) 220 e ponto (*row*) 068 e, de onde foram selecionadas todas as imagens do ano de 2014. Após a identificação, foram avaliadas as coberturas de nuvens de cada cena e adquiridas somente às imagens com cobertura menor que 10% da área de estudo.

As cenas adquiridas foram recortadas para as dimensões da área de estudo e, posteriormente, reavaliadas sobre as condições de influências da cobertura por nuvens nas cenas. Isso se fez necessário porque, mesmo existindo menos de 10% de cobertura na imagem original, após o recorte isso poderia comprometer boa parte da área de estudo.

Ao final deste processo foram selecionadas 9 cenas do sensor OLI do sistema Landsat 8 de datas distintas pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Datas das imagens OLI Landsat 8 selecionadas para o estudo de extração de feições.

Ano	2014						
Mês	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Novembro	
Dias	22	7	9 25	10 26	11 27	30	

Todas as cenas adquiridas apresentam o nível de correção classificado como L1T, que corresponde a correções geométricas e radiométricas, além, ainda, de utilizar dados de um Modelo Digital de Elevação (MDE) para ajustar os parâmetros com determinada exatidão topográfica. Este grau de correção deve ser conferido nas informações do arquivo de metadados atrelado junto com as imagens.

As cenas do Landsat 8 L1T são produtos distribuídos em escala de Números Digitais (ND) calibrados e dimensionados de acordo com sua resolução radiométrica de 16 bits (0 a 65.535 tons de cinza). Como os ND's são valores físicos discretizados num intervalo definido pela sua resolução radiométrica, se fez necessário trabalhar com

valores de reflectância, garantindo assim que as imagens com datas e bandas de comprimentos espectrais distintas estivessem em escalas radiométricas semelhantes durante os processos de cálculo dos índices utilizados.

Estes dados de reflectância foram adquiridos no site da USGS através do produto denominado Landsat 8 *Surface Reflectance*, que são gerados a partir do algoritmo L8SR mediante solicitação feita no sistema *web*, na mesma página de aquisição das imagens originais.

O algoritmo L8SR realiza a conversão dos dados de ND para reflectância por meio de processos que levam em consideração as correções das interferências atmosféricas utilizando tanto as informações dos metadados das imagens, quanto os modelos matemáticos que estimam estas interferências. Mesmo com seu uso recomendado para obtenção de índices, o produtor das imagens Landsat 8 *Surface Reflectance* ressalta que os dados são provisórios e os resultados podem sofrer alterações no futuro (USGS, 2015).

Combinação de técnicas de realce

Ao longo de um ano produtivo, as áreas de cultivo dentro das propriedades sofrem normalmente um rodízio para descanso ou ainda preparo para outras culturas após uma colheita. Ao tentar adquirir automaticamente a feição circular dentro da região de estudo por meio de uma cena correspondente a uma única data pode-se ocultar informações das áreas em função das diferentes etapas do ciclo fenológico das plantas que estão cultivadas.

Como já dito, os alvos circulares, que são os alvos de estudo deste trabalho, são representações dos pivôs centrais na imagem e para que sejam bem identificáveis no processo de extração de feições devem conter alto valor de brilho para que apresentem contraste com o fundo da cena, a fim de serem extraídos com sucesso.

Como sabido, a reflectância espectral dos alvos variam de acordo com o intervalo no espectro eletromagnético. Para o caso da vegetação, mais especificamente atividade agrícola, que é o alvo de interesse, as regiões do vermelho e infravermelho próximo, apresentam baixa e alta reflectância, respectivamente. Por outro lado, se as regiões dos pivôs centrais não possuírem cultivos em uma dada época do ano, o alvo que estará sendo refletido será o solo, respondendo diferentemente das vegetações cultivadas.

Desta forma, de acordo com a época do ano, as áreas sob irrigação de sistemas de pivô central apresentam diferentes respostas e, conseqüentemente, um comportamento diferente ao longo do ano relacionado diretamente com o ciclo fenológico da cultura presente na área plantada ou ainda com presença de solo exposto.

A fim de avaliar as áreas cultivadas com auxílio de pivôs centrais ao longo de um ano, desenvolveu-se procedimento utilizando o software ArcGis 10.2, através de operações algébricas entre as bandas espectrais, e utilizando seus resultados na criação de índices para diferenciar as regiões cultivadas ao longo do ano das demais regiões.

O primeiro passo neste processo foi realizar a soma de todas as 9 cenas da banda 4 (vermelho) e a soma de todas as 9 cenas da banda 5 (infravermelho próximo), gerando duas novas cenas (Equação 11). Desta forma, para a soma das bandas do canal vermelho, onde a vegetação tem alta absorção nesta faixa espectral, as áreas cultivadas ao longo do ano teriam um valor de somatório baixo comparado com os valores de somatório das bandas do canal do infravermelho próximo, que devido à alta reflectância tem um valor mais elevado que as demais regiões.

$$\begin{aligned}
 \text{IMG Soma (vermelho)} &= \sum_{data=i}^f \text{Banda 4 (data)} \\
 \text{IMG Soma (infravermelho próximo)} &= \sum_{data=i}^f \text{Banda 5 (data)}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

A operação algébrica da soma das imagens em várias datas do ano tem como finalidade assegurar que, pelo menos em algumas épocas, os pivôs centrais possuam cultura plantada e assim, apresentem alta reflectância no canal infravermelho próximo referentes a esses alvos nas imagens adquiridas, a fim de obter uma imagem resultante com maior brilho possível nas áreas cultivadas.

Como as áreas de cultivo pela técnica de irrigação por pivô central apresentam atividades fotossintéticas mais altas que seu entorno, devido aos aportes recebidos para o desenvolvimento da cultura, foi calculado o NDVI das duas imagens soma resultantes da equação(11), destacando assim as áreas irrigadas por meio da proeminência das atividades fotossintéticas.

A imagem resultante do NDVI aparece em escala linear com valores entre -1 e 1, porém, para utiliza-la no algoritmo de identificação de feições circulares, os dados foram reclassificados e convertidos para uma escala de 8bits (0 a 255 níveis de cinza) no formato JPG.

Para fins de comparações de resultados, para cada data foi realizada separadamente a criação das imagens de NDVI e conversão para 8bits para posteriormente comparar os resultados obtidos na função de identificação dos pivôs centrais da imagem criada com a soma das cenas com cada data individualmente.

Identificação das feições circulares através da transformada de Hough

Para etapa de extração de feições, foi realizada a implementação de uma função no *software* MATLAB 2012b para identificar e extrair as feições circulares de interesse, que neste caso representam as áreas de plantio com irrigação pelo método do pivô central.

A função implementada tem como parâmetros de entrada a imagem orbital pré-processada e informações das áreas de plantio, como os raios máximo e mínimo aproximados que se pretendem identificar, a dimensão espacial do pixel e coordenadas espaciais de referência da imagem, resultando numa tabela com as coordenadas dos centros dos pivôs centrais e os valores correspondentes de seus raios e diâmetros.

Esta função tem como principal ferramenta um algoritmo de identificação de círculos, já implementada no pacote de ferramentas do *software* MATLAB 2012b, que utiliza a Transformada de Hough no processo de busca das feições (*imfindcircles*), sendo adaptada para as características desse estudo e executada dentro da função desenvolvida de acordo com os seguintes passos:

1. Entrada da imagem pré-processada, resultante com os valores de NDVI, no formato JPG com 8 bits;
2. Determinação manual dos valores de raio dos pivôs centrais da imagem, através de uma ferramenta de visualização e medição;
3. Entrada dos parâmetros na função referentes às informações dos pivôs centrais da região e da imagem de entrada (raio maior, raio menor, coordenadas de referencia- N e E, resolução espacial da imagem);
4. Neste passo, os cálculos de identificação dos pivôs são realizados de acordo com os valores de raio informado, estabelecendo primeiramente o espaço de parâmetros para definir a matriz de acumulação. Vale ressaltar que a função para identificação de círculos considera objetos circulares que são mais brilhantes do que o fundo, mas como existe a possibilidade de entre as datas disponíveis existirem áreas onde não houve cultivo, sem

vegetação, a função também foi definida para cenários onde os objetos circulares de interesse são mais escuros;

5. O resultado da aplicação da função retorna a matriz de acumulação com as coordenadas de imagem dos centros e os raios dos pivôs identificados, sendo estes ajustados para a realidade do trabalho, ou seja, para os valores de coordenadas no sistema de projeção e com a escala informada pelo usuário;
6. Por fim, estes resultados são exportados para o formato tabular.

Com as informações tabuladas que definem a localização dos pivôs na imagem, utilizou-se o programa ArcGis para realizar a sobreposição das feições circulares plotadas sobre as imagens pré-processadas, verificando assim a consistência dos resultados obtidos no processo de extração.

Para fins de comparações dos resultados, todo processo descrito foi realizado para cada data das cenas separadamente e para a imagem com o índice resultante do processo de soma das imagens.

Análise dos dados

Os resultados obtidos na extração dos pivôs centrais foram comparados da seguinte forma:

1. Os dados obtidos por meio da metodologia da operação de soma das imagens do ano foram comparados com os dados obtidos para as cenas de cada data.
2. Os dados obtidos por meio da metodologia da operação de soma das imagens do ano foram comparados com os resultados apresentados pelo estudo da ANA & Embrapa/CNPMS (2014).

3.3.2. Análise estatística das variações do NDVI em função dos ciclos fenológicos

A fim de avaliar a relação de um índice de vegetação com os ciclos fenológicos das plantas cultivadas nas áreas ao longo do tempo, foram calculados os valores do NDVI utilizando os dados de reflectância adquiridos do produto Landsat 8 *Surface Reflectance* para as cenas de cada data ao longo de um determinado período separadamente.

A escolha do NDVI foi devido a relação da reflectância espectral das folhas, principal responsável pela atividade da fotossíntese das culturas, nas bandas do vermelho e infravermelho devido a sua estrutura celular e a evolução das etapas do ciclo fenológico das plantas, visto que esta evolução está relacionada com os incrementos típicos das folhas de cada cultura.

Definição das áreas de estudo

Para analisar os dados de NDVI em função do ciclo fenológico das culturas foi necessária a utilização de dados de referência obtidos na área de estudo. Neste sentido, informações relacionadas às culturas presentes nos talhões dos pivôs centrais identificados na área de estudo (tipo de cultura e data de plantio) foram cedidos por empresas proprietárias.

A partir dos dados fornecidos pelas empresas foi possível a individualização de 24 círculos que representam as áreas de pivôs centrais cultivadas com 4 culturas distintas: feijão, café, mamão e milho. Como dito, inicialmente foram consideradas 9 cenas do sensor OLI do satélite Landsat 8 para identificação das feições circulares que representa as áreas de pivô central, porém, de acordo com as informações das datas de plantio, foi descartada uma das cenas em função da pequena porcentagem de áreas plantadas nesta época, considerada como período de descanso e preparo do solo para próxima safra. Assim, ao fim deste processo de seleção permaneceram 8 cenas de datas distintas, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4: Datas das cenas do sensor Landsat 8 selecionadas para o estudo do NDVI.

Ano	2014							
Mês	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro			
Dia	22	7	9	25	10	26	11	27

Aquisição dos pontos de análise e extração dos dados

De posse das imagens com os valores de NDVI calculados para cada data, utilizou-se o arquivo vetorial com 24 circunferências, resultante da combinação das informações da extração semiautomática dos pivôs centrais e dos talhões remanescentes por apresentarem informações das culturas, como máscara circular de recorte correspondente aos pivôs identificados, gerando assim uma nova cena somente com os valores do NDVI presentes dentro das áreas de pivô central, como pode ser observado no exemplo da Figura 13.

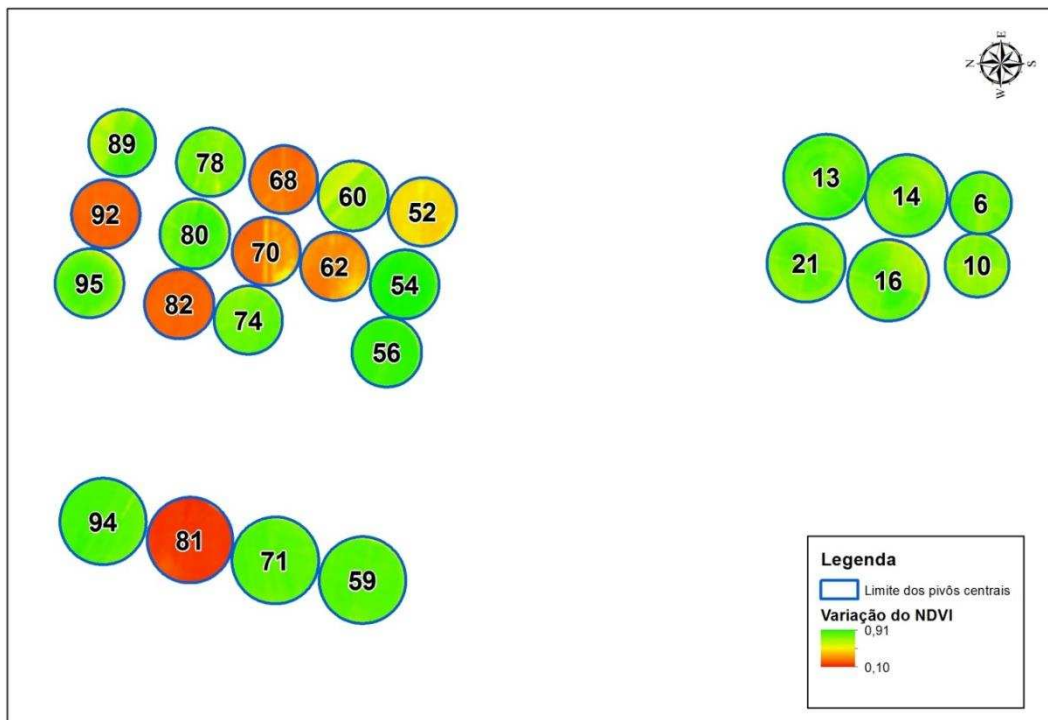


Figura 13: Imagem dos valores de NDVI em recorte com as áreas de pivô central para uma data.

Essa nova imagem gerada pelo recorte dos dados de NDVI foi convertida em um arquivo vetorial de pontos com as coordenadas Norte (N) e Este (E) baseadas no centro de cada pixel ,conforme ilustra a Figura 14. Posteriormente, os valores do NDVI foram extraídos para a tabela de atributos do arquivo vetorial, criando um ponto com coordenadas conhecidas e seus respectivos valores de NDVI em cada data do estudo exemplificado na Tabela 5.

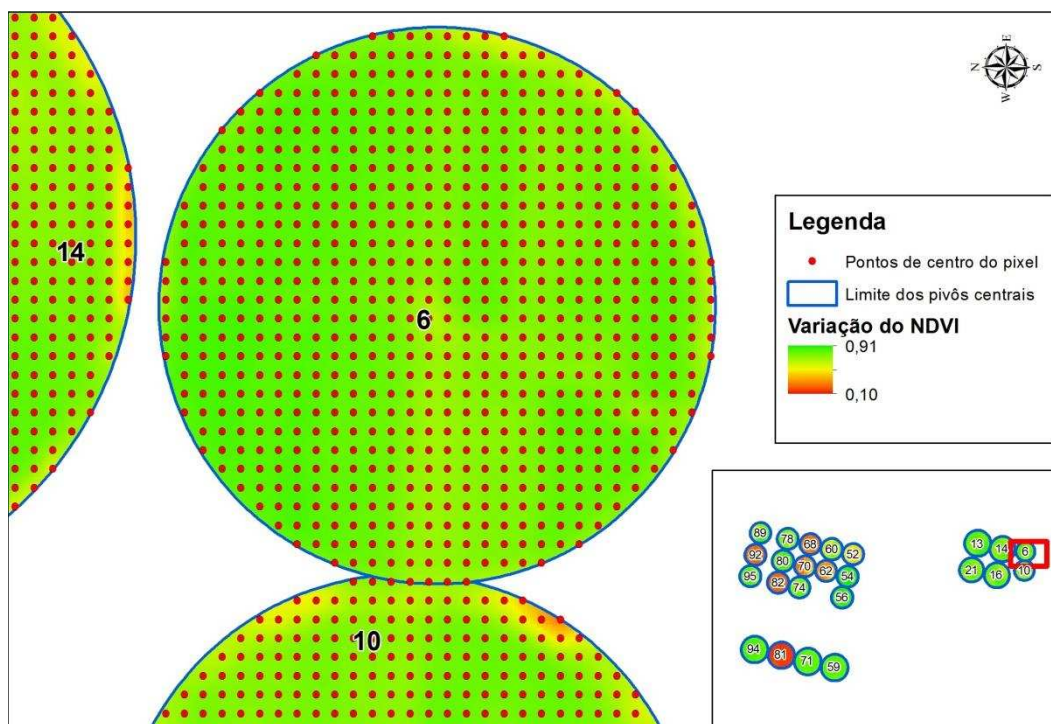


Figura 14: Imagem dos pontos que foram utilizados para extrair os valores de NDVI das áreas de pivô central para uma data.

Tabela 5: Modelo de tabela com os valores do NDVI por data e pivô central.

ID Pivô	ID Ponto	E (m)	N (m)	NDVI para cada data								
				22/05	07/06	09/07	26/07	11/08	26/08	11/09	27/09	
...
6	817476	421.080	8.686.810	0,628	0,649	0,621	0,582	0,581	0,593	0,543	0,628	0,628
6	817475	420.840	8.686.780	0,752	0,709	0,622	0,559	0,592	0,589	0,480	0,593	0,593
6	817474	420.870	8.686.780	0,683	0,629	0,590	0,562	0,595	0,549	0,480	0,571	0,571
6	817473	420.900	8.686.780	0,781	0,724	0,706	0,661	0,662	0,624	0,546	0,614	0,614
6	817472	420.930	8.686.780	0,759	0,786	0,699	0,680	0,637	0,622	0,562	0,639	0,639
...
10	805974	420.000	8.687.710	0,765	0,836	0,750	0,708	0,662	0,730	0,752	0,655	0,655
10	805975	420.030	8.687.710	0,686	0,741	0,693	0,620	0,625	0,642	0,711	0,567	0,567
10	805976	420.060	8.687.710	0,613	0,748	0,633	0,542	0,581	0,583	0,667	0,554	0,554
10	805977	420.090	8.687.710	0,608	0,696	0,656	0,551	0,596	0,584	0,687	0,505	0,505
10	805978	420.120	8.687.710	0,619	0,740	0,661	0,554	0,579	0,580	0,652	0,499	0,499
10	805979	420.000	8.687.710	0,765	0,836	0,750	0,708	0,662	0,730	0,752	0,655	0,655
...

Definição das classes e agrupamento das culturas nas áreas

Sabendo que cada cultura tem um ciclo fenológico característico, as 4 culturas identificadas (feijão, café, mamão, milho) foram analisadas e agrupadas para este estudo em classes de acordo com um período do ciclo fenológico.

Das 4 culturas presentes duas são culturas anuais (feijão e milho) e duas são culturas perenes (mamão e café). As culturas perenes não foram agrupadas de acordo com seu ciclo fenológico por apresentarem plantas no auge do seu ciclo fenológico com um padrão foliar aproximadamente constante ao longo do ano.

Por outro lado, culturas anuais foram agrupadas de acordo com sua evolução da estrutura foliar ao longo do tempo. A primeira avaliada foi o milho, que tem sua fenologia descrita em 10 estágios apresentados na Figura 15, e, de acordo com suas descrições e tempo médio de ocorrência (HANWAY, 1963 *apud* FAGERIA, 1989), foram agrupados da forma apresentada na Tabela 6.

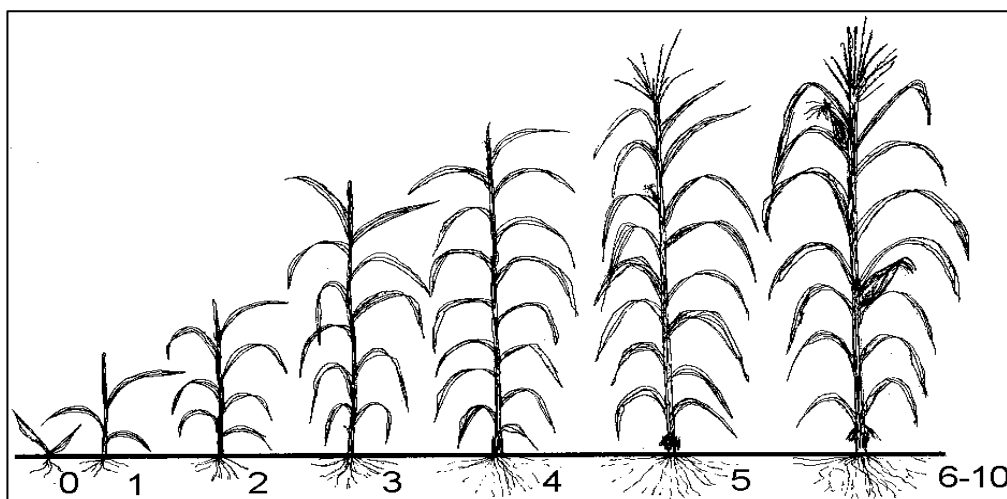


Figura 15: Estágios fenológicos da cultura do milho.

Fonte: Fageria (1989).

Tabela 6: Agrupamento realizado para a cultura do milho em função da descrição das fases fenológicas e seu tempo médio de ocorrência.

Classe	Sigla	Estágio
		Estágio 0 - Emergência. Ocorre de 4 a 5 dias após o plantio.
Milho A (de 0 a 40 dias)	MA	Estágio 1 – Visível o colar da quarta folha. Em cultivares de ciclo em torno de 120 dias, ocorre próximo do 15º dia após a emergência.
		Estágio 2 – Visível o colar da oitava folha. Ao redor de 30 dias após a emergência.
		Estágio 3 – Visível o colar da décima segunda folha. Nesta fase, que se inicia ao redor de 40 dias, ocorre um aumento quase linear de massa seca.
Milho B (de 40 a 80 dias)	MB	Estágio 4 – Visível o colar da décima sexta folha. Último estágio antes do aparecimento do pendão masculino. Ocorre de 55 a 58 dias após a emergência.
		Estágio 5 – Primeiras bonecas aparecem entre a décima-segunda e décima quarta folhas. Esta fase ocorre em aproximadamente 65 dias após a emergência.
		Estágio 6 – Ocorre doze dias após 75% das plantas estarem embonecadas. Espigas estão com o tamanho próximo do máximo; início da formação dos grãos.
Milho C (de 80 a 105 dias)	MC	Estágio 7 – Doze dias após o estágio anterior. Nesta fase acontece um rápido desenvolvimento dos grãos.
		Estágio 8 – Doze dias após o estágio 7. Aproximadamente 25% das plantas possuem grãos com dente.
Milho D (de 105 a 130 dias)	MD	Estágio 9 – Doze dias após a fase 8. A taxa de acúmulo de matéria seca pela planta começa a diminuir. Todos os grãos estão dentados.
		Estágio 10 – Doze dias após o estágio 9. Plantas com folhas senescentes e alta perda de umidade.

Fonte: Adaptado de Fageria (1989).

A outra cultura de ciclo anual, o feijão, apresenta sua fenologia descrita em 12 estágios apresentados na Figura 16, e, de acordo com suas descrições e tempo médio de ocorrência (FAGERIA, 1989), foram agrupados da forma apresentada na Tabela 7.

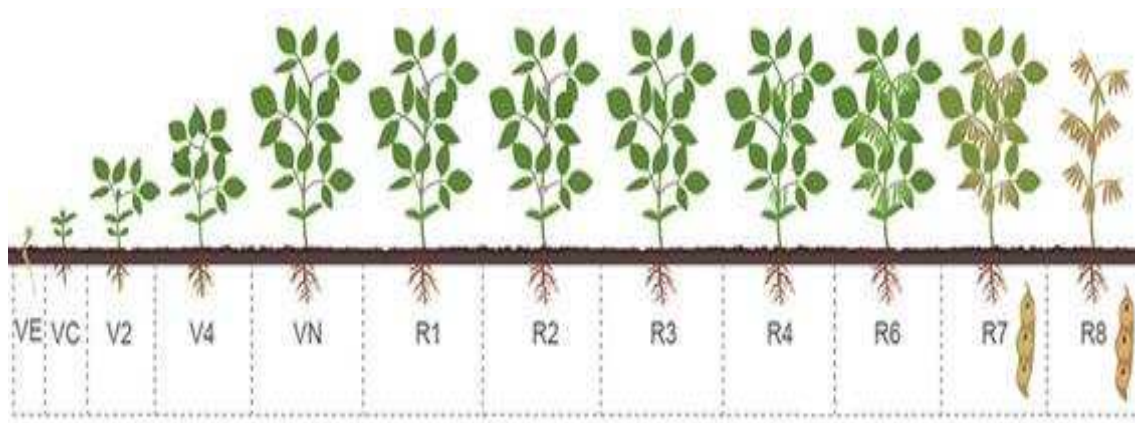


Figura 16: Estágios fenológicos da cultura do feijão.

Fonte: Adaptado de DEPRIMEIRASEMDUVIDA (2016).

Tabela 7: Agrupamento realizado para a cultura do feijão em função da descrição das fases fenológicas e seu tempo médio de ocorrência.

Classe	Sigla	Estágio
Feijão A (de 0 a 30 dias)	FA	Germinação (VE) – Ocorre de 4 a 5 dias após a sementeira.
		Emergência (VC) – Inicia-se quando os cotilédones aparecem em pelo menos 50% das plantas.
		Folhas primárias (V2) – Começa quando as folhas primárias de 50% das plantas estão desenvolvidas.
		Primeira folha trifoliada (V4) – Esta etapa começa quando 50% das plantas estão com a folha trifoliada aberta.
Feijão B (de 30 a 60 dias)	FB	Terceira folha trifoliada (VN) – Inicia-se quando 50% das plantas estão com 50% das terceiras folhas trifoliadas abertas.
		Prefloração (R1) – É o primeiro estágio reprodutivo da cultura. Considera-se neste estágio quando 50% das plantas apresentam o primeiro botão floral.
		Floração (R2) – Ocorre quando 50% das plantas apresentam a primeira flor.
Feijão C (de 60 a 90 dias)	FC	Formação das vagens (R3) – Esta fase tem início quando 50% das plantas apresentam a primeira vagem.
		Enchimento de vagens (R4 a R6) – A fase inicia-se quando 50% das plantas começam a ter enchimento de grãos. No final desta fase a cor dos grãos deixa de ser verde e adquire a cor característica da variedade, e inicia-se o desfolhamento das plantas.
		Maturação (R7 e R8) – Ocorre quando metade da população apresenta a primeira vagem descolorida e seca.

Fonte: Adaptado de Fageria (1989).

Desta forma, os agrupamentos das classes das duas culturas anuais, das duas culturas perenes e das áreas sem plantio (como o solo exposto antes do plantio ou após a colheita) totalizam 10 classes para comparação dos resultados do NDVI em função do ciclo fenológico ao longo do tempo. Estas classes são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Resultado final dos agrupamentos das classes avaliadas neste estudo.

Classe	Sigla
Feijão A (de 0 a 30 dias)	FA
Feijão B (de 30 a 60 dias)	FB
Feijão C (de 60 a 90 dias)	FC
Milho A (de 0 a 40 dias)	MA
Milho B (de 40 a 80 dias)	MB
Milho C (de 80 a 105 dias)	MC
Milho D (de 105 a 130 dias)	MD
Mamão	MM
Café	CA
Solo Exposto	SO

Posteriormente, de posse das informações sobre qual cultura e a época que foi realizado o plantio em cada pivô, apresentados na Tabela 9, foi atribuído em função do estágio fenológico aproximado, e para cada data de aquisição da imagem, uma classe do agrupamento sugerido para cada pivô.

Tabela 9: Informações sobre a cultura presente em cada pivô do estudo

Pivô	Cultura	Plantio	Ciclo	Pivô	Cultura	Plantio	Ciclo
P06	Café	1999	-	P68	Milho	22/03/2014	130 dias
P10	Café	1999	-	P70	Milho	29/03/2014	130 dias
P13	Café	1999	-	P71	Milho	12/06/2014	130 dias
P14	Café	1999	-	P74	Milho	19/06/2014	130 dias
P16	Café	2000	-	P78	Feijão	08/07/2014	90 dias
P21	Café	2000	-	P80	Feijão	01/07/2014	90 dias
P52	Milho	13/04/2014	130 dias	P81	Milho	28/02/2014	130 dias
P54	Milho	04/06/2014	130 dias	P82	Milho	01/03/2014	130 dias
P56	Milho	27/05/2014	130 dias	P89	Milho	01/07/2014	130 dias
P59	Milho	25/05/2014	130 dias	P92	Milho	16/03/2014	130 dias
P60	Mamão	2000	-	P94	Milho	03/06/2014	130 dias
P62	Milho	02/04/2014	130 dias	P95	Milho	21/05/2014	130 dias

Por fim, a partir dos pontos com os valores de NDVI para cada data do estudo, conhecimento da época que foi plantada a cultura e as definições das classes de agrupamento em função do ciclo fenológico, os dados foram tabulados em um único arquivo, como apresentado na Tabela 10, para a realização das análises estatísticas.

Tabela 10: Exemplo da tabela agrupada por NDVI em relação à classe fenológica.

ID PIVÔ	22/maio		07/junho		09/julho		26/julho		11/ago		26/ago		11/set		27/set	
	NDVI	SIGLA	NDVI	SIGLA	NDVI	SIGLA	NDVI	SIGLA	NDVI	SIGLA	NDVI	SIGLA	NDVI	SIGLA	NDVI	SIGLA
74	0,25	SO	0,3	SO	0,3	MA	0,38	MA	0,66	MB	0,74	MB	0,73	MC	0,54	MC
74	0,25	SO	0,3	SO	0,3	MA	0,38	MA	0,66	MB	0,74	MB	0,73	MC	0,54	MC
74	0,25	SO	0,3	SO	0,3	MA	0,38	MA	0,66	MB	0,74	MB	0,73	MC	0,53	MC
74	0,25	SO	0,3	SO	0,3	MA	0,38	MA	0,65	MB	0,73	MB	0,73	MC	0,53	MC
74	0,26	SO	0,3	SO	0,3	MA	0,38	MA	0,65	MB	0,73	MB	0,72	MC	0,53	MC
...
94	0,22	SO	0,2	MA	0,75	MB	0,88	MB	0,87	MB	0,81	MC	0,71	MC	0,45	MD
94	0,22	SO	0,2	MA	0,75	MB	0,88	MB	0,87	MB	0,81	MC	0,71	MC	0,46	MD
94	0,22	SO	0,2	MA	0,75	MB	0,88	MB	0,87	MB	0,81	MC	0,7	MC	0,46	MD
94	0,22	SO	0,2	MA	0,75	MB	0,88	MB	0,87	MB	0,8	MC	0,7	MC	0,46	MD
94	0,22	SO	0,2	MA	0,75	MB	0,88	MB	0,87	MB	0,8	MC	0,7	MC	0,46	MD

Análise Estatística das variações fenológicas do NDVI ao longo do tempo

A primeira parte desta etapa foi organizar as informações do NDVI já categorizadas de acordo com as classes de agrupamento (CA, FA, FB, MA, etc.) em função das datas e a identificação do pivô central para que estes dados fossem importados para o *software* R, que foi utilizado para realizar os cálculos estatísticos da metodologia adotada.

Os dados tabulados separados em arquivos no formato ASCII totalizaram 192 arquivos de amostra (24 pivôs em 8 datas), sendo 48 amostras de café, 12 de feijão, 82 de milho, 8 de mamão e 42 de solo. Cada arquivo foi importado como uma matriz com 1 coluna e n linhas com os valores referentes ao NDVI, onde n é o número de pixels necessários para representar a área do talhão cultivado, variando de acordo com o tamanho do pivô central.

A primeira análise realizada nos dados importados foi a estimativa dos parâmetros da máxima verossimilhança para cada um dos conjuntos de n dados presentes em cada arquivo importado através das funções definidas para os parâmetros da distribuição normal ($\hat{\mu} = \bar{X}$ e $\hat{\sigma}^2 = (n - 1)S^2/n$).

Após, utilizando o pacote denominado MASS, foram estimados os parâmetros referentes aos estimadores da máxima verossimilhança.

De posse dos valores dos estimadores da máxima verossimilhança, foram calculados os intervalos de confiança das amostras de cada conjunto de dados.

Por fim, os dados dos intervalos de confiança foram plotados de forma que cada traço do gráfico representasse o início e fim do intervalo referente a cada grupo. Avaliando estes gráficos, foram realizadas as análises das variações do NDVI em função dos ciclos fenológicos das culturas.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir serão apresentados os resultados e análises de todo o processo metodológico dividido em dois tópicos, iniciando pela parte de identificação das feições circulares correspondentes as áreas de pivô central e posteriormente com as análises dos dados das culturas nas áreas identificadas.

4.1. Identificação das áreas irrigadas por Pivôs Centrais

As imagens referentes aos intervalos de comprimento de ondas do vermelho e infravermelho próximo, para cada uma das 9 datas do ano de 2014 adquiridas do sensor OLI do satélite Landsat 8, que foram utilizadas na operação de soma e, a respectiva imagem de NDVI para cada data, são ilustradas na Figura 17.

Na Figura 18 são ilustrados os resultados duas imagens soma, geradas utilizando as imagens referentes aos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo, e o resultado da imagem final do NDVI, gerado a partir das duas imagens soma.

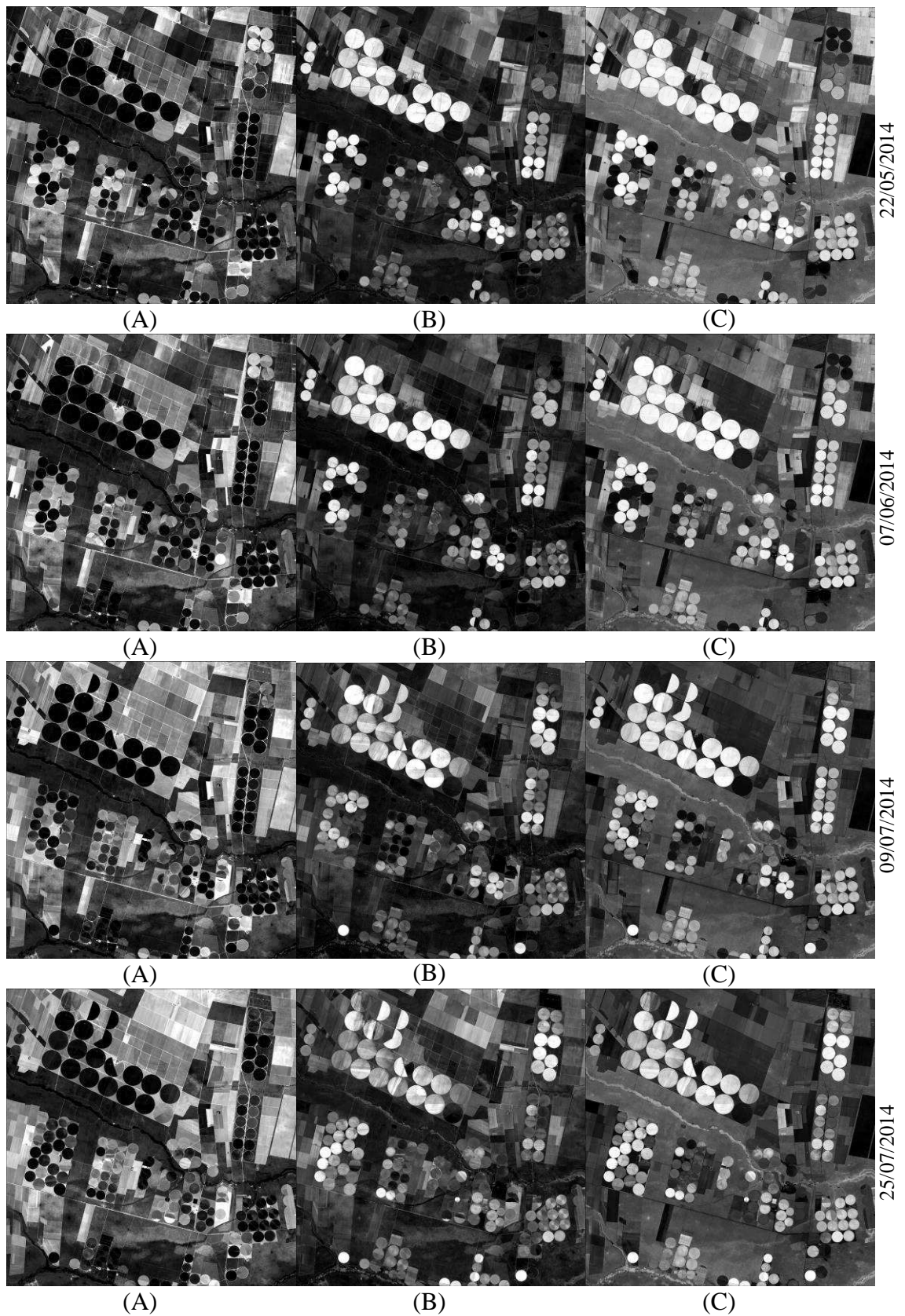


Figura 17: (A) Bandas do intervalo espectral do Vermelho para as 9 datas do ano. (B) Bandas do intervalo espectral do Infravermelho próximo para as 9 datas do ano. (C) NDVI obtido a partir das imagens (A) e (B) para as 9 datas do ano.

...Continuação

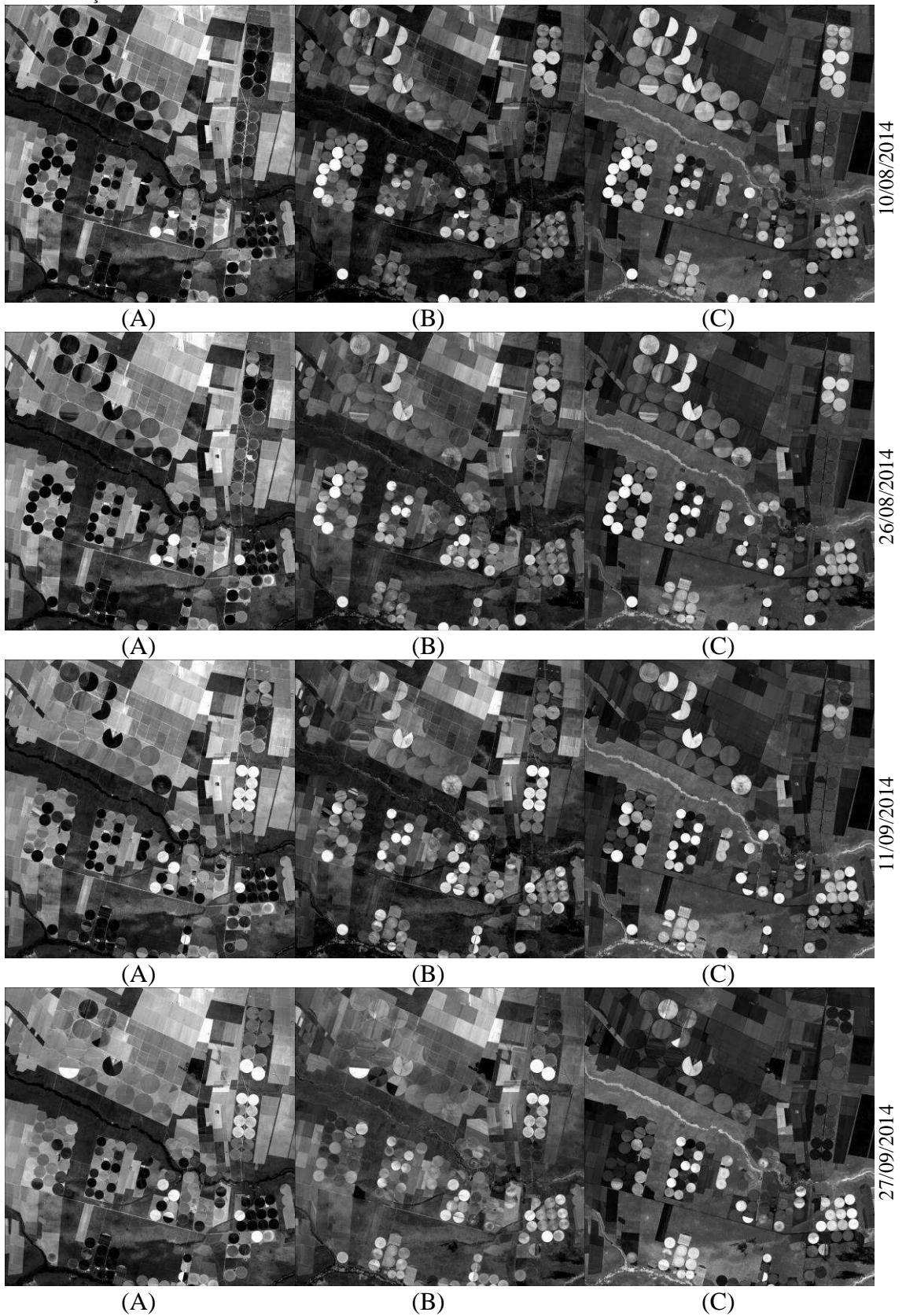


Figura 17 (A) Bandas do intervalo espectral do Vermelho para as 9 datas do ano. (B) Bandas do intervalo espectral do Infravermelho próximo para as 9 datas do ano. (C) NDVI obtido a partir das imagens (A) e (B) para as 9 datas do ano.

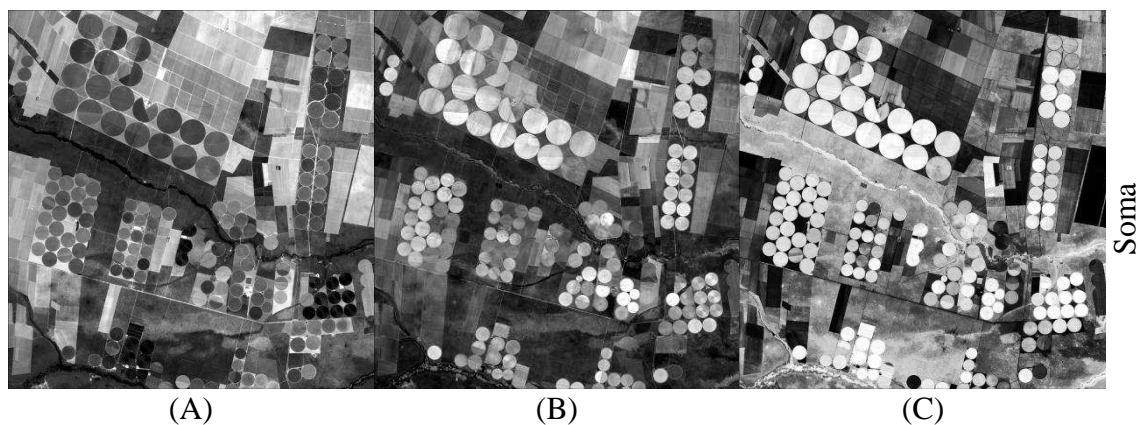


Figura 18: (A) Resultado da soma das bandas do vermelho para as 9 datas do ano. (B) Resultado da soma das bandas do infravermelho próximo para as 9 datas do ano. (C) Resultado obtido na geração do NDVI a partir das imagens soma (A) e (B).

O primeiro aspecto a ser analisado, considerando a Figura 17 e Figura 18 (A) e (B), é que de fato, as áreas irrigadas por pivôs centrais apresentam comportamentos diferentes quanto a sua refletância de acordo com a época do ano, relacionado principalmente ao ciclo fenológico da cultura plantada, e que tais alvos podem ser melhor identificados em termos de realce, considerando o somatório dessas imagens, ao invés do uso de apenas uma cena numa dada época.

Outro aspecto, analisando a Figura 17 para as imagens (B) e (C) é que o resultado do NDVI para cada data, também apresentou melhorias quanto ao realce dos alvos de interesse, se comparados às imagens da região do infravermelho próximo.

Analisando ainda a Figura 17 e Figura 18, pode-se verificar que o NDVI gerado a partir da imagem soma apresenta a maioria dos alvos de interesse com maior brilho na cena, se comparado aos NDVI gerados para cada data específica. Isto pode ser visto na Figura 17 para os resultados dos índices das datas de 22/05 e 07/06 de 2014 consideradas com os melhores de realce dos alvos, comparadas com o resultado do NDVI ilustrado na Figura 18 (C).

Contudo, todas as imagens dos NDVI obtidas, tanto as geradas para cada época do ano, quanto à gerada a partir das imagens soma, foram utilizadas como base de entrada para a função de identificação das feições circulares, desenvolvido no programa MatLab (APÊNDICE A), para fins de comparação dos resultados.

Os resultados da aplicação da função de extração de feições através da transformada de Hough para as regiões de pivô central são apresentados em forma de tabela com as coordenadas E (m) e N (m) do centro de cada Pivô Central identificado, o valor do seu raio e seu diâmetro em metros. A Tabela 11 apresenta uma parte do resultado obtido pela função desenvolvida usando a imagem do NDVI resultante das

imagens soma, onde foram identificadas 156 feições (a tabela completa encontra-se no APÊNDICE B).

Tabela 11: Exemplo da tabela com o resultado obtido na função criada no MatLab.

ID do Pivô	E (m)	N (m)	R (m)	D (m)
1	431.602	8.686.134	525	1.049
2	425.395	8.686.322	560	1.121
3	424.236	8.686.585	600	1.200
...
154	435.746	8.714.362	607	1.215
155	418.677	8.714.737	1.049	2.098
156	416.706	8.715.669	1.050	2.100

Este resultado apresentado pelo programa em forma de tabela foi convertido em feições circulares no programa ArcGis 10.2 e representam as áreas de irrigação por pivô central com suas localizações espaciais. As Figura 19 e Figura 20 mostram o resultado da conversão da tabela resultante do processamento da transformada de Hough do algoritmo implementado em áreas de pivô central e a sobreposição do resultado com a imagem que originou as identificações, respectivamente.

Pode-se observar na Tabela 11 e Figura 19 que o algoritmo é capaz de identificar feições de diferentes tamanhos, não se restringindo a raios fixos. Vale ressaltar também, que essa técnica apresentou bons resultados na identificação de áreas com padrões de reflectância não similares. Para esta aplicação foram identificados pivôs centrais com raios entre 415 e 1069 metros aproximadamente, para os pivôs identificados com os números 42 e 135, respectivamente.

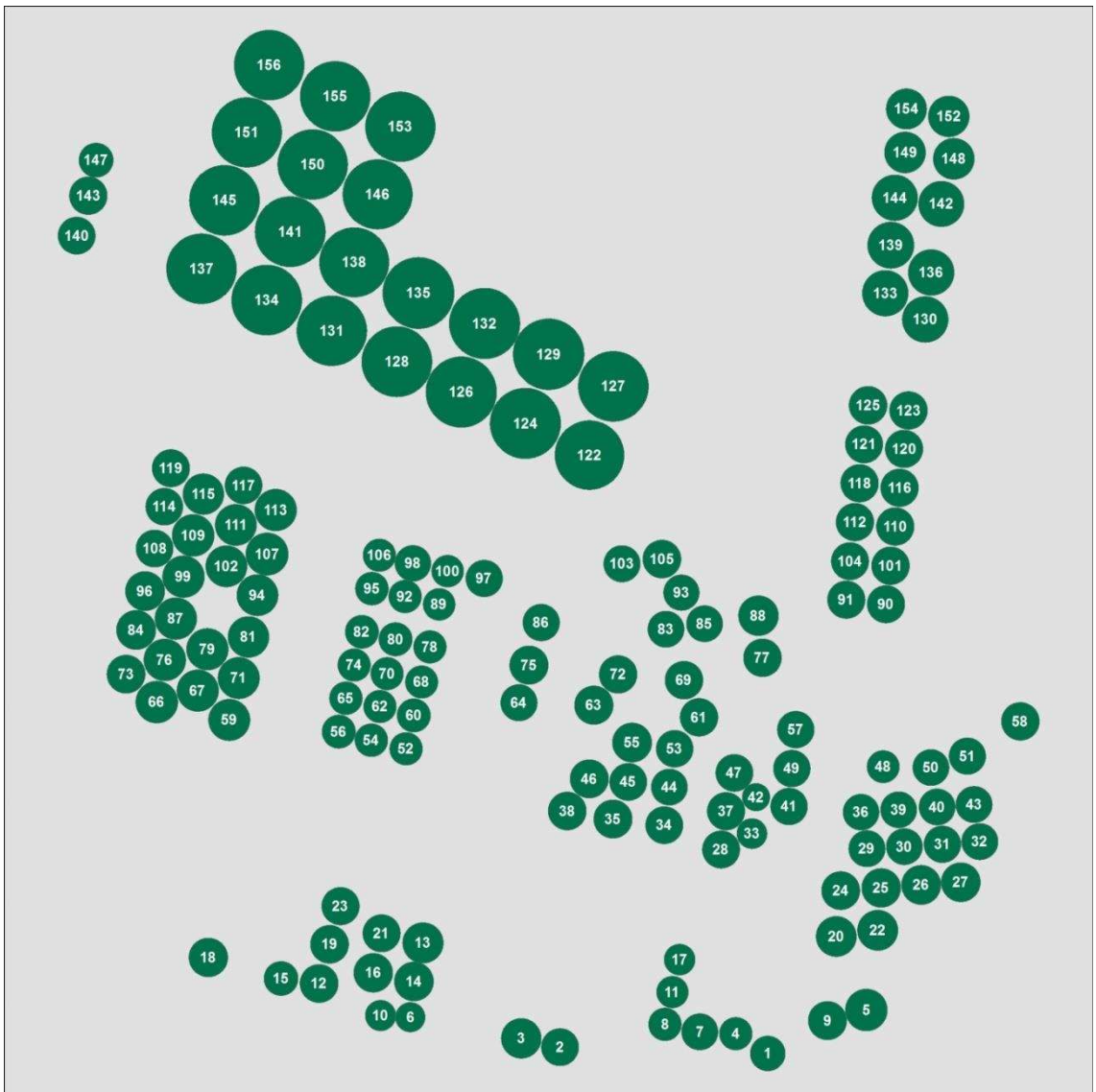


Figura 19: Resultado da conversão da tabela em áreas de pivô central.

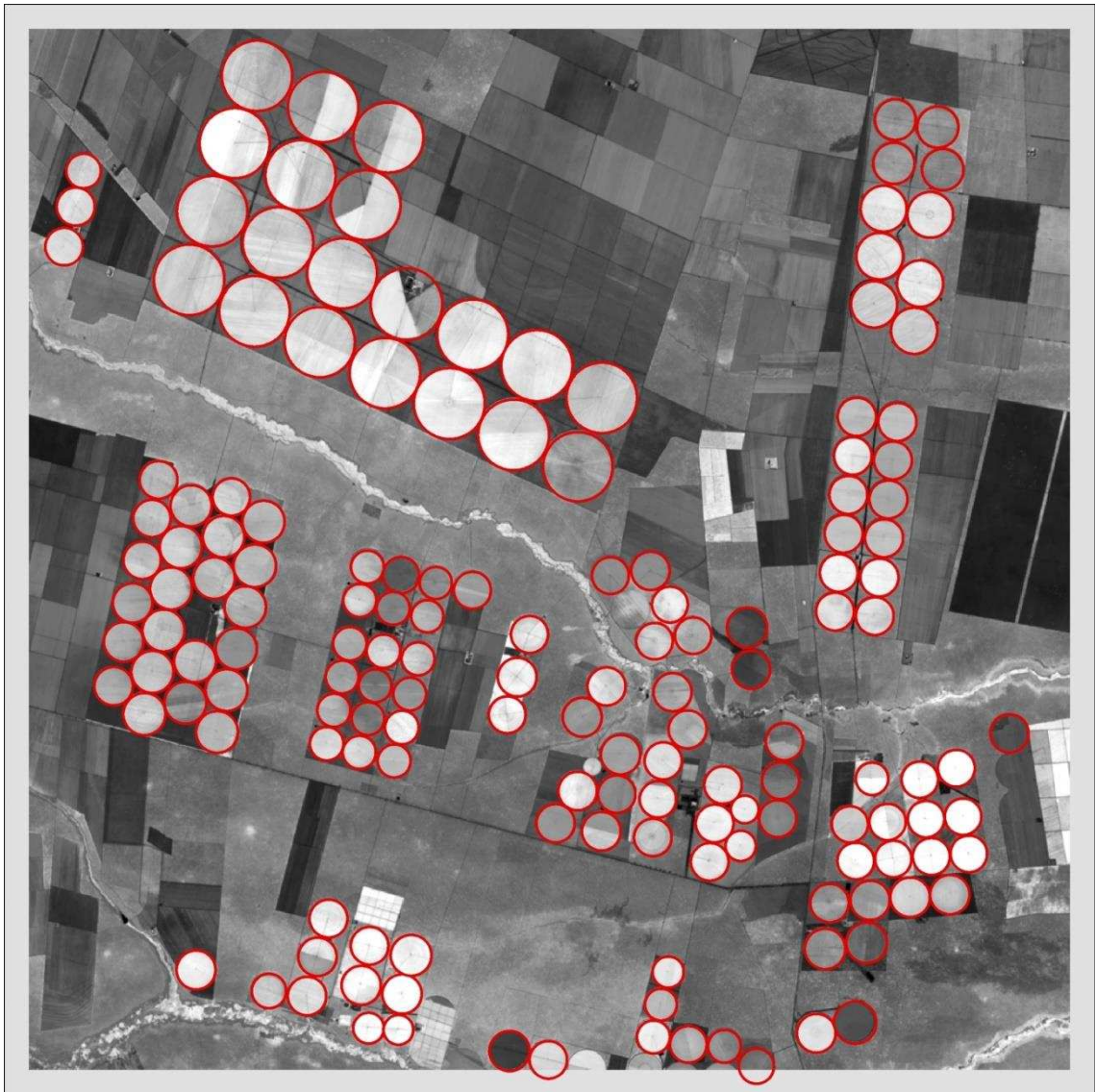


Figura 20: Resultado da conversão da tabela em áreas de pivô central, sobrepostas à imagem utilizada como entrada no algoritmo de identificação.

Também foram feitos testes com a função da transformada de Hough usando as imagens NDVI de cada data. Os resultados de identificação dos alvos para as 9 datas foram sobrepostos ao resultado obtido usando a soma das imagens. A Figura 21 ilustra o comparativo das imagens que foram aplicadas o algoritmo de identificação por data destacadas com as circunferências na cor vermelha sobre as feições identificadas pelo método da soma representadas pelas circunferências na cor verde.

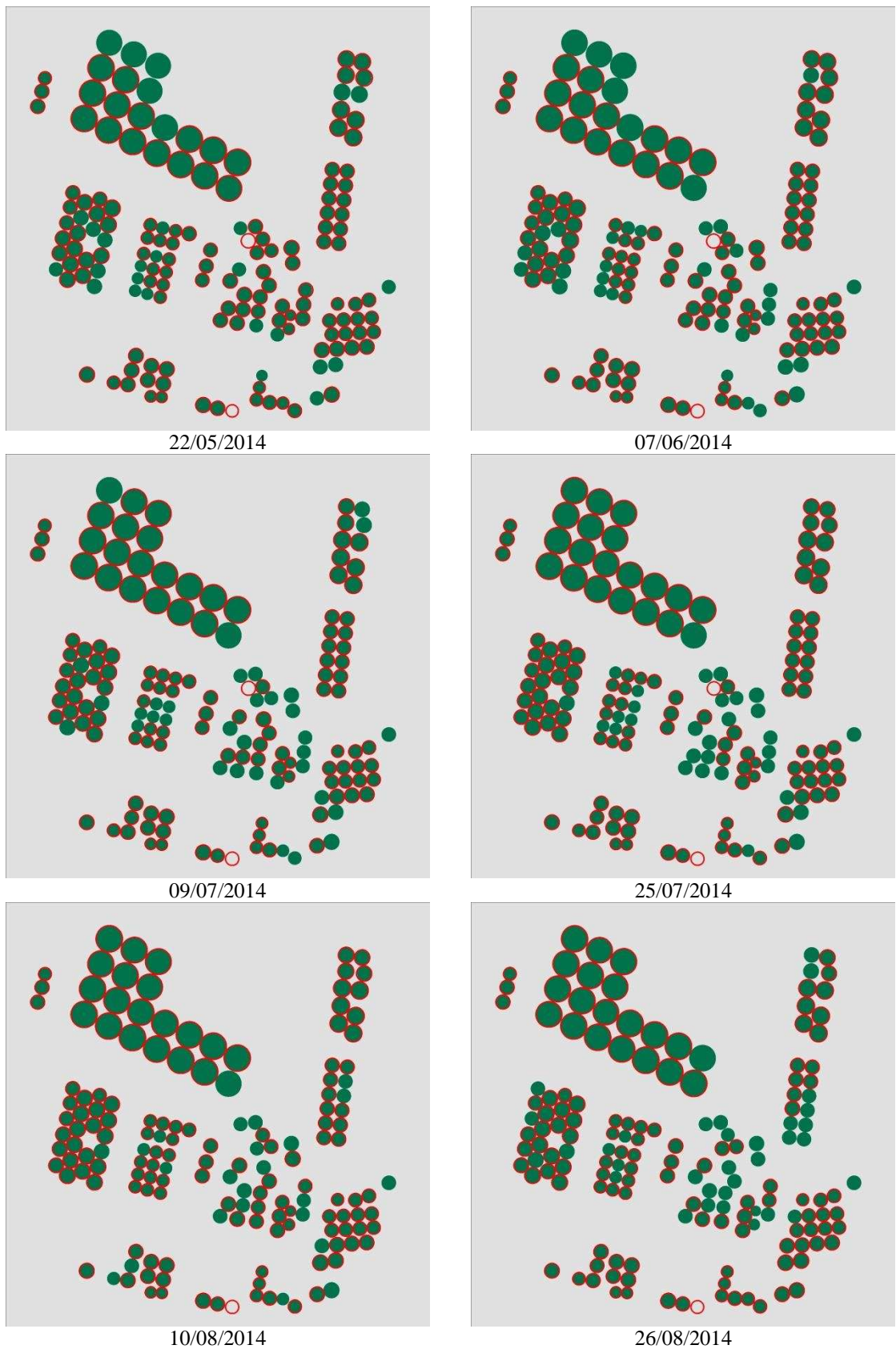


Figura 21: Resultados das identificações dos pivôs centrais realizadas para a imagem de NDVI de cada uma das 9 datas (círculos em vermelho) e o resultado da identificação dos pivôs centrais usando a imagem NDVI da soma (círculos verdes).

...Continuação

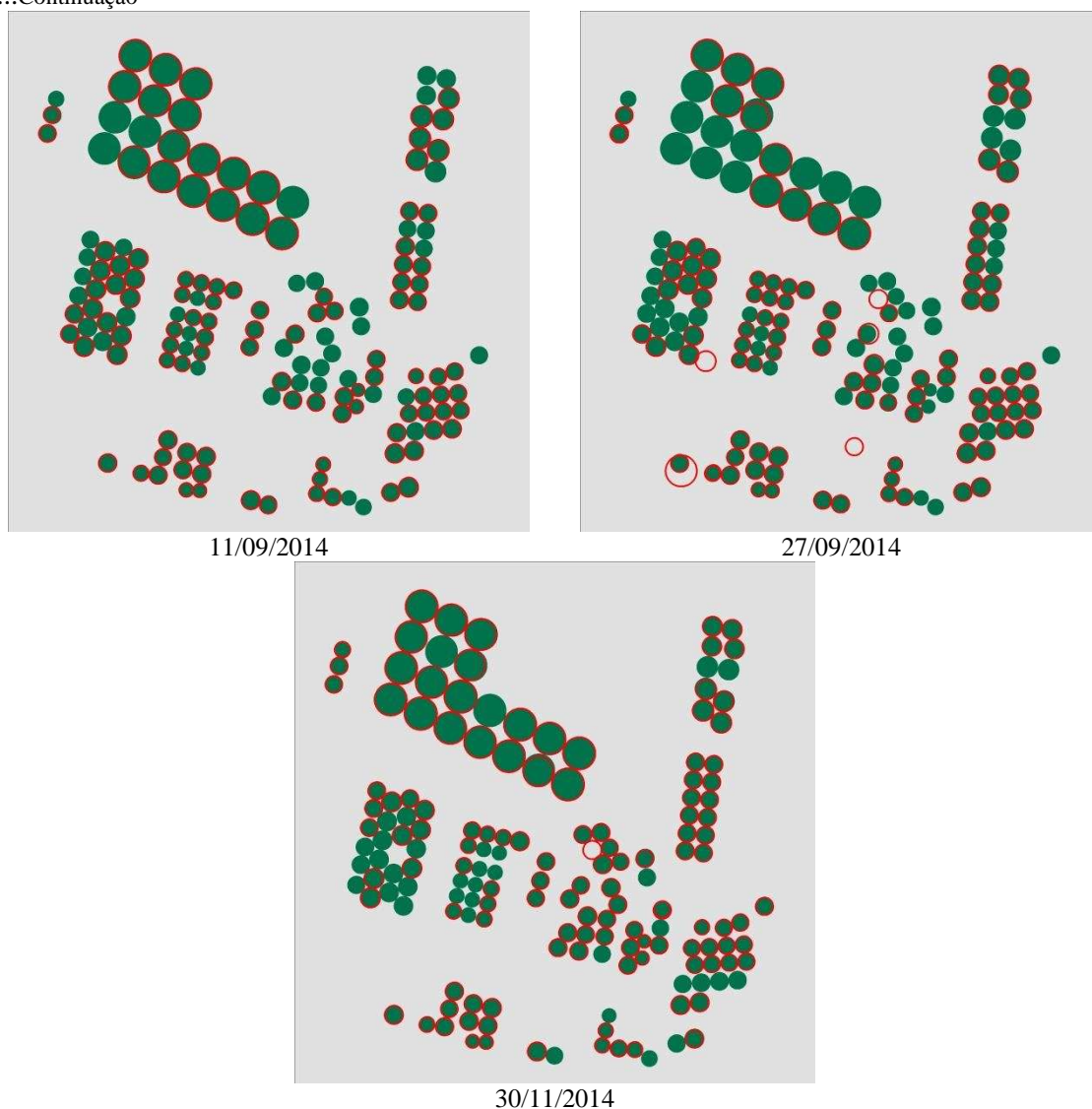


Figura 21: Resultados das identificações dos pivôs centrais realizadas para a imagem de NDVI de cada uma das 9 datas (círculos em vermelho) e o resultado da identificação dos pivôs centrais usando a imagem NDVI da soma (círculos verdes).

Pode-se observar por meio de uma comparação visual nas imagens apresentadas na Figura 21 que as identificações realizadas nas cenas do NDVI para cada data separadamente resultaram em um número menor de feições extraídas que representam as áreas de irrigação por pivô central, que as feições extraídas na imagem NDVI gerada pelo método da soma das bandas vermelho e infravermelho próximo.

A Tabela 12 apresenta o número de unidades identificadas com a aplicação da função da Transformada de Hough, tanto para as imagens de NDVI para cada data, como para a imagem NDVI da soma, bem como um comparativo entre elas, em termos de porcentagem relativa.

Tabela 12: Comparativo entre o número de pivôs identificados usando o NDVI da soma com os NDVI's das cenas diárias.

Data	Número de pivôs identificados	Porcentagem Relativa (Imagem Dia/ Imagem Soma)
Soma	156	-
22/05/2014	130	83%
07/06/2014	122	78%
09/07/2014	124	79%
25/07/2014	127	81%
10/08/2014	133	85%
26/08/2014	122	78%
11/09/2014	112	72%
27/09/2014	111	71%
30/11/2014	122	78%

A porcentagem relativa apresentada na Tabela 12, mostra que o número de identificações para as imagens NDVI por data apresenta uma variação em torno de 70 a 85% a menos do que o número de identificações com o uso do NDVI da soma, indicando que a proposição do uso do NDVI da soma das imagens apresentou bom desempenho e pode ser utilizado nos processo de extração como etapa de pré-processamento, visando o realce das feições de interesse da cena.

Por fim, os dados identificados utilizando a função implementada da transformada de Hough para círculos aplicadas nas imagens pré-processadas com o método de identificação proposto nas imagens NDVI geradas a partir da soma das bandas foram comparados aos dados disponibilizados pelo relatório da ANA & Embrapa/CNPMS (2014), cujo arquivo vetorial resultante deste estudo, que representa os pivôs centrais, está disponível no formato KML ou *shapefile* no site <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>.

Tal estudo foi realizado através da identificação visual de analistas com cenas do mesmo sensor (OLI do Landsat 8). No estudo da ANA/Embrapa as imagens foram pré-processadas fazendo o uso da técnica de fusão de imagens, com as bandas RGB e a banda pancromática, adquirindo um ganho de resolução espacial, facilitando assim a identificação visual do analista.

Assim, foram realizadas as sobreposições das áreas identificadas pelo método proposto neste estudo com as imagens do NDVI geradas a partir da soma das bandas e o método apresentado por ANA & Embrapa/CNPMS (2014). A Figura 22 e a Tabela 13 ilustram a sobreposição das áreas comparando os dois estudos e os quantitativos apresentados.

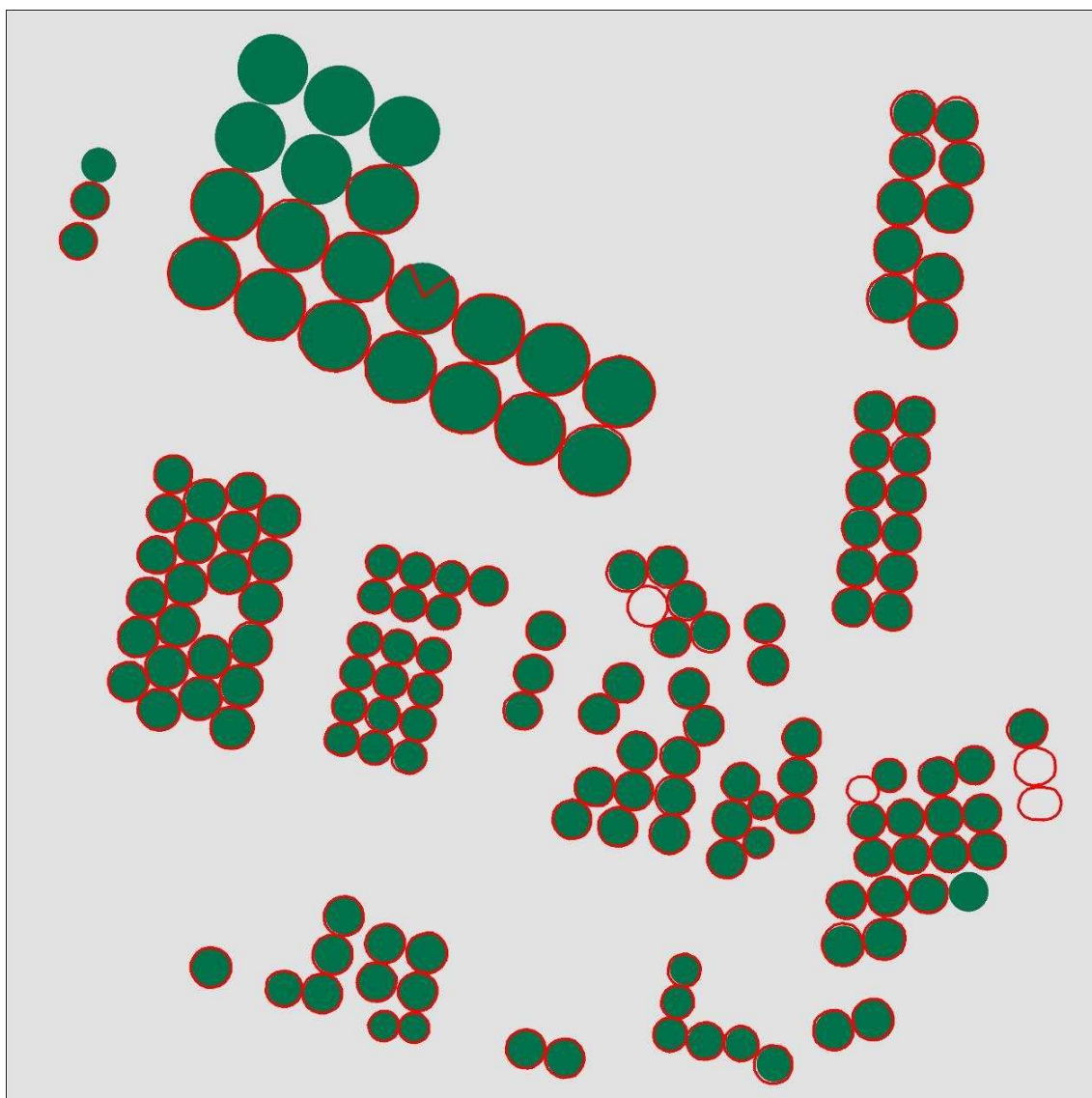


Figura 22: Resultado das identificações realizadas por ANA & Embrapa/CNPMS (2014) (círculos vermelhos), sobreposto aos dados de identificação da Transformada de Hough com imagem pré-processada com o método da soma (círculos verdes).

Tabela 13: Quantificação dos valores para as identificações na área de irrigação por pivô central

Estudo	Número de Pivôs Centrais	Área total ocupada por pivôs (ha)	Tamanho médio dos pivôs centrais: média \pm desvio padrão (ha)	Tamanho médio do raio dos pivôs centrais: (m)
ANA & Embrapa/CNPMS (2014)	153	19.292,2998	125,274674 \pm 73,3918	617,3783693
Metodologia Proposta	156	20.608,0270	132,102737 \pm 84,2963	625,6808668

Observando a Figura 22, pode-se notar que as identificações dos alvos realizadas com a interpretação visual se assemelha a identificação semiautomática existindo 11 identificações diferentes nos dois métodos apresentados, sendo que o método visual realizou 4 identificações não determinadas pelo método automático, que por sua vez,

conseguiu identificar 7 pivôs não determinados pelo método visual. Na Tabela 12 pode-se verificar que a diferença numérica entre os dados dos pivôs identificados com os dois métodos foram de apenas 3 pivôs, com os valores das áreas total muito próximas.

Deve-se ressaltar que por se tratar de um método semiautomático, sem poder interpretativo, os acertos da função desenvolvida foram muito satisfatórios.

4.2. Análise estatística das variações do NDVI em função dos estágios fenológicos

Após processar a análise dos dados das 192 amostras, os valores dos intervalos de confiança resultantes foram plotados de forma que um eixo do gráfico apresenta o número de identificação da amostra e o outro eixo os valores dos intervalos de confiança da variação do NDVI dentro da amostra para determinada classe. A Figura 23 ilustra o gráfico resultante com todas as 192 amostras apresentadas.

Analisando a Figura 23 pode-se observar que de fato, os pivôs centrais apresentam comportamentos diferentes quanto ao valor do NDVI relacionado principalmente ao ciclo fenológico da cultura plantada, o que gera a ocorrência de alguns agrupamentos que são gerados em função da resposta do índice de acordo com classes.

Como exemplo nota-se que para os valores de intervalo de confiança maior que 0,70 estão localizados a maior parte das plantas adultas e em fase final de amadurecimento (café, o feijão nas classes B e C, e o milho nas classes B e C). Na região intermediária do gráfico, entre 0,35 e 0,70, ficaram localizadas as plantas em fase de desenvolvimento das folhas (parte do milho A), as plantas que já haviam passado do estágio de amadurecimento (parte do milho C e o milho D) e a cultura perene formada por uma planta com menor índice foliar (mamão).

Já na região com valores menores que 0,35, estão localizadas as áreas que estão sem nenhuma cultura (solo) ou ainda com a cultura em fase inicial de desenvolvimento sofrendo grande influência do solo devido ao baixo índice de folhas (os primeiros brotos de feijão na classe A e também o milho na classe A).

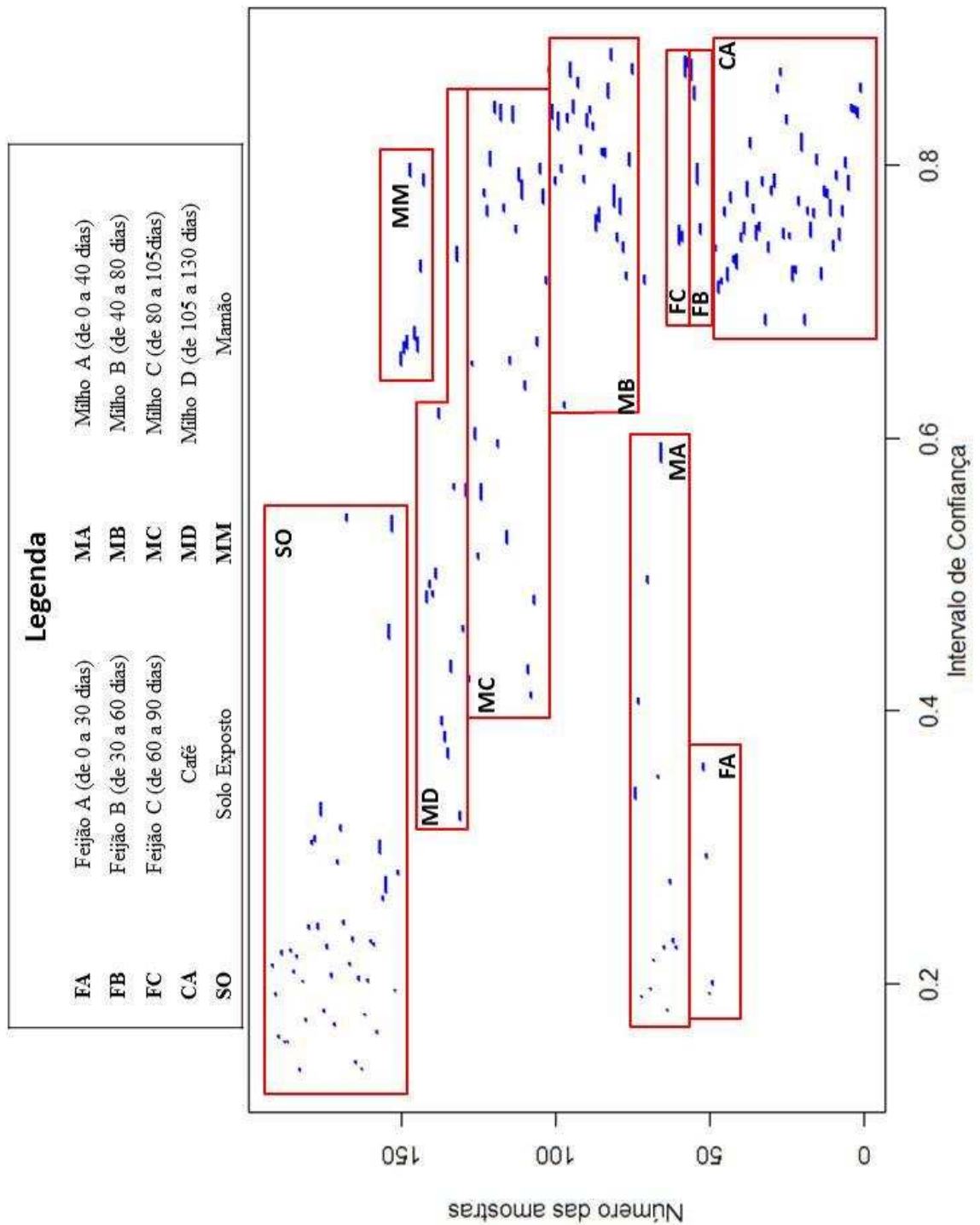


Figura 23: Representação das variações do NDVI das 192 amostras do estudo.

Após as análises do gráfico geral, analisaram-se os dados para as culturas perenes e anuais separadamente. Para as culturas perenes, pode-se observar através da Figura 24 e Figura 25 que os valores do NDVI são mais altos e apresentam um padrão dentro de um intervalo com menor variação devido a presença de uma cobertura foliar constante ao longo do período. Porém a variação do mamão está em uma faixa com menor valor do índice devido a diferença da formação das plantas de cada cultura que reflete na distribuição das folhas sobre a área.

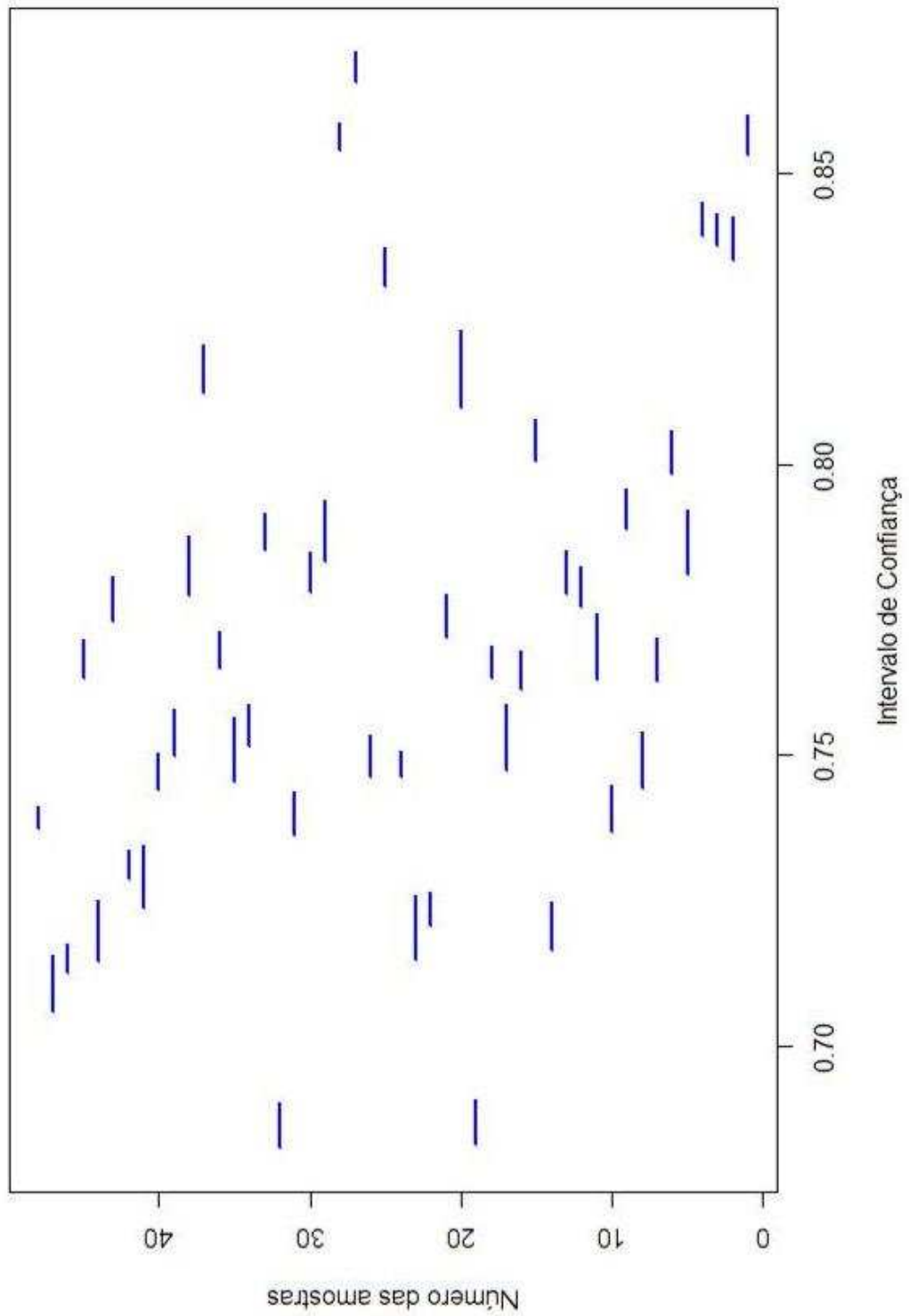


Figura 24: Representação das variações do NDVI para as áreas plantadas com a cultura café.

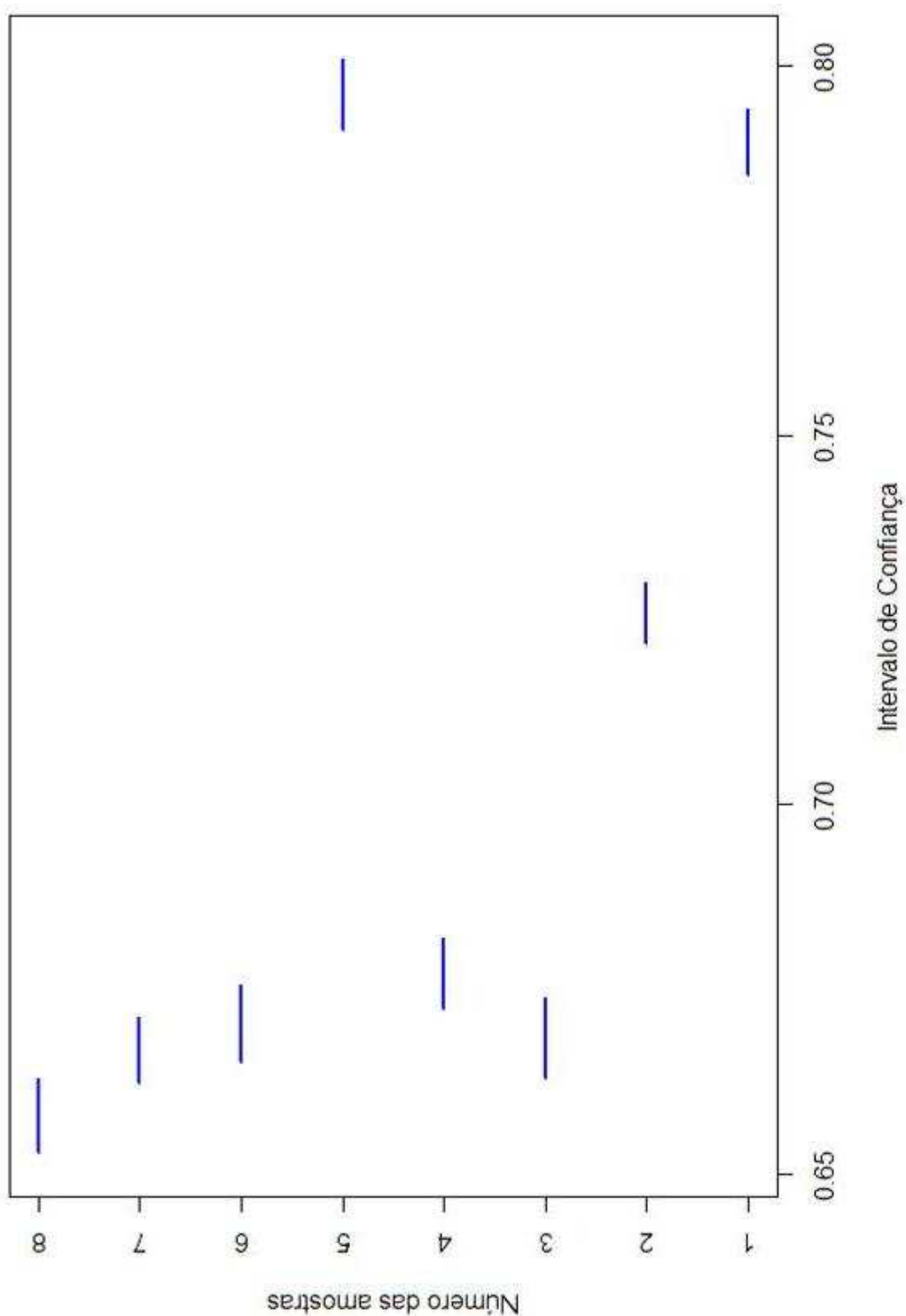


Figura 25: Representação das variações do NDVI para as áreas plantadas com a cultura mamão

Já as chamadas culturas anuais (milho e feijão) apresentam seus gráficos desenvolvidos ao longo de quase todo intervalo do índice (valores próximo de 0 e 1), como pode ser observado na Figura 26 e Figura 27. Este fato se deve ao desenvolvimento das fases da cultura ao longo de cada ciclo fenológico, sendo que na fase inicial o índice é influenciado pela aparência de parte do solo devido ao não cobrimento da área pelas folhas da cultura e posteriormente tem este valor aumentado, se aproximando do valor máximo a medida que a planta se desenvolve e recobre a área.

Outro fator que se pode observar é o caso das culturas que começam com baixos valores do índice no início do cultivo, têm este valor aumentado durante o desenvolvimento e após a maturação apresenta uma queda do índice devido a geração de matéria seca com aumento da perda de umidade, como pode ser observado na Figura 27 que representa a variação na cultura de milho.

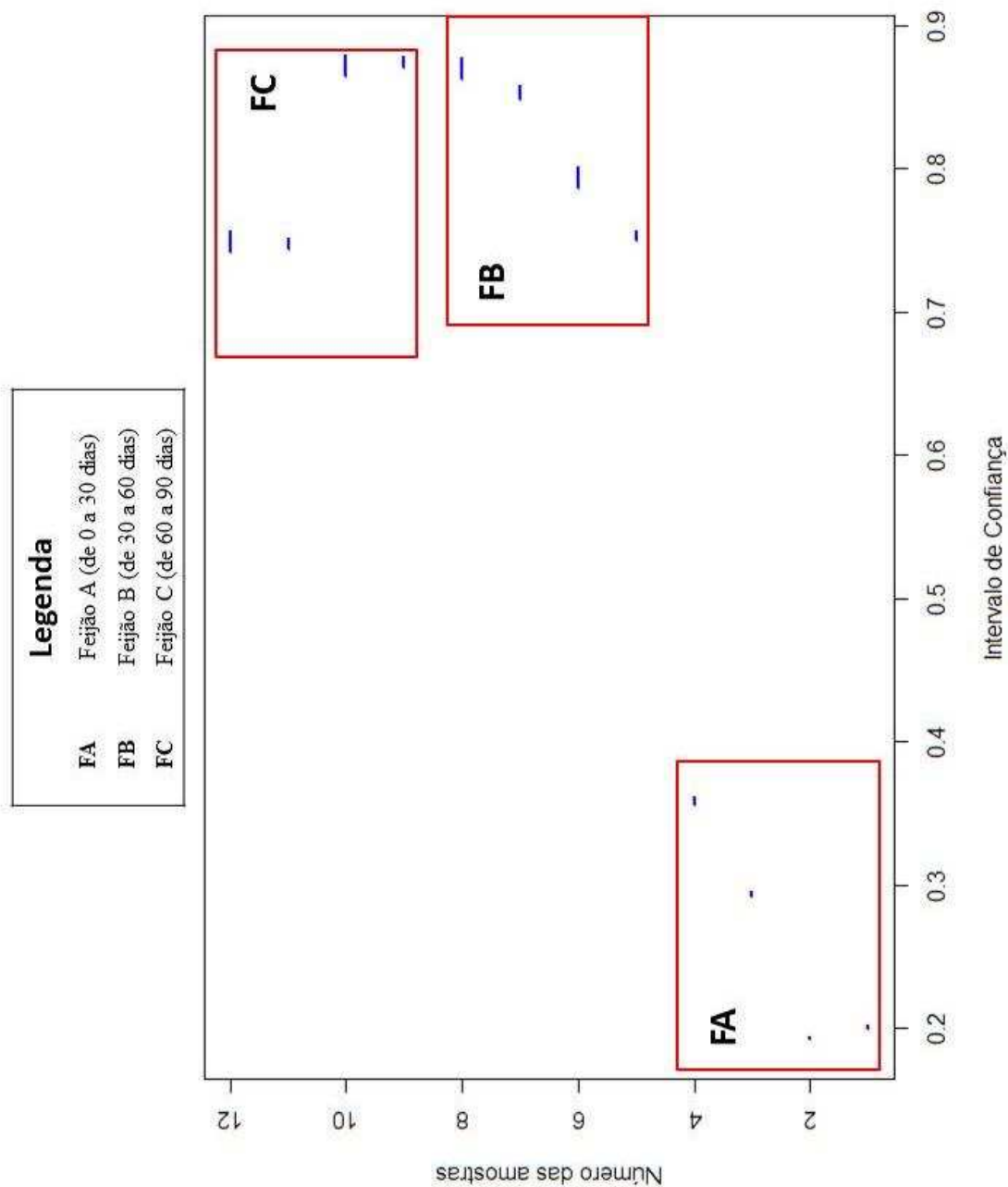


Figura 26: Representação das variações do NDVI para as áreas plantadas com a cultura feijão

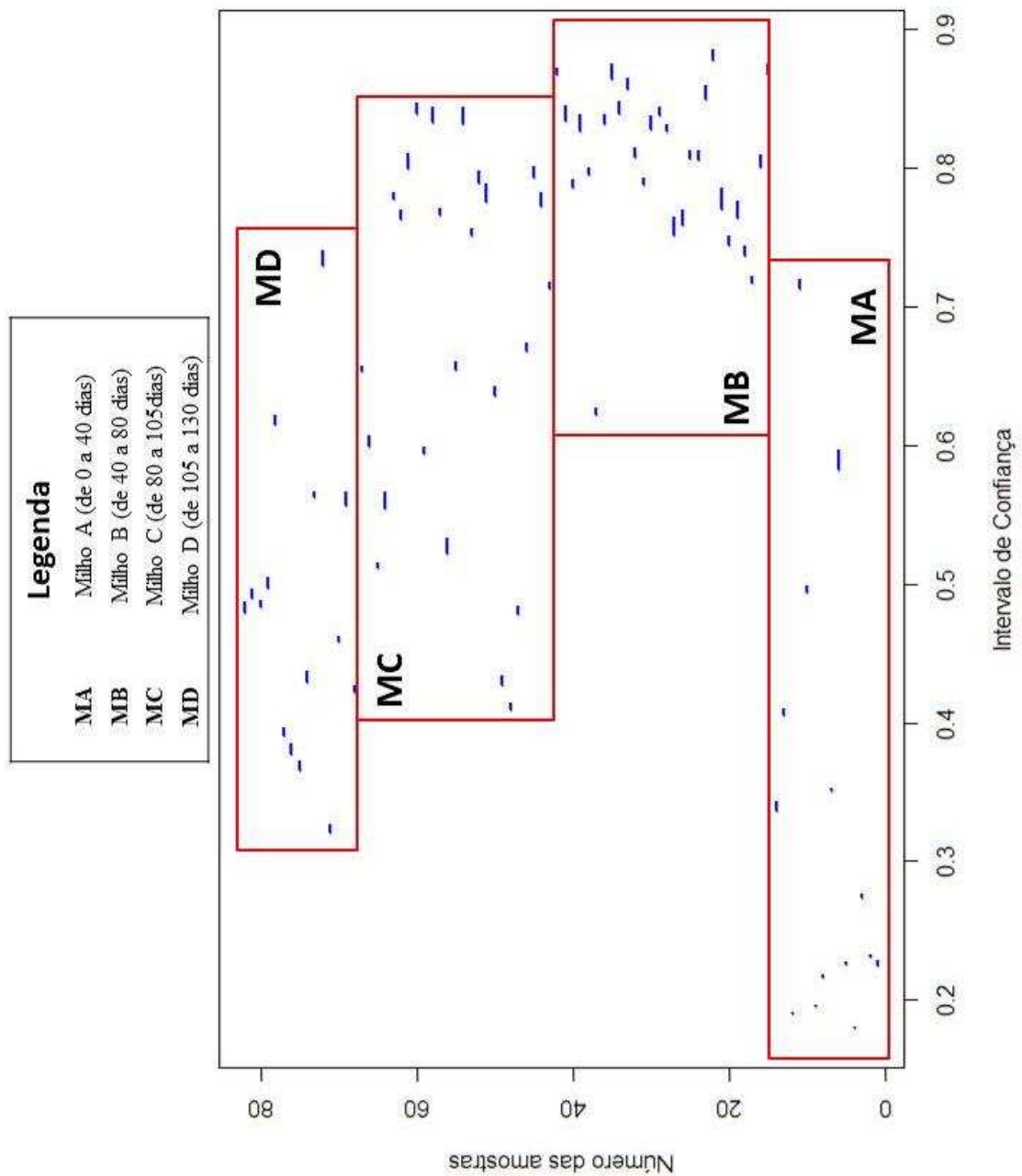


Figura 27: Representação das variações do NDVI para as áreas plantadas com a cultura milho.

Por fim podemos notar através da

Figura 28 que por se tratar de um índice para identificação de áreas com vegetação, os valores para as áreas de solo exposto estão em sua maioria presente próximo ao mínimo do índice (0). Existem nesta figura alguns picos na região próximos a valores 0,5 que podem ser explicados por técnicas de preparação de solo para início do cultivo das próximas safras.

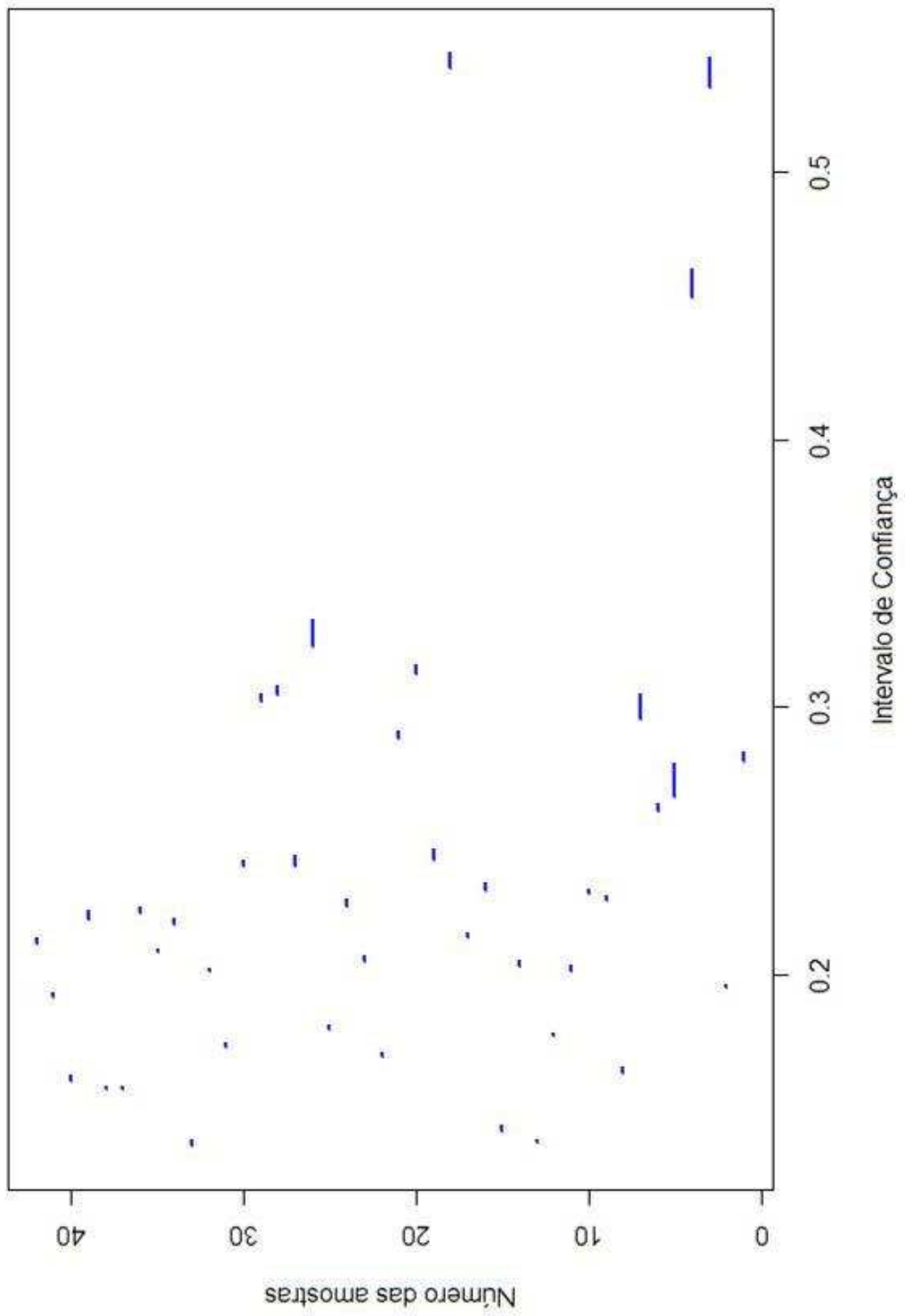


Figura 28: Representação das variações do NDVI para as áreas sem presença de plantio.

5. CONCLUSÕES

A proposta de uma metodologia voltada a identificação de feições a partir de sua forma geométrica em uma imagem de satélite, no caso deste estudo áreas circulares que representam talhões cultivados a partir da técnica de irrigação por pivô central, se mostrou eficiente a partir da criação de uma função a partir da transformada de Hough.

O uso das transformações radiométricas realizadas por operações aritméticas entre as bandas, como o método da soma das imagens no período de um ano e a criação dos índices de vegetação, foram fatores imprescindíveis para a obtenção de melhores resultados, aumentando o realce das áreas de interesse, visto que para algumas datas as culturas são representadas por seu estágio de maturação, fase com maior resposta ao índice.

Tal fato foi evidenciado a partir da comparação dos resultados obtidos com a aplicação da função de identificação e extração dos pivôs, na imagem soma resultante com os resultados obtidos para cada data individualmente.

A etapa de detecção de bordas também auxiliou na obtenção de melhores resultados, visto que nesse processo as regiões de alta frequência são destacadas na imagem, facilitando a etapa subsequente de identificação e extração das feições de interesse.

Os resultados da identificação dos pivôs centrais a partir da função de extração de feições, se mostraram eficientes, e quando comparados ao estudo apresentado pela ANA & Embrapa/CNPMS (2014), em que foram utilizadas técnicas de pré-processamento e identificação visual por meio de um interprete, apresentou resultados próximos, com algumas detecções de pivôs centrais a mais, para o referido trecho da área de estudo, evidenciando o potencial de uso da abordagem adotada neste trabalho, tendo em vista a característica de um processo semiautomático, sem poder interpretativo.

O modelo estatístico utilizado para analisar a variação do NDVI em função do ciclo fenológico das culturas, apresentou resultados que evidenciaram um comportamento muito próximo ao esperado. Os gráficos que representaram a evolução das etapas do crescimento das culturas em uma série temporal abrangendo seu ciclo reprodutivo, por meio dos valores calculados para um intervalo de confiança da amostra, elucidaram esta relação existente entre as fases de crescimento das culturas com o índice de vegetação adotado.

Conclui-se, a partir dos resultados e análises apresentados, que o desempenho das funções desenvolvidas para identificar as áreas cultivadas com as técnicas de irrigação com pivô central e analisar o comportamento do índice de vegetação em função do ciclo fenológico das culturas, apresentaram resultados satisfatórios, alcançando os objetivos deste trabalho.

Recomenda-se que em trabalhos futuros seja estudada a aplicação da técnica da transformada de Hough generalizada, em imagens para identificação de talhões com formas que se aproximam de quadriláteros (losangos, trapézios, etc.), que representam grande parte das áreas de agricultura irrigada no país.

Outra questão que pode ser explorada é a variação dos índices de vegetação em função dos ciclos fenológicos, monitorando e controlando outras variáveis externas (como precipitação, irradiação solar, irrigação e etc.) mapeando, assim, como tais variáveis podem se relacionar com o comportamento da cultura dentro dos talhões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMINI, J. A. **Proposed Model for Segmentation of Spot Images**. In: ISPRS Congress, 20., 2004, Istanbul, Turkey. Geo-imagery bridging continents, Istanbul: ISPRS, 2004. p. 82-85.
- ANA & Embrapa/CNPMS. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - ano 2013**. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/>>. 2014.
- ARTERO, A. O. **Técnicas para a extração automática de feições retas em imagens digitais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e tecnologia, Universidade Estadual Paulista, FCT, Presidente Prudente. 1999.
- BERGAMASCHI, H. **O clima como fator determinante da fenologia das plantas**. UFRGS, 2007.
- CAMPOS, D. S. **Análise da Variabilidade Espacial da Produtividade na Cafeicultura de Montanha com Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. 2005. Viçosa – MG
- CANNY, J. **A computational approach to edge detection**. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, VOL. PAMI-8(Nº6):679–698, Nov. 1986.
- CANNY. **Canny Edge Detection**. 2009. Disponível em: <http://www.cse.iitd.ernet.in/~pkalra/cs1783/canny.pdf>. Acesso em out. de 2015.
- CHRISTOFIDIS, D. **Água, irrigação e agropecuária sustentável**. In: Revista de Política Agrícola, Ano XXII – Nº 1 – Jan./Fev./Mar. 2013.
- COELHO, E. F. FILHO, M. A. C. OLIVEIRA, S.L. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água**. In: Revista Bahia Agríc., v.7, n.1, set. 2005
- D’ALGE, J. C. L. **Atualização Cartográfica por Imagens de Satélite**: notas de aula dadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1997. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~julio/arquivos/consult1.pdf> . Acesso em outubro 2015.

- D'ALGE, J. C. L. **Geoprocessamento - Teoria e Aplicações - Parte I - Cap. 6 - Cartografia para Geoprocessamento.** INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/. Acesso em dezembro 2015.
- DEPRIMEIRASEMDUVIDA. **MID (Manejo Integrado de Doenças).** 2016. Disponível em: < <http://deprimeirasemduvida.com.br/mid>> Acesso em: 05 jan. 2016.
- EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J.M.; FORMAGGIO, A.R.; RUDORFF, B. F.T. **Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.
- FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas.** EMBRAPA Brasília, D.F., 1989.
- FERREIRA, D. F. **Estatística básica.** 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2009.
- GONZALEZ R. C., WOODS R. **Processamento de Imagens Digitais.** São Paulo - SP. Editora Edgard Blucher Ltda., 2007.
- IRRIGACAO. **O uso eficiente do Pivot Central em Marrocos.** 2015. Disponível em: <<http://www.irrigacao.net/pivot/o-uso-eficiente-do-pivot-central-em-marrocos/>> Acesso em: 05 jan. 2016.
- LANDSAT. **Frequently Asked Questions about the Landsat Missions.** 2013. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/lidcm_vs_previous.php> Acesso em: 20 out. 2015.
- LANDSAT. **Landsat Missions: Imaging the Earth Since 1972.** 2015a. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php> Acesso em: 21 out. 2015.
- LANDSAT. **Frequently Asked Questions about the Landsat Missions.** 2015b. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/best_spectral_bands_to_use.php> Acesso em: 15 out. 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Censo Agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>. Acesso em: 08/12/2013.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** 3ed. John Wiley & Sons, 1994.

- MATURANA, P.S. **Algoritmos de detecção de bordas implementados em FPGA.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira - SP, 2010.
- MACEDO, M. M. G. **Uso da transformada de hough na vetorização de moldes e outras aplicações.** Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2005.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos.** Viçosa: UFV, 2006.
- MEDEIROS, N.G. **Orientação exterior de imagens orbitais usando modelos rigorosos com feições retas.** Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2007.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Distorções e Correções dos Dados da Imagem.** In.: MENESES, P. R. e ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: UNB, 2012.
- PINHEIRO, E. S. **Avaliação de Imagens Quickbird na Análise Geográfica de um Setor da Mata Atlântica do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP, 2003.
- PISTORI, H.; PISTORI, P.; COSTA, E. R. **Hough-circles: um módulo de detecção de circunferências para o ImageJ.** 6º Workshop Software Livre 2005 - WSL2005, Porto Alegre, Junho 1-4, 2005.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO Y. E.; KUPLICH, T. M.; **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** Oficina de textos, São Paulo, 2012.
- RICHARDS, J. A.; JIA X. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2004.
- SANTANA, A. G., RODRIGUES, Z. R. C.; LORDÊLLO, A. V.: **Recursos Hídricos do Oeste do Estado Da Bahia. Relatório de Diagnóstico das Condições Atuais. Destaque: Bacia do Rio Grande e Sub-Bacia do Rio do Cachorro.** Relatório Técnico do Governo do Estado da Bahia, Secretaria de Infra-estrutura, Superintendência de Recursos Hídricos, Salvador - BA, 2000.
- SANT'ANA, M. A. S. e COSTA, M. N. M. G. **Técnica, Agricultura Irrigada e Produção do Espaço.** In: Encontro de Geógrafos de América Latina 2013 Lima, Perú, abril de 2013.

- SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília – DF. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2001. Disponível em: http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/livro_Introd-Gerenc-Rec-Hidr.pdf>. Acesso em: 08/12/2013.
- SILVA, C. A. **Apostila de Irrigação - Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Confresa**. Confresa, Mato Grosso, 2013.
- SOUZA, J. M.; **Métodos de reconhecimento de iris em ambientes não cooperative**. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP. 2012.
- USGS. **Product Guide - Provisional Landsat 8 Surface Reflectance Product**. U.S. Geological Survey. Version 1.8. Dezembro 2015a. Acesso em: http://landsat.usgs.gov/documents/provisional_l8sr_product_guide.pdf .
- USGS. **Landsat - Earth Observation Satellites**. U.S. Geological Survey. Novembro 2015b. Acesso em: http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php
- VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C. **Parâmetros culturais para avaliação do comportamento espectral da cultura do café (Coffea arabica) em Minas Gerais**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2003. Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003.
- VILELA, M. F.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, J. C.; BRITES, R. S. **Avaliação de técnicas de realce e classificação digital na elaboração de um mapa de uso da terra mediante uma imagem TM/LANDSAT-5**. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 161-173, 2000.
- WANG Q.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J.; GRANIER, A. **On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site**. *Remote Sensing of Environment*. V94, p244-255. 2005.
- WONG, D. W. S.; LEE, J. **Statistical Analysis of Geographic Information System with ArcView GIS® and ArcGIS®**. Jonh Wyley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 2005.

APÊNDICE A
CÓDIGO UTILIZADO NO PROGRAMA MATLAB PARA IDENTIFICAÇÃO DE
FEIÇÕES CIRCULARES.

```

function [TAB_FINAL] = FUNCAO_ACHA_PIVO(x)

rgb = imread (x); % entrada da imagem

figure (1); imshow (rgb);
d = imdistline; %ferramenta para medir de forma interativa a distancia
dos raios das imagens

r_menor = input ('Qual o raio menor: ');
r_maior = input ('Qual o raio maior: ');
resolucao = input ('Qual a resolução espacial da imagem: ');
n_img = input ('Qual a Coordenada Norte do Canto Superior Esquerdo da
Imagem: ');
e_img = input ('Qual a Coordenada Este do Canto Superior Esquerdo da
Imagem: ');
delete (d);

% Por padrão, imfindcircles encontra objetos circulares que são mais
% brilhantes do que o fundo. Em cenários onde os objetos de interesse
são mais escuros do que
% o fundo, é preciso definir o parâmetro 'ObjectPolarity' para 'dark'.

[centrosescuro, raiosescuros, metrica_escura] = imfindcircles(rgb,
[r_menor r_maior],
'ObjectPolarity','dark','Sensitivity',0.89,'Method','twostage');

figure (2); imshow (rgb);
h_escuro = viscircles (centrosescuro, raiosescuros, 'EdgeColor' , 'r'
);

[centroclaro, raioclaro, metrica_clara] = imfindcircles (rgb, [r_menor
r_maior],
'ObjectPolarity','bright','Sensitivity',0.9,'EdgeThreshold',0.1);

h_claro = viscircles (centroclaro, raioclaro, 'EdgeColor' , 'b' );

centros_total = [centrosescuro;centroclaro];
raio_total = [raiosescuros;raioclaro];

e_linha = centros_total(1:size(centros_total), 1);
n_linha = centros_total(1:size(centros_total), 2);

E = e_img +(e_linha*resolucao);
N = n_img -(n_linha*resolucao);
RAIO = resolucao*raio_total;
D= 2*RAIO;

TAB_FINAL = [E N RAIO D];
nom = input ('Qual o nome de saida da tabela: ', 's');
filename = [nom '.xlsx']
xlswrite(filename,TAB_FINAL)
end

```

APÊNDICE B
TABELA COM O RESULTADO APRESENTADO PELO ALGORITMO
DESENVOLVIDO NO MATLAB

ID	E (m)	N (m)	R (m)	D (m)
1	431.602	8.686.134	525	1.049
2	425.395	8.686.322	560	1.121
3	424.236	8.686.585	600	1.200
4	430.647	8.686.725	492	983
5	434.548	8.687.432	630	1.260
6	420.921	8.687.217	444	888
7	429.571	8.686.780	547	1.093
8	428.531	8.687.004	492	985
9	433.387	8.687.115	578	1.155
10	420.032	8.687.267	460	920
11	428.754	8.687.969	476	951
12	418.196	8.688.224	574	1.149
13	421.300	8.689.438	609	1.219
14	421.030	8.688.284	588	1.175
15	417.059	8.688.375	513	1.025
16	419.813	8.688.544	584	1.169
17	428.969	8.688.939	465	931
18	414.886	8.689.002	584	1.167
19	418.508	8.689.396	574	1.147
20	433.650	8.689.630	605	1.210
21	420.063	8.689.724	563	1.126
22	434.889	8.689.814	607	1.213
23	418.837	8.690.537	565	1.131
24	433.783	8.691.000	574	1.149
25	434.993	8.691.082	585	1.171
26	436.187	8.691.171	591	1.182
27	437.371	8.691.250	588	1.176
28	430.208	8.692.228	563	1.125
29	434.567	8.692.255	547	1.094
30	435.684	8.692.315	544	1.089
31	436.821	8.692.385	553	1.106
32	437.939	8.692.466	547	1.094
33	431.131	8.692.705	453	906
34	428.511	8.692.956	561	1.121
35	426.977	8.693.140	578	1.155
36	434.390	8.693.346	540	1.081
37	430.356	8.693.374	565	1.129
38	425.611	8.693.379	572	1.144
39	435.514	8.693.416	543	1.086
40	436.664	8.693.501	545	1.090

ID	E (m)	N (m)	R (m)	D (m)
41	432.239	8.693.516	554	1.107
42	431.253	8.693.793	415	829
43	437.767	8.693.574	546	1.093
44	428.663	8.694.094	544	1.088
45	427.434	8.694.249	560	1.119
46	426.269	8.694.341	577	1.153
47	430.605	8.694.518	559	1.119
48	435.052	8.694.704	486	972
49	432.322	8.694.649	554	1.107
50	436.478	8.694.678	545	1.089
51	437.567	8.695.019	551	1.102
52	420.795	8.695.239	492	984
53	428.821	8.695.241	555	1.110
54	419.756	8.695.496	495	990
55	427.548	8.695.425	590	1.180
56	418.783	8.695.752	501	1.003
57	432.440	8.695.813	553	1.106
58	439.151	8.696.059	570	1.140
59	415.512	8.696.101	623	1.246
60	421.025	8.696.237	502	1.005
61	429.549	8.696.179	569	1.138
62	420.014	8.696.502	490	981
63	426.406	8.696.542	581	1.162
64	424.168	8.696.616	550	1.099
65	418.998	8.696.750	494	989
66	413.346	8.696.635	630	1.261
67	414.570	8.696.977	625	1.250
68	421.259	8.697.235	489	978
69	429.099	8.697.289	570	1.140
70	420.228	8.697.484	489	979
71	415.794	8.697.354	623	1.247
72	427.132	8.697.462	568	1.137
73	412.428	8.697.469	575	1.149
74	419.244	8.697.743	491	982
75	424.466	8.697.739	578	1.157
76	413.586	8.697.896	629	1.258
77	431.445	8.697.959	570	1.140
78	421.508	8.698.285	491	982
79	414.857	8.698.214	626	1.252
80	420.480	8.698.511	502	1.004

ID	E (m)	N (m)	R (m)	D (m)
81	416.086	8.698.581	615	1.230
82	419.474	8.698.735	500	1.000
83	428.561	8.698.813	545	1.090
84	412.729	8.698.791	591	1.182
85	429.714	8.698.977	545	1.089
86	424.834	8.699.012	552	1.104
87	413.915	8.699.131	627	1.254
88	431.326	8.699.216	600	1.200
89	421.784	8.699.555	481	962
90	435.135	8.699.560	564	1.128
91	433.949	8.699.694	565	1.131
92	420.765	8.699.791	493	986
93	429.022	8.699.906	535	1.071
94	416.354	8.699.830	620	1.240
95	419.772	8.700.025	495	990
96	412.994	8.699.952	590	1.179
97	423.130	8.700.329	552	1.105
98	420.999	8.700.783	540	1.080
99	414.144	8.700.384	628	1.256
100	422.037	8.700.548	480	960
101	435.271	8.700.709	568	1.137
102	415.426	8.700.694	620	1.240
103	427.246	8.700.768	548	1.097
104	434.060	8.700.845	562	1.125
105	428.441	8.700.910	573	1.145
106	419.997	8.701.023	491	982
107	416.640	8.701.058	637	1.275
108	413.280	8.701.223	559	1.118
109	414.433	8.701.617	631	1.262
110	435.411	8.701.882	568	1.136
111	415.708	8.701.929	620	1.240
112	434.206	8.702.014	567	1.134
113	416.899	8.702.375	628	1.256
114	413.570	8.702.474	557	1.115
115	414.739	8.702.851	614	1.228
116	435.540	8.703.039	567	1.135
117	415.939	8.703.112	558	1.115
118	434.346	8.703.175	567	1.135
119	413.768	8.703.623	563	1.127
120	435.675	8.704.202	565	1.130

ID	E (m)	N (m)	R (m)	D (m)
121	434.480	8.704.338	563	1.126
122	426.276	8.704.016	1.035	2.071
123	435.809	8.705.351	569	1.137
124	424.360	8.704.964	1.058	2.116
125	434.600	8.705.504	571	1.143
126	422.444	8.705.900	1.060	2.120
127	426.989	8.706.071	1.052	2.103
128	420.521	8.706.809	1.053	2.107
129	425.055	8.707.030	1.064	2.128
130	436.308	8.708.071	689	1.378
131	418.576	8.707.732	1.050	2.099
132	423.140	8.707.949	1.059	2.118
133	435.115	8.708.854	688	1.376
134	416.631	8.708.648	1.052	2.104
135	421.166	8.708.860	1.069	2.137
136	436.486	8.709.474	688	1.377
137	414.682	8.709.586	1.050	2.100
138	419.245	8.709.777	1.041	2.082
139	435.280	8.710.289	695	1.391
140	410.952	8.710.574	560	1.119
141	417.333	8.710.693	1.054	2.108
142	436.789	8.711.522	683	1.365
143	411.299	8.711.769	568	1.135
144	435.398	8.711.706	686	1.372
145	415.370	8.711.630	1.051	2.102
146	419.944	8.711.810	1.043	2.086
147	411.532	8.712.830	515	1.029
148	437.162	8.712.871	618	1.235
149	435.704	8.713.061	616	1.233
150	418.005	8.712.701	1.048	2.097
151	416.038	8.713.660	1.045	2.091
152	437.012	8.714.139	614	1.229
153	420.624	8.713.829	1.047	2.093
154	435.746	8.714.362	607	1.215
155	418.677	8.714.737	1.049	2.098
156	416.706	8.715.669	1.050	2.100