



RODRIGO MARTINS SANTOS

**MAPEAMENTO DE PARÂMETROS DE SOLO E CULTURA
PARA MANEJO DE PRECISÃO DE SAFRA E IRRIGAÇÃO
POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

LAVRAS - MG
2020

RODRIGO MARTINS SANTOS

**MAPEAMENTO DE PARÂMETROS DE SOLO E CULTURA
PARA MANEJO DE PRECISÃO DE SAFRA E IRRIGAÇÃO
POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Luiz Antônio Lima
Orientador

LAVRAS - MG
2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Rodrigo Martins.

Mapeamento de parâmetros de solo e cultura para manejo de
precisão de safra e irrigação por meio de sensoriamento remoto /
Rodrigo Martins Santos. - 2020.

36 p. : il.

Orientador(a): Luiz Antônio Lima.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2020.
Bibliografia.

1. Sensoriamento remoto. 2. Sentinel-2. 3. Mapas de solo. I.
Lima, Luiz Antônio. II. Título.

RODRIGO MARTINS SANTOS

**MAPEAMENTO DE PARÂMETROS DE SOLO E CULTURA
PARA MANEJO DE PRECISÃO DE SAFRA E IRRIGAÇÃO
POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

**MAPPING OF SOIL AND CULTURE PARAMETERS FOR
HARVEST AND IRRIGATION PRECISION MANAGEMENT
BY REMOTE SENSING**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO – 18 de agosto de 2020.

Dr. Adriano Valentim Diotto - UFLA

Dr. Gilberto Coelho - UFLA

Dr. Luiz Antônio Lima - UFLA

Prof. Dr. Luiz Antônio Lima
Orientador

LAVRAS – MG
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Lavras, uma instituição que abre as portas, disponibiliza recursos e empenho para auxiliar no crescimento pessoal, acadêmico e profissional de seus alunos.

Agradeço aos Departamentos ligados à Engenharia Agrícola, que a 45 anos estão ao lado apoiando e incentivando os futuros profissionais e pesquisadores do setor, em especial ao setor de Recursos Hídricos e Saneamento, área na qual sou apaixonado.

Sou grato também à minha família, que me apoiou, incentivou e esteve sempre ao meu lado em toda minha trajetória, me auxiliando em todas as minhas etapas. Sem eles não estaria aqui hoje.

Aos meus amigos e minha república, que sabem de todos os meus passos para chegar até aqui, e sempre estiveram presentes nas horas boas e nas horas ruins.

À minha companheira, por dar força e apoiar em qualquer decisão que eu tomei nesses últimos anos.

Ao meu orientador, que participou da minha evolução durante a graduação, e agora está me auxiliando no fechamento deste ciclo.

Agradeço também todos os professores e servidores que de alguma forma, sem sombra de dúvidas, foram cruciais durante toda essa história.

Por fim, agradeço à Fazenda Santa Mônica, do Grupo A.R.G., que sempre esteve receptiva para novas metodologias e experiências, e pela oportunidade de estágio e abertura para o estudo no qual foi utilizado para o desenvolvimento deste trabalho,

MEU SINCERO E ENORME, MUTTO OBRIGADO!

Não devemos temer o destino que nós mesmos decidimos traçar.

RESUMO

A agricultura sempre esteve em um caminho de buscas por melhoramentos de métodos e práticas de planejamento e ações em campo, almejando uma maior precisão no meio produtivo, seja por meio de novas tecnologias ou pesquisas em genética e metodologias aplicáveis. Este trabalho teve como objetivo analisar metodologias de sensoriamento remoto de forma prática em um grande sistema produtivo com irrigação, almejando resultados significativos e importantes para a empresa. Com o auxílio de imagens do Sentinel-2, foram analisadas de forma temporal as safras anteriores para desenvolver uma metodologia para safras futuras que auxiliarão interpretar possíveis problemas no manejo, fertilidade ou nos parâmetros de solo adotados para manejo de irrigação já implementados na propriedade, além de poder apontar problemas crônicos no próprio sistema de irrigação. Em paralelo, desenvolver uma rotina para estimar produtividade de safras na fase de desenvolvimento. O trabalho se passou na Fazenda Santa Mônica, da empresa Fortaleza Santa Teresinha, do Grupo ARG, localizada no município de São João da Ponte, Minas Gerais. Concluiu-se que o sensoriamento remoto pode ser implantada de forma gradativa e crescente no sistema produtivo da fazenda, melhorando a acurácia da metodologia utilizada para estimativa de safra e aplicar o trabalho de identificação de falhas nos demais pivôs da fazenda. Aconselha-se a busca por novas metodologias para o trabalho de mapeamento remoto do solo, e buscar novos estudos para aplicação da técnica de SR no mesmo e em outros setores, expandindo sua utilização.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Sentinel-2. Mapas de solo.

ABSTRACT

Agriculture has always been searching for methods and practices for planning and actions aiming greater precision in the productive environment, whether through new technologies or research in genetics and applicable methodologies. This work aimed to analyze remote sensing methodologies in a practical way in a large productive system with irrigated agriculture, to obtain important results. With support of Sentinel-2 images, previous crops were analyzed in a temporal line to develop a methodology for future crops that will help to interpret possible problems in management, fertility or in soil parameters adopted for irrigation management already implemented on the property; in addition, identify chronic problems in the irrigation system. In parallel, it develops a routine to estimate crop productivity in the development phase. The work was set at Fazenda Santa Mônica, owned by the Fortaleza Santa Teresinha company, of the ARG Group, located in São João da Ponte county, Minas Gerais state. It was concluded that remote sensing can be implemented gradually and increasingly in the farm's production system, improving the accuracy of the methodology of estimate harvest production and apply the work of identifying problems in the other pivots. It is advisable to search for new methodologies for the work of remote soil mapping, and search new studies for application the SR technique in the same and other sectors, expanding its use.

Keywords: Remote sensing. Sentinel-2. Soil maps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regressão linear entre os valores médios de NDVI (A), NDWI (B), SAVI (C), GVI (D) e produtividade (sc/ha).....	17
Figura 2 - Imagens satélite multitemporal de diferentes áreas com 43% de solo exposto e respectivos detalhamentos.....	19
Figura 3 - Vista aérea por imagem de satélite da propriedade.....	20
Figura 4 - Teste de identificação de argila por meio dos espectros normais RGB com bandas vermelho e azul invertidas.....	23
Figura 5 - Comparação entre máscaras para observação da eficiência da produção das máscaras produzidas por geoprocessamento.....	26
Figura 6 - Gráfico de correlação da média do NDVI com a produtividade alcançada na cultura da mombaça, em toneladas por hectare.....	28
Figura 7 - Gráfico de correlação da média do NDVI com a produtividade alcançada na cultura do milho, em toneladas por hectare.....	29
Figura 8 - Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 5B – Safra 4, Mombaça – Global Mapper.....	30
Figura 9 - Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 5B – Safra 4, Mombaça – Qgis.....	30
Figura 10 - Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 5B – Safra 5, Mombaça – Global Mapper.....	31
Figura 11 - Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 5B – Safra 5, Mombaça - Qgis.....	31
Figura 12 - Zonas de amostragem para análise de capacidade de campo e ponto de murcha por meio da técnica de bacia de saturação – Pivô 5B.....	32
Figura 13 - Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 12 – Safra 4, Milho – Qgis.....	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações descritivas de nomes, áreas e culturas nas safras dos pivôs escolhidos.....	22
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

PIB	Produto Interno Bruto
GIS	Geographic Information System
SIG	Sistema de Informação Geográfica
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
SR	Sensoriamento Remoto
ESA	The European Space Agency
MSI	MultiSpectral Instrument
NDWI	Normalized Difference Water Index),
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
GVI	Green Vegetation Index
USGS	United States Geological Survey
SNAP	Sentinel Application Platform
MIDI	MID – Infrared index
RGB	Red Green Blue

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3	METODOLOGIA.....	20
3.1	Estudo de granulometria e mapeamento de solo.....	22
3.2	Interação e estudo de imagens NDVI.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
4.1	Mapeamento de solo por meio do sensoriamento remoto.....	25
4.2	Previsão de safras por meio de imagem NDVI.....	27
4.3	Rastreamento de falhas por meio de imagem NDVI.....	29
5	CONCLUSÃO.....	34
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
	BIBLIOGRAFIA.....	37

1 INTRODUÇÃO

Desde o descobrimento do Brasil, em 1500, os esforços maiores para a “Terra Nova” era basicamente exploração de recursos naturais e exploração do clima ameno e bem distribuído, além de abundante em água, condições ideais para a produção agrícola e pecuária. Desde então, a atividade é um dos setores mais importantes do país, e nos últimos anos, tem trazido para si os holofotes do mercado e do setor de inovações. Segundo o portal de notícias Agência Brasil, o PIB do agronegócio cresceu mais que o conjunto da economia em 2019.

Nos últimos 40 anos, os investimentos em pesquisas e inovações tecnológicas vêm auxiliando o crescimento crescente da produtividade do setor. O objetivo é produzir mais em menos espaço, preservando mais os recursos naturais, agredindo menos o meio ambiente e de forma mais sustentável. Em comparação, em 1975 se produziam 38 milhões de toneladas de grãos; de lá pra cá, o setor cresceu mais de seis vezes, atingindo 236 milhões, enquanto a área plantada apenas dobrou (Embrapa, 2018). Hoje, o país é protagonista e compete com as grandes potências agrícolas no mercado internacional.

Auxiliando este desenvolvimento, novas técnicas e ferramentas vêm sendo incorporadas gradativamente nos meios produtivos, resultando em economia de tempo, insumos, horas trabalhadas e um melhor acompanhamento da produção, trazendo maior precisão e assertividade nas decisões e operações em campo.

Dentro destas técnicas, podemos citar o sensoriamento remoto e suas ferramentas. Existem diversas opções no mercado, podendo ser pagas ou gratuitas, atendendo as mais diversas demandas. Dentro deste contexto, podemos destacar duas ferramentas amplamente utilizadas, como o Qgis, software de código aberto gratuito de informação geográfica, e o Global Mapper, software pago de geoprocessamento desenvolvido pela Engesat, que se destaca pela simplicidade de utilização e amplitude de suas ferramentas.

O Qgis, anteriormente conhecido como Quantum GIS, é uma multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG) lançada em 2009 que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Similar a outros softwares GIS, o QGIS permite ao usuário criar mapas com várias camadas usando diferentes projeções de mapa. Mapas podem ser montados em diferentes formatos e para diferentes usos.

As ferramentas SIG são amplamente utilizadas na agricultura de precisão, monitoramento de lavouras, auxílio em operações automatizadas e projetos de engenharia.

Uma de suas aplicações é na criação de mapas com análise NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que permite reconhecimento, quantificação e qualificação de vegetação, onde se realiza a aritmética de canais espectrais de sensores, na maioria dos casos provenientes de satélites, muito utilizados para monitoramento de florestas, urbanismo e agricultura. A aritmética sobre os canais espectrais do vermelho e infravermelho, permite a interação com a variável clorofila presente nos vegetais.

O monitoramento e acompanhamento de culturas por meio do NDVI já é amplamente conhecido e utilizado, pois permite observar a atividade vegetativa da lavoura e auxiliar em tomadas de decisões. Este acompanhamento pode identificar falhas de plantio, manchas de crescimento e/ou desenvolvimento desuniforme, falhas técnicas na irrigação, ou outras ocorrências como ataque de pragas e doenças. Este acompanhamento, remoto e com precisão considerável, pode mitigar perdas, aumentar produtividades e apontar necessidades de intervenção ou manutenção de sistemas e culturas em campo.

Este trabalho teve como objetivo a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento em uma propriedade agrícola em pleno funcionamento e avaliar a viabilidade e potencial de suas utilizações no dia-a-dia da propriedade. Almejou técnicas de mapeamento remoto de solo, estimativa de produtividade e rastreamento de problemas e falhas nos cultivos sob sistema de irrigação. A utilização de imagens georreferenciadas está presente em diversos outros estudos como no mapeamento de áreas e qualificação e caracterização de solos.

Avaliando para a situação específica do presente trabalho, a previsão de produtividade de safra auxiliaria nos planejamentos das logísticas de colheita e produção de silos na fazenda, previsão de estoque, manejo de animais e auxílio no planejamento de compra, venda e reprodução do rebanho. As imagens NDVI podem também ser associadas diretamente na quantificação de biomassa vegetal. Observa-se que a variação da biomassa vegetal está diretamente em conformidade com os valores de NDVI, ou seja, áreas com alto NDVI encontram-se com valores elevados de biomassa vegetal e áreas com baixo NDVI se mostram com baixos valores de biomassa vegetal (ANDRADE et. al, 2009).

Ainda inexistente na fazenda em questão, a implementação de metodologias para acompanhamento remoto das produções por meio do SR foi um dos focos do trabalho, almejando algo satisfatório e útil para incorporação no meio produtivo em conjuntos com técnicas e procedimentos já existentes e utilizados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Existe uma crescente pressão para elevação da produção de alimento, que se justifica pelo constante aumento da população mundial, que era de 2,5 bilhões em 1950, passou a 7,3 em 2015 e projeta-se para 9,7 bilhões em 2050, ou seja, um aumento de quase quatro vezes em 100 anos (FAOSTAT, 2015).

Para auxiliar este desenvolvimento da produtividade e eficiência em campo, o Sensoriamento Remoto vem sendo uma ferramenta amplamente utilizada por produtores, profissionais e pesquisadores. Reconhece-se Sensoriamento Remoto (SR) como a capacidade de se obter informação sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (LILLESAND, KIEFER, e CHIPMAN, 2015). Quando a energia eletromagnética incide em algum objeto ou alvo da superfície terrestre, a energia incidente no elemento tem a possibilidade de sofrer três interações fundamentais, sendo estas a reflexão, absorção e/ou transmissão.

Nas aplicações do SR, índices espectrais são desenvolvidos para monitorar e qualificar as condições e distribuições espaciais dos diferentes alvos presentes na superfície terrestre, como estruturas vegetais, espaços construídos, corpos hídricos, usando os dados digitais de refletâncias espectrais da radiação eletromagnética. Tais índices podem ser calculados, sendo caracterizado como técnicas de geoprocessamento, por razão, diferenças e somas da combinação linear das bandas espectrais, em geral por meio das bandas do visível, e infravermelho (próximo e/ou de ondas curtas). Essas combinações de bandas resulta em uma imagem em que se tem os parâmetros de interesse realçados, isolados e/ou quantificados (SANTOS et al., 2015).

Para se obter essas imagens de estudo é necessário um satélite em órbita que tem em suas especificações, as bandas de espectros de interesse, sendo também importante a verificação de sua resolução espacial (pixel da imagem capturada), intervalo entre passagens (tempo entre uma imagem e outra que o satélite captura de um mesmo quadrante), e facilidade ou condições de acesso à essas imagens. Neste contexto, surge o satélite Sentinel-2, produzido pela Agência Espacial Europeia (ESA) e lançado em 2015, que disponibiliza suas imagens gratuitamente. Seu sensor, o MultiSpectral Instrument (MSI) apresenta uma larga faixa de imagem (290 km), boa resolução temporal (cinco dias, com dois satélites, Sentinel-2A e

Sentinel-2B), resolução espacial alta e média (10, 20 e 60 m) e contém treze bandas espectrais (SOTHE et al., 2017).

Lillesand, Kiefer, e Chipman (2015), afirmam que a proporção de energia refletida, absorvida e transmitida varia de acordo com os diferentes alvos terrestres, que vem a depender do tipo, material e condição. Essas diferenças de comportamento permitem em uma análise distinguir diferentes objetos em uma mesma imagem. Outro fator determinante para a identificação de alvos é a faixa do comprimento de onda que o alvo está submetido; um mesmo objeto pode ter diferentes proporções de energia refletida, absorvida e transmitida, a depender do comprimento de onda. Dessa forma, dois objetos podem ser semelhantes em uma faixa espectral e bem diferentes em outra banda de comprimento de onda.

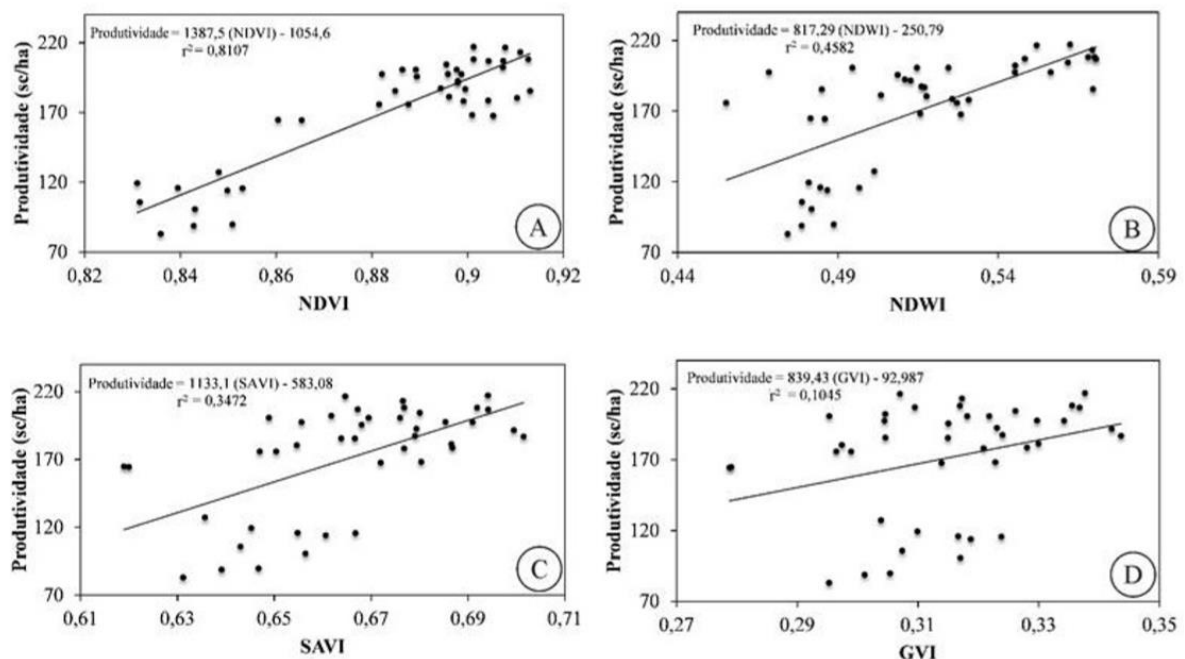
Seguindo o raciocínio de operações matemáticas lineares sobre bandas espectrais dos sensores, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) foi proposto por Rouse et. al. (1973), com a finalidade de produzir um índice de vegetação com resposta espectral que separa vegetação verde do solo e da água, que por sua vez, consegue quantificar a atividade biológica e desenvolvimento da planta por meio da clorofila e densidade foliar. Este fenômeno se dá pela peculiaridade da reflectância e absorção de ondas espectrais do solo e das plantas. Segundo Robinson et al. (2017), o NDVI é indiscutivelmente o índice espectral de detecção remota mais amplamente utilizado para monitorar a superfície terrestre. A obtenção simples do NDVI e sua relação direta com a capacidade fotossintética da vegetação é uma metodologia para estudos relacionados com características e funções vegetais essenciais como fração de radiação fotossintética absorvida pelo dossel, área foliar, produtividade primária bruta, vitalidade da plantação e ataques de pragas e doenças, com inúmeras aplicações na agricultura.

Seguindo esta premissa, o estudo de modelos para estimativa de safras já vem sendo realizados desde a década de 1980, primeiro explorando dados no formato nível de cinza (NC) e, algumas vezes, com dados auxiliares (BOATWRIGHT & WHITEFIELD, 1986). Em outras ocasiões, utilizando índices de vegetação (GROTEN, 1993), como o NDVI, NDWI, SAVI e o GVI. Os modelos inicialmente se observavam em uma data, geralmente na qual havia maior relação da biomassa com a produtividade (RUDORFF & BATISTA, 1990).

Alguns modelos alcançam bons resultados, como o de MELO et al. (2008), mas baseiam-se em dados agrometeorológicos, que nem sempre são fáceis de obter. Modelos mais simples, considerando apenas a resposta espectral da cultura, podem ser uma boa alternativa como indicam os trabalhos de SIMÕES et al. (2005) e ALMEIDA et al. (2006).

Em um estudo sobre estimativa de safras aplicado à cultura do milho, o NDVI foi único Índice Vegetativo a apresentar boa correlação com a produtividade, comparado com outros índices criados por meio de geoprocessamento (Imagem 1), como o NDWI (Normalized Difference Water Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) e o GVI (Green Vegetation Index), demonstrando potencialidade para estimar a produtividade. A produtividade estimada, com base no NDVI, subestimou em 6,32% o valor da produtividade observada. Essa diferença percentual foi considerada satisfatória em se tratando de estimativa de produtividade. Fato relevante é a possibilidade e praticidade do processamento em tempo quase que real. (BERTOLIN, 2017).

Imagem 1: Regressão linear entre os valores médios de NDVI (A), NDWI (B), SAVI (C), GVI (D) e produtividade (sc/ha).



Fonte: Natalia de Oliveira Bertolin et. al (2017)

Outro estudo sobre a estimativa da produtividade na cultura da soja, a utilização de regressões múltiplas, levando em conta índices de geoprocessamento em diferentes datas e estágios vegetativos, propiciou bons modelos de previsão de produtividade. Segundo os autores, análises de macrorregiões e modelos espectrais funcionam bem em termos de custo e benefício, isto é, imagens de médias resoluções, como as do Landsat 5/TM, as quais são disponibilizadas gratuitamente, tornam-se ferramentas extremamente poderosas na medida em que geram os modelos espectrais (MERCANTE et al, 2010).

Segundo pela área de sensoriamento remoto, podemos associá-la a várias outras metodologias como mapeamento de áreas de modo geral e solos, como demonstrado em diversos estudos. Referente ao ramo agrícola, mapeamentos de solos auxilia na tomada de decisões sobre quais solos são mais adequadas para culturas e quais devem ser preservados. A relação entre tipos de solos e produtividade, também está fortemente estabelecida. Portanto, conhecer a distribuição espacial dos solos é básico para seu melhor uso.

O mapa de solos é um produto trabalhoso, caro e de difícil obtenção (WAISER et al., 2007). Em todo o globo, tem-se mapas de solos, mas em nível incompatível com o manejo agrícola. No Brasil por exemplo, apenas 0,25% do território está mapeado em escala 1:20.000 (MENDONÇA-SANTOS, 2006).

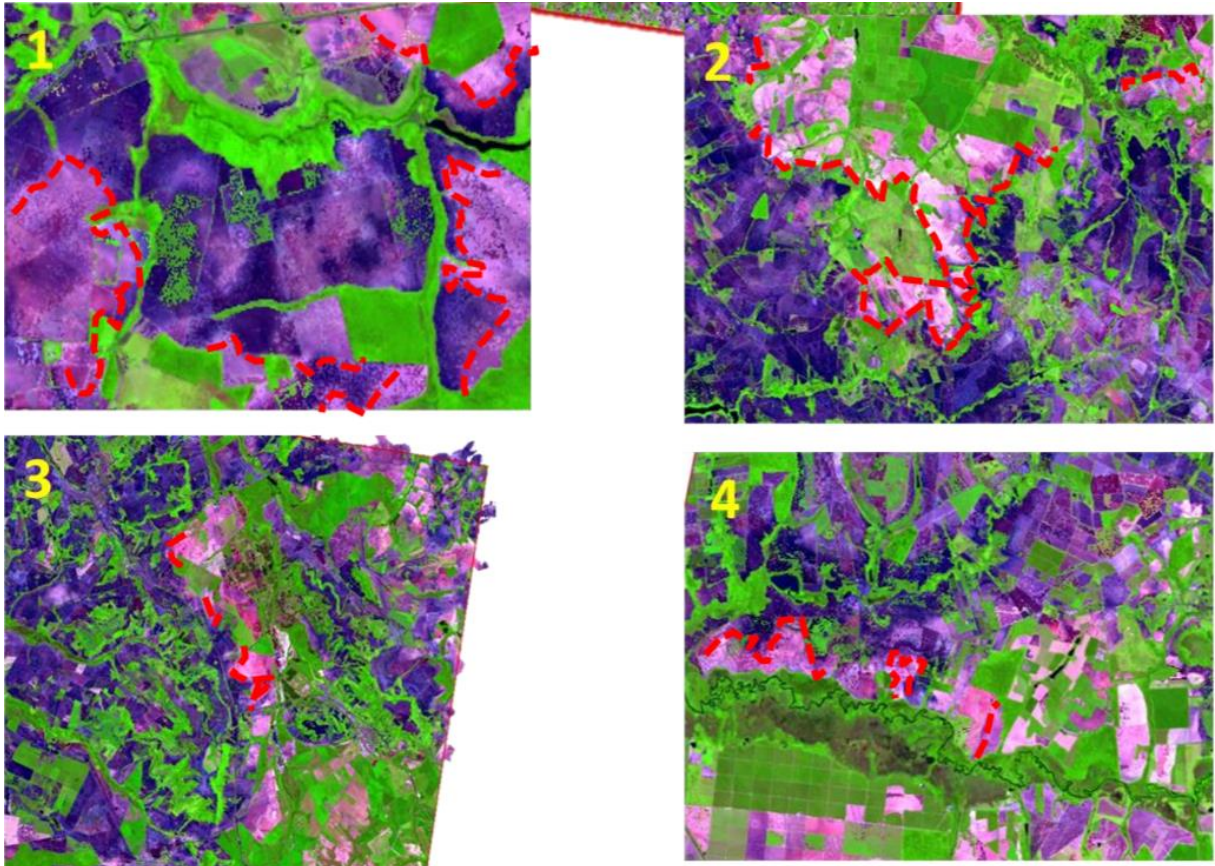
Em estudo conduzido por Fongaro (2015), o mapeamento granulométrico do solo foi possível utilizando técnicas de sensoriamento remoto, por meio de imagens multitemporais. Segundo o autor, o sucesso desta operação depende principalmente de três fatores: que a área esteja em algum momento com solo exposto, e isso geralmente ocorre em áreas com agricultura, que a imagem e o seu processamento seja de qualidade, e, que a situação climática da imagem esteja semelhante.

A literatura é farta na indicação das relações entre reflectância do solo e textura conforme verificado por Viscarra & Chen (2011) e Soriano-Disla et al. (2014), porém, utilizando dados de sensores hiperespectrais em laboratório.

Os diferentes tipos de solo absorvem de forma distinta os espectros eletromagnéticos, refletindo diferentes comprimentos de onda. Esta reflexão é captada pelos sensores do satélite e com isso pode-se avaliar de diversas formas e metodologias estes resultados. Em alguns trabalhos encontrados na literatura, foi possível comparar os espectros absorvidos em laboratório de diferentes tipos de solo e correlacionar com os espectros capturados por sensores de satélite, gerando resultados satisfatórios no mapeamento de solo.

A metodologia de Fongaro em seu trabalho, demonstrou que, se um usuário for estudar solo com uma única imagem, dentro de um universo de uma cena com 14000 km² ou 1.400.000 ha, terá aproximadamente 4% de solo exposto. Entretanto, poderá atingir até 43% de área com solo exposto se seguido seu estudo. Ainda, se for analisar áreas exclusivamente agrícolas, poderá atingir até 95% de áreas com solo exposto (FONGARO, 2015). O referido estudo tem aplicação nas mais diversas áreas, como mapeamento, caracterização e conservação de solos, manejo físico do solo, monitoramento ambiental, planejamento conservacionista de bacias hidrográficas, entre outros, permitindo análise de grandes áreas.

Imagem 2: Imagens satélite multitemporal de diferentes áreas com 43% de solo exposto e respectivos detalhamentos.



Fonte: Caio Troula Fongaro (2015)

3 METODOLOGIA

A proposta deste trabalho foi a aplicação de conhecimentos acadêmicos e científicos na prática do meio produtivo, sendo caracterizado como um trabalho de extensão, feito em paralelo com o estágio supervisionado obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola. O trabalho e local de aquisições das imagens satélite foi a Fazenda Santa Mônica, pertencente à empresa Fortaleza Santa Teresinha, do Grupo ARG, localizada no município de São João da Ponte, Minas Gerais (Imagem 3). Com sua produção voltada à proteína animal de cortes nobres, da raça Angus, em sistema de confinamento, produz todo seu volumoso de alimentação em suas delimitações. A produção de silagem é em sua maior parte irrigada, com o objetivo de gerar um produto ideal para a dieta balanceada dos animais, para fins de qualidade, controle e previsibilidade na produção bovina.

São produzidos predominantemente variedades de milho para silagem e capim Mombaça (*Megathyrsus maximus*), podendo variar entre soja, milho (*Pennisetum glaucum* (L.)), Tifton e braquiária ruziziensis, estes últimos usados principalmente para manutenção e proteção de solo, podendo ser utilizado em consórcio com o milho. A propriedade é equipada com 14 pivôs, formando uma área irrigada total de 1.265 hectares, de área total de 9.299 hectares, contendo todo o confinamento, pastagens, plantação de eucalipto e plantações em sequeiro.

Imagem 3: Vista aérea da propriedade por imagem de satélite



Fonte: o Autor (2020) - Google Earth – Google LLC 2020

O principal software para estudo foi o Qgis, por ser um programa gratuito e de código aberto. Em alguns momentos, foi testado o software Global Mapper, por meio de sua licença gratuita para teste liberada por duas semanas. Um dos problemas da avaliação, é a não possibilidade de abertura simultânea de mais de um projeto, salvamento de arquivos processados e impossibilidade de acesso à bases de dados geoespaciais pela internet (fonte: manual do usuário Engesat). Porém, para se avaliar se o programa teria benefícios diferenciais em relação ao Qgis, que justificaria sua aquisição pela empresa, foi possível gerar alguns dados satisfatórios para esta conclusão, sendo mostrado no presente trabalho por meio de “*screenshots*” tiradas diretamente da interface do programa aberto.

O satélite escolhido foi o Sentinel-2, devido à sua resolução temporal com intervalo de 5 dias entre duas imagens de um mesmo quadrante, e uma resolução espacial alta e média (10, 20 e 60 m). Lançado em 2015, com sensor multiespectral de resolução espacial produzido pela Agência Espacial Europeia (ESA), disponibiliza suas imagens gratuitamente.

As imagens do Sentinel-2 foram obtidas diretamente do site do serviço geológico norte americano a – USGS (disponíveis gratuitamente), pelo serviço GloVis, em níveis 1C de reflectância, sendo necessário um pré processamento de correção atmosférica antes de gerar dados com as imagens, convertendo do nível 1C para o nível 2A. Com isso, se tem a diminuição os efeitos de interferência da atmosfera na reflectância, que por sua vez é o parâmetro para análise de bandas espectrais e cálculos entre bandas (NDVI, SAVI e outros). Esta conversão nada mais é que um filtro, que melhora consideravelmente a clareza das imagens.

Para a correção atmosférica, foi utilizado o programa SNAP, disponibilizado gratuitamente pela ESA (The European Space Agency), que é dedicado para processamentos e pré processamentos de imagens do Sentinel-2. É necessário a utilização da extensão Sen2Cor da plataforma para este tipo de correção.

A priori, foi avaliada a viabilidade de um estudo de granulometria e mapeamento de solo, para uma posterior retirada de amostras indeformadas de solo para análise de retenção de água. Com este estudo, visou-se validar e avaliar a viabilidade de prosseguir com a técnica de distinguir diferentes tipos e manchas de solo dentro de um mesmo pivô, para parametrizar o solo de uma forma mais precisa e auxiliar em uma irrigação de maior precisão.

Foram escolhidos quatro pivôs para as análises, para diminuir a amostragem e validar as técnicas em primeira instância. Destes pivôs selecionou-se cinco safras anteriores, com as datas padronizadas em 30 dias antes das colheitas, onde a planta se encontra próxima à maturidade e está em pleno vigor.

Os pivôs selecionados para o experimento foram denominados como Pivô 1, Pivô 2 (lado A e B distintos), Pivô 3 e Pivô 4, com 69.11, 148.48, 82.69 e 103.78 hectares, respectivamente. Abaixo, a tabela descritiva dos pivôs:

Quadro 1: Informações descritivas de nomes, áreas e culturas nas safras dos pivôs escolhidos.

EQUIPAMENTO	ÁREA (ha)	SAFRA 1	SAFRA 2	SAFRA 3	SAFRA 4	SAFRA 5
Pivô 1	69,11	Mombaça	Mombaça	Mombaça	Milho	Milho
Pivô 2 A	74,24	Mombaça	Milho	Milho	Milho	Milho
Pivô 2 B	74,24	Mombaça	Mombaça	Mombaça	Mombaça	Mombaça
Pivô 3	82,69	Mombaça	Mombaça	Mombaça	Mombaça	Mombaça
Pivô 4	103,78	Milho	Milho	Milho	Milho	Soja

Fonte: o Autor (2020)

3.1 Estudo de granulometria e mapeamento de solo

Para melhor identificação de solo, é necessário obter uma grande porcentagem de solo exposto e com baixa umidade, para não haver interferências de vegetação, palhada e/ou água. Para alcançar estes critérios, são necessários quatro procedimentos descritos no trabalho de dissertação de Fongaro (2015).

A “retirada” de um objeto da imagem é denominado de máscara, onde o software retira toda a informação que não seja o alvo da análise. Para realizar os processos de retirada de objetos que não fossem solos, foram necessários a criação destas quatro máscaras.

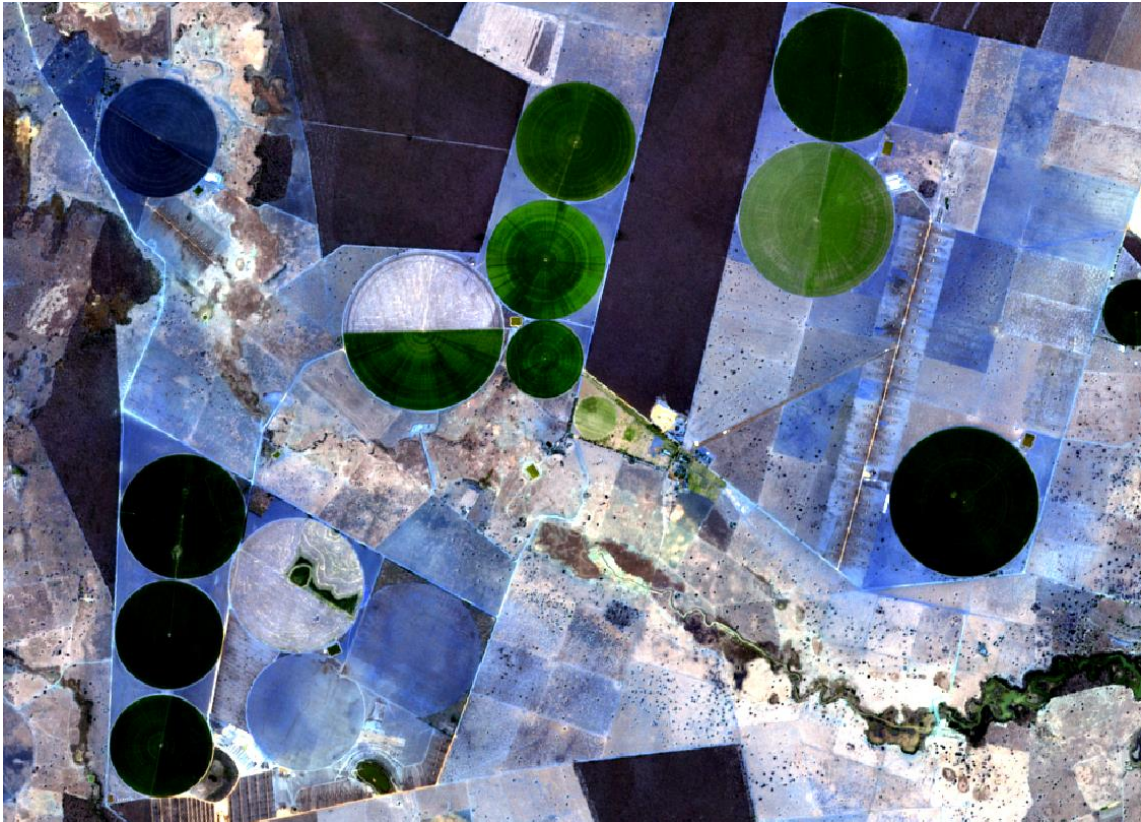
A primeira, utilizando o método de geração de imagem NDVI, retirou toda a vegetação da imagem, por meio do cálculo entre as bandas do vermelho e infravermelho.

A segunda máscara foi utilizando o processo de cálculo para obtenção do MIDII, onde se identifica e retira a palhada incorporada e presente no solo, obtido por meio da interação das bandas do infravermelho médio e infravermelho próximo. A palhada pode ser confundida com o solo arenoso devido à capacidade de reflexão.

A terceira e a quarta máscara foram obtidas a partir dos cálculos simples de subtração entre as bandas verde e azul, e as bandas vermelho e verde, com o objetivo de mascarar qualquer comportamento diferente do ascendente, pois, segundo Demattê et al (2009), os solos tropicais observados por sensores orbitando a terra tem um aspecto ascendente nas bandas RGB.

A Imagem 4, demonstra um pouco da interação do solo com uma simples inversão de cores das bandas eletromagnéticas do satélite.

Imagem 4: Teste de identificação de argila por meio dos espectros normais RGB com bandas vermelho e azul invertidas.



Fonte: o Autor (2020)

3.2 Interação e estudo de imagens NDVI

A segunda parte do trabalho foi a utilização plena do método de geração de imagens em NDVI, objetivando-se o rastreamento de falhas em plantios, problemas crônicos na fertilidade e manchas de solo, problemas crônicos no sistema de irrigação e elaboração de uma metodologia de previsão de safras.

Para se realizar o rastreamento de falhas em cultivos, foi necessário diminuir a escala do NDVI, que tem amplitude de valor de 0 a 1. Este encurtamento garante que as menores variações de desenvolvimento e vigor vegetal possa ser identificadas mais facilmente, evidenciando heterogeneias mesmo que o vigor quantitativo esteja próximo entre si.

Para a previsão de safra, utilizou-se a regressão linear que correlaciona produtividade com o índice médio de NDVI da área plantada, gerando uma equação de primeiro grau simples.

Buscou-se ainda a incorporação da técnica de acompanhamento por NDVI no processo produtivo da fazenda nas operações futuras, acompanhando em tempo real as safras e implementando a metodologia de previsão de safra de forma facilitada, almejando assim que o sensoriamento remoto faça parte da rotina da propriedade à curto e longo prazo.

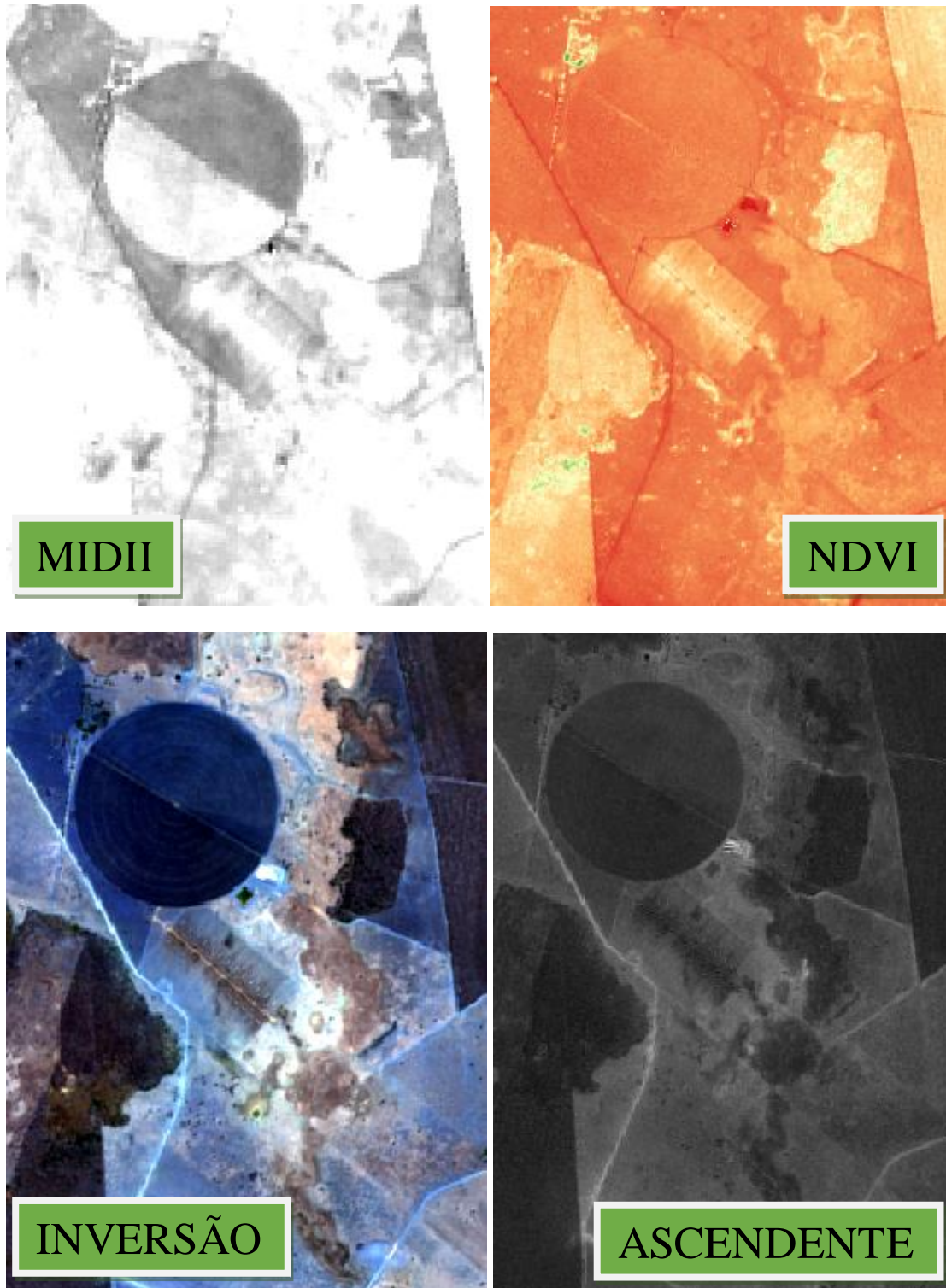
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mapeamento de solo por meio do sensoriamento remoto

Logo nas análises preliminares, foram observado alguns problemas para a realidade da presente propriedade. Na criação da segunda máscara, onde se é retirado a palhada, a imagem resultante não foi satisfatória. As hipóteses são duas: o solo da região em sua maior parte é arenoso e franco arenoso, onde a palhada é facilmente confundida com o solo. Outra hipótese é que o meio produtivo é de culturas perenes e plantio direto, onde a porcentagem de solo exposto em sua maior parte entre as safras é ínfima, insuficiente para uma análise confiável.

Além disso, como demonstrado nas imagens do pivô explicitado abaixo (único que estava no processo de gradeamento e nivelamento de solo), o simples fato do revolvimento de solo ter ocorrido em momentos diferentes, foi o suficiente para deturpar a análise. É sabido que o pivô em questão é uniformemente argiloso, sendo ideal para esta análise preliminar. As quatro imagens mostram a máscara MIDII seguida da imagem NDVI, demonstrando a área completamente sem vegetação e uniforme, logo abaixo a inversão de cores entre o vermelho e o azul e posteriormente a máscara ascendente entre as bandas verde e azul em um pivô e a área de sua proximidade.

Imagem 5: Comparação entre máscaras para observação da eficiência da retirada de palhada pela operação de criação de imagem MIDII.



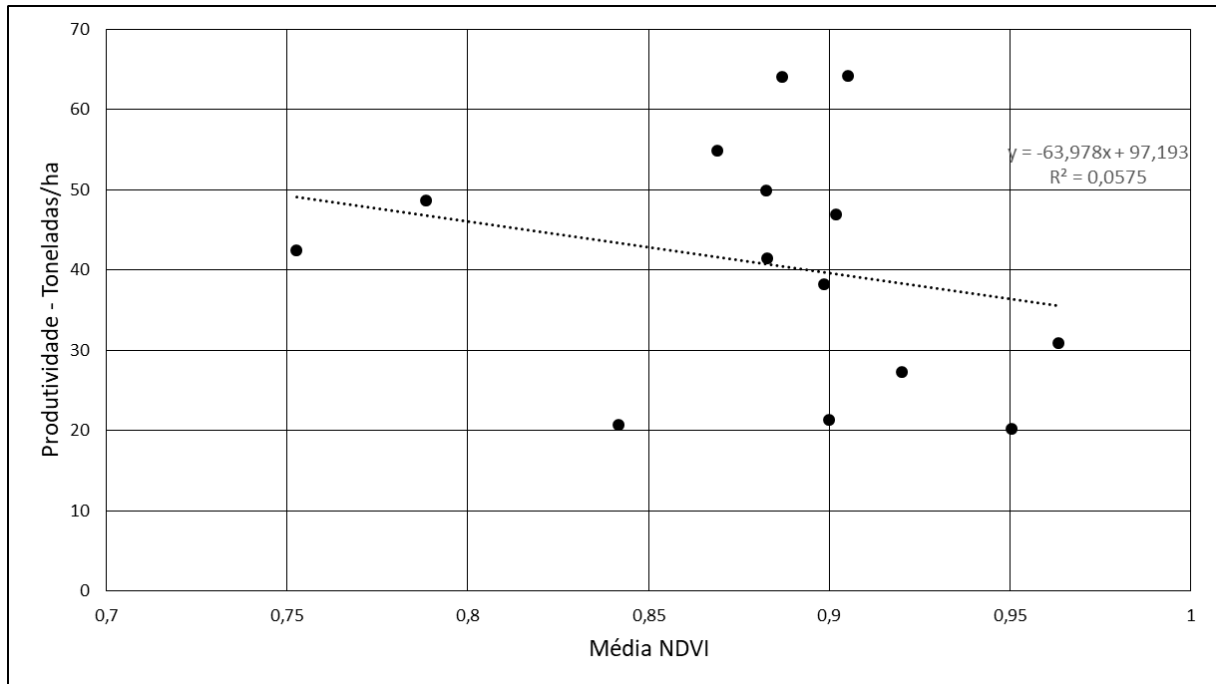
Fonte: o Autor (2020)

Outro empecilho da utilização desta metodologia é o fato do Sentinel-2 ser um satélite relativamente novo (lançado em 2015), e devido à dificuldade em se obter solo exposto na propriedade, seriam necessários dezenas de imagens para fazer a sobreposição e chegar à uma imagem satisfatória para análise. Sendo assim, foi decidido utilizar da técnica de NDVI para também rastrear algum mapeamento errôneo e impreciso já existente na fazenda, voltado para o manejo de irrigação. Este rastreamento é possível avaliando a desenvolvimento e uniformidade das plantas cultivadas em cada pivô. Esta técnica pode ser promissora devido à baixa incidência de chuva na região, deixando a reposição de água no solo apenas por meio da irrigação bem manejada da fazenda. Em resumo, qualquer não uniformidade crônica presente em diferentes safras nos pivôs, devido à diferença do desenvolvimento das plantas, pode ser avaliada e identificada em campo se a causa está diretamente relacionada à uma classificação errada de solo, devido à sua utilização nos cálculos de retenção e balanço hídrico.

4.2 Previsão de safras por meio de imagem NDVI

Analisando os dados de correlação de valores de NDVI de imagens dos pivôs com a produtividade alcançada na colheita, conclui-se que para a cultura da Mombaça, esta metodologia não apresentou resultados promissores para continuação dos estudos e aplicação na prática (Imagem 6). Isto pode ser devido à imprevisibilidade da produção, não tendo um padrão de tempo do ciclo de cada safra, sendo colhido devido a estratégias da empresa, condições climáticas certas ou avaliação em loco. A correlação também pode ser dificultada pelo fato de ser uma planta perene, variando muito a produtividade desde a primeira rebrota até a última. Em outras palavras, mesmo que a plantação apresente ótimo vigor, acusado pelo próprio NDVI, a produtividade e o teor de matéria seca colhidos podem variar bastante.

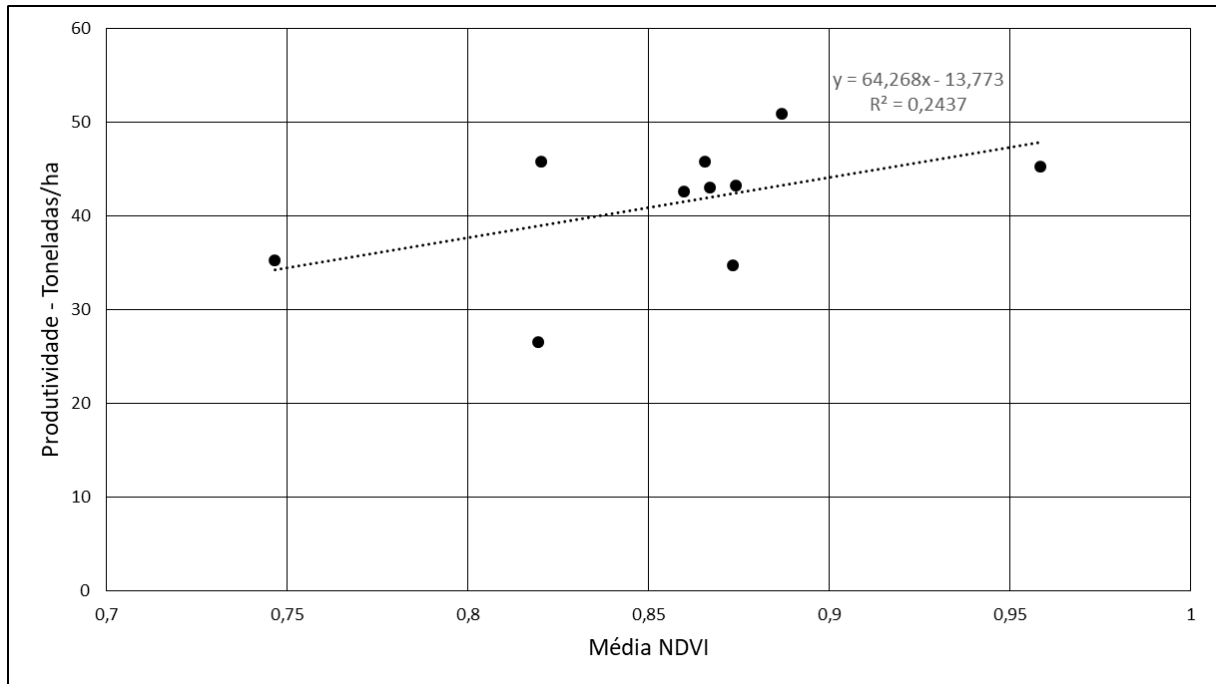
Imagem 6: Gráfico de correlação da média do NDVI com a produtividade alcançada na cultura da mombaça, em toneladas por hectare



Fonte: o Autor (2020)

Diferentemente no milho, existiu uma correlação do vigor da plantação com sua produtividade. O tempo de colheita padronizado, e a cultura ser renovada a cada safra, possibilita resultados mais previsíveis ao final de cada ciclo, avaliando a saúde e vigor das plantas em campo e/ou por meio de sensoriamento remoto. Porém, no presente trabalho, o R^2 (obtido através da equação de primeiro grau da linha de tendência gerada pelo Excel) apresenta um valor muito baixo e de pouca confiabilidade para a equação gerada devido ao baixo número de amostragens; entretanto, os resultados preliminares com um grupo menor de amostras mostra que a metodologia é promissora e pode ser mais aprofundada para usos na fazenda, coletando mais informações e avaliando resultados mais antigos e posteriores. Neste sentido, se vislumbra resultados semelhantes aos alcançados por Bertolin et. al (2017).

Imagem 7: Gráfico de correlação da média do NDVI com a produtividade alcançada na cultura do milho, em toneladas por hectare



Fonte: o Autor (2020)

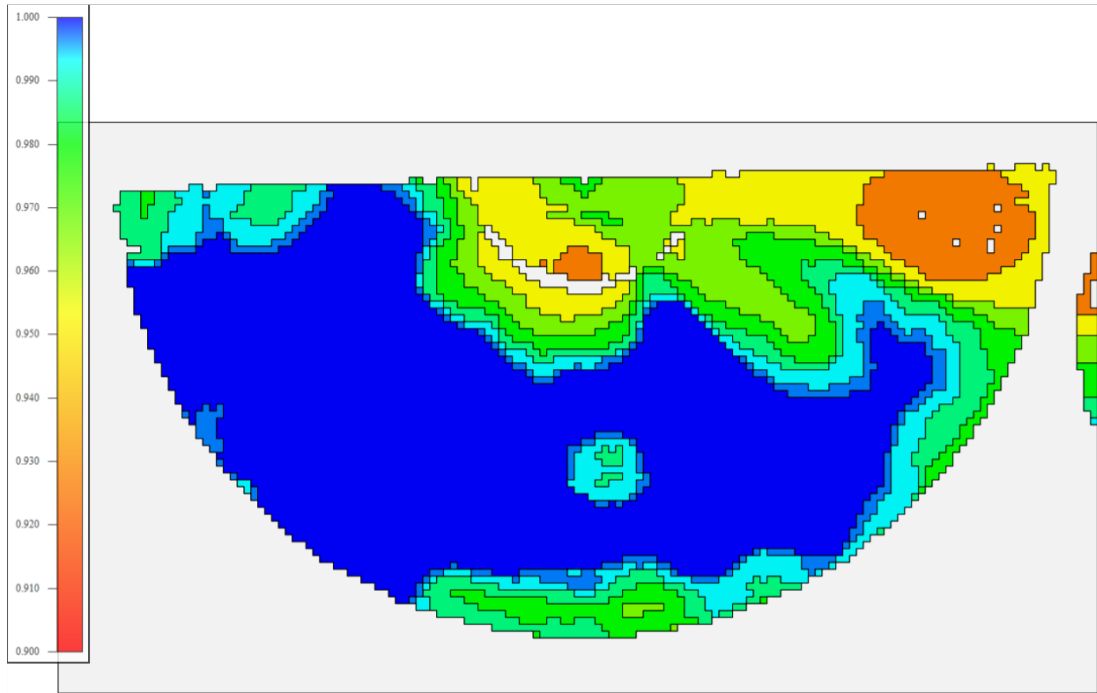
4.3 Rastreamento de falhas por meio de imagem NDVI

Neste trabalho, foi comparado os softwares Qgis, programa livre de código aberto, e o Global Mapper, com sua licença de avaliação de 15 dias disponibilizado pela empresa obtentora dos direitos autorais e financeiros do software.

Avaliando as imagens geradas pelos dois softwares, percebe-se que ambos alcançam os resultados esperados e de fácil análise, porém, as imagens geradas pelo Global Mapper são mais elaboradas que as geradas pelo Qgis, pois tem ferramenta de criação de áreas parametrizadas, facilitando a visualização e conclusão.

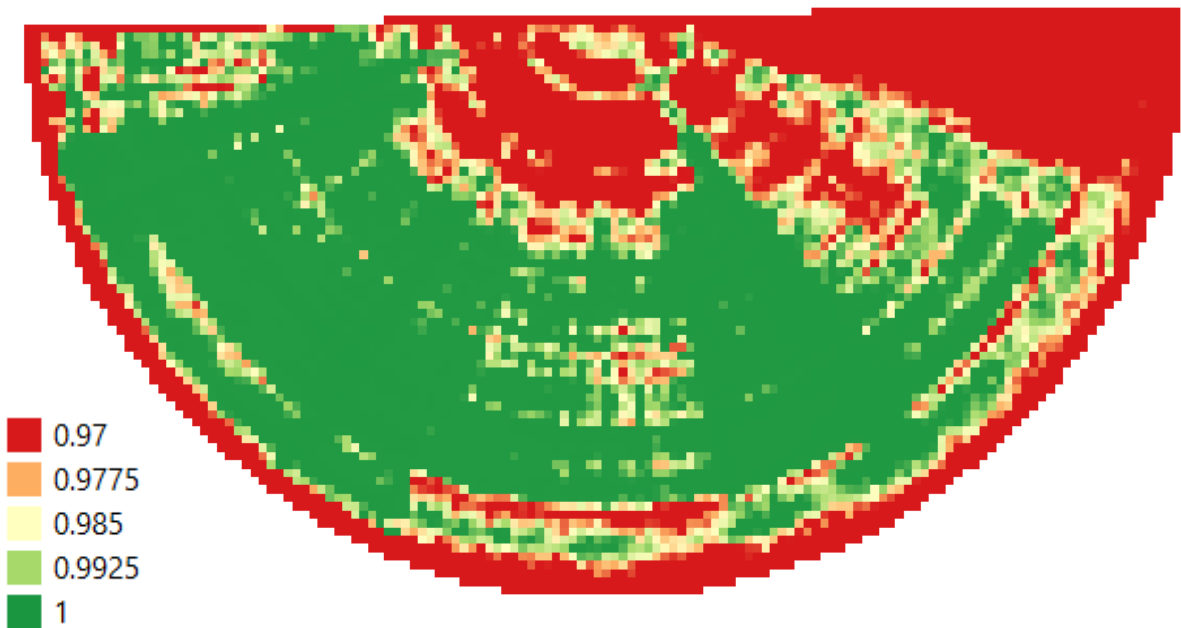
Neste sentido, a técnica de análises de safras anteriores possibilitou enxergar como a plantação se comportou em produções anteriores, avaliando falhas recorrentes e problemas frequentes. Para o pivô em questão (Imagens 8 a 11), possibilitou que análises de solo fossem refeitas em áreas específicas e predeterminadas.

Imagem 8: Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 5B – Safra 4, Mombaça – Global Mapper



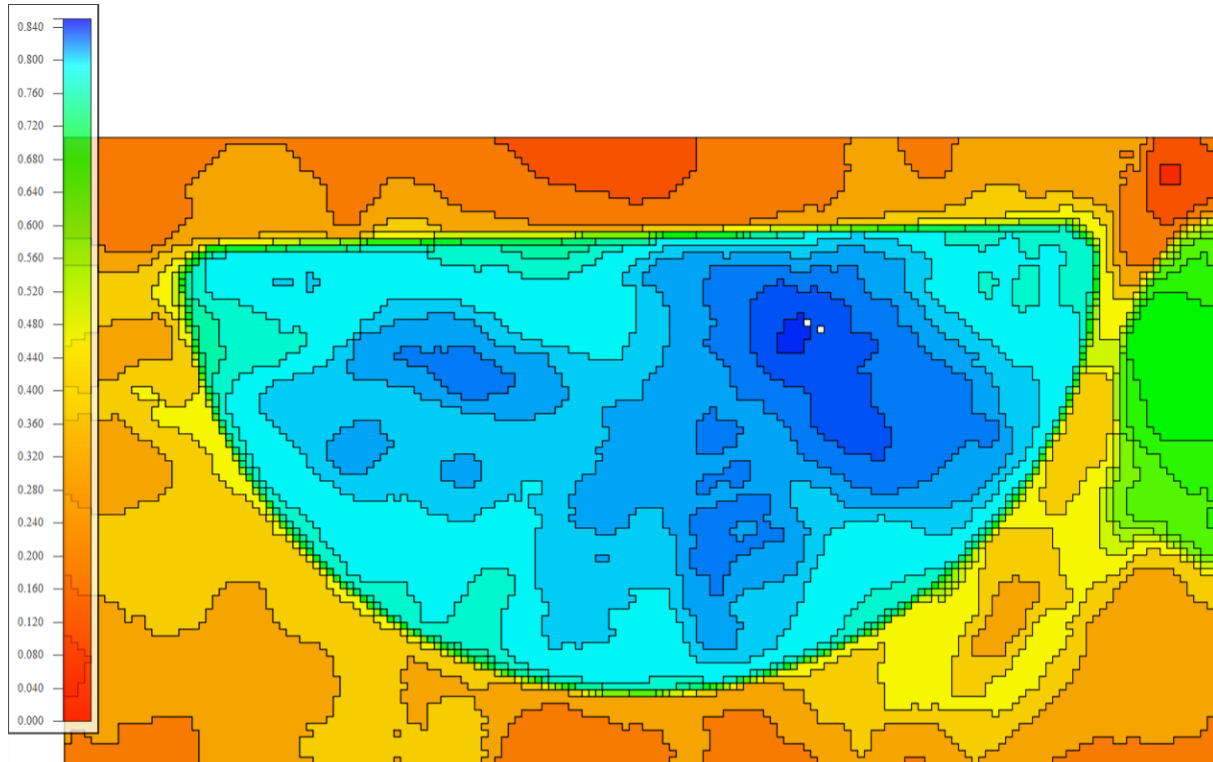
Fonte: o Autor (2020) – Gerada pela licença de avaliação gratuita do Global Mapper

Imagem 9: Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 5B – Safra 4, Mombaça – Qgis



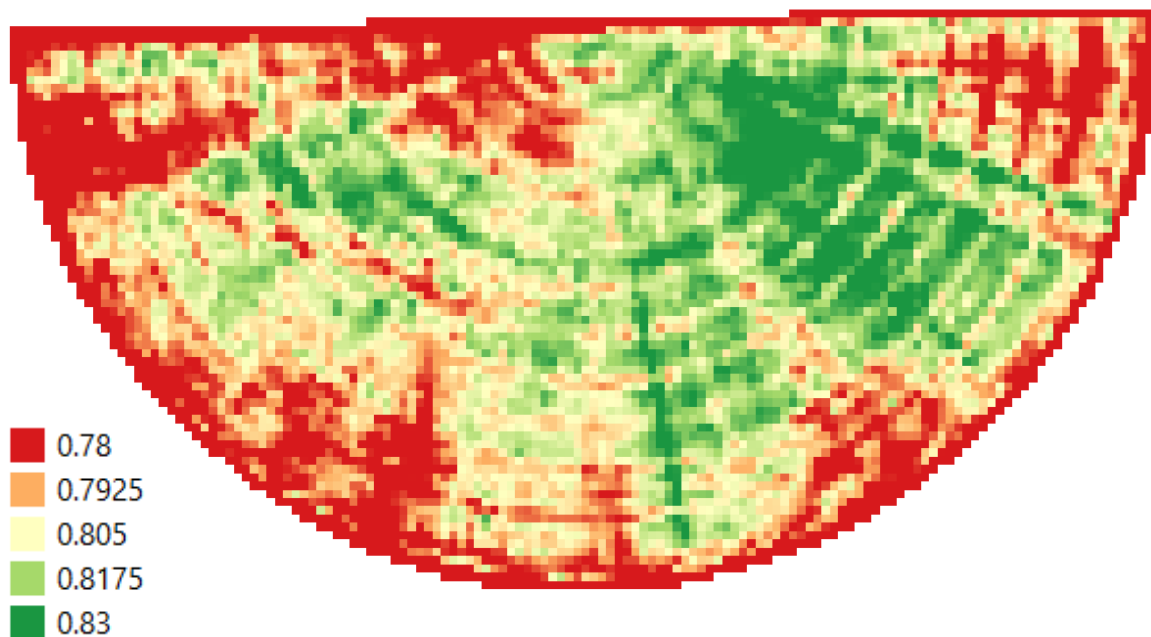
Fonte: o Autor (2020)

Imagem 10: Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 5B – Safra 5, Mombaça – Global Mapper



Fonte: o Autor (2020) – Gerada pela licença de avaliação gratuita do Global Mapper

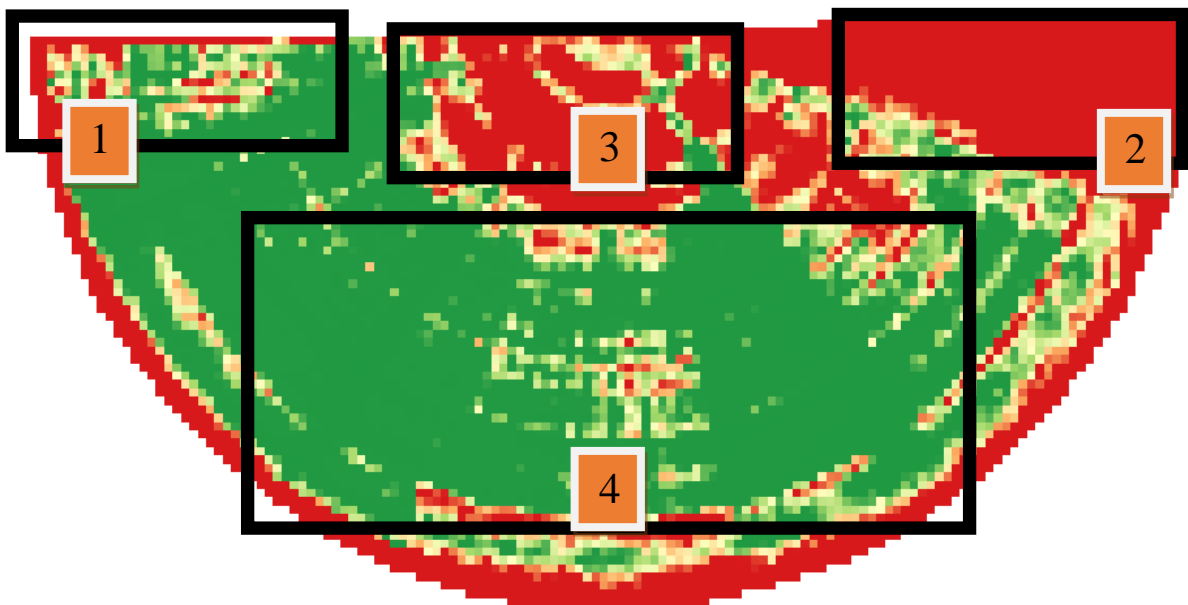
Imagem 11: Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 5B – Safra 5, Mombaça - Qgis



Fonte: o Autor (2020)

Abaixo (Imagem 12) demonstra a reamostragem de solo feita por meio de bacia de saturação, anteriormente feita apenas uma amostra que descrevia todo o lado B do pivô 5. A técnica de bacia de saturação consiste em saturar o solo de água até sua capacidade de campo, e secar a amostra em estufa para se obter o valor real de capacidade de retenção de água por meio da diferença entre massas das amostras.

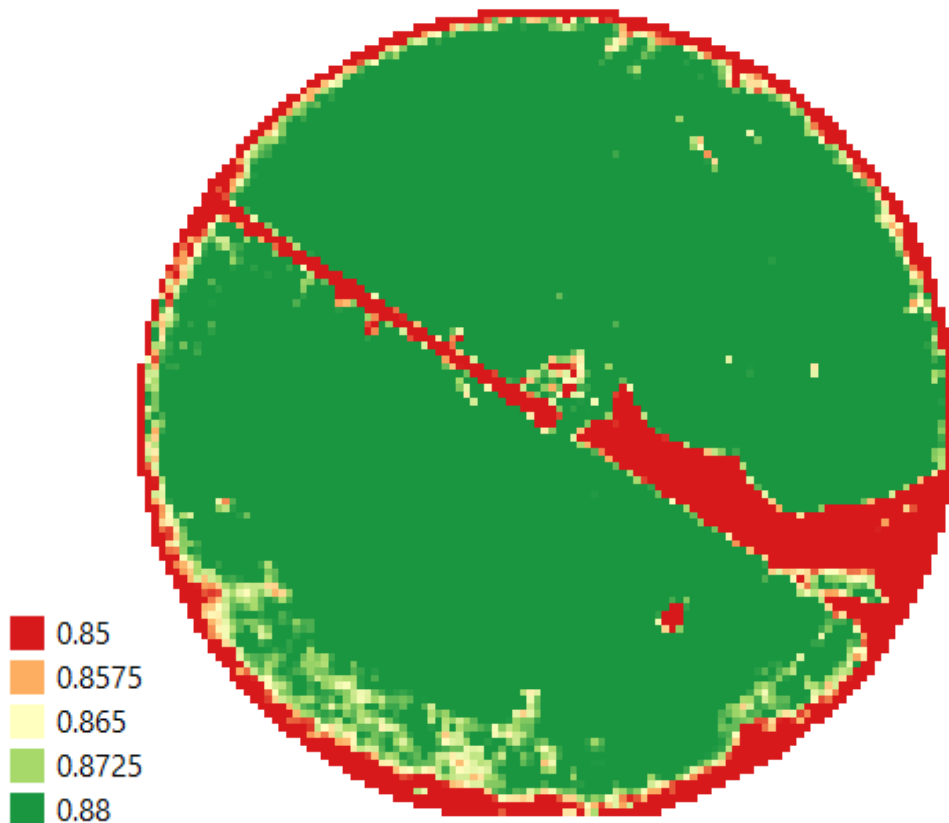
Imagem 12: Zonas de amostragem para análise de capacidade de campo e ponto de murcha por meio da técnica de bacia de saturação – Pivô 5B



Fonte: o Autor (2020)

Constatou-se que as amostragens se diferenciavam entre si, porém, para a zona 3, por não ter um sistema de aplicação por taxa variável, uma das soluções possíveis foi o estudo de aplicação de esterco e matéria orgânica em maior quantidade na região, para melhorar a capacidade de retenção de água no solo. As zonas 1 e 2 se mostraram ligeiramente mais arenosas que a maior parte do lado B do pivô, a partir das reamostragens de solo. A solução mais viável foi o acerto dos parâmetros de solo nos cálculos de balanço hídrico, para modificar a frequência e a taxa de aplicação sobre as irrigações necessárias.

Imagem 13: Rastreamento de desuniformidades na lavoura – Pivô 12 – Safra 4, Milho – Qgis



Fonte: o Autor (2020)

No Pivô 12 em questão, foi constatado, durante as colheitas das safras, um caminho preferencial dos caminhões basculantes, onde com o tempo foi criando uma zona mais compactada. Esta compactação interferiu diretamente no desenvolvimento vegetativo, que foi facilmente corrigida com subsolagem direcionada, ou seja, uma operação específica na área atingida. Com isso, foi possível corrigir a área com economia em operações, sendo executada pontualmente em uma área específica, além de economizar tempo de maquinário e funcionários. Os resultados obtidos poderão ser avaliados e medidos nas próximas safras subsequentes.

Nos demais pivôs analisados, não se obteve algo concreto para se intervir, ocorrendo apenas falhas ocasionais e sem padrões específicos. Porém, a técnica se mostrou promissora para análise dos demais pivôs da fazenda.

5 CONCLUSÃO

A utilização da técnica de análises de imagens NDVI deve ser mais explorada e melhor trabalhada com o tempo na propriedade, mostrando ser promissora e de fácil implantação no meio produtivo já existente. Além dos trabalhos abordados no presente trabalho, outros experimentos como este devem ser conduzidos nas próximas safras, testando novos softwares no mercado e avaliando seus custos benefícios.

A rotina de previsão de safras para culturas do milho deve ser incrementada e melhor explorada, podendo trazer resultados confiáveis para estratégias e tomadas de decisão. Com um maior número de amostras de safras, e alimentando o banco de dados com informações das próximas safras, irá melhorar a calibração da técnica. Para a cultura da mombaça, os dados preliminares não foram satisfatórios.

Além da previsão de safras, o NDVI pode ser usado para acompanhamento remoto dos pivôs durante todo o processo, podendo apontar falhas e problemas pontuais para intervenção imediata e correções emergenciais. Pode-se explorar novos serviços, softwares e satélites para melhorar a resolução temporal e espacial, gerando resultados ainda mais precisos e de melhor qualidade.

Os processos demonstrados no presente trabalhos devem ser aplicados nos demais pivôs da propriedade e em outras propriedades da empresa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de tecnologia aliada à conhecimentos teóricos das instituições de ensino e pesquisa devem sempre estar presente nos meios produtivos, sejam elas de qualquer área ou setor. Inovações e conhecimentos agregam no crescimento e desenvolvimento onde são aplicadas. “As empresas que não se reinventarem estão fadadas a sumir” - Herbert Steinberg.

BIBLIOGRAFIA

FAOSTAT. População Mundial. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/>>. Acesso em: 03 maio. 2020.

WAISER, T.H.; MORGAN, C.L. BROWN, D.J.; HALLMARK, C.T. **In situ characterization of soil clay content with visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 71, n. 2, p. 389-396, 2007.

MENDONÇA-SANTOS, M.L.; DOS SANTOS, H.G. **The state of the art of Brazilian soil mapping and prospects for digital soil mapping**. Developments in Soil Science - Amsterdam v. 31, p. 39-601, 2006.

SORIANO-DISLA, J.M.; JANIK, L. J.; VISCARRA ROSSEL, R.A.; MACDONALD, L. M.; MCLAUGHLIN, M.J. **The performance of visible, near-, and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical, and biological properties**. Applied Spectroscopy Reviews - Philadelphia, v. 49, n. 2, p. 139-186, 2014.

FONGARO, C. T. **Mapeamento granulométrico do solo via imagens de satélite e atributos de relevo**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

BOATWRIGHT, G.O.; WHITEFIELD, V.S. **Early warning and crop condition assessment research**. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing - New York, v.24, n.1, p.56-64, 1986.

GROTEN, S.M.E. **NDVI-crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso**. International Journal of Remote Sensing - London, v.14, n.8, p.1.495-1.515, 1993.

RUDORFF, B.F.T.; BATISTA G.T. **Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological spectral models**. Remote Sensing of Environment - New York, v.33, p.183-192, 1990.

DORAISWAMY, P.C.; HATFIELD, J.L.; JACKSON, T.J.; AKHMEDOV, B.; PRUEGER, J.; STERN, A. **Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS**. Remote Sensing of Environment - New York, v.92, p.548-559, 2004.

KASTENS, J.H.; KASTENS, T.L.; KASTENS, D.L.A.; PRICE, K.P.; MARTINKO, E.A.; LEE, R.Y. **Image masking for crop yield forecasting using AVHRR NDVI time series imagery**. Remote Sensing of Environment - New York, v.99, p.341-356, 2005.

MELO, R.W.; FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; DUCATI, J.R. **An agrometeorological spectral model to estimate soybean yield, applied to southern Brazil**. International Journal of Remote Sensing - v.29, n.14, p.4.013-4.028, 2008.

SIMÕES, M.D.S.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. **Spectral variables, growth analysis and yield of sugarcane**. Scientia Agricola - Piracicaba, v.62, p.199-207, 2005.

ALMEIDA, T.I.R.; SOUZA FILHO, C.R. de; ROSSETTO, R. **ASTER and Landsat ETM + images applied to sugarcane yield forecast**. International Journal of Remote Sensing - London, v.27, p.4.057-4.069, 2006.

MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V. **Modelos de regressão lineares para estimativa de produtividade da soja no oeste do paraná, utilizando dados espectrais** - Jaboticabal, v.30, n.3, p.504-517, maio/jun. 2010

SOTHE, C. et al. **Evaluating Sentinel-2 and Landsat-8 Data to Map Successional Forest Stages in a Subtropical Forest in Southern Brazil**. Remote Sensing, v. 9, p. 838. 2017a.

SANTOS, G. D.; FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. **Minera o de dados aplicada   discrimina o da cobertura da terra em imagem LANDSAT 8 OLI**. Boletim de Ciências Geod sicas, v. 21, n. 4, 2015.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 7a ed. Hoboken: Wiley, 2015.

ROUSE JR, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In **Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium** - Washington, DC, USA, p. 10-14. 1973

ROBINSON, N. P. et al. **Dynamic Landsat Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for the Conterminous United States**. Remote Sensing. 9, 863. 2017.

BERTOLIN, N. O.; FILGUEIRAS, R.; VENANCIO, L. P.; MANTOVANI, E. C. **Predic o da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.11, n .4, p. 1627 - 1638, 2017

ANDRADE, R. G.; BATISTELLA, M.; BARBOSA, R. A.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; LIMA, E. P. **Aplica o de técnicas de sensoriamento remoto na estimativa da biomassa vegetal de pastagem no mato grosso do sul**. XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Belo Horizonte, 2009.