

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UniEVANGÉLICA
CURSO DE AGRONOMIA**

**ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO MILHO UTILIZANDO
SENSORIAMENTO REMOTO**

Franklin Hiroshi Nakayama Raitz

**ANÁPOLIS-GO
2020**

FRANKLIN HIROSHI NAKAYAMA RAITZ

**ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO MILHO UTILIZANDO
SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Anápolis- UniEVANGÉLICA, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Área de concentração: Sensoriamento Remoto

Orientador: Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza

**ANÁPOLIS-GO
2020**

Raitz, Franklin Hiroshi Nakayama.
Estimativa da produtividade do milho utilizando sensoriamento remoto / Franklin Hiroshi Nakayama Raitz – Anápolis: Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, 2020.
29 páginas.

Orientador: Prof. Dr. João Maurício F. Souza
Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Agronomia – Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, 2020.

1.Grãos. 2. Imagens de satélite 3. Monitoramento. I. Franklin Hiroshi Nakayama Raitz. II. Estimativa da produtividade do milho utilizando sensoriamento remoto.

CDU 504

Permitida a reprodução total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O Autor

FRANKLIN HIROSHI NAKAYAMA RAITZ


**ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO MILHO UTILIZANDO
SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada ao Centro
Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

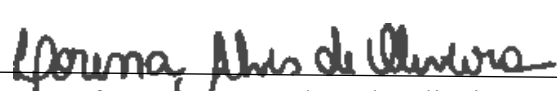
Área de concentração: Sensoriamento
Remoto

Aprovada em: 14 / 12 / 2020

Banca examinadora



Prof. Dr. João Maurício Fernandes
Souza UniEvangélica
Presidente



Prof. Dra. Lorena Alves de Oliveira
UniEvangélica



Me. Carolina Carvalho Rocha
Sena Membro externo

Dedico esse trabalho a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

Sou grato à minha família e amigos pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha jornada.

Agradeço à minha namorada que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador, Dr. João Maurício F. Souza pelo incentivo, dedicação e comprometimento.

Também quero agradecer à UniEVANGÉLICA e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

“Maior que a tristeza de não haver vencido é a vergonha de não ter lutado!”.

Rui Barbosa

SUMÁRIO

RESUMO	ix
1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 CULTURA DO MILHO.....	12
2.2 FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO MILHO	13
2.3 MÉTODOS PARA A PREVISÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO.....	14
2.4 USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA AGRICULTURA	15
2.5 NDVI - <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5 CONCLUSÃO	26
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

RESUMO

A estimativa do potencial produtivo da cultura do milho ao longo do ciclo de desenvolvimento é uma das novas práticas agrícolas, que vem sendo utilizadas para qualificar o manejo da cultura. Nesse sentido destaca-se a inserção de sensores remotos, com a finalidade de realizar o monitoramento do desenvolvimento produtivo da cultura. O objetivo do presente trabalho foi modelar uma equação empírica utilizando a relação de índices de vegetação (NDVI, IAF e SAVI) obtido por imagens de satélite Landsat 8, correlacionados com a produtividade do milho obtido em campo como ferramenta de predição da produtividade. Para isso, foram aplicados três métodos de predição da produtividade: método direto, o proposto pela Emater–MG e por Reetz. A estimativa de produtividade obtida em campo foi correlacionada com os índices de vegetação obtido a partir de imagens do satélite Landsat 8 no período anterior e posterior ao florescimento masculino da cultura do milho, MG652PWU. Foram geradas equações lineares correlacionando a produtividade do milho encontrada em campo e os valores encontrados para os índices de vegetação. O método que apresentou a melhor predição foi aquele que correlacionou o NDVI com o método de estimativa de produtividade proposto pela EMATER – MG ($R^2 = 0,96$), com imagens de satélite obtidas no dia 12 de abril, período anterior ao florescimento masculino da cultura do milho.

Palavras-chave: Grãos. Imagens de satélite. Monitoramento. Landsat 8

1 INTRODUÇÃO

O milho é um dos grãos que dominam o mercado agrícola no mundo. Este cereal representa a maior quantidade produzida e o que registrou os maiores aumentos de produção no mundo, isto se deve ao crescimento da produtividade nos países em desenvolvimento. O crescimento da produção é resultado do desenvolvimento do mercado, proporcionado pelas possibilidades do uso do milho, tanto como alimento humano, como alimento animal e uso processamento industrial. Esta característica torna-o um produto estratégico para países de alta e de baixa renda. Embora o milho seja usado para alimentação animal em países mais desenvolvidos, continua sendo um componente importante na alimentação da população de muitos países, principalmente na África e na América Central (GARCIA, 2006).

O sensoriamento remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto, essas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise, ou seja, interpretação e extração de informações da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos (MOREIRA, 2008).

A energia eletromagnética usada para obter os dados por sensoriamento remoto é denominada de radiação eletromagnética, a quantidade e qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resultam das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos, essas interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos. No entanto, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características, assim, os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais (MOREIRA, 2008).

Segundo Florenzano (2002), as imagens de satélite fornecem uma visão sinótica (como um todo) e multitemporal (dinâmica) de grandes áreas da superfície da Terra. Portanto, imagens de satélite da área permitem uma visão do todo, o que permite obter informações que não seriam possíveis de obter sem usá-las. Moreira (2005), também aponta que os dados de refletância dos alvos, podem ser transformados em índices de vegetação, criados com a intenção de destacar o comportamento espectral, da vegetação em relação ao solo e outros alvos na superfície da

terrestre, um dos índices amplamente utilizados é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Compreende-se que o potencial produtivo da cultura do milho pode ser monitorado desde o início de seu desenvolvimento fenológico até a sua maturação plena, o que é determinante para a construção do potencial produtivo da planta, uma vez que entre estes estágios ocorrem a formação e a definição dos principais componentes de rendimento de grãos em milho, sendo, o número de plantas por m² e número de grãos por espiga (ROMANO, 2005).

É preciso ressaltar a dificuldade em estimar o potencial produtivo da cultura do milho, durante o desenvolvimento, pelo fato das inúmeras condições adversas que podem ocorrer durante o ciclo, com isso, a estimativa do potencial produtivo torna-se imprescindível a cada safra. Com o incremento tecnológico, ao considerar a dimensão espacial existente do ponto de vista do solo, competição com plantas daninhas, adubação e culturas antecessoras, entre outros fatores, busca-se cada vez mais o ajuste de ferramentas que auxiliem na tomada de decisões (VIAN et al., 2018).

Na busca de minimizar a influência da reflectância do solo sobre o NDVI, Huete (1988) incorporou o fator L, dando origem ao índice Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). Onde esse fator promove um ajuste conforme a cobertura do solo, buscando minimizar os efeitos da cor do solo nos resultados do índice, com base nas características dos solos e o tipo de cobertura, este fator pode variar entre 0 (vegetação densa) e 1 (vegetação mais rala). O valor de L igual a 0,5 vem sendo utilizado na maioria dos casos, independentemente do tipo de solo e considerar uma cobertura vegetal de densidade intermediária, e em áreas mais densas, adota-se a constante $L= 0.25$. Quando o L é igual a 0, o SAVI é análogo ao NDVI (HUETE, 1988; MENESES E ALMEIDA, 2012).

Utiliza-se o NDVI para estimar o Índice de Área Foliar (IAF) em diferentes tipos de formações florestais, entretanto, em alguns casos, esse índice tem se mostrado mais sensível às variações do solo, não representando as características e as mudanças ocorridas na arquitetura do dossel vegetal, além do problema da saturação, para elevados valores de IAF (FASSNACHT et al; 1997).

Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi modelar uma equação empírica, utilizando a relação dos índices de vegetação obtidos a partir de imagens de satélite correlacionando-os com a produtividade do milho obtida em campo como ferramenta de predição da produtividade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO MILHO

O milho é uma gramínea pertencente à família Poaceae e sua espécie é *Zea mays L.* todos os milhos estão inclusos nessa espécie e pertencem à tribo *Maydeae*, que possui sete gêneros, dos quais dois são nativos do hemisfério ocidental e cinco da Ásia. Estima-se que a América Central ou o México seja sua região de origem, tendo se desenvolvido 8 ou 10.000 anos atrás (PATERNIANI et al., 2000).

O caráter monoico e sua morfologia característica são o resultado da supressão, condensação e multiplicação de várias partes da anatomia básica das gramíneas. Os aspectos vegetativos e reprodutivos da planta de milho podem ser modificados através da interação com fatores ambientais que afetam o controle da ontogenia do desenvolvimento. No entanto, o resultado geral da seleção natural e da domesticação foi a produção de uma planta anual robusta e vertical de um a quatro metros de altura, esplendidamente "construída" para a produção de grãos (MAGALHÃES, 2002).

Essa cultura é uma das plantas cultivadas de maior interesse, quanto à sua origem, estrutura e variação. Somente é conhecido em cultivo, na sua forma atual, não apresenta indicativos de que poderia subsistir sem os cuidados do homem. A pesquisa tem desenvolvido tipos tão diferentes de milho que seu cultivo é possível desde o Equador até o limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3.600 metros. Essa adaptabilidade, representada por genótipos variados, é paralela à variedade de sua utilização como alimento, forragem ou na indústria (EMBRAPA, 2015).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2020), a estimativa produção de milho primeira safra, na temporada 2019/20, é de 4,23 milhões ha, 3,2% maior que a área cultivada na safra 2018/19, influenciada pelas boas cotações atuais do cereal. Entretanto, houve problemas climáticos, sendo falta de chuva na Região Sul, sobretudo no Rio Grande do Sul, os quais prejudicaram o potencial produtivo das lavouras, o que deverá resultar em um rendimento 24,3% menor que na última safra.

Enquanto isso, ainda há áreas sendo semeadas no MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), mesmo com substituição de lavouras de soja por milho, nesta safra. A segunda safra de milho tem a semeadura acontecendo de acordo com o avanço da colheita da soja. Mato Grosso, principal estado produtor, é o mais adiantado no plantio do milho, com mais de 92% semeado até o fim de fevereiro, e uma expectativa de um incremento de 9% na área de milho,

tendo em vista sua rentabilidade atual e as condições climáticas favoráveis ao cultivo (CONAB, 2020).

A estimativa para o milho de terceira safra é de 1,16 milhão t, esse milho, que tem sua oferta, principalmente, na região da SEALBA (Sergipe, Alagoas e nordeste da Bahia), além de Pernambuco e Roraima, é produzido num calendário parecido com o do Hemisfério Norte, concentrando-se no período entre maio e junho. Dessa forma, a estimativa nacional de produção de milho, considerando a primeira, segunda e terceira safras, na temporada 2019/20, deverá apresentar um volume semelhante ao da safra 2018/19, e resultar numa produção de 100,1 milhões t (CONAB, 2020).

2.2 FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO MILHO

Há diversos fatores que interferem na produtividade no cultivo do milho, a adubação é um dos fatores, uma vez que, o nitrogênio (N) é fundamental no metabolismo da planta, atuando diretamente na biossíntese de proteínas e clorofilas, sendo um dos nutrientes que apresenta os efeitos mais significativos no aumento da produtividade da cultura do milho (BÜLL, 1993).

Os fatores climáticos também afetam na adaptação de híbridos de milho, de acordo com Durães (2006) alguns desses fatores são: latitude, altitude, chuva, topografia, textura do solo, composição do solo, radiação solar, comprimento do dia, temperatura. Com isso, a relação negativa desses fatores leva a redução na produção (DURÃES, 2006).

Para Duarte et al. (1995), o fator térmico é o principal entrave para o desenvolvimento da produtividade do milho, entretanto algumas regiões, a deficiência hídrica passa a ser o fator mais importante. A temperatura tem imprescindível influência na duração do ciclo do milho, pois condiciona as taxas dos processos fisiológicos, podendo retardá-los ou acelerá-los.

Em suma, o milho é de origem tropical, que exige durante o seu ciclo vegetativo temperatura, luminosidade e umidade em quantidade adequada para se desenvolver e produzir. Para que ocorra a plena produtividade, é preciso uma precipitação de em torno 350-500 mm no verão, sendo que na fase entre espigamento-maturação o gasto hídrico pode alcançar de 5,0-7,5 mm diários. A água disponível para a cultura encontra-se na dependência da profundidade explorada pelas raízes, da capacidade de armazenamento de água no solo e da densidade radicular da planta (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A baixa temperatura, em geral, é um fator determinante para provocar alongamento do ciclo da cultura, uma vez que temperaturas elevadas provocam redução na duração do ciclo; as temperaturas ideais para o crescimento de milho se encontram na faixa de 25 e 30°C. Quando a temperatura do solo alcança limite inferior a 10°C e/ou superior a 42°C a germinação é afetada negativamente, enquanto a faixa de 25 a 30°C é a mais adequada para a germinação e emergência da cultura (FANCELLI, 2001).

2.3 MÉTODOS PARA A PREVISÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Segundo Hauagge; Madalóz (2020), com o transcorrer do tempo, com o avanço das tecnologias, muitos produtores mudaram sua forma de pensar, agir e atuar, ainda, na maioria dos casos, eles anseiam pelo saber da produtividade da cultura que está no campo bem antes do momento da colheita. Esse comportamento de ter uma “ideia” de qual será o rendimento a nível de campo é útil, pois esta informação é fundamental para que o produtor possa se preparar para a colheita da safra, otimizando o trabalho das máquinas, verificando questões relacionadas ao armazenamento e gerenciar a comercialização do grão.

Existem diversos meios para estimar a produtividade na cultura do milho, apesar de serem diferentes eles convergem para o mesmo ponto. Os componentes de rendimento da lavoura, fora que as estimativas realizadas em uma lavoura ou talhão são baseadas nas amostras representativas dos locais da avaliação e na produção prevista para este local, é imprescindível a escolha do local da avaliação, pois qualquer condição diferenciada do espaço pode levar os cálculos a uma produtividade superior ou inferior à realidade, os métodos propostos a seguir servem como um “guia-base” quando se trata de fazer comparações (MADALÓZ, 2017).

O método mais simples para estimativa da produtividade é o método direto. Este método baseia-se em uma amostra do peso média de grãos de milho coletadas aleatoriamente na área sendo extrapolado o peso médio por planta para a população de plantas total da área. Ressalta-se que quanto maior for o número de espigas coletadas e avaliadas, menor será a margem de erro para a produtividade real no momento da colheita (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Um dos métodos que tem sido utilizado para estimar a produtividade do milho é o utilizado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais - EMATER-MG utilizado em diversas propriedades agrícolas participantes do concurso anual

de produtividade de milho do estado. Nesse método, a amostragem é realizada em quatro pontos, por meio de sorteio de quatro fileiras de 10 m lineares por ponto e colheita de 80 espigas no total. Nas áreas com 10 a 50 ha e área mínima de 25 ha com um mesmo cultivar, a amostragem é realizada em 4 pontos, mas sorteando-se oito fileiras de 10 m lineares por ponto e colhendo-se 160 espigas no total. Nas áreas acima de 50 ha e área mínima de 50 ha com um mesmo cultivar, também são amostrados quatro pontos, sendo colhido 1,0 ha por ponto com uma colhedora mecânica e calculada a perda na colheita (EMATER-MG, 2000).

Outro método que vem sendo colocado é o desenvolvido na Universidade de Illinois (REETZ, 1987), nos Estados Unidos, o qual se baseia na coleta de espigas na pré-colheita, onde estimada a produtividade de grãos a contar da contagem do número de espigas, do número de fileiras de grãos e do número de grãos por fileira de cada espiga, nesse método, em vários pontos da lavoura com área de 4 m², todas as espigas são contadas e somente três espigas são colhidas por ponto de amostragem.

Determina-se o número de fileiras de grãos e o número de grãos por fileira para cada espiga, sendo estes dados utilizados em uma expressão para se estimar a produtividade de grãos. Tendo em vista que o método não fixa o número de pontos amostrados, nem determina o número de pontos de acordo com a área da lavoura, para se obter uma maior precisão recomenda-se comparações entre áreas distintas ou entre diferentes práticas de manejo, ou ainda o aumento no número de amostras na lavoura. Variações no peso e no tamanho dos grãos, características do híbrido, fatores de manejo e a ocorrência de condições ambientais inesperadas poderão afetar as comparações (REETZ, 1987).

Com tudo isso, Venancio et al. (2019), reafirma que a estimativa de produtividade das culturas antes da colheita é fundamental para tomada de decisões e gestão da produção agrícola, visto a primordialidade de estimar com precisão o rendimento das culturas o quanto antes a sua colheita, ainda que propriedades rurais, as estimativas de produtividade de grãos, são geralmente baseadas em experiência pessoal e, ou, medidas de campo com baixa representatividade, o qual pode culminar com grande imprecisão nas estimativas. Por outro lado, os dados provenientes de sensoriamento remoto (SR), possuem grande potencial em fornecer informações precisas e especializadas com elevada cobertura sobre a produção de biomassa e produtividade das culturas.

2.4 USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA AGRICULTURA

Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre através da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES et al., 2012). A utilização de geotecnologias como sensoriamento remoto vem sendo utilizada de forma extensiva na Agricultura de Precisão (AP), o que possibilita calcular índices de vegetação para estimar os componentes de produção de culturas agrícolas (ZERBATO et al., 2016).

Dessa forma, o uso do sensoriamento remoto na agricultura pode ser utilizado para assessorar no monitoramento do desenvolvimento das plantas, e de seu estado nutricional em relação ao nitrogênio. Um dos principais avanços da agricultura de precisão (AP) foi a implantação de sensores de vegetação, como supracitado, permitem estimativa da produtividade da cultura ao longo do ciclo de desenvolvimento (KANEKO et al., 2010; CHIODEROLI et al., 2012).

O sensoriamento remoto, através do emprego de sensores proximais de vegetação, proporciona o monitoramento do teor de clorofila nas folhas e da quantidade de biomassa vegetal da parte aérea (ESQUERDO et al., 2011). Os sensores proximais variam em função da quantidade de bandas utilizadas e do índice de vegetação utilizado pelo equipamento, destacando-se os sensores comercialmente disponíveis Crop Circle®, N-Sensor® e Greenseeker® (HUERTA et al., 2013).

Um dos índices de vegetação mais utilizados é o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - *Normalized difference vegetation index*), o qual pode ser empregado para a identificação da variabilidade espacial da produção de biomassa vegetal em uma lavoura. Essa variabilidade pode ser causada por variações na população e no crescimento de plantas, nutrição, incidência de doenças e pragas, entre outros, determinando potenciais produtivos da cultura do milho espacialmente variáveis na área, sendo assim, o potencial produtivo deve ser estimado durante o desenvolvimento vegetativo, para que ocorra direcionamento do manejo, buscando a maximização da produtividade (GROHS, 2009).

2.5 NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

O índice de vegetação por diferença normalizada, conhecido como NDVI, é muito utilizado em estudos com diferentes tipos de vegetação, pois permite a construção de perfis sazonal e temporal da vegetação, caracterizado pela duração do período de crescimento, pico

de verde e períodos de senescência determinando o padrão fenológico de diferentes tipologias vegetais, o NDVI é calculado pela seguinte relação (equação 1):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

Em que, NIR: Reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo; R: Reflectância da vegetação na banda do vermelho (ROUSE et al., 1973).

Segundo Meneses; Almeida (2012), o resultado fornecido por este índice será maior que zero e assumirá um valor positivo em áreas de densa cobertura vegetal. O índice RVI resultará na formação de uma nova imagem monocromática, e com esta, será possível obter informações a partir da avaliação da intensidade dos níveis de cinzas, nas regiões com maior presença de níveis de cinza tem-se alta densidade de vegetação, enquanto para as áreas com tons mais claros, apontam a perda ou ausência de espécies vegetais, presença de corpos hídricos, solo exposto e outros alvos. Este índice, entretanto, é suscetível a erros pela divisão por zero e a escala resultante da medida, que pode ser não linear.

Conforme Soares et al. (2007), o NDVI é dado pela razão entre as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, e visa eliminar diferenças sazonais do ângulo de elevação solar e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica em imagens multitemporais, por ser mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos da vegetação responsáveis pela absorção da radiação fotossinteticamente ativa, o NDVI está diretamente relacionado à produtividade da vegetação.

Ainda, por apresentar rápida saturação em seus valores, o NDVI é pouco sensível à detecção de variações no aumento de biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento, ou seja, “o índice estabiliza em um patamar apresentando um mesmo valor, embora a densidade do dossel aumente” (WARDLOW; EGBERT, 2010; ZANZARINI et al., 2013).

Visto que a estimativa da produtividade das culturas antes da colheita é fundamental para tomada de decisões e gestão da produção agrícola. Assim, torna-se necessário estimar com precisão o rendimento das culturas o quanto antes a sua colheita, e um dos índices de vegetação mais utilizados é o Índice de vegetação por diferença normalizada NDVI - *Normalized difference vegetation index*, o qual pode ser empregado para a identificação da variabilidade espacial da produção de biomassa vegetal em uma lavoura.

Essa variabilidade pode ser causada por variações na população e no crescimento de plantas, nutrição, incidência de doenças e pragas, entre outros, determinando potenciais produtivos da cultura do milho espacialmente variáveis na área. Assim, o potencial produtivo deve ser estimado durante o desenvolvimento vegetativo, para que ocorra direcionamento do manejo, buscando a maximização da produtividade (GROHS et al., 2009).

O SAVI (equação 2), consiste na própria fórmula do NDVI, acrescida de uma constante L, que varia de 0 a 1, dependendo do grau da maior ou menor cobertura do solo, respectivamente (BARET; GUYOT; MAJOR, 1989). O SAVI é obtido pela seguinte relação:

$$\text{SAVI} = (1 + L_s) (\text{NIR} - R) / (L_s + \text{NIR} + R) \quad (2)$$

Em que NIR: Reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo, R: Reflectância da vegetação na banda do vermelho, L_s é uma constante denominada de fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1 dependendo da cobertura do solo. Conforme Huete (1988) um valor para L_s de 0,25 é indicado para vegetação densa e de 0,5 para vegetação com densidade intermediária, quando o valor de L_s for 1 para vegetação com baixa densidade. Se o valor do SAVI for igual a 0, seus valores tornam-se igual aos valores do NDVI. Portanto o valor de L_s mais utilizado é 0,5.

O IAF (equação 3) é um imprescindível parâmetro biofísico da vegetação, sendo definido como a área foliar total projetada por unidade de área de terreno (m² m⁻²) (DAUGHTRY et al., 1992). Sua importância é devido a relação com a biomassa vegetal e por caracterizar a arquitetura do dossel, fornecendo informações importantes sobre o vigor da cobertura vegetada e justificando a diversidade de estudos em sensoriamento remoto, envolvendo estimativas deste parâmetro, as quais permitem uma avaliação das condições fisionômicas e fisiológicas dos dosséis e análises quantitativa e qualitativa das obtido pela seguinte equação empírica (ALLEN, 2002):

$$\text{IAF} = (\ln(0,69 - \text{SAVI}/0,59))/0,91 \quad (3)$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho em campo foi conduzido na fazenda Extrema, em área de 10 ha, (Figura 1) localizada na zona rural, do município de Anápolis-GO, apresentando as seguintes coordenadas geográficas, latitude 16°23'27"S e longitude 48°52'41"W, com altitude de 1.090 m. O clima desta região é classificado como Aw (tropical com estação seca), com chuvas de outubro a abril, precipitação pluviométrica média anual de 1.450 mm, onde o inverno possui uma pluviosidade muito menor que o verão. A temperatura média anual é de 22°C, com mínima de 18°C e máxima de 28°C e o solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS, 2013).

Para a semeadura foram utilizadas sementes do híbrido simples recomendado para a área, cultivar MG652PWU da Morgan®, este híbrido é indicado preferencialmente nos primeiros plantios e nas melhores áreas, indicado para os plantios de verão e safrinha. A semeadura foi realizada em área de cultivo pelo segundo ano, pelo sistema de plantio direto, no dia 14 de fevereiro de 2020, com o espaçamento de 0,45 m, foram distribuídas 2,4 sementes m⁻¹ para se atingir as populações de 53.300 mil plantas ha⁻¹ respectivamente para as linhas em espaçamento simples espaçada de 0,45m.

A adubação foi aplicada de acordo com as necessidades da cultura, sendo recomendado 300 kg.ha⁻¹ de 05-25-15 (NPK) no sulco de semeadura conforme recomendação para a cultura. No estágio V4, aproximadamente 22 dias após a semeadura da cultura foi realizada a adubação de cobertura com ureia, e para produtividade esperada de 110 sc.ha⁻¹ conforme dados fornecidos pelo representante da Morgan. Quinze dias após a semeadura foram aplicados 300 ml ha⁻¹ de Soberan ® para a eliminação das plantas daninhas germinadas.

Para obtenção dos índices de vegetação utilizou – se de imagens captadas pelo sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite Landsat-8. As imagens pertencentes a órbita 222 e ponto 71 foram adquiridas no site do *United States Geological Survey* (USGS), mediante a um cadastro e autorização do órgão. Após, selecionou – se imagens sem a presença de nuvens sobre a área de interesse, durante todo ciclo da cultura. As imagens foram processadas e os índices de vegetação foram obtidos a partir da ferramenta “*raster calculator*”, constante no ArcMAP 10.6 (ESRI, 2019). Foram obtidos os seguintes índices de vegetação: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF) utilizados na modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro

eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes informações sobre a evapotranspiração das plantas (JENSEN, 2009).

A modelagem dos índices de vegetação baseia-se no comportamento oposto da refletância da vegetação na região do visível, ou seja, quanto maior a densidade vegetal, menor é a refletância em função da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes e quanto maior densidade vegetal, maior a refletância devido ao espalhamento nas diferentes camadas das folhas.

A estimativa da produtividade foi avaliada a partir da aplicação de três métodos; o método direto, o proposto por Reetz (1987), e o indicado pela Emater (2000), os resultados, foram correlacionados aos valores de NDVI, SAVI e IAF obtidos nas seguintes datas 12 e 28 de abril de 2020, no período V18 próximo ao florescimento masculino e posterior a ele com o objetivo de modelar uma equação empírica, utilizando a relação dos índices de vegetação com a produtividade do milho obtida em campo como ferramenta de predição da produtividade. As análises foram realizadas no software Microsoft Excel 2016[®] e ArcGIS 10.6[®].



Figura 1- Área de produção de milho localizado na Fazenda Extrema, Anápolis-GO.
Fonte: Google Earth, 2020.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as datas de avaliação, foi realizada a correlação do resultado obtido em campo a partir dos três modelos de estimativa de produtividade aos valores obtidos a partir dos índices NDVI, SAVI e IAF (Figuras 2 a 7). O melhor resultado, foi aquele que correlacionou o NDVI com o método de estimativa de produtividade proposto pela EMATER – MG ($R^2 = 0,96$), com imagens de satélite obtidas no dia 12 de abril (Figura 2), período anterior ao florescimento masculino da cultura do milho.

O NDVI é um dos índices mais utilizados no monitoramento das culturas agrícolas e da vegetação em geral, em função da sua habilidade em descrever a cobertura fotossinteticamente ativa. Ao avaliar os dados obtidos a partir de sensoriamento remoto para os dias 12 e 28 de abril 2020, foi possível identificar que os resultados obtidos no dia 12 de abril estimaram com eficácia o índice de produtividade (Kg.ha^{-1}) a partir da equação: $\text{Produtividade} = 3\text{E}^{-05}\text{NDVI} + 0,5195$ (Figura 2c).

Ao correlacionar os demais índices de vegetação com os diferentes métodos de estimativa de produtividade em campo, os valores de R^2 ficaram afastados de 1, denotando uma correlação inferior ao método proposto pela EMATER quando comparado ao NDVI. Para a imagem do dia 12 de abril os valores de R^2 foram de 0,0004 para o método simples e 0,8277 para o método proposto por Reetz. Para o dia 28 de abril foram encontrados os seguintes valores de R^2 para o NDVI quando correlacionado ao método da EMATER ($R^2 = 0,7978$), Simples ($R^2 = 0,603$) e Reetz ($R^2 = 0,5594$).

Para imagem do dia 12 de abril, ao correlacionar os métodos de produtividade em campo com o índice de vegetação SAVI, os valores de R^2 encontrados para os métodos EMATER, Simples e Reetz foram de: 0,9393, 0,0021, 0,8473, respectivamente. Ao correlacionar os métodos de produtividade em campo com o índice de vegetação IAF para o dia 12 de abril, os valores de R^2 encontrados para os métodos EMATER, Simples e Reetz foram de: 0,9543, 0,0001, 0,837, respectivamente.

Para a imagem do dia 28 de abril, ao correlacionar os métodos de produtividade em campo com o índice de vegetação SAVI, os valores de R^2 encontrados para os métodos EMATER, Simples e Reetz foram de: 0,767, 0,0607, 0,5294, respectivamente. Ao correlacionar os métodos de produtividade em campo com o índice de vegetação IAF para a imagem do dia 28 de abril, os valores de R^2 encontrados para os métodos EMATER, Simples e Reetz foram de: 0,8046, 0,0332, 0,539, respectivamente.

Para efeito de comparação, foi realizado a pesagem dos grãos colhidos, na colhedora, obtendo se uma produtividade de 7020Kg ha⁻¹ . Pelo método da EMATER – MG, a produtividade obtida foi de 7558Kg ha⁻¹ , para o método proposto por Reetz, 6726 Kg ha⁻¹ e pelo método simples, de 8208 Kg ha⁻¹ em média. Os dados de produtividade da área a partir da pesagem da massa total de grãos colhidos foram obtidos 10 dias após a coleta de dados em campo, em condições inferiores de umidade do grão. O que demonstra a confiabilidade do método proposto pela EMATER que foi o que mais se aproximou ao obtido em campo.

E é nesse sentido, que ressalta-se o quanto os dados de reflectância estão sendo correlacionados com as características das plantas, devido a ela ter a capacidade de refletir radiação eletromagnética que pode ser estudada (SHIRATSUCHI, 2014). A partir dessa reflectância emitida pelas plantas se torna possível a utilização dos índices de vegetação, seja para a identificação de estresse da vegetação, utilizar para identificação de áreas afetadas por pragas e doenças, perdas causadas por animais silvestres, falha de plantio e deficiências nutricionais da vegetação (ANDRADE et al., 2019).

O sensoriamento remoto está presente na agricultura de precisão, ele é utilizado de maneira eficiente e rápida para coleta de dados de grandes áreas agrícolas, dentre essas áreas, o milho que é um dos principais cereais cultivados no mundo, sendo o segundo maior cereal cultivado no Brasil, estando abaixo apenas da cultura da Soja (CONAB, 2019). No Brasil ele é cultivado em duas safras, a primeira safra, semeada entre os períodos de setembro a dezembro, segunda safra, conhecida como safrinha, semeada entre os meses de janeiro e fevereiro.

Destaca-se que o desenvolvimento produtivo do milho, engloba inúmeros fatores, dentre eles, de acordo com Lozada; Angelocci (1999) todos os processos fisiológicos e funções da planta ocorrem dentro de limites térmicos no ambiente em que elas se desenvolvem e para completarem cada subperíodo do desenvolvimento, as plantas necessitam de um somatório térmico. E ao correlacionar com esse estudo, notou – se que o milho poderia ter apresentado uma maior produtividade, se houvesse mais chuva, esse fator climático interferiu no desenvolvimento das espigas, logo, na produtividade.

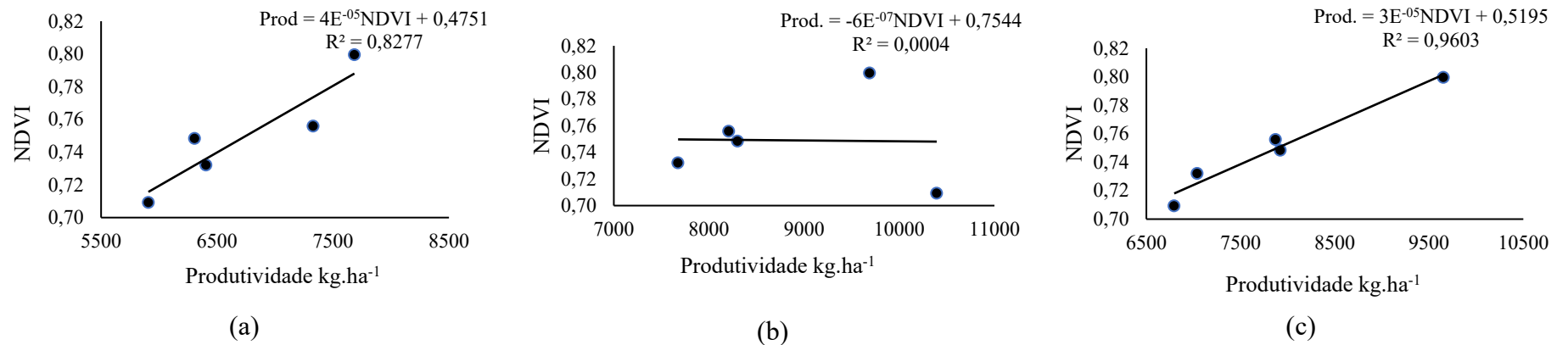


FIGURA 2 - Comparação do método Reetz (a), Simples (b) e EMATER (c) e o NDVI, para o dia 12 de abril em Anápolis – Goiás.

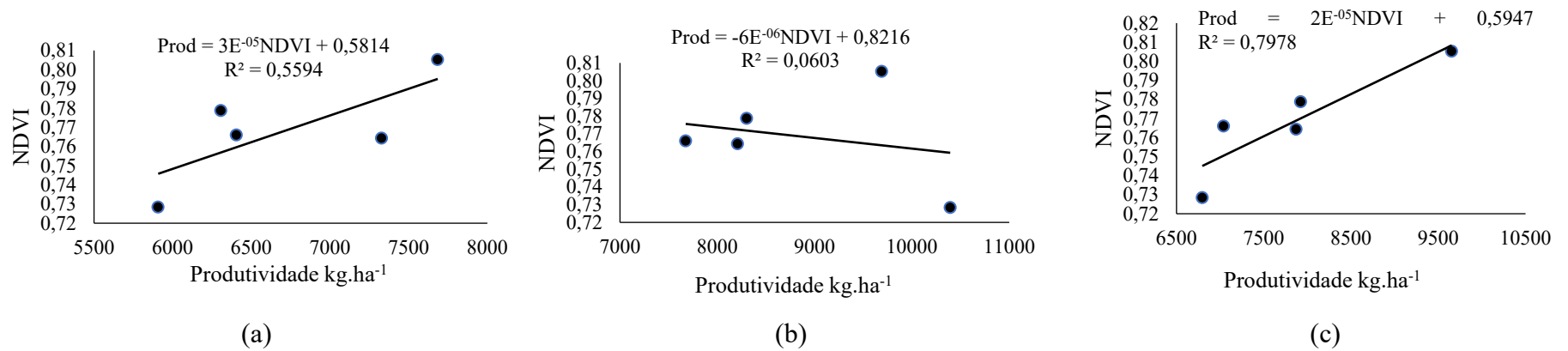


FIGURA 3 - Comparação do método Reetz (a), Simples (b) e EMATER (c) e o NDVI, para o dia 28 de abril em Anápolis – Goiás.

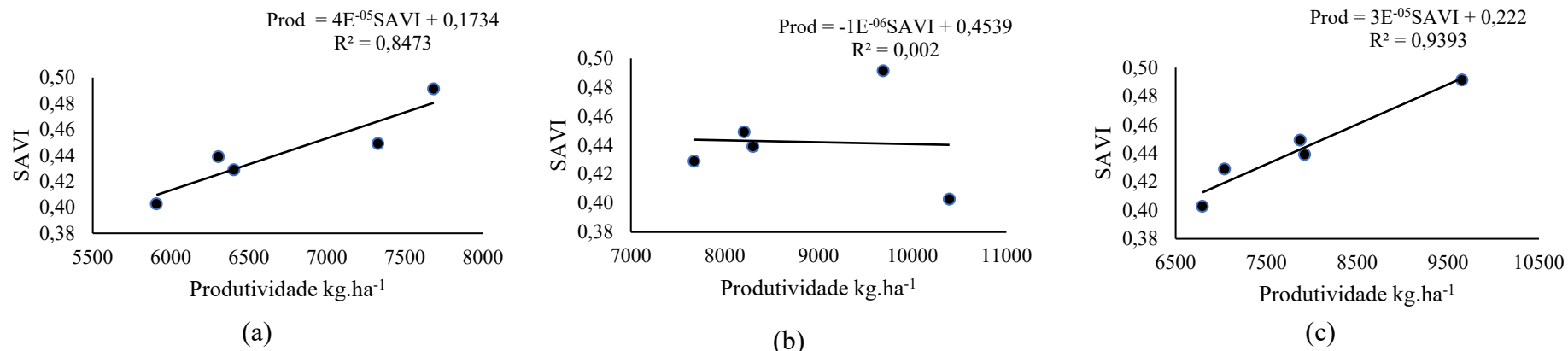


FIGURA 4 – Comparação do método Reetz (a), Simples (b) e EMATER (c) e o SAVI, para o dia 12 de abril em Anápolis – Goiás.

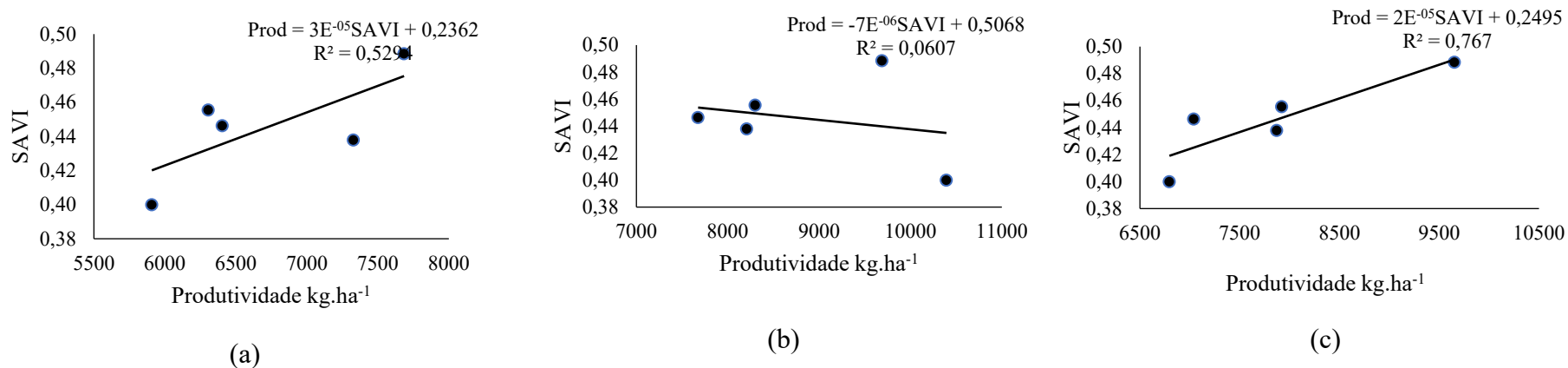
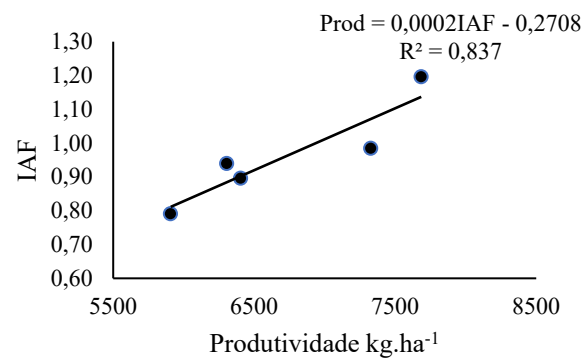
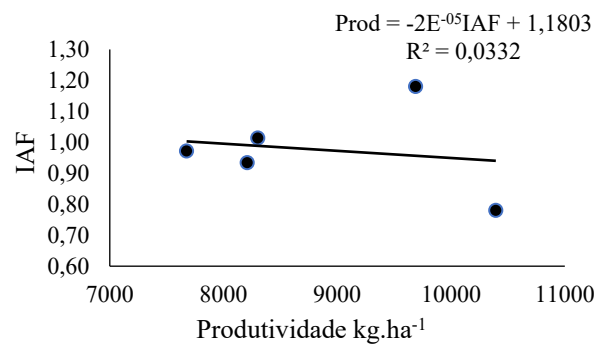


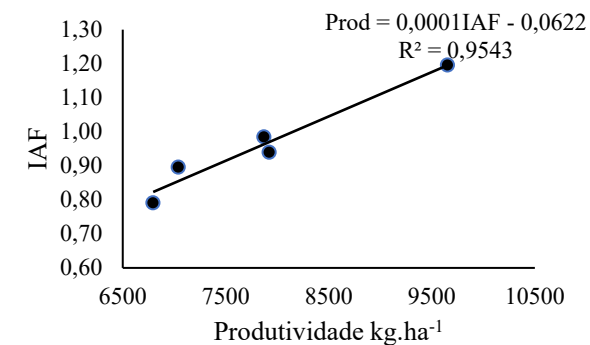
FIGURA 5 - Comparação do método Reetz (a), Simples (b) e EMATER (c) e SAVI, para o dia 28 de abril em Anápolis – Goiás.



(a)

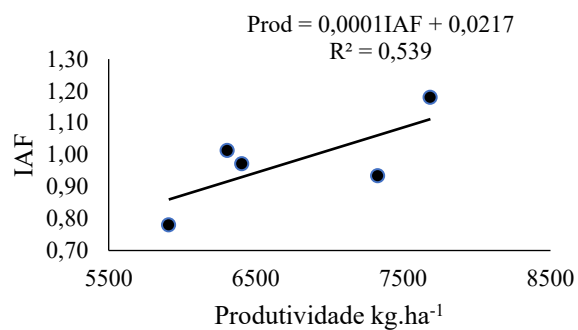


(b)

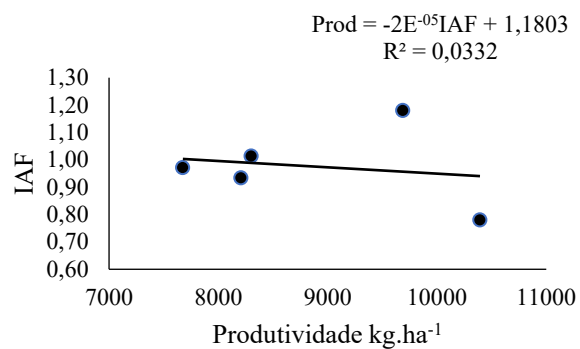


(c)

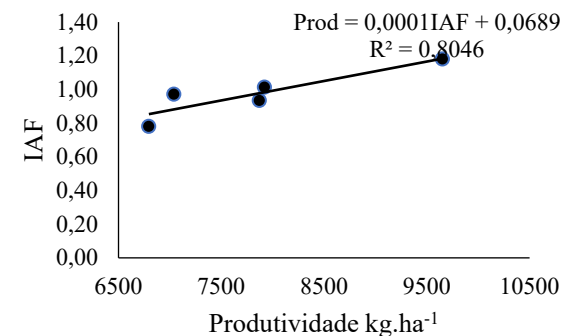
FIGURA 6 - Comparação do método Reetz (a), Simples (b) e EMATER (c) e o IAF, para o dia 12 de abril em Anápolis – Goiás.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 7 - Comparação do método Reetz (a), Simples (b) e EMATER (c) e IAF, para o dia 28 de abril em Anápolis – Goiás.

5 CONCLUSÃO

Para a cultura do milho, o método que melhor estimou a produtividade, quando correlacionado aos índices de vegetação foi o proposto pela EMATER – MG ($R^2 = 0,96$), quando correlacionado ao NDVI no período anterior ao florescimento masculino da cultura. A produtividade do milho pode ser estimada a partir da equação: $\text{Produtividade} = 3E^{-05}\text{NDVI} + 0,5195$.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. **SEBAL Surface Energy Balance Algorithm for Land – Advanced Training and Users Manual** – Idaho Implementation, version 1.0, 2002a.

ANDRADE, R.; HOTT, M.; MAGALHAES, W. C. P.; OLIVEIRA, P. D.; OLIVEIRA, J. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro**. Embrapa Gado de Leite- Documentos (INFOTECA-E), 2019.

BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. J. **TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation**. In: international geoscience and remote sensing symposium (IGARSS'89); CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 12., 1989, Vancouver. Proceedings. 1989. p. 1355-1358

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R.; CARDOSO, L. S.; SILVA, M. I. G. **Clima da Estação Experimental da UFRGS e região de abrangência**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78 p.

BÜLL, L.T. **Nutrição mineral do milho**. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. **Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho**. Informações Agronômicas, n. 122, p. 12-14, 2008.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acomp. safra bras. – grãos: Terceiro levantamento**, Dezembro 2019 – Safra 2019/20.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. ISSN 2318-6852 Acomp. safra bras. grãos**, v. 7 - Safra 2019/20 - n. 6 - Sexto levantamento, Brasília, p. 131.2020.

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; COLSTOUN, E. B.; McMURTREY III, J. E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229-239, 2000.

DUARTE, A.P.; KANTHACK, R.A.D.; SPINOSA, W.; ALLIPRANDINI, L.F. **Efeito da geada na produção e qualidade de grãos de milho**. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 3., 1995, Assis. Resumos Campinas: IAC, 1995. p.61-4.

DURÃES, F.O.M. **Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixa**. 2006. Artigo em Hypertext.

EMBRAPA. **Sistema de produção**. 9. ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2015.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DE MINAS GERAIS. **Regulamento do concurso estadual de produtividade de milho ano 2000/2001**. Belo Horizonte, 2000. 11 p

ESQUERDO, J. C. D. M.; ZULLO, J.; ANTUNES, J. F. G. Use of NDVI/ AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 32, n. 3, p. 3711-3727, 2011. DOI: 10.1080/01431161003764112.

FANCELLI, A. L. **O sistema de plantio direto. Curso de Especialização à Distância: Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba/SP, 2002.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Ecofisiologia e fenologia**. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FASSNACHT, K.S., GOWER, S.T., MACKENZIE, M.D., NORDHEIM, E.V., LILLESAND, T.M. **Estimating the leaf area index of north central Wisconsin forests using the Landsat thematic mapper**. Remote Sensing of Environment 1997.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. Oficina de textos, 2002.

GARCIA, J.C. MATTOSO, M.J. DUARTE, J. **Importância do milho em Minas Gerais**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, V. 27, n. 233, p.7-12, jul./ago.2006.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. **Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.1, p.101-112, 2009. DOI: 10.1590/S0100-69162009000100011.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY E.; ZARCOTEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. **Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture**. Remote Sensing of Environment, v. 90, n. 3, p. 337-352, 2004.

HAUAGGE, T. S.; MADALÓZ, J. C. **Como estimar a produtividade do milho**. 2020.

HORBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, New York, v. 14, n. 4, p. 450-465, 2013. DOI: 10.1007/s11119-013-9308-7.

HUETE, A.R. Adjusting Vegetation Indices for Soilin fluencies. **International Agrophysics**, vol.4, no. 4, 1988. pp.367-376.

HUERTA, R. F. M.; GONZALVEZ, R. G. G.; MEDINA, L. M. C.; PACHECO, I. T.; OLIVAREZ, J. P.; VELAZQUEZ, R. V. O. **A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances**. Sensors, v. 13, n. 8, p. 10823-10843, 2013. DOI: 10.3390/s130810823.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos. São Paulo, 2009.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. de C.; ARF, M. V.; CHIODEROLI, C. A.; KAPPES, C. **Manejo do solo e do nitrogênio e milho cultivado em espaçamentos reduzidos e tradicional**. Bragantia, Campinas, v. 69, n. 3, p. 677-686, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000300020.

LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura – base e de graus – dia para a estimativa da duração do subperíodo da semeadura a floração de um híbrido de milho (*zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 31-36, 1999.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908 p.

MADALÓZ, J. C. **Como estimar a produtividade na cultura do milho?** 2017.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D.; ROSA, A. N. D. C. S.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B. D.; BAPTISTA, G. M. D. M.; BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB/CNPq, 2012.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **"Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto."** Embrapa Cerrados-Livros técnicos (INFOTECA-E) (2012).

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008, 208p.

REETZ, H. **Heres how to estimate yields for corn and soybeans before harvest**. Better Crops With Plant Food, Atlanta, v. 71, p. 18-19, 1987.

ROMANO, M. R. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento**. São Paulo, 2005.

ROUSE, J.W. et al. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: earth resources technology satellite-1 symposium, 3., 1973, Washington, D.C. Proceedings. São Paulo. 97p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. D. F. **Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão**. Embrapa Territorial-Capítulo em livro científico (ALICE), 2014.

SOARES, J.V.; BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E. Histórico e descrição. In: RUDORFF, F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p. 1-22.

VIAN, A.L.; BREDEMEIER, C.; SILVA, P.R.F.; SANTI, A.L.; GIORDANO, C.P.S.; SANTOS, F.L. Limites críticos de NDVI para estimativa do potencial produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p. 91-100, 2018.

WARDLOW, B.D.; EGBERT, S.L. **A comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI data for crop mapping: a case study for southwest Kansas.** *International Journal of Remote Sensing*, v. 31, n. 3, p. 805-830, 2010. Washington, D.C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973. p. 309-317.

ZERBATO, C.; ROSALEN, D. L.; FURLANI, C. E. A.; DEGHAID, J.; VOLTARELLI, M. A. **Agronomic characteristics associated with the normalized difference vegetation index (NDVI) in the peanut crop.** *Australian Journal of Crop Science*, Lismore, v. 10, n. 5, p. 758–764, 2016.