



COINTER PDVAgro 2020

V CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Edição 100% virtual | 02 a 05 de dezembro

ISSN:2526-7701 | PREFIXO DOI:10.31692/2526-7701

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA ESTIMATIVA DO POTENCIAL PRODUTIVO DE FORRAGEIRAS EXÓTICAS

ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) PARA ESTIMAR EL POTENCIAL PRODUCTIVO DE LAS FORRAJAS EXÓTICAS

NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) FOR ESTIMATE THE PRODUCTIVE POTENTIAL OF EXOTIC FORAGES

Apresentação: Comunicação Oral

Vitória Gomes Damasceno¹; Antônia Flávia Fernandes Torres²; Clemente Fernandes dos Santos Neto³; Rodrigo Gregório da Silva⁴; Magno José Duarte Cândido⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VCOINTERPDVAgro.0463>

RESUMO

O manejo correto e a utilização adequada de pastagens devem objetivar uma maior produção e eficiência de uso. Nesse sentido, tecnologias de fácil acesso e utilização têm sido cada vez mais estudadas. Nas geotecnologias de sensoriamento remoto, através da utilização de índices de vegetação, é possível a determinação de diversos parâmetros agrônômicos. Alguns sensores resultam no NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que apresenta ótima correlação linear com a biomassa, por exemplo. Diante disso, objetivou-se neste trabalho avaliar a relação entre as variáveis altura do dossel (AD), densidade populacional de perfilhos (DPP) e biomassa de forragem total (BFT) de capim-búffel (*Pennisetum ciliare* cv. Molopo), capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) e capim-massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) em relação ao NDVI gerado pelo sensor terrestre GreenSeeker. O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), localizada no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodí, na Chapada do Apodí, em Limoeiro do Norte – CE, durante o período de fevereiro a maio de 2019. Foram analisadas as variáveis altura do dossel (cm), densidade populacional de perfilhos (perf.m²), biomassa de forragem total (kg.ha⁻¹) e NDVI. Os dados foram submetidos a análise de regressão pelo software SISVAR versão 5.6 e foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson. Foi possível observar que as correlações entre as variáveis DPP, AD e BFT em relação ao NDVI são melhores explicadas por funções polinomiais. As variáveis que mais afetam as leituras de NDVI, em ordem crescente de importância, são DPP, BFT e AD. Por meio do cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson, foi possível identificar os parâmetros que melhor se correlacionaram com os índices de vegetação, sendo eles altura do dossel e biomassa de forragem total. O uso de sensores ópticos ativos apresenta grande potencial para estimativa do potencial produtivo de gramíneas.

Palavras-Chave: gramíneas exóticas, GreenSeeker, manejo de pastagens, sensoriamento remoto, sensor óptico ativo.

¹ Graduanda em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, vitoriadamascenoagro@gmail.com

² Mestranda em Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, flaviafortes@outlook.com

³ Doutorando em Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, clementefernandes14@hotmail.com

⁴ Professor do Instituto Federal do Ceará, campus Limoeiro do Norte, rodrigogregorio@hotmail.com

⁵ Doutor em Zootecnia, professor da Universidade Federal do Ceará, magno@ufc.br

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

RESUMEN

El correcto manejo y uso adecuado de los pastos deben tener como objetivo una mayor producción y eficiencia de uso. En este sentido, las tecnologías de fácil acceso y uso se han estudiado cada vez más. En geotecnologías de teledetección, mediante el uso de índices de vegetación, es posible determinar varios parámetros agronómicos. Algunos sensores dan como resultado el NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada), que tiene una excelente correlación lineal con la biomasa, por ejemplo. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre las variables altura del dosel (AD), densidad de la población de macollos (DPP) y biomasa total de forraje (BFT) de pasto búffel (*Pennisetum ciliare* cv. Molopo), pasto corriente (*Urochloa mosambicensis*) y pasto massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) en relación al NDVI generado por el sensor terrestre GreenSeeker. El experimento se realizó en la Unidad de Docencia, Investigación y Extensión (UEPE) del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Ceará (IFCE), ubicado en el Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi, en Chapada do Apodi, en Limoeiro do Norte - CE, durante el período de febrero a mayo de 2019. Se analizaron la altura del dosel (cm), la densidad de la población de macollos (perf.m²), la biomasa total de forrajes (kg.ha⁻¹) y el NDVI. Los datos se sometieron a análisis de regresión mediante el software SISVAR versión 5.6 y se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson. Se pudo observar que las correlaciones entre las variables DPP, AD y BFT en relación al NDVI se explican mejor mediante funciones polinomiales. Las variables que más afectan las lecturas del NDVI, en orden creciente de importancia, son DPP, BFT y AD. Al calcular los coeficientes de correlación de Pearson, fue posible identificar los parámetros que mejor se correlacionaron con los índices de vegetación, a saber, la altura del dosel y la biomasa total de forraje. El uso de sensores ópticos activos tiene un gran potencial para estimar el potencial productivo de las gramíneas.

Palabras Clave: pastos exóticos, GreenSeeker, manejo de pastos, teledetección, sensor óptico activo.

ABSTRACT

The correct handling and the proper use of pastures must aim at a greater production and efficiency of use. In this sense, technologies that are easy to access and use have been increasingly studied. In remote sensing geotechnologies, through the use of vegetation indices, it is possible to determine several agronomic parameters. Some sensors result in the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), which has an excellent linear correlation with biomass, for example. Therefore, the aim of this study was to evaluate the relationship between the variables canopy height (AD), tiller population density (DPP) and total forage biomass (BFT) of buffalo grass (*Pennisetum ciliare* cv. Molopo), corrente grass (*Urochloa mosambicensis*) and massai grass (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) in relation to the NDVI generated by the terrestrial sensor GreenSeeker. The experiment was conducted at the Teaching, Research and Extension Unit (UEPE) of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará (IFCE), located at the Jaguaribe-Apodi Irrigated Perimeter, in Chapada do Apodi, in Limoeiro do Norte - CE, during the period from February to May 2019. Canopy height (cm), tiller population density (perf.m²), total forage biomass (kg.ha⁻¹) and NDVI were analyzed. The data were submitted to regression analysis by the SISVAR software version 5.6 and Pearson's correlation coefficients were calculated. It was possible to observe that the correlations between the variables DPP, AD and BFT in relation to the NDVI are better explained by polynomial functions. The variables that most affect NDVI readings, in increasing order of importance, are DPP, BFT and AD. By calculating Pearson's correlation coefficients, it was possible to identify the parameters that best correlated with the vegetation indices, namely canopy height and total forage biomass. The use of active optical sensors has great potential for estimating the productive potential of grasses.

Keywords: exotic grasses, GreenSeeker, pasture management, remote sensing, active optical sensor.

INTRODUÇÃO

Dados da Organização das Nações Unidas (GERLAND et al., 2014) prospectam um crescimento populacional mundial que poderá atingir 9,6 bilhões de habitantes em 2050, causando impacto direto na produção e consumo de alimentos de origem animal. O Brasil

possui cerca de 196 milhões de hectares de pastagens (FAOSTAT, 2013). Desse montante, aproximadamente 100 milhões de hectares são constituídas de pastagens cultivadas que são ocupadas por cerca de 214 milhões de bovinos, 18 milhões de ovinos e 9 milhões de caprinos (DIAS FILHO, 2014).

As pastagens são consideradas a principal fonte de alimentação para os ruminantes. Segundo Marcelino et al. (2006), elas representam aproximadamente 1/4 da superfície terrestre. No Brasil a área de pastagem situa-se em torno de 25%, representando mais de 172 milhões de hectares (ANUALPEC, 2012), evidenciando a grande contribuição desse recurso como base alimentar da produção pecuária nacional. A produção de ruminantes a pasto é considerada uma das formas mais econômicas de se obter produtos biológicos, pois o próprio animal se encarrega de buscar, selecionar e colher o próprio alimento.

O manejo correto e a utilização adequada dessas pastagens devem objetivar uma maior produção e eficiência de uso, observando parâmetros relacionados a solidez da pastagem, salientando a importância da fotossíntese como agente do desenvolvimento da cultura (Gomide, 1999). Tecnologias de fácil acesso e utilização têm sido cada vez mais estudadas nesse sentido.

Na agricultura de precisão utilizam-se de forma intensa geotecnologias, tais como o Sensoriamento Remoto que permite obter informações de objetos, sem contato físico, por meio do uso de sensores. Estes sistemas baseiam-se em comprimentos de ondas específicos, que podem ser utilizados, por exemplo, para o cálculo de índices de vegetação, usados para estimar componentes de produção das culturas agrícolas, dentre outras aplicações. Por meio da utilização de índices de vegetação pode-se determinar outros parâmetros agrônômicos, tais como: índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, entre outros (JENSEN, 2009).

Alguns sensores resultam no NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), proposto por Rouse et al. (1974), que é o indicador numérico da diferença entre as bandas de comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo dividido pela soma destes. O NDVI é útil para a obtenção de informações de safras, tais como a eficiência fotossintética e a produtividade potencial (PEÑUELAS et al., 1994; RAUN et al., 2001; BÁEZ-GONZÁLEZ et al., 2002).

O NDVI apresenta ótima correlação linear com a biomassa, comparado a outros índices de vegetação, e também se espera que seja menos influenciado pelas variações das condições atmosféricas. Um equipamento de uso comercial, disponível para a determinação do NDVI, a nível terrestre, é o GreenSeeker. Este equipamento emite através de dois tipos de LED (Light Emitting Diodes) radiação eletromagnética nas faixas do espectro eletromagnético vermelho

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

(650 nm) e do infravermelho próximo (770 nm), em direção à cultura, que absorve e reflete parte desta radiação. A reflectância é captada por sensores ópticos e sua leitura é processada internamente, calculando o NDVI (CORTINOVE et al., 2012).

Diante do exposto, considerando que a determinação do NDVI pode ser um método alternativo e indireto para a estimativa do potencial produtivo das mais variadas culturas, e a escassez de trabalhos científicos voltados para utilização desse índice em pastagens, objetivou-se neste trabalho avaliar a relação entre as variáveis altura do dossel (AD), densidade populacional de perfilhos (DPP) e biomassa de forragem total (BFT) de capim-búffel (*Pennisetum ciliare* cv. Molopo), capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) e capim-massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) em relação ao NDVI gerado pelo sensor terrestre GreenSeeker.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Manejo da pastagem

A massa de forragem presente numa dada área influencia diretamente o desempenho animal, visto que há favorecimento ao consumo pela maior disponibilidade de alimento, desde que não haja limitações de ordem qualitativa ou estrutural. A quantidade de forragem aumenta com o maior tempo de crescimento da pastagem.

Em gramíneas C3, há relação direta entre altura e massa de forragem produzida, de forma que seja possível mensurar o aumento de forragem em função da elevação do dossel em altura. Para gramíneas C4, Stobbs (1973) mencionou que o aumento em altura não significa crescimento da produção de forragem de forma linear, haja vista que nestas plantas com a elevação da altura, há diminuição da densidade do dossel da pastagem.

Hodgson (1990), mencionou que o consumo por bocado é grandemente influenciado pela altura do dossel e, no tocante ao animal, por três componentes, que são: necessidades nutricionais dos animais, saciedade física e comportamento do animal no ambiente pastoril. Este último componente, em particular, é influenciado de forma bastante significativa pela altura do dossel.

Penning et al. (1991), verificaram correlação linear positiva entre a altura do dossel e o consumo de forragem por pequenos ruminantes. Nesse estudo foram utilizadas plantas C3 com altura variando de 3 a 12 cm.

Avaliação de características estruturais em pastagens

Dentre as características estruturais das gramíneas forrageiras, a altura do dossel é considerada uma variável de fácil mensuração, que consiste em uma primeira aproximação da

quantidade de forragem presente numa determinada área. Para os animais, a altura representa quantidade de biomassa presente (LACA et al., 1992).

Segundo Uebele (2002), dentre as variáveis relacionadas ao manejo da pastagem, a frequência de desfolhação é a que mais atua na manutenção da altura do dossel da pastagem, em decorrência do controle da elevação do meristema apical. Allden e Whittaker (1970), comentam que, entre outros fatores, a altura do dossel da pastagem atua de forma direta no consumo dos animais em pastejo.

Apesar de muitas vezes a altura ser utilizada como indicador de produção por alguns autores, Barthram (1981) afirmou que a altura do dossel não é o índice ideal para estimativa de produção de forragem, visto que a altura do pseudocolmo pode superestimar a disponibilidade de forragem colhível, uma vez que as folhas são as partes preferíveis pelos animais. Por sua vez, Stobbs (1973) afirmou também que nos pastos tropicais, nota-se uma redução da densidade de forragem com a elevação da altura, comprovando desta maneira, que não há uma relação direta entre altura e biomassa de forragem.

Desta forma, para gramíneas do tipo C4, a altura do dossel pode comprometer o valor nutritivo da forragem. Isso é devido ao alongamento do pseudocolmo, que por sua vez eleva as frações de carboidratos estruturais da parede celular vegetal, principalmente lignina, que pode reduzir os valores de proteína bruta e o consumo devido à redução da ingestão de matéria seca. Com isso, pode haver aumento no tempo de pastejo em virtude da diminuição do tamanho de bocados (POMPEU et al., 2008).

A espécie, o ambiente em que está inserida e o manejo da desfolha definem o comportamento da pastagem no que tange ao número de plantas por área ou densidade populacional de perfilhos (DPP). O contínuo surgimento de perfilhos e a capacidade de manutenção dos mesmos ao longo do tempo caracterizam a persistência da pastagem ao longo dos ciclos de pastejo. Langer (1963), mencionou que o tempo de vida do perfilho e a sua taxa de renovação são pontos importantes para a persistência da comunidade de plantas na pastagem.

Para Lemaire e Chapman (1996), a DPP em uma população de plantas forrageiras é função do equilíbrio entre as taxas de aparecimento e morte dos perfilhos. No entanto, esse equilíbrio entre a taxa de aparecimento e morte dos perfilhos é estritamente dependente da desfolhação, o qual por sua vez determina a evolução do IAF. Desta forma, a taxa de surgimento potencial de perfilhos só pode ser atingida quando o IAF da pastagem é baixo, devido ao fato do surgimento de novos perfilhos decrescer à medida que ocorre o crescimento do IAF (NABINGER e PONTES, 2001).

A biomassa de forragem total (BFT) em plantas forrageiras é resultado das diversas

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

interações complexas de atributos genéticos e de ambiente e seus efeitos sobre os processos fisiológicos e características morfológicas das plantas (DA SILVA e PEDREIRA, 1997).

Sensor óptico de vegetação

Bannari et al. (1995), apresentaram uma revisão extensa dos índices de vegetação gerados com os dados de satélite. Apontaram que mais de quarenta índices de vegetação foram desenvolvidos durante os últimos 30 anos para tentar explorar as aplicações das reflectâncias espectrais no monitoramento da vegetação. Em geral, a resposta espectral da superfície de vegetação envolve uma mistura complexa de vegetação, os efeitos ambientais, brilho, cor e umidade do solo e efeitos das variações espacial e temporal das condições atmosféricas. Na primeira etapa, os índices de vegetação são fundamentados somente nas combinações lineares ou nos dados brutos da reflectância de zero a 100%, correspondendo à escala de nível de cinza de zero a 255. Na segunda etapa, os índices de vegetação são fundamentados no conhecimento dos fenômenos físicos que explicam as interações entre radiação eletromagnética, atmosfera, cobertura da vegetação e superfície do solo. As pesquisas mostram que a segunda geração de índices de vegetação é menos sensível aos efeitos atmosféricos e aos brilhos da superfície do solo. Portanto, os índices gerados pela simulação, fundamentado nas equações de transferência da radiação sob as diferentes condições atmosféricas ideais, são mais corretos.

Para Liu (2006), os múltiplos índices de vegetação usados para monitorar e quantificar as condições e distribuições espaciais das vegetações, usando os dados digitais de reflectâncias espectrais da radiação eletromagnética, possui como objetivo condensar as informações espectrais e discriminar o que é ou não vegetação, avaliando as condições de crescimento das culturas, ocorrências de doenças, pragas, secas e geadas, bem como diversos eventos meteorológicos. Segundo Xavier & Vettorazzi (2004), a importância dos índices de vegetação consiste em delimitar a área da cobertura verde da superfície analisada.

Para Rosendo & Rosa (2007), o NDVI é o índice que oferece a melhor resposta aos efeitos da irregularidade topográfica identificando através dos seus valores de superfícies de áreas com e sem vegetação. Para áreas de vegetação densa e topografia irregular, Holanda e Guerra (2010) encontraram valores satisfatórios de NDVI.

Vian (2015) afirma que o desenvolvimento de sensores ópticos de vegetação que permitam a realização do manejo in situ e em tempo real, com rápida interpretação dos resultados, tornam-se cada vez mais necessários uma vez que os índices gerados através das imagens orbitais e aéreas não permitem a utilização dos resultados em tempo real, devido à necessidade de correções geométricas, atmosféricas, radiométricas e de softwares computacionais para o processamento das imagens digitais.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), localizada no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi, na Chapada do Apodi, em Limoeiro do Norte – CE, durante o período de fevereiro a maio de 2019. A região é caracterizada pela predominância de solos do tipo Cambissolos. A UEPE fica localizada em uma área de relevo plano, a 05°10'52'' de latitude-sul e 38°00'43'' de longitude-oeste, a uma altitude de 151 m. O clima da região é classificado como BSw'h' (KÖPPEN, 1936), que se configura como quente e semiárido.

Tabela 01: Dados climáticos durante o período experimental.

Dados climáticos				
	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (m/s)	Evapotranspiração (mm)
Fevereiro	25,89	87,63	4,97	4,42
Março	25,64	88,52	4,99	4,41
Abril	26,23	89,14	4,47	4,22
Maió	26,41	85,94	4,81	3,95
Média	26,04	87,81	4,81	4,25

Fonte: Estação meteorológica da UEPE (2019).

As unidades experimentais do experimento foram alocadas em um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições cada, totalizando 12 unidades experimentais. A área experimental compreendia cerca de 1200 m².

Foi realizado um roço de uniformização das áreas de pasto a nível do solo, na busca de proporcionar uma maior padronização dos estandes. Além disso, foi realizada uma adubação fosfatada na área utilizando fosfato monoamônico - MAP (10% de N e 50% de P₂O₅), em uma proporção de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, devido ao fósforo ser o nutriente mais deficiente na maioria dos solos da caatinga, de acordo com Araújo Filho (2014).

Após o corte de uniformização, o capim foi cortado a cada 45 dias, sendo realizadas avaliações de altura do dossel (cm), aferida com o auxílio de um bastão graduado retrátil, adaptado da *sward stick* (BARTHAM, 1985), registrando-se tal medida em 20 pontos, sendo tomados por meio de um caminhamento em formato de zigue-zague, para obtenção da altura média de cada área (Figura 01A).

O índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI, foi mensurado por meio de

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

coletas através do sensor óptico ativo remoto de superfície GreenSeeker™, coletando-se duas médias por parcela por meio de um caminhamento em zigue-zague, a uma altura de cerca de 70 cm do dossel forrageiro (Figura 01B). Esse índice é a razão entre a diferença das bandas no infravermelho próximo e no vermelho (Equação 1, ROUSE et al., 1973), onde NIR é a reflectância no infravermelho próximo (780 nm) e RED é a reflectância no vermelho (660 nm).

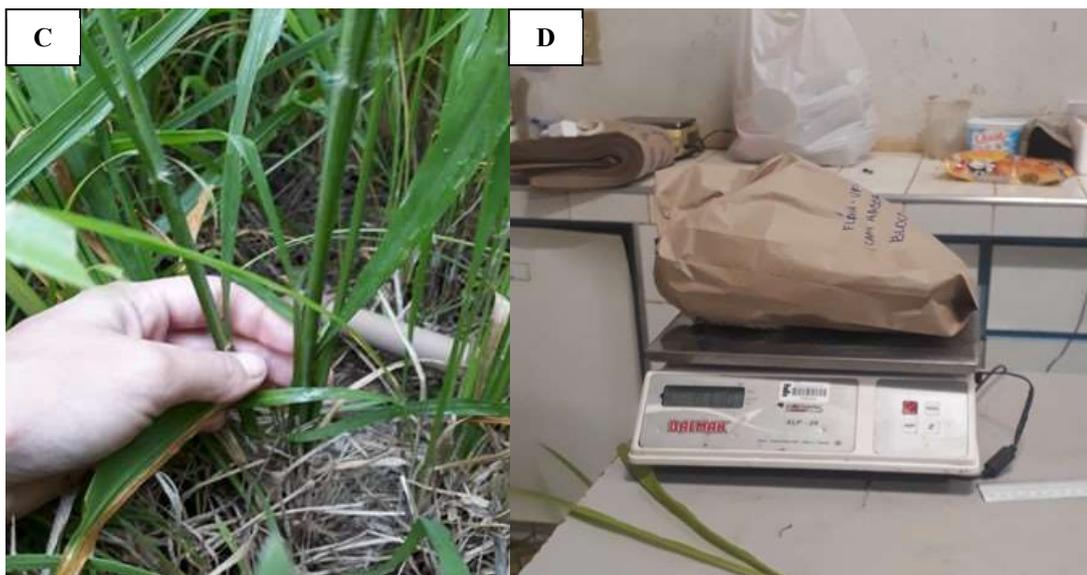
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

O NDVI pode variar de -1 a +1. Os valores negativos representam as nuvens, em torno de zero representam solo nu ou sem vegetação, e os valores maiores que zero representam a vegetação. Quanto maior o valor do NDVI, maior o vigor de crescimento da cultura (LIU, 2006).

A densidade populacional de perfilhos, em perf.m², foi contabilizada utilizando-se uma moldura de 1,0 x 1,0 m, que foi situada a nível do solo para a contagem do número de perfilhos presentes, sendo realizada a contabilização em duas molduras alocadas em cada área experimental (Figura 01C). Também foram feitas avaliações de produção de biomassa de forragem total, em kg.ha⁻¹, realizadas a partir de amostras de forragem colhidas ao nível do solo utilizando uma moldura de 1,0 x 1,0 m. Em seguida, foi realizada a pesagem dessas amostras em laboratório, sendo retirada uma alíquota de peso conhecido que foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados (Figura 01D), para pré-secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até atingir massa constante.

Figura 01: Medição da altura do dossel (A), mensuração do NDVI (B), contabilização da densidade populacional de perfilhos (C) e pesagem das amostras (D).





Fonte: TORRES, A.F.F. 2019

Os dados foram submetidos a análise de regressão pelo software SISVAR versão 5.6. Os dados de saída do software foram utilizados para confecção dos gráficos de correlação entre as variáveis, utilizando o programa Microsoft Excel 2016. Além disso, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (r), cujos valores variam de -1 a 1 e sugerem a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeitamente positiva entre duas variáveis é representada por valores próximos a 1 ($r = 1$), enquanto uma correlação perfeitamente negativa é representada por valores próximos a -1 ($r = -1$), indicando que quando uma variável aumenta, a outra diminui.

Dancey & Reidy (2006) propuseram uma classificação para o coeficiente de correlação de Pearson em $r = 0,10$ a $0,30$ (fraco), $r = 0,40$ a $0,6$ (moderado) e $r = 0,70$ a 1 (forte). Segundo Figueiredo Filho & Silva Júnior (2009), o grau de dependência estatística entre as variáveis é maior quando o valor está mais próximo de 1 (independente do sinal), mas a força dessa relação é menor quando o valor está mais próximo de zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

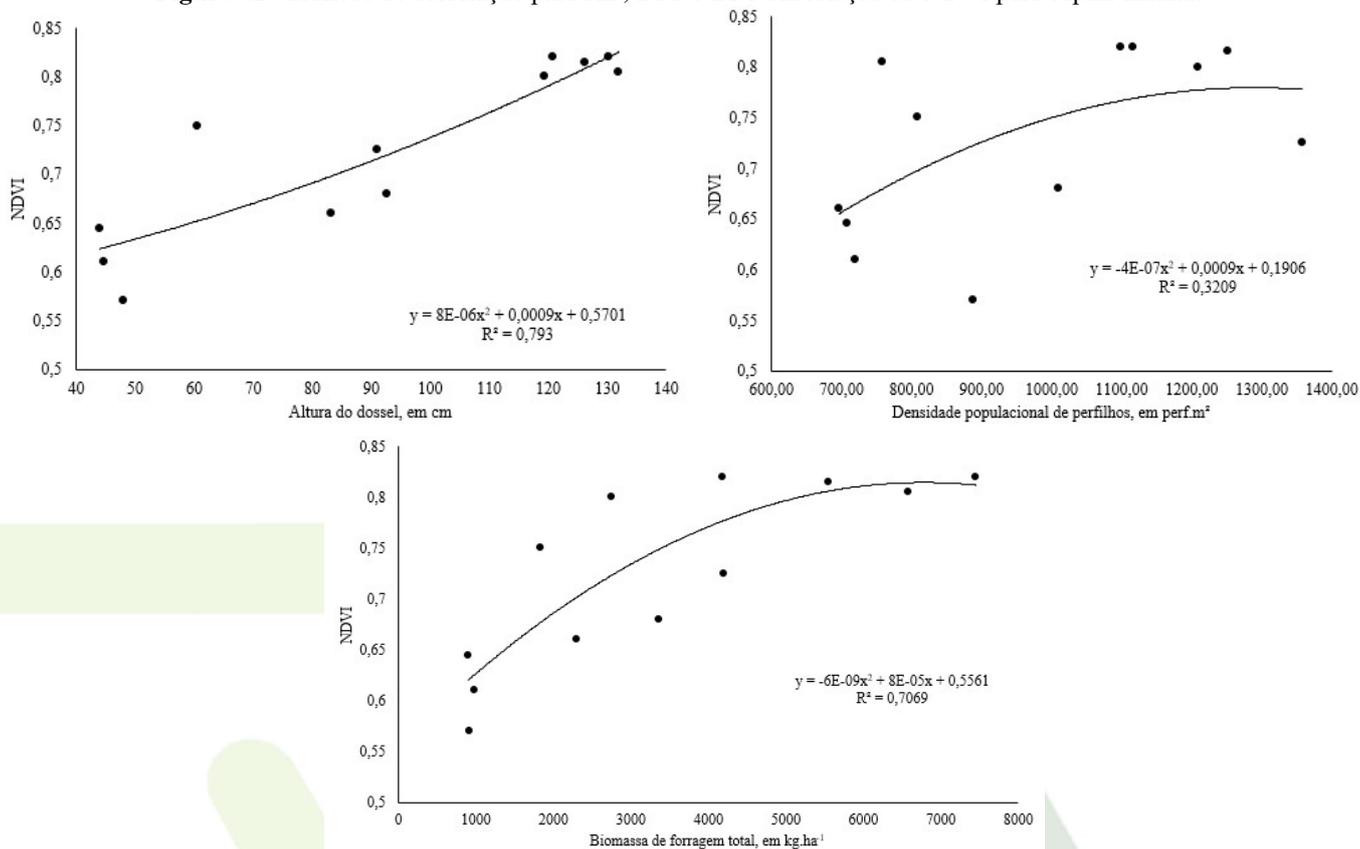
Os gráficos de correlação foram obtidos por meio de análise de regressão realizada através do Software SISVAR, com auxílio do Microsoft Excel 2016. Para todas as variáveis analisadas (AD, DPP e BFT) em comparação ao NDVI, os modelos mais ajustados referiram-se a equações polinomiais de segundo grau, utilizando o maior coeficiente de determinação para escolha da equação mais representativa.

Em sensoriamento remoto, o uso de funções polinomiais e exponenciais é comum para expressar a relação da variável indicadora com o NDVI (LIU, 2006). Esse ajuste é eficiente em detectar o patamar de máximos valores (ponto de saturação do NDVI) em situações com

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

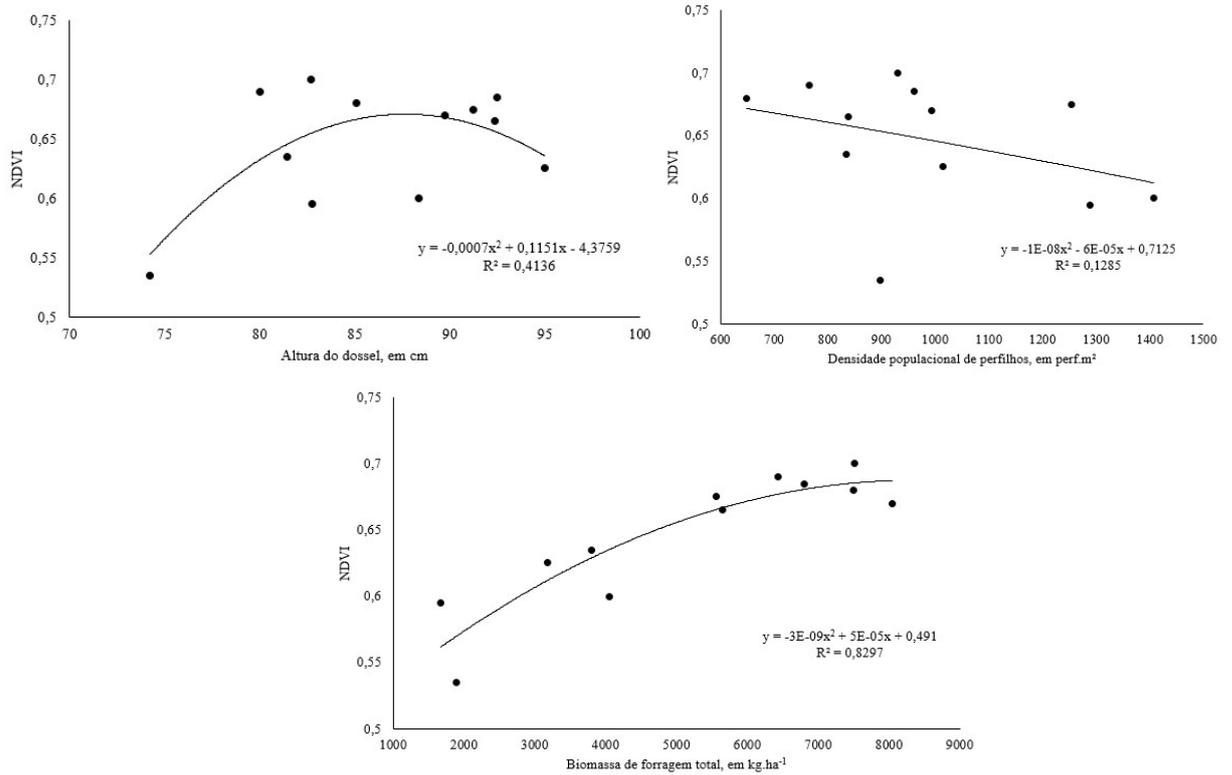
elevada variabilidade de valores. Porém, quando o número de pontos amostrados com altos valores é baixo, esse tipo de ajuste tende a não detectar o patamar, levando à linearidade (BRAGA, 1995).

Figura 02: Gráficos de correlação para AD, DPP e BFT em relação ao NDVI para capim-massai.



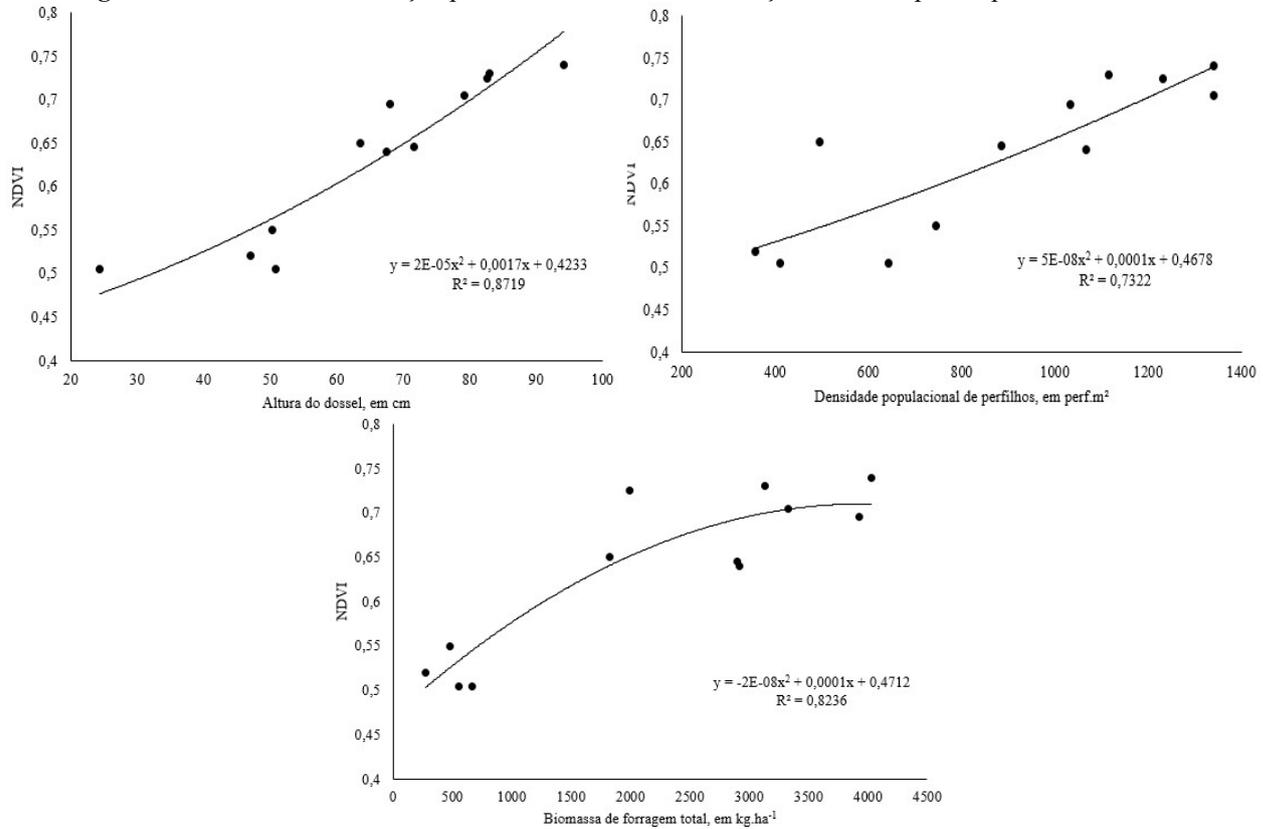
Fonte: Própria (2020).

Figura 03: Gráficos de correlação para AD, DPP e BFT em relação ao NDVI para capim-búffel.



Fonte: Própria (2020).

Figura 04: Gráficos de correlação para AD, DPP e BFT em relação ao NDVI para capim-corrente.



Fonte: Própria (2020).

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

Os coeficientes de determinação mais próximos de 1, para as três gramíneas avaliadas, foram obtidos para as variáveis AD e BFT, evidenciando melhor ajuste do modelo para explicação dos dados coletados. O NDVI apresentou ótima correlação linear com a biomassa, explicando que a resposta espectral é efetivamente alterada com a variação desta (DIAS, 2020). Além disso, é um bom indicador da vegetação caso o terreno apresente boa cobertura vegetal (MENESES et al., 2012), que é o que se espera com um bom manejo da pastagem. RAUN et al. (2005), determinaram que o incremento do potencial produtivo estimado a partir da leitura do NDVI é maior que a variabilidade entre os ensaios para a mesma leitura, evidenciando que a utilização do sensor GreenSeeker pode ser feita em diferentes cultivares (utilizando-se da relação NDVI x biomassa), mesmo que as plantas apresentem diferentes características agronômicas.

Os coeficientes de determinação mais baixos foram observados para a variável DPP. Essa variável é função do equilíbrio entre as taxas de aparecimento e morte dos perfilhos. No entanto, esse equilíbrio entre a taxa de aparecimento e morte dos perfilhos é estritamente dependente da desfolhação, que por sua vez determina a evolução do índice de área foliar (IAF). Desta forma, a taxa de surgimento potencial de perfilhos só pode ser atingida quando o IAF da pastagem é baixo, devido ao fato do surgimento de novos perfilhos decrescer à medida que ocorre o crescimento do IAF (NABINGER e PONTES, 2001), o que pode explicar a baixa correlação encontrada, uma vez que a sequência de cortes pode ter influenciado negativamente essa variável. O decréscimo observado em algumas das curvas apresentadas nos gráficos para DPP pode ser explicado pela senescência de perfilhos ao longo dos cortes, fazendo com que ocorra o amarelecimento das plantas e perda das folhas (PRADHAN et al., 2018).

Tabela 03: Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis analisadas para as três gramíneas estudadas em diferentes datas de corte.

AD – altura do dossel; DPP – densidade populacional de perfilhos; BFT – biomassa de forragem total; NDVI – índice de vegetação por diferença normalizada. ** Significativo em $p < 0,01$; * Significativo em $p < 0,05$; ns, não significativo em $p > 0,05$.

Datas de corte	Gramíneas	Correlações		
		AD x NDVI	DPP x NDVI	BFT x NDVI
15/02	Massai	0,60**	-0,58 ^{ns}	0,74**
	Búffel	0,08 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
	Corrente	0,84**	-0,24 ^{ns}	0,25*
06/04	Massai	0,94**	-0,02 ^{ns}	0,99**
	Búffel	-0,15 ^{ns}	0,24*	0,99**

	Corrente	-0,02 ^{ns}	0,26*	0,71**
	Massai	0,81**	-0,16 ^{ns}	0,91**
19/05	Búffel	0,96**	0,46**	0,54**
	Corrente	0,47**	0,56**	-0,39 ^{ns}

Fonte: Própria (2020).

Os coeficientes de correlação de Pearson para AD x NDVI foram significativos para a maioria das gramíneas avaliadas nas diferentes datas de corte. Os maiores valores foram observados no terceiro corte, onde foram classificados como forte (Massai: 0,81 e Búffel: 0,96) e moderado (Corrente: 0,47), de acordo com Dancey & Reidy (2006), evidenciando correlação perfeitamente positiva, sugerindo alta relação entre as variáveis. Para BFT x NDVI, grande parte dos coeficientes também foram significativos, sendo os maiores valores observados no segundo corte. Essa alta relação corrobora com resultados obtidos por Amaral et al. (2015), que definiu a variável biomassa como o parâmetro que mais influencia nas leituras dos sensores ópticos ativos, explicando também a alta correlação de AD x NDVI, sendo a altura do dossel diretamente relacionada à biomassa de forragem.

A correlação especialmente forte de AD x NDVI corrobora com resultados obtidos por Steven et al (1990), que explicaram que o espectro de borda analisado a partir de sensores ópticos é um dos melhores descritores para o sensoriamento remoto da concentração de clorofila, uma vez que este comprimento de onda representa a inclinação máxima dos espectros de refletância da vegetação. Os autores também mencionam que isso ocorre nas bandas de 680 a 750 nm, onde a refletância muda de muito alta para muito baixa devido ao crescimento do dossel e do crescimento foliar.

Os menores coeficientes de correlação foram observados para DPP x NDVI, sendo, em grande maioria, classificado como baixos. Uma limitação do NDVI que poderia explicar esse resultado é a saturação da banda vermelha da onda eletromagnética. Isso ocorre devido à alta absorção dos pigmentos de clorofila, o que causa saturação nessa faixa pelo dossel da cultura (BARET & GUYOT, 1991). Uma solução para essa limitação seria o cálculo do índice de Borda Vermelha de Diferença Normalizada (NDRE), obtido através de leitores como OptRX® (Ag Leader, 2202 South Riverside Drive, Ames, IA 50010, EUA). Taubinger et al. (2012), constataram que o NDRE tem menos influência no dossel da planta, tornando-se ainda mais eficiente na previsão de biomassa quando comparado ao NDVI.

CONCLUSÕES

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

As correlações entre as variáveis DPP, AD e BFT em relação ao NDVI são melhores explicadas por funções polinomiais.

As variáveis que mais afetam as leituras de NDVI, em ordem crescente de importância, são DPP, BFT e AD.

Por meio do cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson, foi possível identificar os parâmetros que melhor se correlacionaram com os índices de vegetação, sendo eles altura do dossel e biomassa de forragem total.

O uso de sensores ópticos ativos apresenta grande potencial para estimativa do potencial produtivo de gramíneas.

REFERÊNCIAS

ALLDEN, W.G.; WHITTAKER, I.A. McD. **The determinants**, 1970.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA. **Anualpec**, 2012.

ARAÚJO FILHO, J.A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Ed. Projeto Dom Helder Câmara: Pernambuco, 200p., 2013

BÁEZ - GONZÁLEZ, A. D.; CHEN, P. Y.; TISCAREÑO-LÓPEZ, M.; SRINIVASAN, R. Using satellite and field data with crop growth modeling to monitor and estimate corn yield in Mexico. **Crop Science**, v. 42, n. 6, p. 1943-1949, 2002.

BANNARI, A.; MORIN, D., BONN, F., & HUETE, A. R. A review of vegetation indices. **Remote sensing reviews**, v. 13, n. 1-2, p. 95-120, 1995.

BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote sensing of environment**, v. 35, n. 2-3, p. 161-173, 1991.

BARTHAM, G.T. Sward structure and the depth of the grazed horizon. **Grass Forage Science**, v. 36, p. 130-131, 1981.

BARTHAM, G.T. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: HIFRO. **The Hill Farming Research Organization Biennial Report 1984/1985**. Penicuik: HFRO, 1985. p.29-30.

BRAGA, H.J. **Previsão Agrícola: uma nova abordagem - uso de scanner aerotransportável e redes neurais**. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

CORTINOVE, L.; TAUBINGER, L.; AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P. Densidade de coleta de dados com sensor ótico ativo para adubação nitrogenada em cana-de-açúcar, milho e trigo. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, Ribeirão Preto. **Anais**. Ribeirão Preto, 2012.

DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de

pastagem. In: Simpósio sobre ecossistemas de pastagens. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP v. 3, p. 1-62, 1997.

DANCEY, C.P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia**. Porto Alegre: Artemed, p. 178-216, 2006.

DIAS, J. L. A.; PEREIRA, P. A. R.; DE MACEDO BARROS, I.; BARROS, P. M. B.; DA SILVA NETO, S. P. Production of *Andropogon gayanus* cv. Planaltina dry matter estimated through NDVI. **Revista Agrogeoambiental**, v. 12, n. 2, 2020.

DIAS-FILHO, M.B.. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Embrapa Amazônia Oriental- Documentos (INFOTECA-E), 2014.

FAO, STAT et al. **Banco de dados FAOSTAT**. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, Roma, Itália, v. 1, 2013.

FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JÚNIOR, J.A.. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

GERLAND, P.; RAFTERY, A. E.; ŠEVČÍKOVÁ, H.; SPOORENBERG, T.; BAY, G. (2014). World population stabilization unlikely this century. **Science**, v. 346, n. 6206, p. 234-237, 2014.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 4, p. 675-680, 1999.

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**, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.

HERLING, V.R. et al. Tobiata, tanzânia e mombaça. In: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 17, 2000. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 2000. p. 21-64.

HODGSON, John et al. **Grazing management. Science into practice**. Longman Group UK Ltd., 1990.

HOLANDA, A.S.S.; GUERRA, C.E. Monitoramento da vegetação da região do eixo-forte no município de Santarém-PA utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3. **Anais...**, 2010. p. 1-5.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente: uma perspectiva dos recursos terrestres 2 / e**. Pearson Education India, 2009.

KOPPEN, W.. Das geographische system der klimat. **Handbuch der klimatologie**, p. 46, 1936.

LACA, E. A. et al. Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. **Grass and Forage Science**, v. 47, n. 1, p. 91-102, 1992.

LANGER, R.H.M.. Tillering in herbage grasses. A review. **Herbage abstracts**, v. 33, p. 141-

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

148, 1963.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. **Tissue flows in grazed plant communities**. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Eds.). *The Ecology and Management of Grazing Systems*, CAB International, Wallingford, p. 3-36, 1996.

LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. UNIDERP, Brochura, 1ª Ed., 2006.

MARCELINO, K.R.A. et al. Características morfogênicas e estruturais e produção de forragem do capim-marandu submetido a intensidades e frequências de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 6, p. 2243-2252, 2006.

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

NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 755-771.

PENNING, P.D.; ROOK, A.J.; ORR, R.J. Patterns of ingestive behaviour of sheep continuously stocked on monocultures of ryegrass or white clover. **Applied animal behaviour science**, v. 31, n. 3-4, p. 237-250, 1991.

PEÑUELAS, J.; GAMON, J. A., FREDEEN, A. L., MERINO, J., & FIELD, C. B.. Physiological Changes in Nitrogen-and. **Remote Sens Environ** , v. 48, p. 135-146, 1994.

POMPEU, R.C.F.F. et al. Componentes da biomassa pré-pastejo e pós-pastejo de capim-tanzânia sob lotação rotativa com quatro níveis de suplementação concentrada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 3, p. 383-393, 2008.

POVH, F.P. et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

RAUN, W.R. et al. Predição sazonal do rendimento potencial de grãos em trigo de inverno usando refletância de dossel. **Agronomy Journal** , v. 93, n. 1, p. 131-138, 2001.

RAUN, W.R. et al. Algoritmo baseado em sensor óptico para fertilização com nitrogênio na cultura. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 19-20, p. 2759-2781, 2005.

RIBEIRO, E.M. **Produtividade do capim tanzânia em função de lâminas de água e níveis de nitrogênio no Vale do Curu, CE**. Fortaleza: UFC, 2006, 86 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará/UFC, Fortaleza, 2006.

ROSENDO, S. J.; ROSA, R.. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 4209-4216,.

ROUSE JR, JW. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **College Station Texas**, 1974.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM**, 1973, Washington, D.C. Volume 1: **Technical presentations...** Washington: NASA, 1973. p.309-317.

STOBBS, T.H. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. II.* Differences in sward structure, nutritive value, and bite size of animals grazing *Setaria anceps* and *Chloris gayana* at various stages of growth. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 24, n. 6, p. 821-829, 1973.

UEBELE, M.C. **Padrões demográficos de perfilhamento e produção de forragem em pastos de capim-mombaça submetidos a regimes de lotação intermitente**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

VIAN, A. L. **Sensores de vegetação para estimativa in situ do potencial produtivo na cultura do milho**. Porto Alegre, 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

XAVIER, A.C.; VETTORAZZI, C.A. Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 9, p. 1661-1672, 2004.