



ÍNDICE TRIANGULAR VERDE PARA MONITORAMENTO DA CULTURA DO MILHO EM PROPRIEDADE RURAL NO SUL DO ESTADO DE RORAIMA

Lysne Nazaré Soares Girão¹
Sarah Wysllana Souza Viana²
Amaury Burlamaqui Bendahan³
Vladimir de Souza⁴

Resumo: O trabalho possui como objetivo verificar a eficácia do Índice Triangular Verde (TGI), como instrumento para avaliar o índice de vegetação e desenvolvimento do plantio da cultura do milho, no sul do Estado de Roraima, como método de monitoramento da vegetação com uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (APR). As imagens foram coletadas nos períodos correspondentes a 14, 20, 34 e 41 dias de germinação da cultura, coletadas pelo sensor CMOS acoplado ao APR DJI Phantom 4 Advanced, o plano de voo confeccionado no aplicativo litchi, à altura de 120 m e GSD de 3,37 cm. O TGI foi extraído no software QGIS a partir de ortomosaicos processados no software Pix4D Mapper. Observou-se em maio que o conteúdo de clorofila extraído pela aplicação do processamento do TGI, no qual, variou entre -1.81 a 72.07. Evidenciou-se a dinâmica de aumento da quantidade de área nas faixas com valores de TGIs mais altos, para os períodos subsequentes. O TGI mostrou-se satisfatório como ferramenta para o monitoramento de vegetação e ao cruzar com dados observados no campo, resultou-se em dados que coincidem com a realidade.

Palavras-chave: agricultura de precisão, geotecnologia, índice de vegetação.

Abstract: The work had or had as objective to verify the Green Triangular Index (TGI), as instrument to evaluate the vegetation index and development of the corn crop plant, in Roraima State, as a method of vegetation monitoring with the use of Remotely Piloted Aircraft (APR). As images were collected at intervals corresponding to 14, 20, 34 and 41 days of culture germination, collected by the CMOS sensor coupled to the DJI Phantom 4 Advanced APR, or flight plan made in the litchi application, at a height of 120 m and GSD of 3,35 cm. TGI was not extracted in QGIS software, It is na orthomatic process processed in Pix4D Mapper software. Note in May that the chlorophyll content extracted by the unqualified TGI processing application ranges from -1.81 to 72.02. It was evidenced to increase the amount of area in the bands with higher TGI values, for subsequent periods. The TGI was satisfactory as a tool for vegetation monitoring and when crossing with data observed in the field, resulting in data that coincide with reality.

Keywords: precision Agriculture; geotechnology; vegetation index.

¹ Acadêmica do Curso de Bacharelado em Geologia da Universidade Federal de Roraima, lysne.soares@outlook.com

² Acadêmica do Curso de Bacharelado em Geologia da Universidade Federal de Roraima, sarwyslliana15@gmail.com

³ Pesquisador da Embrapa Roraima, amaury.bendahan@embrapa.br

⁴ Docente do Curso de Bacharelado em Geologia da Universidade Federal de Roraima, vladisouza@yahoo.com.br



1 INTRODUÇÃO

O monitoramento do plantio através da análise do comportamento espectral da vegetação tem sido um recurso recém implantado para os agricultores, tendo em vista que por vezes o acompanhamento do plantio realizado em superfície tem se mostrado falho.

Com as técnicas convencionais não atendendo a demanda dos produtores, busca-se por recursos que supram as suas exigências em efetividade, sendo este fator importante a ser levado em consideração, no monitoramento do plantio e conseqüente melhoria dos resultados.

O surgimento das Aeronaves Remotamente Pilotadas mostrou-se como uma ferramenta auxiliar para a agricultura de precisão, pois com este equipamento tem-se a aquisição de imagens detalhadas, que quando processadas irão dar origem a gráficos e mapas comparativos. Com estes dados pode-se então fazer a análise da cobertura vegetal.

Neste contexto, estudou-se a aplicação do Índice Triangular Verde (TGI) extraído de imagens de RPA como uma tentativa para contribuição no monitoramento da cultura do milho. O Índice Triangular Verde está relacionado ao teor de clorofila presente na planta. Sendo esta um composto importante das células das plantas que é responsável pela sua coloração verde. A análise deste índice pode fornecer dados de grande importância, como por exemplo o estado nutritivo da planta.

O objetivo deste artigo é analisar o comportamento do Índice Triangular Verde durante o monitoramento do cultivo do milho *Zea mays L.*, fazendo o uso de imagens coletadas pelo sensor CMOS de câmera RGB acoplada a um Aparelho Remotamente Pilotado (RPA), e então julgar se o método em questão supre as deficiências citadas.

2 PERCURSO METODOLÓGICO

A área de experimentação foi de 2,2 hectares em propriedade rural privada localizada na porção noroeste do município de São Luiz no estado de Roraima, coordenadas geográficas, 0°52'11.46"N e leste 60°27'9.33"O, no município de Rorainópolis no estado de Roraima.

A primeira etapa consiste no planejamento de voo, utilizou-se o aplicativo Litchi. Estabeleceu-se a altura de tomada das imagens de 120m, velocidade de cruzeiro de 25,2 km/h,



cobertura horizontal de 82%, cobertura vertical de 76%, intervalo de captura entre fotos de 2 segundos, ângulo da câmera em Nadir e com distância média de amostragem de Solo (GSD) de 3,37 cm.

A segunda etapa consiste na coleta das imagens. Foram coletadas imagens da área de estudo de 2,2ha, selecionada dentro do plantio do produtor, em quatro períodos, 15, 21, 35 e 42 dias após a germinação do milho. Utilizou-se o “APR DJI modelo Phantom 4 Advanced, equipado com sensor CMOS RGB FC6310, 8.8, 5472x3648 de 20 megapixel, acoplado a um gimbal de três eixos para estabilização (DJI, 2017)”.

A terceira etapa consiste na confecção dos Ortomosaicos. O processamento das imagens para a obtenção dos ortomosaico com *GEOTAGS* foi feito no software PIX4D Mapper versão 4.3.33 educacional.

Na quarta etapa realizou-se o geoprocessamento do Índice Triangular Verde (TGI). Realizado no software Qgis 2.18.24 e utilizando a equação A de Mckinnon, T.; Hoff, P. 2017. Usou-se as bandas espectrais R que equivale a banda 01, a G equivale a banda 02 e B que equivale a banda 03 dos ortomosaicos obtido na etapa III.

$$TGI = G - (0.39 * R) - (0.61 * B) \text{(Equação A)}$$

A elaboração de mapas foi realizada na quinta etapa. Elaborou-se comparativos no software QGis 2.18.24 com o índice obtido no método IV e com extração do TGI. Esses mapas foram exportados em GEOPDF.

A última etapa, de comprovação dos índices e as observações na propriedade. Com o auxílio do aplicativo Avenza Maps versão 3.7.1 foi realizado a correlação entre as diferenças espectrais que apareceram nos mapas temáticos dos TGIs nos períodos de germinação analisados e o que se observou no terreno.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O olho humano é altamente vulnerável a mudanças na cor verde das folhas, sendo, portanto, muito árduo quantificar as alterações nestas cores, que é proveniente do teor de clorofila nelas presentes. (HUNT, E. R. et al., 2011)



Na agricultura tornou-se bastante favorável o uso de aeronaves remotamente pilotadas, impondo mais facilidade aos produtores aos detalhes da sua produção agrícola e sucesso no manejo da cultura. Este recurso auxilia na detecção de doenças, pragas, falhas de plantio, dentre outros fatores que se relacionam a qualidade do plantio. (VINHAL, P., 2018)

As características básicas observadas no comportamento espectral podem variar para cada objeto, no qual a vegetação, a água, os minerais e o solo podem interagir de maneiras distintas espectralmente com a incidência das ondas de energia. Tal fato é possível pois há uma grande variedade entre suas composições e padrões de reflectância, o que torna possível o discernimento devido a suas propriedades físico-químicas e biológicas. Ao atingir o objeto, o fluxo eletromagnético sofre interações com o material que o compõe, sendo capaz de refletir, absorver e transmitir totalmente ou parcialmente sua energia. A vista disso, de todos os elementos constituintes da vegetação, a folha é principal deles quando se considera o processo de interação com REM (Radiação Eletromagnética), e para uma melhor compreensão das características de reflectância que incide na vegetação, é necessário também o conhecimento de sua composição química, principalmente o tipo e a quantidade de pigmentos fotossintetizantes e de sua morfologia interna. (MORAES, 2002).

A partir da utilização desses dados espectrais na estimativa de parâmetros da vegetação, é possível conhecer o seu comportamento em relação aos fenômenos de absorção, emissão e reflexão da REM incidente, e a partir dessas informações utilizam-se os Índices de Vegetação (IV) para otimizar a interpretação dos dados das imagens que são obtidas pelos sensores, realçando suas características e minimizando os efeitos do solo ou de outros alvos (ALVARENGA et al., 2003).

A análise de apenas uma data de dados obtidos por sensores remotos visando extrair informações importantes de variáveis biofísicas da vegetação frequentemente é de grande valor. Porém, quando se pretende analisar a dinâmica do ecossistema, é necessário monitorar a vegetação através do tempo e determinar quais sucessões de mudanças estão ocorrendo. (JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. 2011)

O Índice Triangular Verde (TGI) é um índice que consegue dados do teor de clorofila durante o desenvolvimento da planta através do comportamento espectral desta. (VINHAL, P., 2018)

O TGI é determinado pela área do triângulo abaixo:

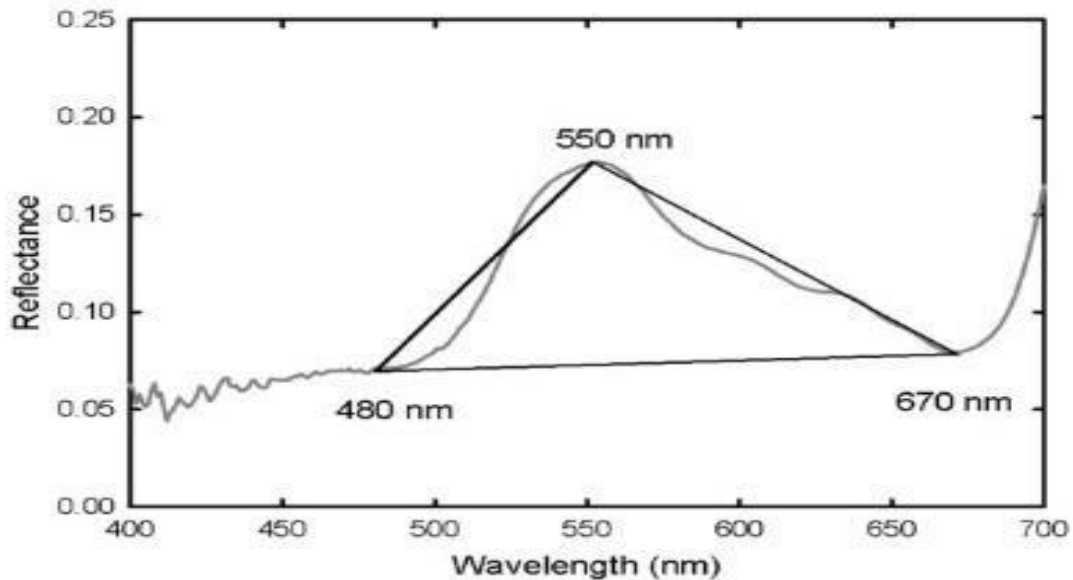


Figura 1 – O Índice Triangular Verde (TGI) é determinado pela área deste triângulo delimitado pelo espectro de reflectância da folha (linha cinza) com vértices no vermelho (670nm), verde (550nm), e azul (480nm).

Fonte: Hunt, E. R. et al. (2011, p. 1092)

Quando a reflectância no verde é maior do que uma linha entre os vértices de vermelho e azul, ou seja, para a vegetação verde, TGI é positivo. Quando a reflectância no verde é menor do que a linha de vermelho-azul, por exemplo, para solos avermelhados, o TGI é negativo. O TGI tem unidades de comprimento de onda \times reflectância, de modo a mudar as unidades de comprimento de onda a partir de nm para μm e mudando reflectância fraccionada para a reflectância percentual não afecta o resultado com a conversão de unidades. (HUNT, E. R. et al., 2011)

Alguns autores relacionaram os resultados de mais de vinte índices de vegetação, e concluíram que para a medição de clorofila o TGI apresentou os melhores resultados. (MCKINNON, T.; HOFF, P., 2017)

4 ANÁLISE E RESULTADOS

Com a obtenção dos teores do Índice, contruiu-se um comparativos entre os estágios de germinação referentes aos períodos de 14, 20, 34 e 41 dias de plantio.

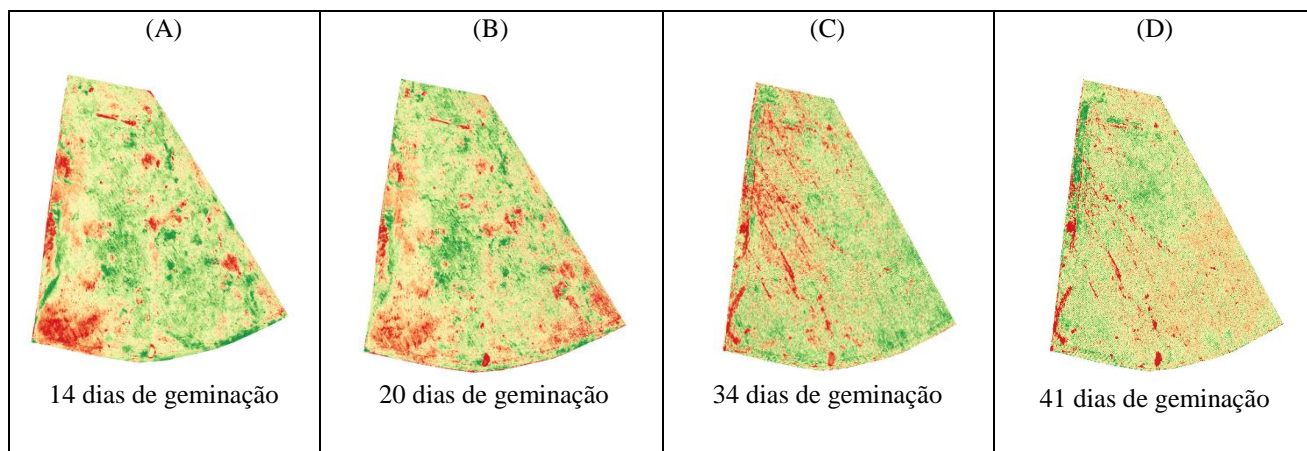


Figura 2 – Comparativos entre as imagens de TGI referente aos (A) 14, (B) 20, (C) 34, e (D) 41 dias de germinação.

Fonte: Os autores.

Tabela 1 – Valores de TGI e suas respectivas cores de representação.

14 dias de geminado	20 dias de geminado	34 dias de geminado	41 dias de geminado
-8	28,9	-1,8	10,87
-0,7	35,9	16,6	26,16
6,56	42,9	35,1	41,45
13,9	49,9	53,6	56,74
21,2	56,8	72	72,03

Fonte: Os autores.

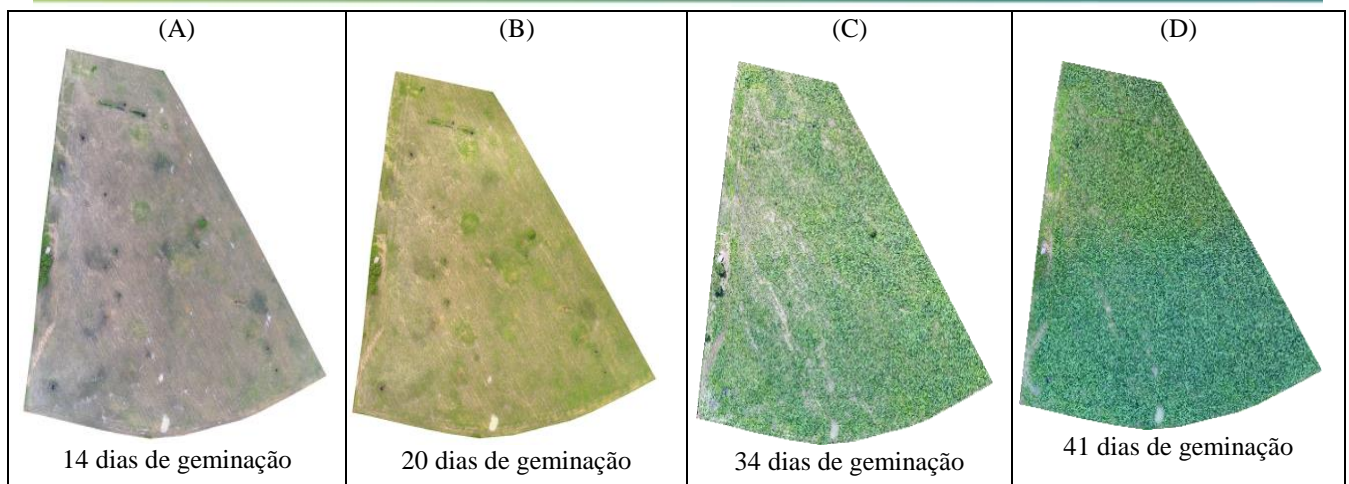


Figura 3 – Comparativos entre as imagens RGB do plantio referentes aos (A) 14, (B) 20, (C) 34, e (D) 41 dias de germinação.

Fonte: Os autores.

No primeiro e segundo estágio de germinação analisados (figura 2A,B), é possível notar a diminuição dos teores verdes de clorofila e aumento dos teores vermelhos. Para o primeiro estágio de germinação as cores vermelha a laranja, equivalem a valores de TGI entre -8 e -0,7, enquanto que o tom mais bege, equivale ao valor de TGI de 6,56. As cores verdes representam valores entre 13,9 e 21,2 de TGI. Da mesma forma que para o segundo estágio de germinação, o TGI é distribuído nas cores vermelha a laranja que equivalem a valores entre 28,9 e 35,9, a cor bege correspondente ao valor de 42,9 e as cores verdes representa valores de TGI entre 49,9.

Obteve-se variações entre os valores de TGI referentes a cor vermelha à laranja do primeiro e segundo estágio de evolução. Enquanto que o primeiro demonstra valores que variam valores negativos, no segundo observa-se que a variação inicia a partir de valores maiores que o do valores máximos do primeiro estágio. Esta diferença demonstra a diminuição de solo exposto e consequente falhas na vegetação, na mudança de um estágio em função da evolução da germinação.

O processo de desenvolvimento do plantio no primeiro, encontra-se primitivo. Nessa fase de desenvolvimento do milho, é possível observar os baixos níveis de clorofila caracterizando baixo percentual de nitrogênio e pequeno percentual da densidade vegetativa, correspondendo ao solo descoberto.

Nota-se na figura 3A,B e 4A,B que o milho de ambos os períodos de germinação estão no estágio primordial, folhas com tons verdes mais claros quando comparas dos os estágios mais avançados, pouca densidade, baixos níveis de clorofila e com ascensão do milho.

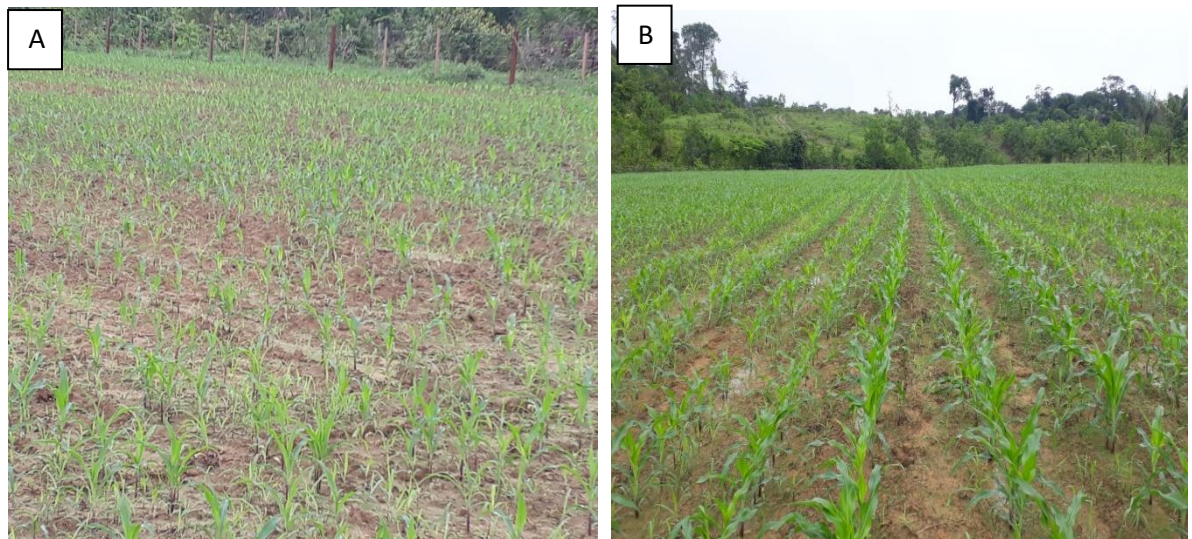


Figura 4 – Comparativos entre as imagens de perfil do plantio, mostrando o seu desenvolvimento entre A) 14 e B) 20 dias de germinação.

Fonte: Os autores.

A confrontação dos mapas gerados com a observação in loco, utilizando o aplicativo Avenza para localizar as áreas de interesse, mostrou que a partir de 34 dias, e sobretudo, a partir dos 41 dias após a germinação, foi possível diferenciar falhas de plantio, áreas com acúmulos consecutivos de água da cultura com diferenças relacionadas ao aspecto da planta.

No terceiro e quarto estágio de germinação analisados (figura 2C,D), é possível notar a diminuição dos teores vermelhos e aumento dos teores verdes de clorofila. Para o terceiro estágio de germinação as cores vermelha a laranja, equivalem a valores de TGI entre -1,81 e 16,5, enquanto que o tom mais bege, equivale ao valor de TGI de 35,1. As cores verdes representam valores entre 53,6 e 72,0 de TGI. Da mesma forma que para o quarto estágio de germinação, o TGI é distribuído nas cores vermelha a laranja que equivalem a valores entre 10,8 e 26,1, a cor bege correspondente ao valor de 41,4 e as cores verdes representa valores de TGI entre 56,7 e 72,0.

De imediato, nota-se a grande discrepância entre os valores de TGI referentes a cor vermelha à laranja do terceiro e quarto estágio de evolução. Enquanto que o terceiro demonstra valores que variam de negativos até positivos, no quarto observa-se que a variação inicia de valores maiores que



o do intervalo final do terceiro estágio. Esta diferença demonstra a diminuição de solo exposto e consequente falhas na vegetação, na mudança de um estágio para o outro devido ao desenvolvimento do plantio.

O processo de desenvolvimento do plantio neste último estágio, encontra-se bastante avançado. Nessa fase de desenvolvimento do milho, é possível observar os diferentes níveis de clorofila presente no plantio.

Nota-se na figura 3C,D e 5A,B que o milho de ambos os períodos de germinação estão em bom estado de desenvolvimento, diminuindo significativamente em relação ao primeiro e segundo estágio a área de solo exposto, devido ao crescimento e aumento de densidade e aumento dos níveis de clorofila, como resultado do progresso do milho.

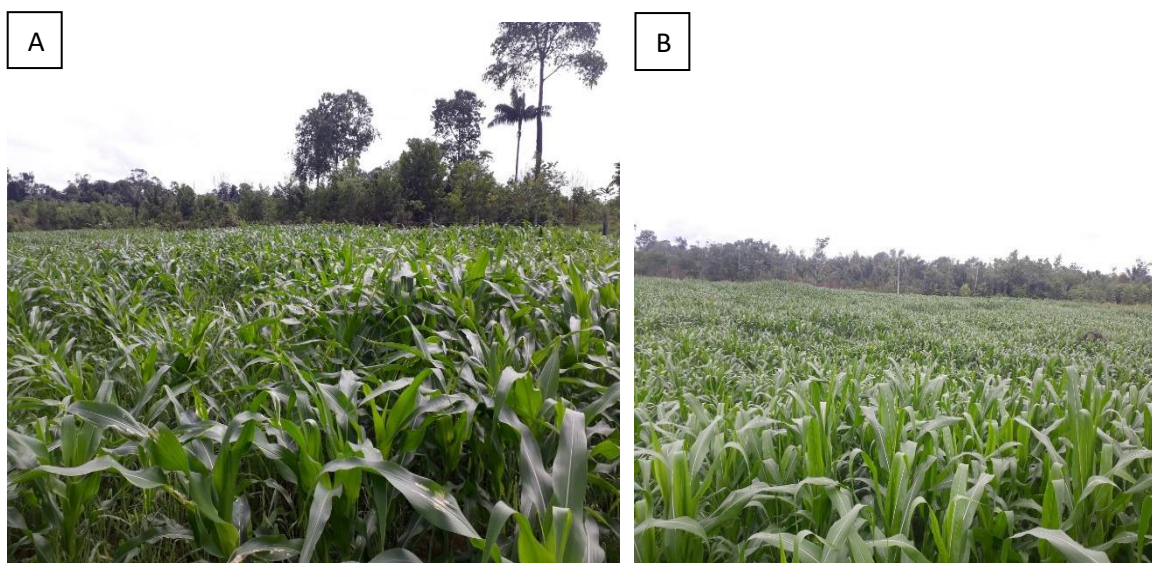


Figura 5 – Comparativos entre as imagens de perfil do plantio, mostrando o seu desenvolvimento entre A) 34 e B) 41 dias de germinação.

Fonte: Os autores.

5 CONSIDERAÇÕES

A extração do TGI de imagens captadas por sensor CMOS RGB FC6310, 8.8, 5472x3648 de 20 megapixels portados por Aeronaves Remotamente Pilotadas mostrou-se de grande eficácia para monitorar o desenvolvimento do milho no sul do estado de Roraima, que os menores valores de TGI



coincidiam com a ausência da cultura na área de plantio e correspondem com diferentes densidade da vegetação.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, B. S.; D'ARCO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. **O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, p.739-747, 2003.

HUNT, E. R et al. **Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index.** Agronomy Journal. V. 103, n 4. 2011.

JESEN, J. R; EPIPHANIO, J. C. N. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Parênteses, 2011.

MCKINNON, T.; HOFF, P. **Comparing RGB-based vegetation indices with NDVI for drone based agricultural sensing.** Agribox, LLC, AGBX021-17, 2017.

MORAES, C. E. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto.** Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, 2012.

VINHAL, P. **Deteção de nematoides na cultura cafeeira a partir de imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada.** Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Minas Gerais. p. 27-30, 2018.