

## Índice de cobertura verde para imagens de altíssima resolução

Marcos Corrêa Neves <sup>1</sup>  
Othon da Rocha Neves Júnior <sup>2</sup>  
Alfredo José Barreto Luiz <sup>1</sup>  
Ieda Del'Arco Sanches <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Meio Ambiente  
Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil  
{marcos.neves, alfredo.luiz}@embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/EGC  
Campus Universitário Reitor João D. F. Lima, 88040-900 - Florianópolis - SC, Brasil  
othonrocha@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
ieda.sanches@inpe.br

**Abstract.** The low altitude aerial images are becoming more common every day due to low cost and ease of use of platforms such as remotely piloted aircraft. The potential application of this type of data is very high. One example is the precision agriculture, a farming management concept based on observing, measuring and responding to inter and intra-field variability in crops, an activity that can greatly benefit from this technology. The low altitude of image acquisition allows very high level of scene details but aggravates problems such as lighting variation and image deformation. In addition, often common cameras are used in different situations altitude, inclination, lighting and camera setup. These specific characteristics in relation to the orbital data require development of new methods and approaches to exploit the potential of data and to mitigate problems and limitations. In this work, we present a proposal for a method that provides a green coverage index. It reflects the green pixels density in an area. The proposed index has similar applicability to vegetation indices but does not require near-infrared data, not available in common cameras. We show problems especially related to agriculture applications, present initial test results discuss the possibilities and limitations of the method.

**Palavras-chave:** image processing, computer vision, leaf area index, agriculture, processamento de imagem, visão computacional, índice de área foliar, agricultura.

### 1. Introdução

Desde a década de 70, com o início da série de satélites Landsat, o Sensoriamento Remoto (SR) vem experimentando uma oferta crescente de dados. Aumento do número de satélites e sensores disponíveis, aumento do número de bandas espectrais, diferentes resoluções espaciais e temporais, sempre ampliando as possibilidades de aplicação em diferentes áreas. Mas um novo conjunto de dados vem se tornando mais disponível e com uma acentuada tendência de crescimento: os dados obtidos por câmaras digitais leves instaladas em pequenas plataformas à baixa altitude, em especial as aeronaves remotamente pilotadas (ARP).

Trabalhos com imagens em baixa altitude usando diferentes plataformas como aeromodelos, pipas e balões são executados desde a época das câmaras fotográfica analógicas. Aber et al. (2010) apresenta um amplo histórico de aplicações e desenvolvimento usando imagens fotográficas de pequeno formato. Ramos e Bueno (2007) apresentam alguns projetos pioneiros no país. Recentemente, os sistemas baseados em ARP tiveram grande evolução com o desenvolvimento de placas controladoras de voo, algumas com hardware e software abertos, como as placas APM (APM, 2016) e Pixhawk (Meier, 2016). Este desenvolvimento permitiu o aparecimento de plataformas baratas e de fácil operação. Jorge e Inamasu (2014) apresentam o estágio atual da tecnologia e aplicações em agricultura.

Os dados oriundos destas plataformas têm características peculiares em relação ao conjunto de dados tradicionalmente usados em SR. Devido à baixa altitude de aquisição da imagem as resoluções espaciais podem ser na ordem de grandeza equivalente a unidade do centímetro. Neste nível de detalhamento, uma única folha de uma planta pode conter vários pixels. Enquanto um pixel de uma imagem do sensor *Operational Land Imager* (OLI), de 30 x 30 m, sintetiza em cada banda a reflectância oriunda de uma área de 900 m<sup>2</sup>, englobando folhas verdes, palha, solo, sombra e tudo o mais que esteja visível sobre o solo no momento da passagem do satélite, na fotografia obtida com uma câmara a bordo de uma ARP, uma única folha de bananeira, por exemplo, pode ter várias medidas de reflectância, já que sua superfície apresenta uma curvatura natural, com vários ângulos de incidência da luz solar, modificando a intensidade da reflectância percebida pelo sensor. Outra característica distinta destes dados é que a sua obtenção é realizada sem o mesmo controle e rigidez dos sistemas orbitais, e mesmo dos levantamentos aerofotogramétricos tradicionais. Os dados oriundos destes levantamentos são gerados por variados modelos de câmaras fotográficas, nas mais diferentes situações de altitude, iluminação, inclinação e configuração das câmaras (abertura do diafragma, velocidade do obturador, por exemplo). Estas características certamente demandarão um novo conjunto de métodos para explorar as potencialidades e tratar as características e os problemas relacionados aos dados obtidos por estas plataformas.

As características deste novo conjunto de dados e os desafios associados ao seu aproveitamento, como as deformações e degradação da imagem, podem ser minorados com o emprego de técnicas e métodos maduros, disponíveis e utilizados em áreas correlatas ao SR, como a Visão Computacional, em problemas típicos de visão estereográfica, múltiplas visões, modelagem 3D, reconstrução do movimento, entre outros (Hartley e Zisserman, 2003). Esta nova realidade, não representa uma ameaça ao SR orbital e aerotransportado por veículos tripulados, e sim, amplia suas possibilidades, sendo um grande desafio o desenvolvimento de novos métodos e abordagens mais apropriados a este conjunto de dados.

O potencial de aplicação dos dados adquiridos à baixa altitude é muito alto. Na Agricultura de Precisão (AP), por exemplo, área que se preocupa com a variabilidade interna de uma parcela agrícola, há necessidade do acompanhamento da cultura desde o plantio até a sua colheita (Neves et al., 2014). Um problema da aplicação da AP é obter dados de forma frequente, barata e sem afetar o sistema produtivo. O SR e as imagens obtidas em plataforma de baixa altitude, em especial, se encaixam nestes requisitos (Zhang e Kovacs, 2012).

Neste trabalho apresentamos a proposta de um método para gerar um Índice de Cobertura Verde (ICV) para aplicação a partir de imagens de altíssima resolução. Ele pode ser aplicado a imagens adquiridas por câmaras fotográficas comuns, sem a necessidade do uso do canal infravermelho. Ele utiliza o espaço de cor representado pelos componentes matiz, saturação e brilho, referenciado na literatura como HSB ou HSV (*hue, saturation e brightness/value*) (Chang et al., 2010). Este espaço permite facilmente a separação de uma determinada cor (matiz), passo inicial no método proposto. As características deste índice permitem obter informações da quantidade relativa de pixels com tons de verde em uma área. Uma aplicação mais específica para a agricultura é acompanhar o desenvolvimento de uma cultura desde sua germinação/brotação, percebendo as falhas no plantio e problemas no seu desenvolvimento.

## 2. Metodologia de Trabalho

O nome do *Índice de Cobertura Verde* (ICV) foi escolhido porque o método é sensível ao matiz verde e não à vegetação. Ele tem semelhança com o Índice de Área Foliar (IAF), que é definido como a soma das áreas das folhas (um lado) sobre a unidade de área projetada no solo. No ICV aqui proposto, estima-se remotamente a soma das áreas das projeções ortogonais das folhas sobre uma área do terreno, desconsideradas as sobreposições entre folhas. A correlação numérica dos dois índices (ICV e IAF) é maior nas fases iniciais do

desenvolvimento das plantas. Em outras situações, o ICV pode ser utilizado no lugar dos tradicionais índices de vegetação (IV) com a vantagem de não necessitar da banda espectral relativa ao infravermelho próximo, comumente utilizada no cálculo dos IVs, mas não disponível nas câmaras fotográficas comuns.

O método considera que a imagem de entrada é ortorretificada para corrigir os erros provocados pela geometria de aquisição da imagem. O ICV retrata a proporção de pixels classificados como verdes em relação ao número total de pixels dentro de uma área quadrada com  $n \times n$  pixels. O estimador *kernel* é utilizado em análise de dados espaciais para medir a intensidade de ocorrência de eventos no espaço (Bailey e Gatrell, 1995). Aqui, ele é usado para calcular a proporção de pixels em tons verdes em uma determinada área da imagem. No caso da agricultura, o espaçamento do cultivo é um parâmetro que pode ser usado para balizar a definição do valor de  $n$  adequado, convertendo o espaçamento para o número de pixels equivalente na imagem. O diagrama da Figura 1 ilustra as etapas do método proposto. A imagem ortorretificada é transformada para o espaço de cor HSB. Depois, os pixels com matiz verde são identificados no componente matiz ( $H$ ) formando uma máscara. A máscara é utilizada para gerar duas imagens, uma formada apenas com os tons de verde e a outra com os demais matizes (imagem complementar). Estas duas imagens são utilizadas para checagem dos limiares utilizados na separação dos pixels em verde. Por fim, é aplicado o operador *kernel*.

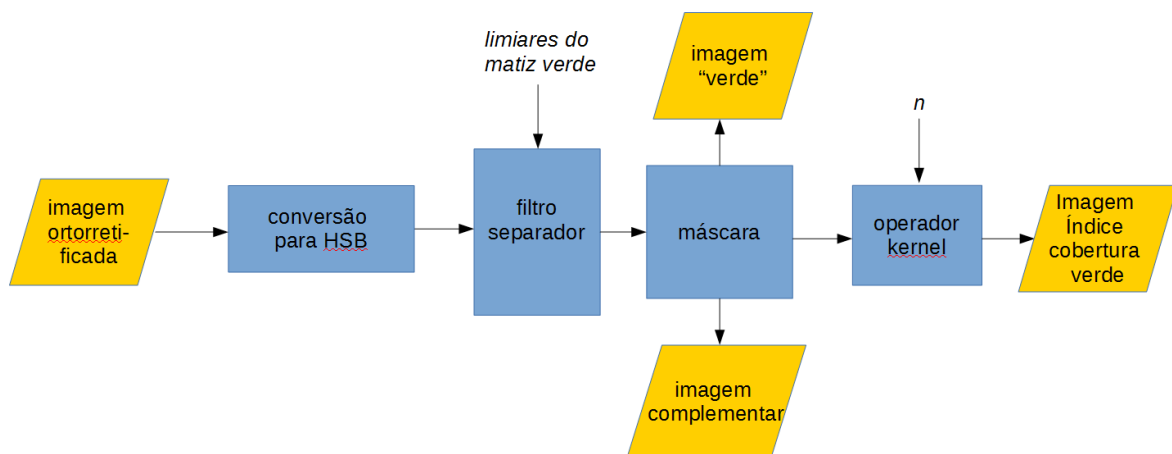


Figura 1. Diagrama do método.

Para as avaliações iniciais do método foi implementado um protótipo em linguagem Python 2.7 adicionando funcionalidades do módulo de Visão Computacional (OpenCV). As imagens utilizadas para os testes iniciais foram aproveitadas de voos experimentais de um quadricóptero com uma câmara compacta Canon 810 acoplada, de 16 Megapixel, tomadas a 40 m de altura do solo. A imagem ortorretificada foi gerada pelo aplicativo DroneDeploy® (DroneDeploy, 2016). Também foram usadas imagens do Google Earth® (Digital Globe®) sobre uma área com cultivo de cana-de-açúcar, em dois estágios de desenvolvimento, para ilustrar as possibilidades de aplicação do método em monitoramento de culturas agrícolas.

### 3. Resultados e Discussão

A identificação e separação dos pixels em tons de verde se mostrou muito eficiente nas imagens analisadas. O emprego do espaço de cor HSB facilitou a separação que é realizada sobre apenas um dos três componentes, o matiz. Além disso, este espaço de cor apresenta uma outra característica muito interessante para o método proposto. As variações de brilho, tão presentes e intensas nas imagens obtidas a baixa altitude em função da maior variação da geometria de aquisição dos dados ao longo da imagem e da posição relativa da superfície das

folhas, são fortemente expressadas nos componentes  $S$  e  $V$  (saturação e brilho), deixando o componente matiz ( $H$ ) com valores homogêneos. Isto pode ser percebido na Figura 2 que mostra a imagem de três folhas com variações de tons de verde (quadro  $a$ ) e os três componentes  $H$ ,  $S$  e  $V$  correspondentes (quadros  $b$ ,  $c$  e  $d$ , respectivamente). Os tons de verde das três folhas ficam mapeados em valores próximos no componente  $H$ , e com valores bem distintos do solo e palha seca, ambos elementos frequentemente presentes em paisagens agrícolas. É importante perceber que a variação de iluminação existente nos cantos das folhas na imagem original, em função das curvaturas de suas superfícies, é expressa nos outros dois componentes,  $S$  e  $V$ , deixando o componente  $H$  mais independente do ângulo de incidência da iluminação.

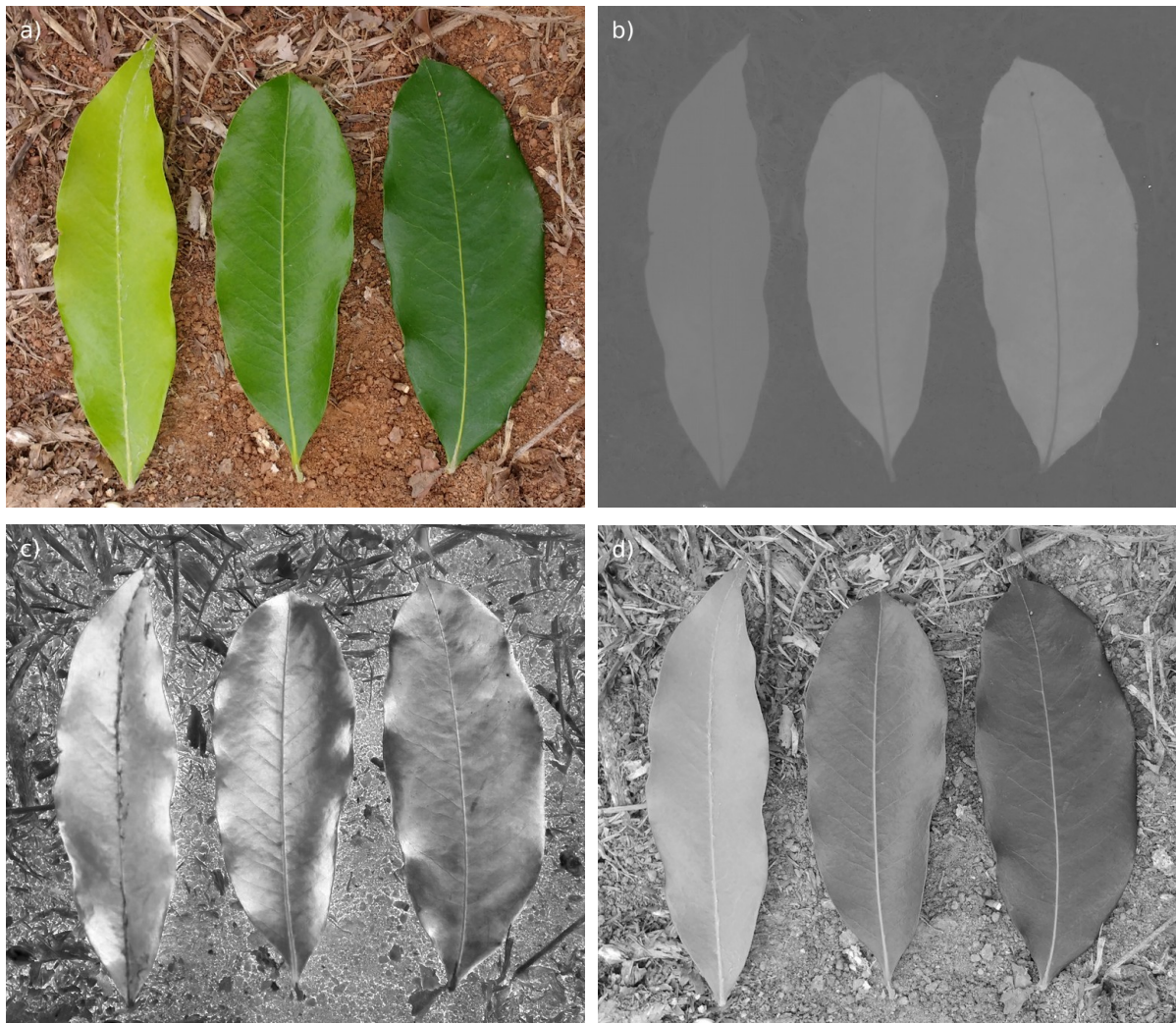


Figura 2. Imagem de folhas e seus três componentes no espaço de cor HSB: matiz (quadro  $b$ ), saturação (quadro  $c$ ) e brilho (quadro  $d$ ).

A Figura 3 mostra a aplicação do método em uma imagem tomada a 40 m de altura do solo, sobre uma parcela com bananeiras e algumas outras plantas (margaridão, *Tithonia diversifolia* e vegetação rasteira). Embora esta imagem não seja ortorretificada, como o previsto pelo método, ela foi utilizada para avaliar a separação de tons de verde e a aplicação do ICV a uma imagem com grande resolução espacial (no caso, o pixel correspondendo a cerca de 1 cm no terreno) para melhor observação dos detalhes. O resultado da separação dos pixels verdes é mostrado no quadro  $b$ , e a imagem complementar (demais matizes) mostrada

no quadro *c*. Estas duas imagens servem para verificar se os limiares de separação do matiz verde estão bem ajustados. No quadro *d* é mostrado o resultado final com a geração da imagem ICV, utilizando  $n = 300$  pixels, que equivale a 3 metros no terreno, o mesmo espaçamento entre as touceiras de bananeiras. O solo ao redor das bananeiras está razoavelmente sem vegetação, mas caso houvesse qualquer planta ou objeto verde, o valor seria computado pelo método.

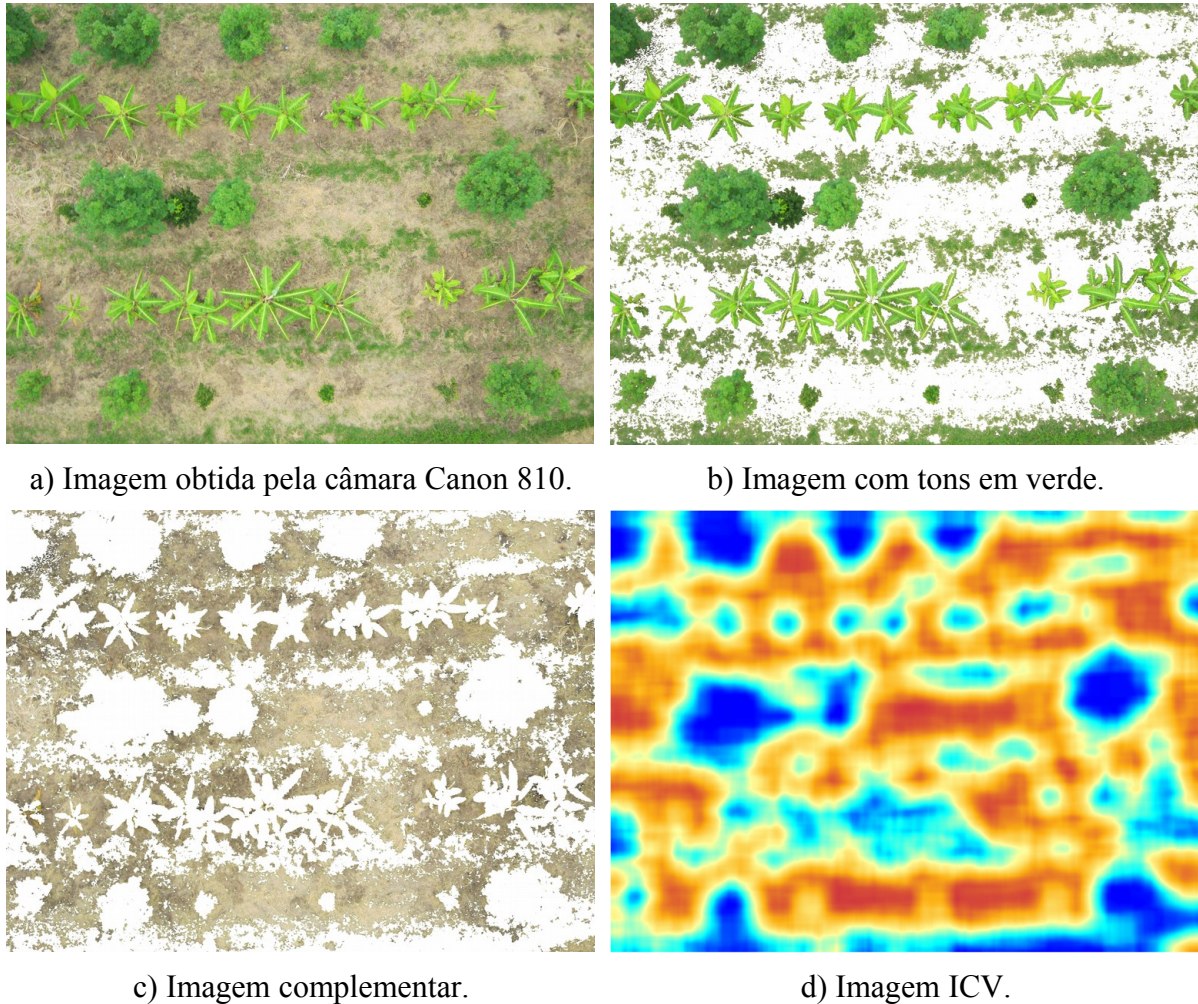


Figura 3. Teste inicial com imagem de 1 cm de resolução. O ICV varia de 0 (vermelho) a 100% (azul).

A Figura 4 mostra a aplicação do método em uma imagem ortorretificada gerada a partir de um conjunto de 24 imagens obtidas com a câmara Canon 810, nas mesmas condições anteriores, 16 M pixels de resolução e 40 m de altura do solo. Esta paisagem é formada por uma área de recuperação com várias árvores nativas, uma parcela com bananeiras e áreas com vegetação baixa (quadro *a*). Neste mosaico o pixel corresponde a aproximadamente 6 cm no solo. No quadro *b* é apresentado o resultado final, após o *kernel* ser aplicado com  $n = 20$  pixels, o que corresponde a uma distância de 1,2 m, no solo. Esta aplicação mostra que o método não é bom para diferenciar áreas completamente ocupadas por vegetação. No exemplo, a área com vegetação baixa tem índices de cobertura verde muito semelhantes à área de mata. Na Figura 4.c é apresentado um detalhe da imagem, pode-se perceber a variação do ICV dentro da área de bananeiras e também uma certa robustez do método à presença de

sombreamento na cena, pois as sombras das árvores e matos mais altos foi corretamente classificado como verde.

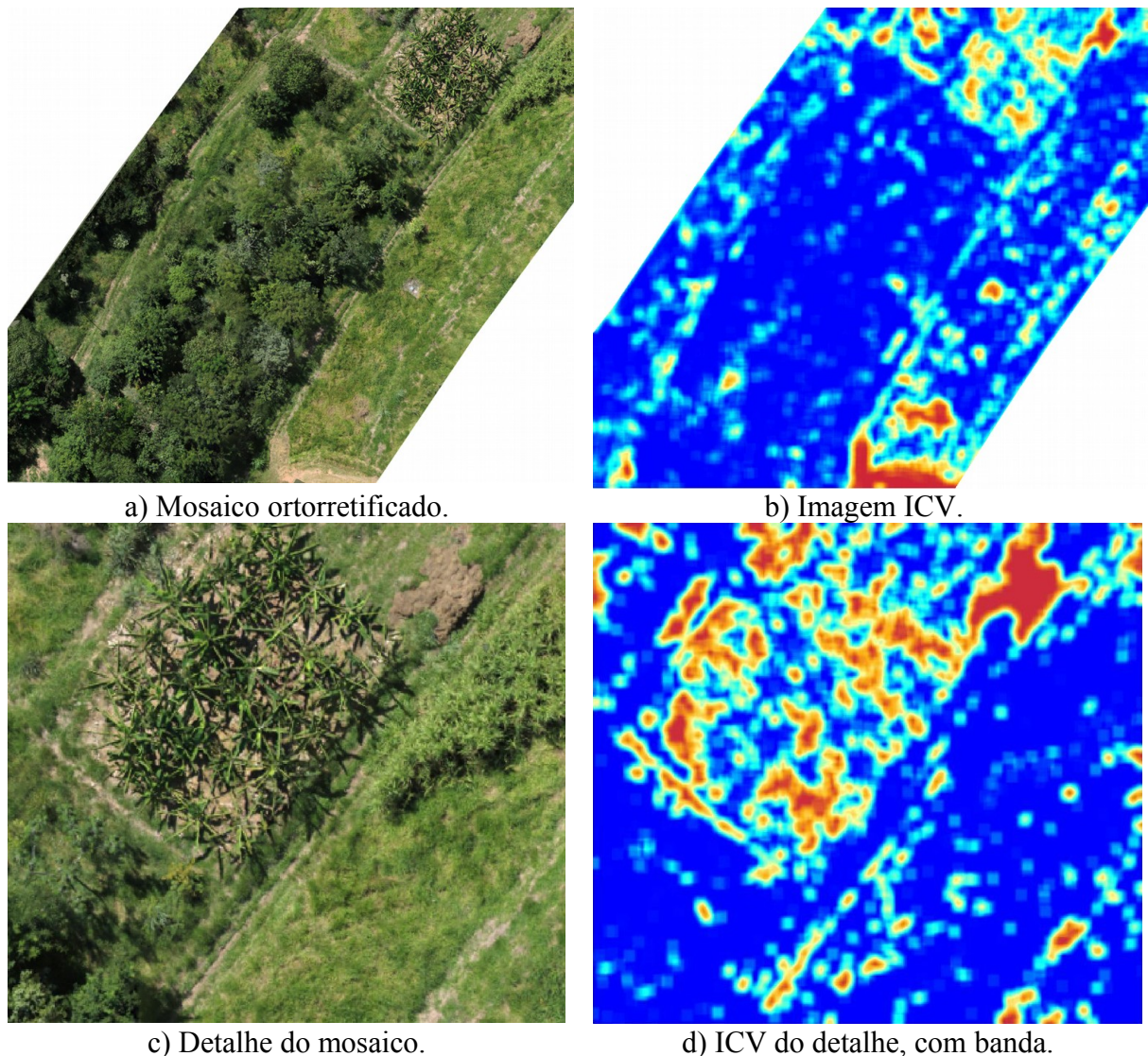


Figura 4. Aplicação do método proposto a um mosaico ortorretificado.

Fica claro que a situação apresentada na Figura 4 não é a mais apropriada para a aplicação do método devido à heterogeneidade da cena, onde fica difícil definir um valor para  $n$  ideal para toda a imagem. Além disso, existem pontos de sombreamento quase total, onde não é possível detectar o matiz. Para uma avaliação em situação distinta, em área de monocultivo, aplicamos o método sobre duas áreas com cana-de-açúcar, utilizando imagens extraídas do Google Earth®. A Figura 5 apresenta uma área onde a cana está brotando. O resultado, apresentado à direita da figura, mostra a variação do ICV para esta situação, na qual as áreas em brotação assumem tons de azul em função do desenvolvimento das plantas. Já a Figura 6 mostra uma área com cana-de-açúcar mais desenvolvida que a da situação anterior. Neste caso, os valores baixos de ICV (em vermelho) mostram os carregadores e as áreas em que a lavoura apresenta falhas na cobertura do solo, o que pode ser associado a possíveis problemas na cultura.

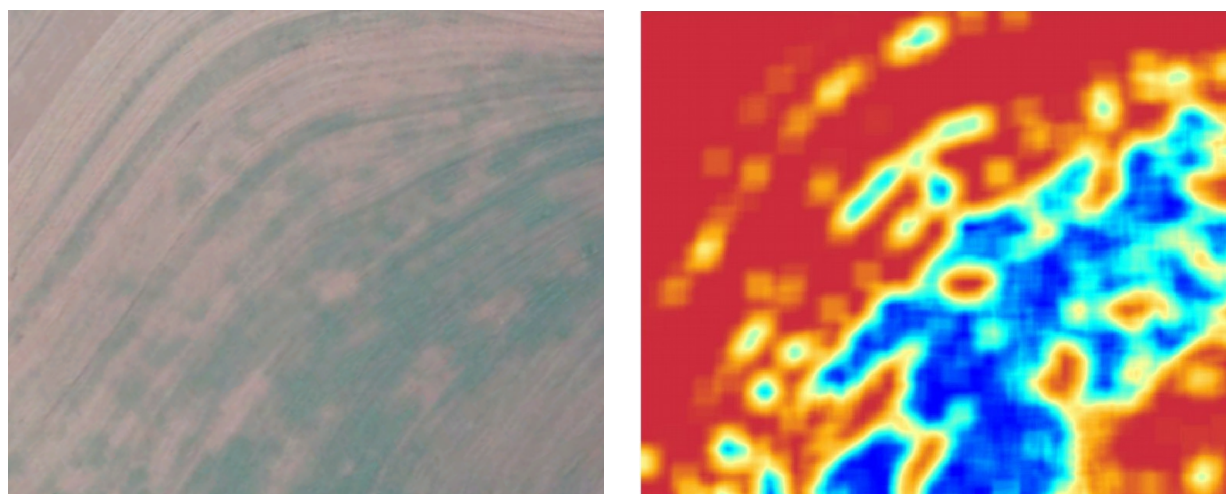


Figura 5. Aplicação do ICV a uma área de cana-de-açúcar em brotação (imagem: Google Earth, à esquerda; e o ICV correspondente, à direita)

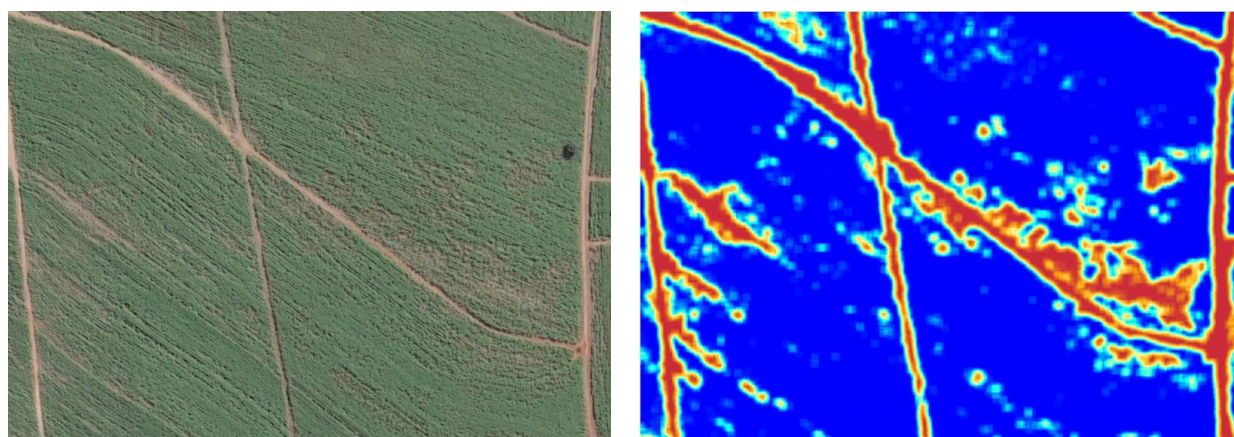


Figura 6. Aplicação do ICV a uma área de cana-de-açúcar desenvolvida (imagem: Google Earth, à esquerda, e o ICV correspondente, à direita).

#### 4. Conclusões

O uso do espaço de cor HSB se mostrou eficiente, pois minimizou os efeitos da variação da iluminação nos objetos da cena, além de facilitar a separação dos pixels em tons verdes usando limiares em um único componente da imagem (componente  $H$ : matiz). O método se mostrou promissor em apontar áreas de monocultivos com desenvolvimentos diferentes. Nas fases iniciais dos cultivos ele fornece uma medida numérica, proporcional à área de folhas, e nas fases mais desenvolvidas, ele pode funcionar como um indicador de áreas com falhas e eventuais problemas. O método não é indicado para comparar áreas com diferentes culturas, completamente coberta com folhas, pois ele não é sensível a biomassas distintas.

Os resultados iniciais aqui apresentados mostram a aplicabilidade do método às imagens de altíssima resolução e algumas das suas limitações. As próximas etapas que marcarão o desenvolvimento do método será avaliar a eficácia da medida e sua utilidade prática em diferentes situações.

#### Referências Bibliográficas

Aber, J. S.; Marzoff, I.; Ries, J. B. **Small-format aerial photography principles, techniques and geoscience applications**. Amsterdam: Elsevier Science, 2010. 268 p. ISBN: 978-0-444-63823-6.

ArduPilot Mega (**APM**). The open source autopilot. Disponível em: <<http://www.ardupilot.co.uk/>>. Acesso em: 31 out. 2016.

Bailey, T. C.; Gatrell, A. C. **Interactive spatial data analysis**. Harlow Essex, UK: Longman Scientific & Technical; J. Wiley, 1995. 413 p. ISBN 0-582-24493-5.

Chang, J. D.; Yu, S. S.; Chen, H. H.; Tsai, C. S. HSV-based color texture image classification using wavelet transform and motif patterns. **Journal of Computers**, v. 20, n. 4, p. 63–69, 2010.

**DroneDeploy**. Introducing a new mapping experience. Disponível em: <<https://www.dronedeploy.com/>>. Acesso em: 31 out. 2016.

Jorge, L. A. C.; Inamasu, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: Bernardi, A. C. C.; Naime, J. M.; Resende, A. V.; Bassoi, L. H.; Inamasu, R. Y. (Eds.) **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134. ISBN 978-85-7035-352-8.

Hartley, R.; Zisserman, A. **Multiple view geometry in computer vision**. 2.ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004. 670 p. ISBN 978-0521540513.

Meier, L. **Pixhawk**. Computer vision and geometry lab. Disponível em: <<https://pixhawk.org/>>. Acesso em: 31 out. 2016.

Neves, M. C.; Perez, N. B.; Sisti, R. N. Análise exploratória de dados de monitoramento dos animais em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária. In: **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP)**, 6., 2014, São Pedro, SP. Anais... Jaboticabal: SBEA, 2014. Sessões Técnicas. On-line. ISBN: 978-85-64681-05-7. Disponível em: <[http://www.sbea.org.br/conbap/crbst\\_4.html](http://www.sbea.org.br/conbap/crbst_4.html)>. Acesso em: 30 out. 2016.

Ramos, J. J. G.; Bueno S. S. Uma proposta para uma rede de ensino, pesquisa e desenvolvimento em veículos robóticos aéreos. In: **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI)**, 8., 2007, Florianópolis, SC. Anais... Campinas: SBA, 2007. Disponível em: <[http://www.sba.org.br/rsv/SBAI/SBAI2007/docs/30907\\_1.pdf](http://www.sba.org.br/rsv/SBAI/SBAI2007/docs/30907_1.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2016.

Zhang, C.; Kovacs, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision agriculture**, v. 13, n. 6, p. 693–712, 2012.