

## **Identificação de má formação em plantios através do processamento de imagens aéreas obtidas por VANT**

### **Identification of malformation in plantations through aerial images processing obtained by UAV**

*Jonas Fernandes da Silva<sup>1</sup>, Helder Nogueira de Moura<sup>2</sup>, José Antônio Gomes de Lima<sup>1</sup>, Alisson V. Brito<sup>1</sup>,*

<sup>1</sup> Centro de Informática, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil, [jonas@ccae.ufpb.br](mailto:jonas@ccae.ufpb.br), [jose@ci.ufpb.br](mailto:jose@ci.ufpb.br), [alisson@ci.ufpb.br](mailto:alisson@ci.ufpb.br)

<sup>2</sup> REINTEGRIS, João Pessoa, Paraíba, Brasil, [helder@reintegrism.com.br](mailto:helder@reintegrism.com.br)

#### **RESUMO**

O monitoramento agrícola é uma tarefa extremamente importante, pois a identificação de áreas degradadas ajuda no processo de tomada de decisões e pode evitar prejuízos. Veículos aéreos não tripulados (VANTs) são cada vez mais utilizados nas tarefas de monitoramento de grandes áreas de plantações devido às suas características vantajosas, cuja captação de imagens aéreas permite analisar ou processar estas imagens através de softwares para identificação de regiões de interesse. Este artigo propõe uma solução de processamento de imagens aéreas capaz de identificar áreas de solo exposto em grandes áreas de plantações e que possa ser embarcada em um computador de porte leve e baixo consumo. A solução foi embarcada na plataforma de desenvolvimento *Altera DE2i-150* e na placa *Intel Edison* a partir de algoritmos baseados em *watersheds* com a biblioteca de software de visão computacional *OpenCV*. Os resultados mostram que a solução proposta em sistemas embarcados, apesar de possuírem poder de processamento reduzido, é viável e tão eficiente quanto à implantação em um computador pessoal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Monitoramento agrícola, Sistemas embarcados, Watershed.

#### **ABSTRACT**

The agricultural monitoring is an extremely important work, because the identification of degraded areas helps in a taking decision process and can avoid losses. Unmanned aerial vehicles (UAV's) are more and more used in the monitoring work of large areas of plantations because of their advantageous features, whose aerial imaging permits to analyze or process

these images using software to identify interest areas. This paper proposes an aerial images processing solution to be capable of identify exposed soil areas in large areas of plantations and can be embedded in a small computer and low power. The solution was embedded in development platform *Altera DE2i-150* and *Intel Edison* card from algorithms based on *watersheds* with computer vision software library *OpenCV*. The results show that the proposed solution used in embedded systems, although having reduced processing power, it is a viable solution, and it is as efficient as the implementation on a personal computer.

**KEYWORDS:** Agricultural monitoring, Embedded systems, Watershed.

## 1- INTRODUÇÃO

Inicialmente os veículos aéreos não tripulados (VANTs) foram desenvolvidos apenas para aplicações militares, atualmente são cada vez mais utilizados em todo o mundo em diversas aplicações, estendendo-se para a agricultura e aquisição de dados. Os avanços em estudos de visão computacional têm contribuído para maior autonomia dos VANTs, tanto para proporcionar a navegação autônoma, como para realizar tarefas como o monitoramento aéreo de determinadas áreas (LIU; DAI, 2010).

Em grandes áreas de plantações, o monitoramento agrícola é uma tarefa difícil e custosa, tanto devido aos gastos com deslocamento de especialistas, quanto ao tempo de resposta na identificação do problema, culminando em um maior tempo de espera para tomada de decisões, causando prejuízos. O uso de VANTs na agricultura traz diversas vantagens e maior precisão no gerenciamento de lavouras, devido a sua capacidade de percorrer uma distância considerável com segurança, tempo reduzido e menor custo, comparando, por exemplo, com o uso de um helicóptero tripulado.

A partir de uma imagem aérea é possível verificar possíveis deficiências na plantação, tomando-se decisões essenciais, como por exemplo, a identificação de pragas ou danificações e a necessidade de proceder com a utilização de agrotóxicos evitando a propagação destas pragas na lavoura, como mostra o trabalho de Jorge et al. (2014) que relata o uso de VANTs na agricultura para detectar com alta precisão a infestação de *Huanglongbing (HLB)*, uma doença bastante destrutiva encontrada na agricultura de citros no Brasil; assim também em (HERWITZ et al., 2004), um VANT monitora uma região agrícola em busca da identificação de focos de ervas daninhas invasoras e anormalidades na irrigação. Outros trabalhos realizados como em (FELIZARDO et al., 2013b) e (FELIZARDO et al., 2013a) utilizam VANTs para coletar e analisar imagens aéreas digitais, detectando alterações não-autorizadas

na terra, como por exemplo, desmatamento para construção de residências. Na maioria desses casos a identificação não ocorre automaticamente, necessitando da intervenção humana para posterior análise da imagem, seja por um especialista ou por software. O mesmo ocorre em (CAMPOY et al., 2009) e (AHMAD et al., 2013), onde imagens aéreas digitais são obtidas a partir de uma câmera acoplada a um VANT visando realizar um mapeamento temático e topográfico, no qual imagens aéreas são disponibilizadas somente depois de algumas horas para que seja realizado o processamento necessário.

Este artigo tem por objetivo implantar, a partir de um algoritmo simples, um sistema de processamento de imagens capaz de identificar automaticamente áreas de solo em exposição e calcular um percentual aproximado de áreas degradadas em diversos tipos de vegetação, utilizando para isso computadores de porte leve e baixo consumo de energia, além de comparar o tempo de execução do algoritmo em relação a um computador pessoal; este trabalho é relevante por apresentar uma solução de baixo custo capaz de executar as tarefas dedicadas com rapidez e baixo consumo, além de contribuir com a comunidade científica através da comparação de desempenho entre as plataformas avaliadas. Áreas de exposição em lavouras podem ser usadas para identificar pragas, problemas no solo ou delimitação de plantios. O sistema deverá ser acoplado a um VANT, onde o monitoramento agrícola deverá ser realizado em tempo real durante o voo, eliminando a necessidade de pousar para descarregar as imagens, possibilitando diagnósticos automáticos pelo próprio VANT (será desenvolvido em trabalho futuro).

Na seção 2 é apresentada a metodologia utilizada e uma breve descrição da biblioteca *OpenCV* e do algoritmo utilizado, também são apresentadas características das plataformas de hardware; uma subseção tratará sobre a modelagem do sistema, que traz características relacionadas à implantação e ao ambiente em que as imagens foram obtidas. Na seção 3 serão apresentados os resultados e as comparações de desempenho entre o sistema embarcado e o sistema no computador pessoal. Por fim, na seção 4 apresentam-se as considerações finais.

## **2 - MATERIAL E MÉTODOS**

Esta seção apresenta o algoritmo e as características de hardware utilizadas, faz uma breve descrição sobre a biblioteca *OpenCV*, bem como descreve os métodos utilizados na implementação do algoritmo para o processamento das imagens.

O sistema desenvolvido utiliza imagens aéreas obtidas por um VANT para a identificação de áreas degradadas em uma determinada área de uma plantação, que no caso, estamos considerando essas áreas como sendo parte do solo em exposição. A etapa de

segmentação de imagens utilizada neste trabalho é baseada na técnica *watershed*, que trata de um algoritmo de segmentação de imagens popular; baseia-se na visualização de uma imagem em três dimensões, similar a uma superfície topográfica, onde se têm as duas coordenadas espaciais  $x$  e  $y$  e a altura é igual ao nível de cinza do pixel correspondente (BIENIEK; MOGA, 2000). Nesta interpretação "topográfica" em imagens em escala de cinza pode-se imaginar uma bacia hidrográfica em que manchas claras e escuras representam colinas e depressões em uma paisagem (BLEAU; LEON, 2000), onde uma inundação é imaginada, cobrindo as áreas mais baixas e ressaltando as mais altas. Esses limites da barragem correspondem às linhas de divisão das *watersheds*, que são fronteiras extraídas pelo algoritmo de segmentação (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Como o objetivo deste trabalho é propor um sistema para realizar o processamento de imagem durante o voo, buscou-se implementar o algoritmo em diferentes plataformas computacionais para comparar o desempenho entre elas, com isso, foram utilizadas as plataformas embarcadas *DE2i-150* e *Intel Edison*; como também um computador pessoal a título de comparação, pelo qual são apresentadas as configurações de hardware na Tabela 1.

Tabela 1 - Configurações de hardware para as diferentes plataformas

Configuração	Hardware 1	Hardware 2	Hardware 3
Sistema Operacional:	Computador Pessoal	Kit Altera DE2i-150	Placa Intel Edison
CPU:	XUbuntu	XUbuntu	Ubilinux
	I5-3337 1.8GHz	Intel Atom N2600	Atom Dual Core
		1.6GHz	500MHz
Memória principal:	6GB DDR3	2GB DDR3	1GB DDR3
GPU:	Radeon 7500 - 1GB	Integrado	-
Armazenamento:	HD 500GB	SSD 64GB	4GB

As plataformas embarcadas foram escolhidas para implantação do sistema devido às suas características que garantem flexibilidade, bom desempenho e baixo consumo de energia. O kit de desenvolvimento *DE2i-150* possui tamanho de 250x170mm, peso 800g, formado por dois blocos principais: o primeiro, utilizado neste trabalho, é responsável pelo processamento em geral, e o segundo está associado a recursos de alta flexibilidade, através do dispositivo FPGA; a configuração é realizada a partir de uma interface VGA ou HDMI através de sistema operacional gráfico. A placa *Intel Edison* se destaca por seu tamanho e leveza, cuja versão utilizada neste trabalho possui apenas 16g e dimensões de 60x28mm, incluindo a interface para comunicação, que também pode ser realizada através de *Bluetooth* e *Wi-fi*; a configuração inicial é realizada através do software de emulação de terminal *putty* por meio de uma interface USB, mas poderá ser realizada através da interface *Wireless* utilizando SSH. A Figura 1 apresenta as plataformas embarcadas utilizadas neste artigo.

Figura 1 - Plataforma *DE2i-150* (à esquerda) e a placa Intel Edison (à direita)



Fonte: Próprio autor

A aplicação foi desenvolvida a partir da biblioteca *OpenCV* (*Open Source Computer Vision Library*) em C++ em um ambiente Linux. *OpenCV* consiste em uma biblioteca multiplataforma de *software* de visão computacional e aprendizagem de máquina de código aberto.

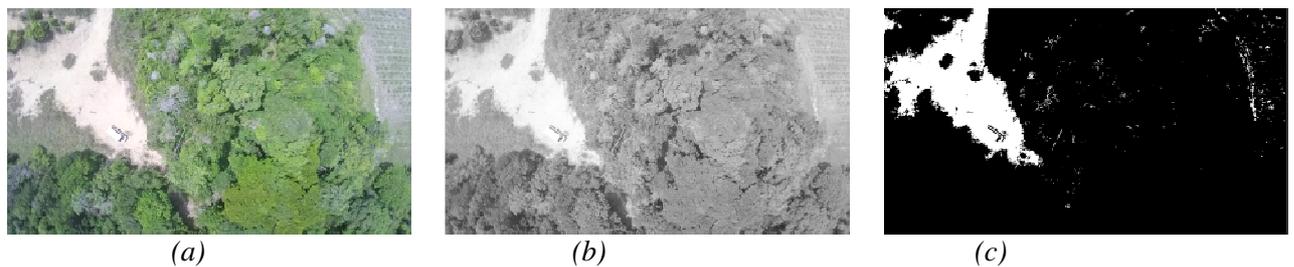
O processo de implementação do algoritmo *watershed* utilizado neste trabalho é dividido em cinco etapas: aquisição da imagem, conversão em escala de cinza, *limiarização*, dilatação da imagem, transformada de distância e uma segunda etapa de *limiarização*.

Na primeira etapa a aquisição da imagem pode ocorrer através da captura direta por uma câmera acoplada a um VANT e enviada para o sistema embarcado através de uma conexão física. A segunda etapa converte em escala de cinza a imagem colorida obtida pela câmera, facilitando a etapa de *limiarização*. Para isso foi utilizado o parâmetro *cvtColor* disponível na biblioteca *OpenCV*. Em um terceiro momento, a técnica de *limiarização* foi empregada (ROSIN; IOANNIDIS, 2003), onde imagem formada será composta por objetos claros sobre um fundo escuro de tal forma que os pixels do objeto e do fundo tenham valores de intensidade agrupados em dois grupos dominantes. Uma maneira simples de extrair os objetos de interesse em uma imagem é selecionar um limiar  $T$ , que separa a imagem em dois grupos, então, qualquer ponto  $(x, y)$  na imagem em que  $f(x, y) > T$  é chamado ponto do objeto; caso contrário é chamado de ponto de fundo; dessa forma é possível realçar objetos de interesse em uma imagem.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) > T \\ 0 & \text{se } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

A *limiarização* pode ser global, quando  $T$  é uma constante aplicável a uma imagem inteira, ou variável, quando  $T$  muda ao longo da imagem. Uma das vantagens de se utilizar a *limiarização* global é a velocidade de processamento, pois esta adota uma técnica simples, não requerendo alto poder de processamento computacional, sendo a técnica adotada neste artigo. A Figura 2 apresenta os resultados das etapas de conversão da imagem colorida (Figura 2a) em escala de cinza (Figura 2b) e a posterior aplicação da técnica de *limiarização* (Figura 2c) aplicado na imagem de uma vegetação.

Figura 2 - Imagens de saídas das etapas de conversão de escala de cinza e limiarização

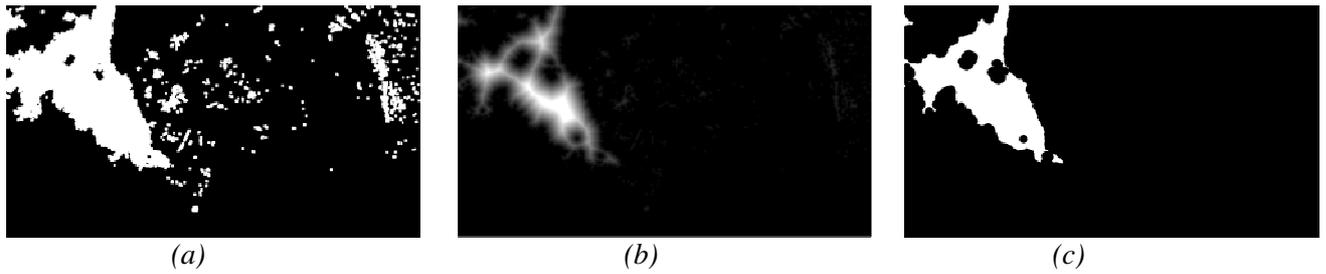


Fonte: (Figura 2a: Hugo Yuri, UFRN 2015; Figura 2b e 2c: próprio autor)

A função de limiarização para a imagem apresentada nesta etapa utilizou um limiar  $T = 200$ , configurado através da função *threshold*; isso significa que valores de pixels inferiores a 200 serão definidas como zero, caso contrário, serão definidos com valor igual a um, culminando em um processo também conhecido como *binarização de imagens*. O valor  $T$  foi definido a partir de testes iniciais, de modo que visualmente a melhor representação da imagem original seja alcançada, e deve ser configurado para cada tipo de plantação, devido às características intrínsecas pertencentes ao grupo de imagens.

A etapa seguinte constitui uma aplicação da técnica de dilatação da imagem, com o intuito de remover pequenos ruídos brancos, realizando o preenchimento de buracos na imagem. Para isso foi utilizado a função *dilate* com parâmetro de três interações cujo objetivo é unir pixel desconexos em áreas próximas com a mesma intensidade, o resultado é demonstrado na Figura 3a. Na quarta etapa foi utilizada a função *transformDistance* a partir da imagem *binarizada* e dilatada, permitindo a partir de uma matriz  $3 \times 3$  a distribuição de diversos pontos da imagem de acordo com o cálculo da distância do centro da matriz até a sua borda, modificando a imagem de acordo com a matriz calculada, resultando na imagem em gradiente apresentada na Figura 3b. Por último é realizada uma nova etapa de *limiarização* para filtrar níveis de gradiente gerados na etapa anterior, ressaltando somente a região de interesse, conforme o resultado final na Figura 3c. Nesta etapa foi utilizado um limiar  $T = 0,20$ , de forma que a imagem final correspondesse às áreas de solo exposto.

Figura 3 - Imagens com aplicação das técnicas de dilatação (a), transformação de distância (b) e limiarização (c)



Fonte: Próprio autor

Considerando que a imagem de saída *binarizada* é uma matriz de pixels com valores 0 (zero) e 255, representando, respectivamente, as áreas de vegetação e solo em exposição, calcula-se a frequência de ocorrência desses valores na matriz e com isso um percentual de falhas na respectiva imagem é encontrado. A matriz da imagem apresentada na Figura 3c, por exemplo, possui 921.600 pixels, dos quais 76.492 referem-se ao valor 255, permitindo inferir que aproximadamente 8,3% da imagem representam áreas de solo exposto.

### **2.1 - Modelagem do Sistema**

Neste trabalho foram utilizadas imagens obtidas por um VANT tipo quadricóptero, modelo *DJI Phantom FC-40*, que possui uma câmera acoplada com resolução de 1280x720 pixels, controlado remotamente nas mediações de uma região agrícola próxima a uma área de preservação ambiental, situada no município de Mamanguape, no estado da Paraíba. As imagens obtidas foram processadas pelas plataformas avaliadas, em laboratório. Em trabalhos futuros, um sistema embarcado será acoplado ao VANT para realizar o reconhecimento de falhas durante o voo.

Um parâmetro para *limiarização*  $T$  foi definido, com vistas a se adequar ao padrão de cada grupo de imagens testado, pois foram utilizadas imagens de diferentes áreas devido à diversidade de culturas agrícolas encontradas no local e a área de preservação, além da captação em diferentes horários do dia, que influencia na luminosidade do ambiente e conseqüentemente necessitará de alteração de parâmetros para o correto processamento. Através da captação de imagens sobre a região de uma monocultura, por exemplo, em vôos em um mesmo horário, espera-se que não seja necessária a alteração desses parâmetros, tendo em vista que as imagens foram obtidas sob as mesmas condições de luminosidade e apresentem um mesmo padrão. Um pseudocódigo com o algoritmo de funcionamento do sistema é apresentado a seguir:

---

```

Algoritmo avaliado
ImagemEntrada <- "/Diretório/imagemEntrada.jpg"
ImagemSaída <- "/Diretório/ImagemSaída.jpg"
INÍCIO
    Imagem1 <- ENTRADA (ImagemEntrada)
    Imagem2 <- ESCALA_DE_CINZA (Imagem1)
    Imagem3 <- LIMIAÇÃO (Imagem2)
    Imagem4 <- DILATAR (Imagem3)
    Imagem5 <- TRANSFORMADA_DE_DISTÂNCIA (Imagem4)
    Imagem6 <- LIMIAÇÃO (Imagem5)
    SALVAR_ARQUIVO (ImagemSaída, Imagem6)
FIM

```

---

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Sistema na plataforma embarcada *DE2i-150* foi executado quase instantaneamente, apresentando desempenho superior à placa *Intel Edison*, conforme podemos observar os resultados do tempo de execução do código nas plataformas embarcadas e no computador pessoal apresentados na Tabela 2. Os testes foram realizados com grupo de quinze imagens aéreas obtidas pelo VANT onde, considerando que o mesmo algoritmo foi utilizado, obtivemos as mesmas imagens de saída para cada experimento nas diferentes plataformas. O tempo médio verificado para a execução do código no computador pessoal foi de 102 milissegundos, enquanto que nas plataformas embarcadas *DE2i-150* e *Intel Edison* foram aproximadamente 400 milissegundos e 1 segundo, respectivamente. Dado o tempo de execução em cada plataforma, temos um período de latência em média de 300 milissegundos para a placa *DE2i-150*, e cerca de 950 milissegundos para a plataforma *Intel Edison*, ambos calculados em relação ao tempo médio de execução do código no computador pessoal. Os resultados foram baseados apenas na execução do código, desconsiderando o processo de compilação do programa.

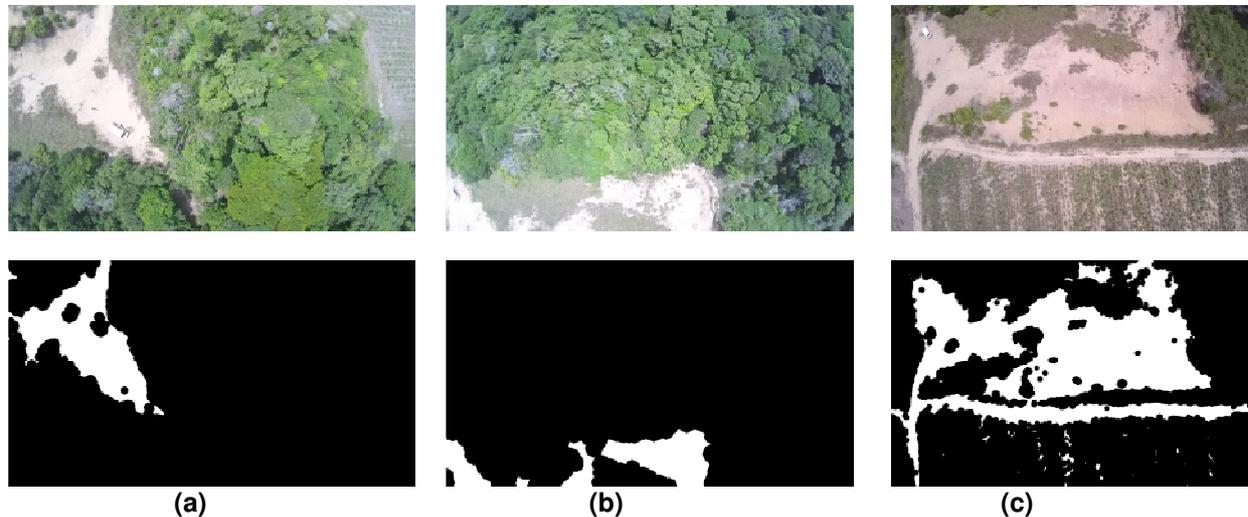
Tabela 2 - Tempo em segundos para a execução do código em diferentes plataformas

Plataforma / Experimento	Computador Pessoal (P1)	Sistemas Embarcados			
		DE2i-150 (P2)	Latência P2 (em relação a P1)	Intel Edison (P3)	Latência P3 (em relação a P1)
Experimento 1	0,096	0,541	0,373	1,059	0,891
Experimento 2	0,117	0,378	0,223	1,039	0,884
Experimento 3	0,127	0,379	0,205	1,058	0,884
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Experimento 14	0,103	0,388	0,258	1,044	0,914
Experimento 15	0,099	0,412	0,230	1,071	0,889
<b>Média (<math>\bar{X}</math>):</b>	<b>0,102</b>	<b>0,398</b>	0,296	<b>1,051</b>	0,949

Apesar de utilizadas imagens de diferentes áreas e não somente um tipo de cultivo agrícola, houve uma margem de acerto considerável na identificação de áreas degradadas na

plantação e no entorno da área de preservação, conforme alguns exemplos dos resultados de processamento dispostos na Figura 4.

Figura 4 - Imagens de entrada original (acima) e suas respectivas saídas processadas pelo sistema (abaixo).



Fonte: (imagens originais: Hugo Yuri, UFRN 2015; demais imagens: próprio autor)

As áreas de solo exposto calculada pelo sistema a partir das imagens de saída apresentadas na Figura 4 (a, b e c) correspondem, respectivamente, a 8,3%, 5,76% e 28,37% da imagem total. Os resultados obtidos neste artigo envolveram várias etapas de pré-processamento para melhoria das imagens de entrada, dispensando qualquer tipo de pré-processamento manual, como ocorre em (FELIZARDO et al., 2013b), dessa forma a imagem original é recebida diretamente pelo sistema, dispensando qualquer interferência humana para o seu tratamento.

#### 4 - CONCLUSÕES

O sistema de processamento de imagens proposto neste artigo apresentou nas plataformas embarcadas avaliadas um desempenho satisfatório e similar ao computador pessoal, com uma diferença de tempo desprezível à percepção humana, onde a execução do código foi quase instantânea. As imagens testadas mostraram a eficiência do algoritmo na identificação de áreas de interesse, apesar da variação de tipo de vegetação encontrado no grupo de imagens. Apesar do desempenho na placa *Intel Edison* ser um pouco inferior em relação à outra plataforma embarcada, esta é a mais indicada para ser acoplada a um VANT, tendo em vista suas dimensões reduzidas, menor consumo de energia e menor peso.

Este artigo atingiu o objetivo esperado, contribuindo através de uma solução de baixo custo para a correta identificação de regiões de interesse, que no caso tratou de áreas degradadas no setor agrícola, através de um sistema leve, de baixo consumo e eficiente.

## AGRADECIMENTOS

Ao LCG/UFPB pela parceria e aos pesquisadores Hugo Yuri Elias e Prof<sup>a</sup> Nadjacleia Vilar Almeida que proporcionaram a atividade de campo para a aquisição das imagens.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, A.; TAHAR, K. N.; UDIN, W. S.; et al. Digital Aerial Imagery of Unmanned Aerial Vehicle for Various Applications. IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering. Anais... . p.535–540, 2013. Penang, Malaysia.

BIENIEK, A.; MOGA, A. An efficient watershed algorithm based on connected components. Patter Recognition, v. 33, p. 907–916, 2000.

BLEAU, A.; LEON, L. J. Watershed-Based Segmentation and Region Merging. Computer Vision and Image Understanding, v. 77, n. 3, p. 317–370, 2000. Disponível em:

CAMPOY, P.; CORREA, J. F.; MONDRAGÓN, I.; et al. Computer Vision Onboard UAVs for Civilian Tasks. Journal of Intelligent and Robotic Systems, v. 54, n. 1-3, p. 105–135, 2009.

FELIZARDO, L. F.; MOTA, R. L.; SHIGUEMORI, E. H.; et al. Expanding Small UAV Capabilities with ANN. Second International Conference on Image Information Processing (ICIIP-2013). Anais... . p.516–520, 2013a. Himachal Pradesh, Índia.

FELIZARDO, L. F.; MOTA, R. L.; SHIGUEMORI, E. H.; et al. Using ANN and UAV for terrain surveillance. 13th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS 2013). Anais... p.1–5, 2013b. Yasmine Hammamet, Tunísia: Ieee.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. C. Digital Image Processing. 3rd Edition. Prentice Hall, 2007.

HERWITZ, S. .; JOHNSON, L. .; DUNAGAN, S. .; et al. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. Computers and Electronics in Agriculture, v. 44, n. 1, p. 49–61, 2004.

JORGE, L. A. C.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil. (C. M. U. Neale & A. Maltese, Eds.) Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI, v. 9239, n. 2004, p. 923911, 2014.

LIU, Y.; DAI, Q. A Survey of Computer Vision Applied in Aerial Robotic Vehicles. Optics Photonics and Energy Engineering (OPEE). p.277–280, 2010. Wuhan, China.

ROSIN, P. L.; IOANNIDIS, E. Evaluation of global image thresholding for change detection. Pattern Recognition Letters, v. 24, n. 14, p. 2345–2356, 2003.