

O Emprego de Árvore de Decisão para a Identificação e Classificação de ZLs e ZPHs em Imagens Obtidas por ARPs de Pequeno Porte

Marielcio G. Lacerda¹, Ângelo C. Paulino^{1,2}, Álvaro J. Damiano^{1,2}, Élcio H. Shiguemori¹ e Lamartine N. F. Guimarães^{1,2}

¹Instituto de Estudos Avançados (IEAv), São José dos Campos/SP – Brasil

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo – É grande a importância de ter informações acuradas acerca do terreno do Teatro de Operações durante um conflito ou calamidade. Devido à praticidade das ARPs (Aeronaves Remotamente Pilotadas), esse trabalho propõe o uso dessas ferramentas para identificação de Zonas de Lançamento (ZLs), para uso em lançamento de pessoal e/ou material, e de Zonas de Pouso de Helicóptero (ZPHs), que podem servir de apoio à essa importante aeronave. O uso de modernas ferramentas computacionais possibilita a geração automática, em pouco tempo e com boa precisão, de mosaico ortorretificado e Modelo Digital de Superfície, fundamentais para a compreensão do terreno. Com essas ferramentas é possível realizar a identificação e classificação do terreno imageado, auxiliando na determinação de áreas de interesse. O uso da técnica de Árvore de Decisão viabiliza a análise das imagens processadas, gerando informações acuradas. Os resultados obtidos indicam que o método proposto pode ser considerado para solução do problema.

Palavras-Chave – Aeronave Remotamente Pilotada, Zona de Lançamento, Zona de Pouso de Helicóptero e Árvore de Decisão

I. INTRODUÇÃO

Em um Teatro de Operações (TO), é imprescindível que se tenha o máximo de conhecimento acerca do local onde está acontecendo o conflito, realidade essa que nem sempre é possível de se alcançar de maneira prévia. Por vezes, faz-se necessário obter tal informação durante o desenvolvimento das ações. Além disso, no caso de algum desastre natural (tais como enchentes, alagamentos, desmoronamentos, terremotos, entre outros) ou acidente de grande porte (como o ocorrido com a queda da aeronave da Gol – voo 1907, na região de Peixoto de Azevedo, em Mato Grosso, em setembro de 2006) faz-se necessário conhecer o local para determinar o(s) ponto(s) de apoio para a realização da missão.

O Comando da Aeronáutica [1] prevê que o estudo do terreno dentro do TO é de extrema importância para o planejamento de missões, não só das forças de superfície, como também das forças aerotransportadas. A abrangência e acurácia do referido estudo é fator determinante para o sucesso na realização da missão. Nesse sentido, o reconhecimento de um terreno deve apresentar o máximo de informações possíveis acerca de acidentes, obstáculos locais, bem como as demais características gerais do terreno que poderão dificultar ou facilitar o progresso de uma tropa [2].

Além disso, tanto nas missões de lançamento de carga e/ou pessoal, quanto na determinação de áreas seguras para pouso de aeronaves de asas rotativas requerem um prévio conhecimento detalhado das características do terreno [2].

Dentre os locais necessários para os diversos apoios que podem ser fornecidos durante uma situação de conflito ou de calamidade estão a Zona de Pouso de Helicóptero (ZPH) e a Zona de Lançamento (ZL) [2].

Contudo, nem sempre se dispõe de informações atinentes aos locais de atuação com antecedência, fazendo-se necessário o levantamento das condições e características do terreno no menor tempo possível, sem, contudo, negligenciar-se a acurácia dos dados. Para que isso seja possível, a principal forma atualmente disponível para realizar tais levantamentos de maneira ágil e com baixo risco e custo é a utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) de pequeno porte, também conhecidas como *drones*, que viabilizam o levantamento das áreas de interesse com boa precisão e grande agilidade [3].

Entretanto, para tornar os dados obtidos por intermédio do levantamento fotográfico em informação para tomada de decisão acerca da utilização do terreno como ZL ou ZPH, faz-se necessário a utilização de outros recursos. Nesse sentido, no presente trabalho, implementou-se o emprego da técnica de Árvore de Decisão para analisar fatores que vão desde o tamanho real da área analisada, até a informação que diz respeito à elevação de cada ponto do terreno. Esta técnica tem se mostrado muito eficiente no sentido da classificação automática de imagens. Trabalhos recentes têm apresentado bons resultados na utilização desta ferramenta para identificação e classificação de diferentes tipos de cobertura de solo, tais como cobertura urbana e agrícola, por meio de atributos espectrais e geográficos oriundos tanto de fontes multiespectrais, quanto hiperespectrais de sensoriamento remoto, como visto em [4]-[6].

No que diz respeito à utilização de ARPs em associação com árvores de decisão, [7] usa *drones* para coletar informações acerca da inclinação e elevação do terreno em uma abordagem bioinspirada por meio de um algoritmo de fluxo óptico denso. Em [8], têm-se o uso de ARPs com sensores multiespectrais de baixo custo aplicados à agricultura de precisão para identificar tipos diferentes de vinha e espécies diferentes de plantas. Já [9] demonstra a utilização de dados do acelerômetro de uma ARP para determinar a “maciez” do solo por meio de diferentes experimentos de pouso, sendo capaz de diferenciar corretamente grama de concreto, por exemplo.

Outras aplicações para árvores de decisão envolvem a análise da telemetria de uma ARP para acompanhar e deduzir a evolução dos estados da missão, promovendo maior consciência situacional e suporte à decisão [10]; um algoritmo computacionalmente eficiente para a interpolação rápida de imagens [11]; e a identificação de cinzas prejudiciais à saúde humana oriundas de poluição por meio de análises espectrais [12].

Com o objetivo de reduzir e eliminar as sobreposições dos dados realizou-se a Análise dos Componentes Principais - ACP ou PCA (do inglês, *Principal Component Analysis*) [13].

Para a determinação das áreas de interesse na imagem

analisada, realizou-se uma segmentação da imagem.

Após realizada a etapa da segmentação, realizou-se a coleta de amostras, as quais são usadas como dados de entrada para o *software* no processo de classificação.

A etapa seguinte do processamento de imagens é a classificação, onde o *software* irá indicar os locais definidos como as áreas de interesse de forma automática. O resultado final da classificação é uma imagem digital, que constitui um mapa temático de pixels ou conjuntos de pixels classificados, representando em polígonos os padrões homogêneos de classes de alvos presentes na cena [14] e [15].

Para a realização deste trabalho visando a identificação e classificação de Zonas de Lançamento e Zonas de Pouso de Helicóptero, foram utilizadas imagens obtidas por intermédio de um drone da empresa DJI, modelo *Phantom 4* (Fig. 1), devidamente registrado nos órgãos de controle e voando com a ciência e autorização dos setores responsáveis. O voo foi realizado no dia 24 de maio de 2017 e foram obtidas cerca de 1.300 imagens em aproximadamente 1 hora de voo.



Fig. 1. DJI Phantom 4.

II DEFINIÇÕES INICIAIS

A. Características do terreno

Entende-se como terreno uma determinada área delimitada pelas necessidades táticas ou estratégicas do órgão solicitante. Dentro das definições utilizadas pela Força Aérea Brasileira [2], pode-se analisar as características de um terreno considerando-se três fatores principais, a saber: a natureza, a inclinação e a resistência.

- Natureza - são as características físicas do solo que compõe o terreno. Pode ser: alagado, arenoso, argiloso, pantanoso e rochoso.

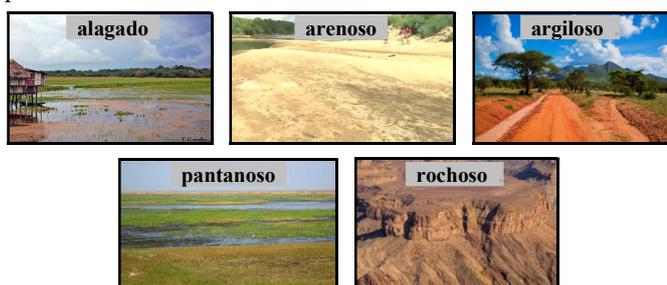


Fig. 2. Exemplos de terrenos considerando a natureza dos mesmos.

- Inclinação - é o ângulo formado entre a superfície do terreno e a linha do horizonte. Pode ser: plano, suave, ondulado, forte ondulado, montanhoso e forte montanhoso.



Fig. 3. Exemplos de terrenos considerando a inclinação dos mesmos.

- Resistência - é a capacidade que o terreno possui de suportar um determinado peso. Pode ser: firme, não firme e instável.



Fig. 4. Exemplos de terrenos considerando a resistência dos mesmos.

Outro fator que deve ser considerado na análise do terreno é a presença de obstáculos. Entende-se como obstáculo qualquer acidente do terreno, natural ou artificial que pode, de alguma forma, influenciar em uma operação [2]. São exemplos de obstáculos: cursos d'água, bosques, elevações, depressões, canais, cercas, muros, edificações, etc. Dessa forma, o terreno pode ser considerado livre ou cortado.

B. Zona de Lançamento (ZL)

A ZL é um terreno que oferece condições de lançamento de pessoal e/ou material por intermédio de aeronaves. Esse local pode ser utilizado tanto para lançamento de pessoal de resgate como de mantimentos e medicação em locais nos quais não é possível o pouso de uma aeronave e que não se tenha um helicóptero disponível [2].



Fig. 5. Terreno usado como Zona de Lançamento (ZL).

Segundo [2], para um terreno ser considerado apto a ser utilizado como ZL deve possuir as seguintes características:

- Natureza: o terreno deve ser arenoso ou argiloso;
- Resistência: o terreno tem que ser firme;
- Inclinação: o terreno deve possuir, no máximo, inclinação suave para o lançamento de carga e ondulado para o lançamento de pessoal; e
- Presença de Obstáculos: a presença de obstáculos não impede o lançamento, desde que estejam dentro dos limites de tolerância.

Segundo [2] e [16], a dimensão mínima de um terreno para ser considerado uma ZL é de 200 m x 200 m, para lançamento de pessoal, e de 400 m de largura x 600 m de comprimento, para lançamento de carga. Porém, para o caso de situações emergenciais, considera-se as dimensões mínimas de 100 m x 100 m.

C. Zona de Pouso de Helicóptero (ZPH)

Devido à sua grande versatilidade, o emprego de helicópteros tornou-se muito difundido nas Forças Armadas, com especial ênfase entre as tropas de Operações Especiais, ampliando a mobilidade estratégica e tática de pequenas unidades. Dentre as principais formas de emprego pode-se citar: infiltração, exfiltração, patrulhamento, apoio aéreo, salvamento e resgate, entre outros [1] e [2].

O emprego de aeronaves de asas rotativas em prol de elementos de superfície proporciona a estas as características inerentes aos elementos aéreos: velocidade, penetração e alcance. Desta forma, possibilita-se realizar missões aéreas dentro ou fora da área de conflito com significativa redução da probabilidade de detecção.

Segundo [2] e [16], a ZPH é um terreno que apresenta condições apropriadas para pouso e decolagem de helicópteros. Os helicópteros podem fornecer apoio tanto na condução do pessoal de ajuda, como transporte de mantimentos e medicação, além da condução de vítimas que necessitem de cuidados especiais ou ainda de vítimas fatais.



Fig. 6. Terreno usado como Zona de Pouso de Helicóptero (ZPH).

Para um terreno ser considerado apto a ser utilizado como ZPH deve apresentar as seguintes características [2] e [16]:

- **Natureza:** o terreno deve ser arenoso, argiloso ou rochoso;
- **Resistência:** o terreno tem que ser firme; e
- **Inclinação:** o terreno deverá ser plano ou, no máximo, suave para o pouso.

No que tange a aproximação para pouso e decolagem, a ZPH pode ser classificada de três formas distintas [2] e [16]:

- **Livre:** é a ZPH que não possui obstáculos em seu interior e nem nas proximidades;
- **Normal:** é a ZPH que possui pelo menos um setor livre de obstáculos; e
- **Restrita:** é a ZPH cercada de obstáculos, de forma a obrigar o helicóptero a uma aproximação, pouso e decolagem cautelosos.

A área de uma ZPH deve ser suficiente para o pouso e decolagem de pelo menos um helicóptero. Dessa forma, as dimensões da ZPH são definidas em função do maior helicóptero que irá operar no heliponto. Portanto, de acordo com o tipo de helicóptero que será utilizado, o heliponto terá dimensões mínimas de 18m x 18m (ex. *Bell Jet Ranger*) e máxima de 28m x 28m (ex. *Black Hawk*), considerando a operação de apenas uma aeronave [16].



Fig. 7. Helicópteros: Bell Jet Ranger (esq.) e Black Hawk (dir.).

D. Árvore de Decisão

As Árvores de Decisão são um dos modelos mais práticos e mais usados em inferência indutiva [15]. Estas árvores são treinadas de acordo com um conjunto de treino (exemplos previamente classificados) e, posteriormente, outros exemplos são classificados de acordo com essa mesma árvore.

Uma árvore de decisão é um instrumento de apoio à tomada de decisão que consiste numa representação gráfica das alternativas disponíveis geradas a partir de uma decisão inicial [14]. Uma das grandes vantagens de uma árvore de decisão é a possibilidade de transformação/decomposição de um problema complexo em diversos subproblemas mais

simples. De uma forma recursiva, os novos subproblemas identificados voltam a ser decompostos em subproblemas ainda mais simples [14] e [15].

Para efetuar a representação gráfica da árvore de decisão são geralmente usadas linhas para identificar a decisão (por exemplo “sim” ou “não”) e nós para identificar as questões sobre as quais se deve decidir. Cada um dos ramos formados por linhas e nós termina numa espécie de folha que identifica a consequência mais provável da sequência de decisões.

Os algoritmos de árvores de decisão foram originalmente planejados para classificação, nos quais uma árvore de decisão é construída em uma estrutura de fluxograma (diagrama de fluxo) [15] e [17]. Assim, o resultado do classificador é obtido utilizando uma sequência de decisões, em que um conjunto de regras é implementado e estas determinam o caminho a ser seguido, começando do nó-raiz e finalizando no nó-terminal (ou folha), que representa a classe para qual o objeto foi classificado [15] e [18].

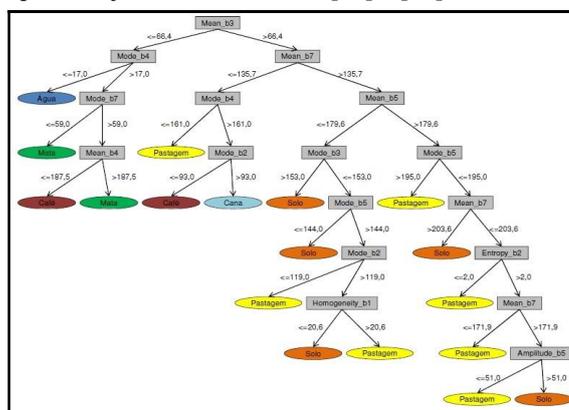


Fig. 8. Exemplo de Árvore de Decisão.

Neste trabalho é proposto o uso de uma árvore de decisão por ser uma ferramenta com características adequadas para solução do problema proposto, sendo uma estrutura amplamente usada na implementação de sistemas especialistas e em problemas de classificação e, principalmente, por ter um baixo custo computacional [19].

III. OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

A. Planejamento e Execução do voo

Inicialmente definiu-se a área a ser estudada. Para este trabalho escolheu-se a área com o ponto central nas seguintes coordenadas: 23°15'08”S e 045°51'20”W.

Em seguida, com auxílio de *software* específico faz-se o planejamento de voo, que consiste das seguintes etapas:

- delimitar a área de estudo;
- definir as porcentagens de cobertura de recobrimento longitudinal (entre as fotos) e lateral (entre as faixas); e
- definir a altura de voo, determinado pela resolução desejada na imagem.

Para essa etapa do trabalho utilizou-se o aplicativo de uso livre *Pix4DCapture* [20], que possui uma interface de fácil operação e capacidade de comunicação com o rádio controle da ARP utilizada. Para esse voo foram definidos os seguintes parâmetros: porcentagem de recobrimento entre as fotos de 80% e entre as faixas de 40% e altura de voo de 70m. Com esses parâmetros obteve-se uma resolução espacial de aproximadamente 3 cm por pixel.



Fig. 9. Tela do Pix4DCapture com o planejamento da missão.

No mesmo aplicativo onde se realiza o planejamento, pode-se acompanhar em tempo real a realização do voo automático de recobrimento fotográfico, com o registro dos pontos nos quais as imagens foram obtidas, a direção de voo e a altitude da ARP, entre outras informações.



Fig. 10. Tela do Pix4DCapture capturada durante o voo.

B. Processamento das imagens

Após a realização do voo fotográfico, as imagens obtidas foram transferidas para um computador. Em seguida, com o auxílio de *software* de processamento apropriado, realizou-se a confecção do foto-mosaico, da ortofoto e do Modelo Digital de Superfície (MDS) da área. Nesse trabalho foi utilizada a licença *trial* do *software Pix4DMapper* [20], por ser uma ferramenta que possibilita o processamento automático das imagens obtidas. A Fig. 11 ilustra uma imagem em perspectiva do modelo 3D gerado com o auxílio do *software*. Todas as correções geométricas e radiométricas nas imagens foram efetuadas pelo programa.

Após o processamento das imagens obtidas obteve-se o MDS (1 banda espectral) e a ortofoto (3 bandas espectrais).

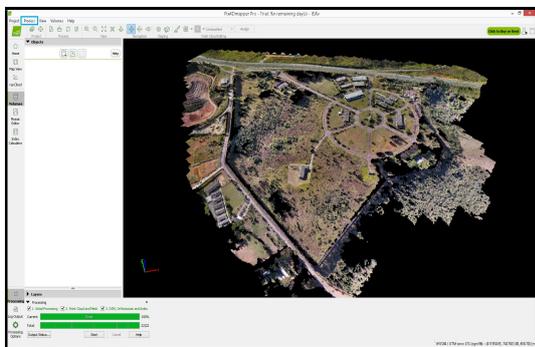


Fig. 11. Tela do Software utilizado no processamento (Pix4DMapper).

C. Geração do Mapa de Declividade do Terreno

Utilizando o *software* livre *QuantumGIS* (QGIS) [21], versão 2.18.4, e o MDS gerado anteriormente foi obtida a

imagem referente a declividade do terreno. Como resultado tem-se a imagem com a declividade expressa em porcentagem por pixel (Fig. 12).

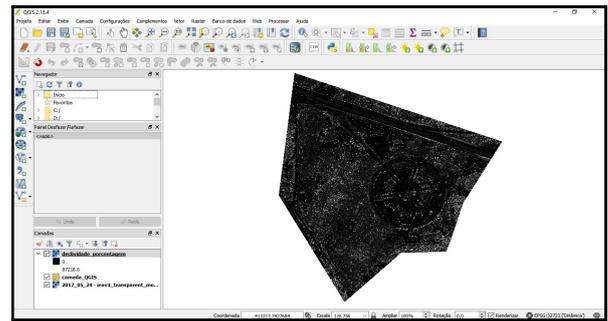


Fig. 12. Imagem com a Declividade em Porcentagem (QGIS).

D. Análise dos Componentes Principais (PCA)

Com a finalidade de auxiliar no processamento da imagem, neste trabalho empregou-se a técnica da Análise dos Componentes Principais, que é um método que tem por finalidade básica a análise dos dados visando sua redução, eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais representativas de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais [13]. A PCA é uma maneira de identificar a relação entre características extraídas dos dados. É bastante útil quando os vetores de características têm muitas dimensões e quando uma representação gráfica não é possível. Mas pode também ser útil em dimensões menores.

A característica mais evidente nas imagens de componentes principais é que uma parcela significativa do detalhe de contraste está contida nas duas primeiras imagens e diminui rapidamente a partir desse ponto. Isso ocorre devido aos autovalores, pois os primeiros autovalores são maiores que os últimos [22].

Para esse trabalho, devido a adequação para solução do problema proposto, foi gerada a imagem PCA no *software* ENVI, versão 4.8 [23]. A Fig. 13 mostra uma composição RGB resultante da transformação, respectivamente com os canais 1, 2 e 3 da PCA.

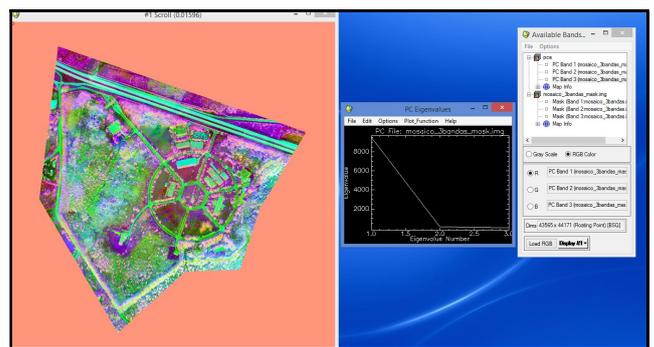


Fig. 13. Imagem PCA gerada no ENVI.

E. Segmentação

Segundo [22] a segmentação é um processo que particiona a imagem em regiões ou objetos que a compõem. O nível de detalhe em que a subdivisão é realizada depende do problema a ser resolvido. Ou seja, a segmentação deve parar quando os objetos ou as regiões de interesse em uma aplicação forem detectados. A precisão da segmentação determina o sucesso ou o fracasso final dos procedimentos de análise computadorizada.

Com todas as imagens disponíveis, foi criado um projeto no *Ecognition Developer 9* [24] e foi realizada a segmentação multirresolução. De acordo com [25], a segmentação multirresolução é essencialmente um procedimento de otimização heurística, que minimiza localmente a média da heterogeneidade dos objetos da imagem para uma dada resolução sobre a cena inteira. De forma mais simples, é possível compreender que a abordagem multirresolução consiste em analisar os objetos da imagem em diferentes níveis de resolução. Esta abordagem é fundamentada no fato de que objetos pequenos podem ser adequadamente analisados em uma resolução mais fina, enquanto que objetos maiores podem ser apropriadamente manipulados em uma resolução mais grosseira. A segmentação pode ser realizada em múltiplas resoluções, pela variação de parâmetros do algoritmo de segmentação, que altera o nível de resolução do processamento [15] e [26].

Após a realização de diversos testes, chegou-se à conclusão que o melhor resultado de segmentação para esse conjunto de dados foi obtido utilizando os seguintes parâmetros para a “*Multiresolution Segmentation*”:

- *Scale Parameter*: 20
- *Composition of homogeneity criterion*:
Shape = 0.8 e *Compactness* = 0.9

A Fig. 14 apresenta um recorte de uma região da imagem registrando os segmentos gerados.

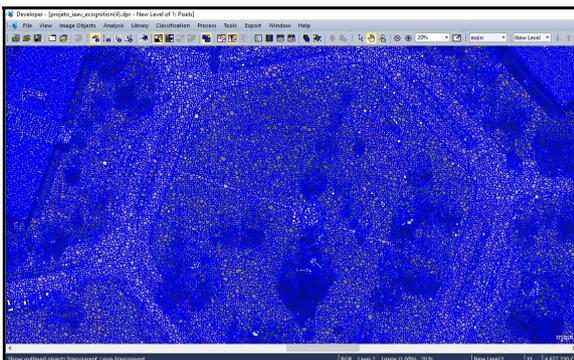


Fig. 14. Resultado da Segmentação Multirresolução (*Ecognition*).

Após esse processo inicial de segmentação, foi realizada uma forma complementar de segmentação para unir os segmentos com características espectrais muito semelhantes, processo denominado: “*Spectral Difference Segmentation*”. Foram realizados diversos testes utilizando-se diferentes valores de *Maximum spectral difference*. Para essa aplicação, considerou-se o de melhor resultado o valor igual a 15.

A Fig. 15 apresenta o recorte da mesma região da Fig. 14, registrando o resultado da junção dos segmentos.

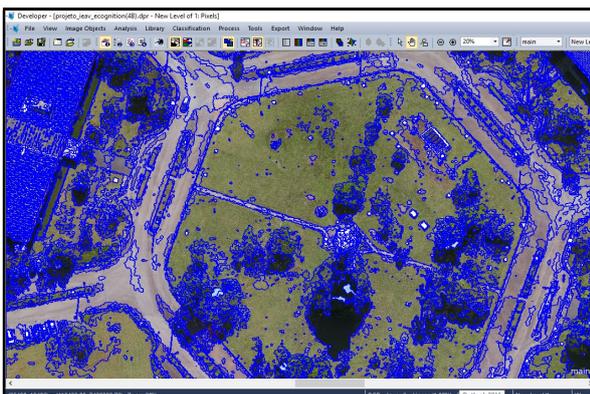


Fig. 15. Resultado da Segmentação por Diferença Espectral (*Ecognition*).

F. Coleta de Amostras

Após esse processo, ainda no *software Ecognition Developer* [24], realizou-se a coleta de amostras na imagem baseando-se nos segmentos resultantes, na informação da declividade e na dimensão das áreas separadas.

G. Classificação

De acordo com [27] e [15], a classificação de alvos urbanos continua a ser uma das tarefas mais difíceis de análise de dados de sensoriamento remoto, pois mesmo com resoluções espaciais típicas de sensores aéreos, uma grande proporção de pixels da imagem ainda será uma mistura de tipos de cobertura fundamentais.

Com a imagem segmentada e as amostras coletadas, gerou-se os arquivos no formato .ARF para serem utilizados no programa de classificação automática.

Para realizar esta classificação utilizou-se o *software* livre WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) [28], da Universidade de *Waikato*, em *Hamilton*, na Nova Zelândia, versão 3.8.1. O WEKA oferece diversas opções para classificação automática. Neste trabalho, optou-se pela técnica de *Árvore de Decisão*, descrita na seção II, no item D.

Para a classificação deste trabalho, consideraram-se quatro distintas classes, conforme mostrado na tabela 1.

TABELA I. DESCRIÇÃO DAS CLASSES

Cor	Classe	Descrição
	1	ZPH – pequeno porte (18m x 18m)
	2	ZPH – médio porte (23m x 23m)
	3	ZPH – grande porte (28m x 28m)
	4	ZL de emergência (100m x 100m)

O resultado final da classificação automática está representado na Fig. 16.

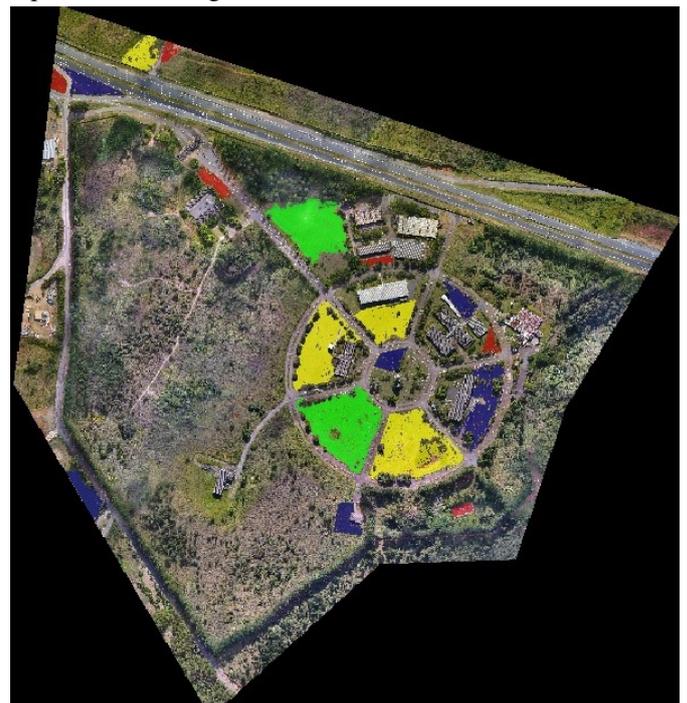


Fig. 16. Imagem Classificada

É mister salientar que uma área classificada como Classe 4 abrange as classificações das demais classes, podendo ser utilizadas tanto como ZL de emergência (Classe 4), como para ZPH de helicópteros de grande porte (Classe 3), médio porte (Classe 2) e pequeno porte (Classe 1). Da mesma forma, uma área classificada como ZPH para aeronaves de asas rotativas de grande porte (Classe 3) abrange as classificações de áreas menores, e assim sucessivamente.

Para trabalhos futuros pode-se considerar outros valores de áreas de ZPHs e ZLs conjuntamente com esses.

IV. CONCLUSÕES

Ao analisar o resultado final (Fig. 16) pôde-se concluir que as imagens aéreas obtidas por intermédio de ARPs de pequeno porte são de grande utilidade em um TO, pois podem fornecer dados com elevada acurácia, com a grande vantagem do baixo custo de operação, baixo risco e facilidade e agilidade na obtenção das fotografias aéreas, o que possibilita a geração, em curto espaço de tempo, de informações acerca das características do terreno de modo a servir como uma importante ferramenta de apoio a decisão.

Pode-se verificar que, por intermédio da metodologia utilizada, foi possível classificar: 16 (dezesesseis) áreas como Zonas de Pouso de Helicóptero (ZPH), sendo 6 (seis) como Classe 1, 6 (seis) como Classe 2 e 4 (quatro) como Classe 3, além de 2 (duas) áreas como Zonas de Lançamento (ZL) – Classe 4, demonstrando a eficácia da metodologia empregada neste trabalho. Desta forma, comprovou-se que a utilização de Árvores de Decisão foi de fato eficaz na classificação de áreas de interesse como ZLs e ZPHs, sendo capaz de proporcionar vantagens estratégicas e táticas no emprego nas mais diversas missões, sejam de natureza civil, sejam de natureza exclusivamente militar.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer ao 1º Ten Sidney, do IEAv, pela cessão das imagens do local estudado e à 1º Ten Camila, do IEAv, pelo apoio no processamento dos dados.

REFERÊNCIAS

- [1] Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Doutrina Aeroespacial. “DCA 1 – 1 – Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira”, 2012.
- [2] Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Inteligência. “MCA 200 – 11 – Descrição de Alvo: Terreno”, 2012.
- [3] P. S. Filho, M. Rodrigues, O. Saotome, E. Shiguemori, H. Fuzzy-Based Automatic Landmark Recognition in Aerial Images Using ORB for Aerial Auto-localization. In: George Bebis, Richard Boyle, Bahram Parvin, Darko Koracin, Ryan McMahan, Jason Jerald, Hui Zhang, Steven M. Drucker, Chandra Kambhampettu, Maha El Choubassi, Zhigang Deng, Mark Carlson. (Org.) Lecture Notes in Computer Science. 887 ed. Springer: Springer International Publishing, 2014, p. 467-476.
- [4] L. Hua, W. Man, Q. Wang, X. Zhao, “A New Decision Tree Classification Approach for Extracting Urban Land from Landsat TM in a Coastal City, China”. In: 2012 Fourth International Symposium on Information Science and Engineering. Shanghai, China. Anais... 2012. pp. 282-286.
- [5] L. Zhongyang, D. Zixuan, C. Huailiang, Z. Chunhui, “Study on the Land Use and Cover Classification of Zhengzhou Based on Decision Tree”. In: 2011 Fourth International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling. Sanya. Anais... 2011. pp. 405-408.
- [6] W. Li, J. Du, B. Yi, “Study on classification for vegetation spectral feature extraction method based on decision tree algorithm”. In: 2011

- International Conference on Image Analysis and Signal Processing. Hubei. Anais... 2011. pp. 665-669.
- [7] I. S. G. Campos, E. R. Nascimento, L. Chaimowicz, “Terrain Classification from UAV Flights Using Monocular Vision”. In: 2015 12th Latin American Robotics Symposium and 2015 3rd Brazilian Symposium on Robotics (LARS-SBR). Uberlandia. Anais... 2015. pp. 271-276.
- [8] J. Natividade, J. Prado, L. Marques, “Low-cost multi-spectral vegetation classification using an Unmanned Aerial Vehicle”. In: 2017 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC). Coimbra, Portugal. Anais... 2017. pp. 336-342.
- [9] D. Anthony, et al, “Surface classification for sensor deployment from UAV landings”. In: 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Seattle, WA. Anais... 2015. pp. 3464-3470.
- [10] J. J. Roldán, P. Garcia-Aunon, J. del Cerro, A. Barrientos, “Determining mission evolution through UAV telemetry by using decision trees”. In: 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). Budapest. Anais... 2016. pp. 188-193.
- [11] J. J. Huang, W. C. Siu, “Fast image interpolation with decision tree”. In: 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). South Brisbane. Anais... 2015. pp. 1221-1225.
- [12] J. Dong, Q. Liu, G. Liu, W. Shen, D. Huang, “Extracting fly ash site information using decision tree classification”. In: 2012 5th International Congress on Image and Signal Processing. Chongqing, Sichuan, China. Anais... 2012. pp. 429-433.
- [13] Crosta, A. P. (1999). “Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto”. UNICAMP/Instituto de Geociências. 170 p.
- [14] Meneses, P. R.; Sano, E. E. “Classificação pixel a pixel de imagens”. In: Meneses, P. R.; Almeida, T. “Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto”. Brasília: UNB, 2012. 266 p.
- [15] C. S. Anjos, C. M. Almeida, L. S. Galvão, “Identificação de materiais urbanos por meio de métodos inovadores de classificação de imagens”. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais... 2015. pp. 4377-4384.
- [16] Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Departamento de Educação e Cultura do Exército. “Manual Técnico do Mestre de Salto Paraquedista”. 1ª Edição, 2015. 231 p.
- [17] J. Han, M. Kamber, J. Pei. “Data mining: concepts and techniques”. Whaltan: Elsevier, 2012. 744p. 3 ed.
- [18] B. Tso, P. Mather, “Classification Methods for Remotely Sensed Data”. Boca Raton: Taylor & Francis, 2009. 356 p. 2ed.
- [19] M. G. Lacerda; C. S. Anjos; E. H. Shiguemori, “Uso de Coordenadas Geográficas para Estimativa Automática de Rumo Aplicada a Navegação Aérea Autônoma de Veículos Aéreos Não Tripulados”. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais... 2015. p. 5598-5605.
- [20] Software Pix4d. Site: <<https://pix4d.com/>>
- [21] Software Livre QuantumGIS. Site: <http://www.qgis.org/pt_BR/site/>
- [22] Rafael C. Gonzalez e Richar E. Woods. “Processamento Digital de Imagens”. Pearson Prentice Hall, 2010. 624p. 3 ed.
- [23] Software ENVI. Site: <<http://www.envi.com.br/>>
- [24] Software Ecognition Developer 9. Site: <<http://www.ecognition.com/>>
- [25] J. V. Matsuoka, V. F. A. Haertel, “Investigação do processo de segmentação multiresolução utilizando o critério de ponderação de formas e cores aplicadas às imagens de áreas urbanas de alta resolução espacial do satélite Ikonos”. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... 2007. pp. 589-596.
- [26] F. Leonardi. “Abordagens cognitivas e mineração de dados aplicadas a dados ópticos orbitais e de laser para a classificação de cobertura do solo urbano”. 2010. 162 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- [27] P. Griffiths, P. Hostert, O. Gruebner, S. Van Der Linden, “Mapping megacity growth with multi-sensor data”. Remote Sensing of Environment, v. 114, p. 426-439, 2010.
- [28] Software WEKA. Site: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>>