

## Análise Espacial de Fragmentos Florestais na Área Urbana de Manaus a partir de Imagens do Sensor ADS-80

Phaulla Oliveira<sup>1,2</sup>  
Jorge Alberto Lopes da Costa<sup>1</sup>  
Solange dos Santos Costa<sup>1</sup>  
Rogerio Ribeiro Marinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Regional de Manaus do Sistema de Proteção da Amazônia  
Av. do Turismo, N. 1350, Tarumã, CEP. 69049-630 - Manaus - AM, Brasil  
phaulla.oliveira@sipam.gov.br  
[jorge.costa@sipam.gov.br](mailto:jorge.costa@sipam.gov.br)  
[solange.costa@sipam.gov.br](mailto:solange.costa@sipam.gov.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Amazonas - UFAM  
Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, N. 3000, - Manaus - AM, Brasil  
[oliveira.phaulla@gmail.com](mailto:oliveira.phaulla@gmail.com)  
[rogeo@ufam.edu.br](mailto:rogeo@ufam.edu.br)

**Abstract.** This article aims to apply ADS-80 sensor data with high spatial resolution of 40 cm for mapping forest fragments in three administrative areas of urban area in the city Manaus. Images were acquired on 28 and 29 October 2012, the direction of flight was from east to west, with side covering standard 20% range, each band with the size of 40 km long and 4.59 km wide, with pixel size of 40cm. In total, it was used five images, collected in the form of segments in rgb with spectral data from the area of the visible and near infrared. The results were obtained by supervised classification; the algorithm used for this was the classifier Support Vector Machine (SVM) with definition of three thematic classes (Forest, not Forest and Shade). For evaluating the performance of the classification algorithm, the results were analyzed based on the error matrix (or confusion matrix), giving a good results on the discrimination of targets with a total classification accuracy of 97.67%. Spatial analysis and individual metrics were held in hectares (ha), the largest fragment detected, corresponding to 611.05 ha located in the south of the urban area of Manaus. The result is presented in a map scale of 1: 70.000 with representation of the fragments in 3 (three) administrative areas mapped.

**Palavras-chave:** Fragmentos florestal, ADS-80, Máquinas de suporte vetorial, Fragments forestry, SVM.

### 1. Introdução

A expansão urbana que ocorreu no município de Manaus foi consequência da era áurea do extrativismo da borracha e a implantação da Zona Franca de Manaus na década de 60, tais fatos contribuíram para a ocupação de forma aleatória e desordenada de florestas primárias no entorno do município (RAMBALDI e OLIVEIRA, 2003). As áreas de vegetação são fundamentais na vida da sociedade e ecossistemas em geral, contribuindo na redução da poluição atmosférica, regulação de microclima, espaços de lazer, manutenção da estabilidade do solo, bem como em evitar a propagação de desequilíbrios ambientais recorrentes da remoção de coberturas vegetais (CUNHA e GUERRA, 2006). O uso e desenvolvimento de geotecnologias possibilitou o fornecimento de dados para a realização de análises espaciais e consequentemente o entendimento da ocupação do meio físico (SILVA, 1999).

A obtenção de informações espaciais de uso e cobertura de solo é essencial para elaboração e estruturação de Leis Municipais, bem como auxiliar na política urbana e ambiental do Município de Manaus. O objetivo desta pesquisa é mapear por meio das imagens do sensor ADS-80 (*Airborne Digital Sensor*) a distribuição dos fragmentos florestais da área urbana de Manaus no ano de 2012, bem como quantificar e analisar a distribuição espacial destes fragmentos florestais. Desta forma, o presente estudo visa utilizar esse tipo de tecnologia no processo de mapeamento de áreas de fragmentos florestais a partir de classificação e interpretação de imagens do sensor ADS-80.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Localização da área de estudo

O município de Manaus está compreendido entre as coordenadas 1°55'39" a 3°13'46" de latitude Sul e 59°08'47" a 60°47'18" de longitude Oeste. A cidade está assentada sobre um baixo planalto que se desenvolveu na margem esquerda do rio Negro, na confluência deste com o rio Solimões, onde se forma o rio Amazonas, Figura 1.

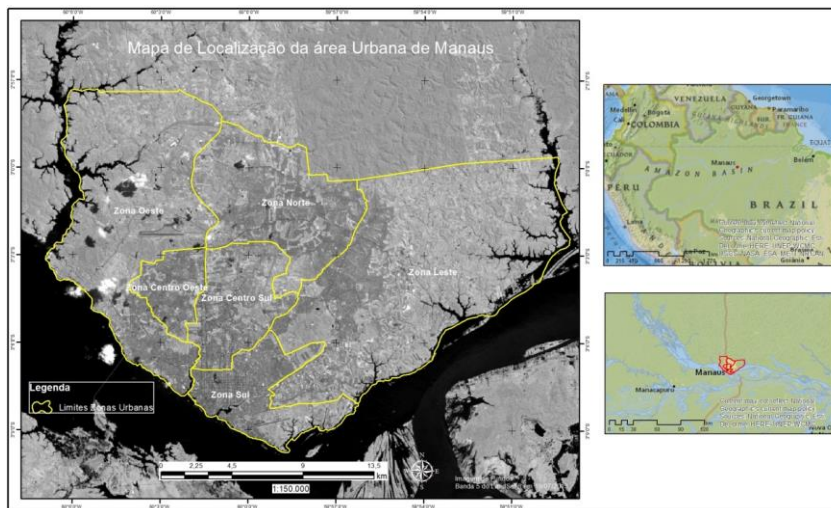


Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo.

Na região de Manaus, o clima é do tipo “Am” na classificação de Köppen (IBGE, 2016). A tipologia dominante das florestas é mata primária, ou seja, uma floresta ombrófila densa das terras baixas (terra firme com platôs, vertentes e baixios) (IBGE, 2016). Dentro dos limites da região, existem doze áreas protegidas, destas, dez são unidades de conservação e dois corredores ecológicos e tais espaços ocupam 4,75 % da área do município de Manaus (SEMMAS, 2016).

Para a subdivisão da área de estudo, foi utilizado o dado vetorial dos limites das zonas administrativas da área urbana de Manaus: zona Centro Oeste, zona Centro Sul, zona Sul, zona Leste, zona Oeste e zona Norte.

### 2.2 Imagens do Sensor ADS-80

Os dados utilizados nesta pesquisa foram adquiridos através da coleta de dados pelo sensor aerotransportado ADS-80 de marca Leica sob solicitação do CENSIPAM (Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia) através do CR-MN (Centro Regional de Manaus) coletadas pela aeronave modelo *laserjet* R-35A do 1°/6° Grupo de Aviação do COMGAR (Comando Geral de Operações Aéreas). Este sensor tem como principal característica a coleta de dados aerofotogramétricos que geram imagens contínuas ao longo das faixas de voo. As imagens foram coletadas nos meses de junho e outubro do ano de 2012, o plano de voo da aeronave foi no sentido leste/oeste, contendo 5 faixas com a visada em *NADIR* e com resolução espacial de 40 cm. Para esta pesquisa foram utilizadas cinco faixas de imageamento, visualizadas inicialmente em composição colorida RGB em falsa cor, onde a imagem do infravermelho próximo, vermelho e verde foram associadas aos canais vermelhos verdes e azuis, respectivamente (Figura 2).

As imagens fornecidas pelo sensor ADS-80 são georreferenciadas e ortorretificadas (MARINHO, 2014). Para o processamento digital das imagens e consolidação dos dados foram utilizados os softwares ENVI 5.3 (*Harris Geospatial Solutions*) e ArcGIS 10.3 (*Environmental Systems Research Institute*).

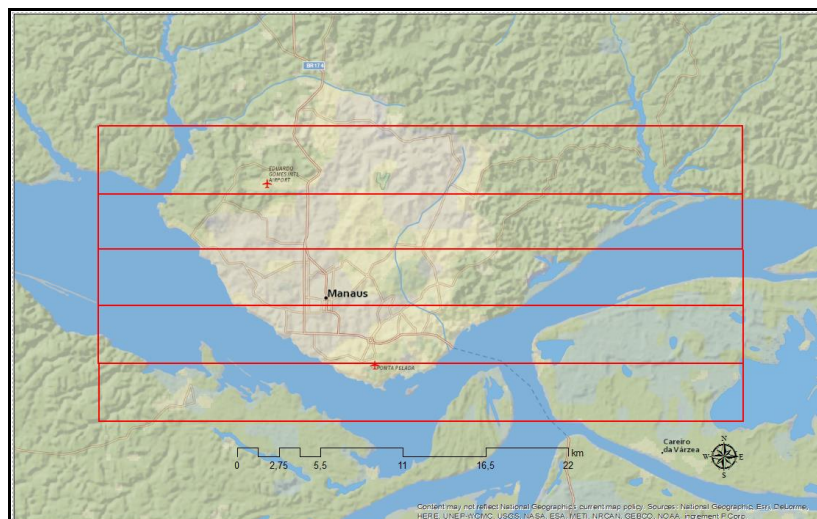


Figura 2 - Faixas de voo da aeronave sobre a área de estudo.

### 2.3 Procedimentos Metodológicos

Para a realização deste estudo foram adotados procedimentos na seguinte ordem: aquisição das imagens ADS-80; seleção da área de estudo; seleção das imagens; processamento digital das imagens (classificação); definição das classes; seleção das amostras; avaliação da classificação pelo índice kappa; estatística das classes e elaboração do mapa temático dos fragmentos florestais urbanos.

O procedimento digital de imagens adotado para a pesquisa foi a classificação supervisionada. Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e são utilizados em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse, (CROSTA 1992; JENSEN, 2005). Para isso, utilizou-se o classificador *Support Vector Machine* (SVM), que se caracteriza por ser uma técnica de classificação binária, que realiza a separação ótima entre duas classes distintas por meio de um hiperplano de separação (VAPNIK, 1995).

Foram disponibilizados dois conjuntos de imagens coletadas nos dias 28 e 29 de outubro de 2012. No processo de seleção utilizou-se o critério de menor cobertura de nuvens, por se tratar de um sensor óptico, onde a presença de nuvens na imagem inviabiliza o mapeamento dos alvos terrestres.

Na etapa de classificação, foram definidas três classes temáticas: Floresta, Não Floresta e Sombra. A classe de Floresta corresponde á vegetação presente na área de estudo; a classe de Não Floresta correspondente á área construída, solo exposto ou água. Enquanto a área de Sombra corresponde a sombra de nuvem, áreas construídas e da própria vegetação. Após a definição das classes, foi necessário selecionar amostras correspondentes a cada classe a ser mapeada.

A execução da classificação supervisionada foi realizada no ambiente do *software* Envi 5.3 utilizando o classificador *Support Vector Machine*, tal procedimento realiza a junção dos pixels referentes às classes resultando em uma imagem classificada (Figura 4).

Com o resultado da classificação no formato vetorial (polígonos) foi possível quantificar e realizar a estatística da classe mapeada em km<sup>2</sup>, o que permitiu estimar o percentual de área de vegetação por região administrativa da cidade de Manaus.

Para Congalton (1991) ao se realizar uma classificação em sensoriamento remoto é necessário utilizar a matriz de erro, ou matriz de confusão para avaliar o resultado desta classificação. Esta é uma maneira útil e eficiente de apurar a exatidão das categorias, englobando tantos os erros de inclusão, quanto os erros de emissão da classificação. Através



dessa matriz de confusão foi possível avaliar a acurácia da classificação gerada utilizando o índice Kappa.

### 3 Resultados e Discussão

Após a avaliação das imagens coletadas pelo sensor, obtiveram-se sete partes das faixas obtidas durante o imageamento nos dias 28 e 29 de Outubro de 2012. Neste estudo apenas as zonas Centro Oeste, Centro Sul e Sul foram classificadas e analisadas, as demais foram excluídas por não haver imagem que recobrisse toda a área da zona administrativa conforme apresentado na Figura 3.

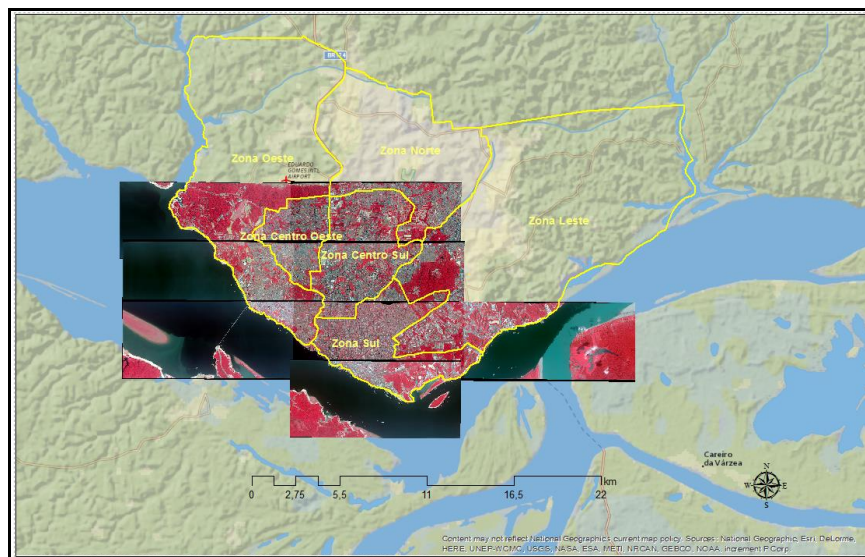


Figura 3 Cobertura das zonas administrativas mapeadas e analisadas.

O quantitativo das amostras resultante do mapeamento totalizaram 512 pixels representados em 14 polígonos referente a classe Floresta; para a classe Não Floresta amostrados 520 pixels em 14 polígonos e para a classe Sombra 545 pixels em 21 polígonos.

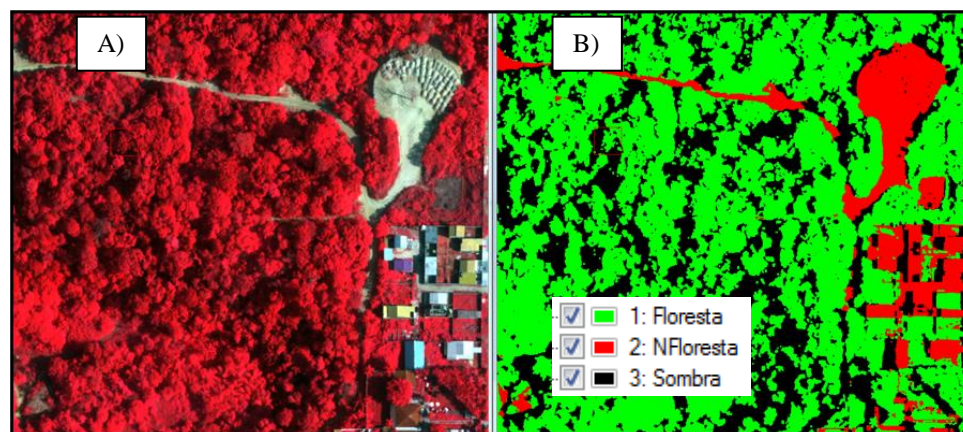


Figura 4. Resultado da Classificação (SVM). A) Imagem Original. B) Imagem Classificada.

O valor mínimo do índice Kappa alcançado foi de 0,89 e de acurácia cerca 93,29%, já o valor máximo do índice Kappa atingido foi de 1 e o de acurácia 100%. O índice Kappa médio entre as sete imagens classificadas foi de 0,96 e a acurácia média foi de 97,67%. De acordo com a tabela de índice Kappa proposto por Landis e Koch (1977), a média de acurácia e a qualidade do mapa temático obtidos correspondem ao índice excelente.

### 3.1 Métrica dos Fragmentos

Após o mapeamento dos fragmentos florestais inseridos nas zonas Centro Oeste, Centro Sul e Sul, a análise métrica realizada neste trabalho visou a quantificação do tamanho dos polígonos por hectare (ha). Posteriormente, foram definidos os seguintes intervalos de classes por tamanho para cada fragmento mapeado, sendo: Muito pequeno, Pequeno, Médio, Grande e Muito Grande. Tais classes foram aplicadas para as diferentes zonas administrativas. Na zona Centro Oeste, os dados obtidos a partir da análise métrica foram divididos em cinco classes, sendo: Muito Pequeno (0,00 – 0,36 ha); Pequeno (0,37 - 1,53 ha); Médio (1,54 – 3,70 ha); Grande (3,71 – 12,29 ha) e Muito Grande (12,30 – 24,60 ha). Desta forma, o total de polígonos de fragmentos mapeados correspondeu a 37.992 com métrica de área correspondente a 406,25 ha, em porcentagem é expresso por 14,04%, Tabela 1.

Tabela 1 Classes dos fragmentos florestais existentes na zona Centro Oeste classificados de acordo com o tamanho dado em hectares.

ZONA CENTRO OESTE			
Classes (ha)	Qtd de Fragmento	Área Fragmento (ha)	% Área Total/Zona
Muito Pequeno (0,00-0,36)	37.890	152,13	5,26
Pequeno (0,37 - 1,53)	67	53,58	1,85
Médio (1,54 - 3,70)	21	49,12	1,70
Grande (3,71 - 12,29)	10	72,77	2,51
Muito Grande (12,30 - 24,60)	04	78,65	2,72
<b>Total</b>	<b>37.992</b>	<b>406,25</b>	<b>14,04</b>

Na zona Centro Sul (Tabela 2), a análise métrica foi dividida em cinco classes, sendo Muito Pequeno (0,00 –1,84 ha); Pequeno (1,85 – 7,89 ha); Médio (7,90 – 16,47 ha); Grande (16,48 – 36,48 ha) e Muito Grande (36,49 – 67,17 ha). Desta forma, o total de polígonos de fragmentos mapeados correspondeu a 75.416 com métrica correspondente a 1098,17 ha, em porcentagem é expresso por 37,95%.

Tabela 2. Classes dos fragmentos florestais existentes na zona Centro Sul classificados de acordo com o tamanho em hectares.

ZONA CENTRO SUL			
Classes (ha)	Qtd de Fragmento	Área Fragmento (ha)	% Área Total Zona
Muito Pequeno (0-1,84)	75.356	554,82	19,17
Pequeno (1,85 - 7,89)	40	150,28	5,19
Médio (7,90 - 16,47)	12	156,69	5,41
Grande (16,48 - 36,48)	06	152,44	5,27
Muito Grande (36,49 - 67,17)	02	83,94	2,90
<b>Total</b>	<b>75.416</b>	<b>1098,17</b>	<b>37,95</b>

Na zona Sul (Tabela 3), a análise métrica foi dividida em cinco classes, sendo Muito Pequeno (0,00 –1,08 ha); Pequeno (1,09 – 3,34 ha); Médio (3,35 – 8,50 ha); Grande (8,51 – 18,32 ha) e Muito Grande (18,33 – 611,05 ha). Desta forma, o total de polígonos de fragmentos mapeados correspondeu a 50.550 com métrica correspondente a 1.167,42 ha, em porcentagem é expresso por 40,34%.

Tabela 3 Classes dos fragmentos florestais existentes na zona Centro Sul classificados de acordo com o tamanho em hectares.

ZONA SUL			
Classes (ha)	Qtd de Fragmento	Área Fragmento (ha)	% Área Total Zona
Muito Pequeno (0-1,08)	50.491	379,40	13,11
Pequeno (1,09 - 3,34)	35	63,35	2,19
Médio (3,35 - 8,50)	11	63,51	2,19
Grande (8,51 - 18,32)	03	38,27	1,32
Muito Grande (18,33 - 611,05)	10	622,89	21,52
<b>Total</b>	<b>50.550</b>	<b>1167,42</b>	<b>40,34</b>

### 3.2 Análise Espacial dos Fragmentos Florestais

A partir da análise espacial dos Mapas de Fragmentos Florestais (Figura 5), permitiu observar a distribuição dos segmentos de acordo com as seguintes zonas administrativas: (i) Zona Centro Sul; (ii) Zona Centro Oeste e (iii) Zona Sul, na qual as áreas em verde claro correspondem à cobertura vegetal.

- (i) Zona Centro Sul, verificou-se a forma da distribuição dos polígonos dentro da área de interesse, onde os fragmentos maiores se encontram relativamente distribuídos na área central, enquanto que os fragmentos menores estão dispersos por todo o restante da área.
- (ii) Zona Centro Oeste, foram observadas nas áreas central, sul e nordeste há uma maior concentração dos fragmentos de maior porte, já os de menores fragmentos estão dispersos em todo o restante de área.
- (iii) Zona Sul, observou-se claramente que os fragmento maiores estão concentrados na parte sul da zona, enquanto que os fragmentos menores estão dispersos por todo o restante da área, principalmente na região oeste.

Ao avaliar os dados quantitativos percebeu-se que na zona Centro Oeste, a área total da zona correspondeu à 28,94 km<sup>2</sup>, enquanto a área verde foi de aproximadamente 4,1 km<sup>2</sup> (14,17%), ou seja, há uma menor quantidade de área verde em relação á área total da zona. Em relação á zona Centro Sul, a área total corresponde à 32,11 km<sup>2</sup>, já a área verde é aproximadamente 12,00 km<sup>2</sup> (37,37%), ou seja, a área verde foi de quase o valor da metade de sua área total. A zona Sul apresenta área total de 47,08 km<sup>2</sup> e a área verde observada foi de 12,00 km<sup>2</sup> ou 25,49%, representando quase metade de sua área total recoberta por áreas de vegetação.

Com o resultado final da consolidação dos dados obtidos foi possível a elaboração do mapa da análise espacial do fragmentos florestais da área de estudo.



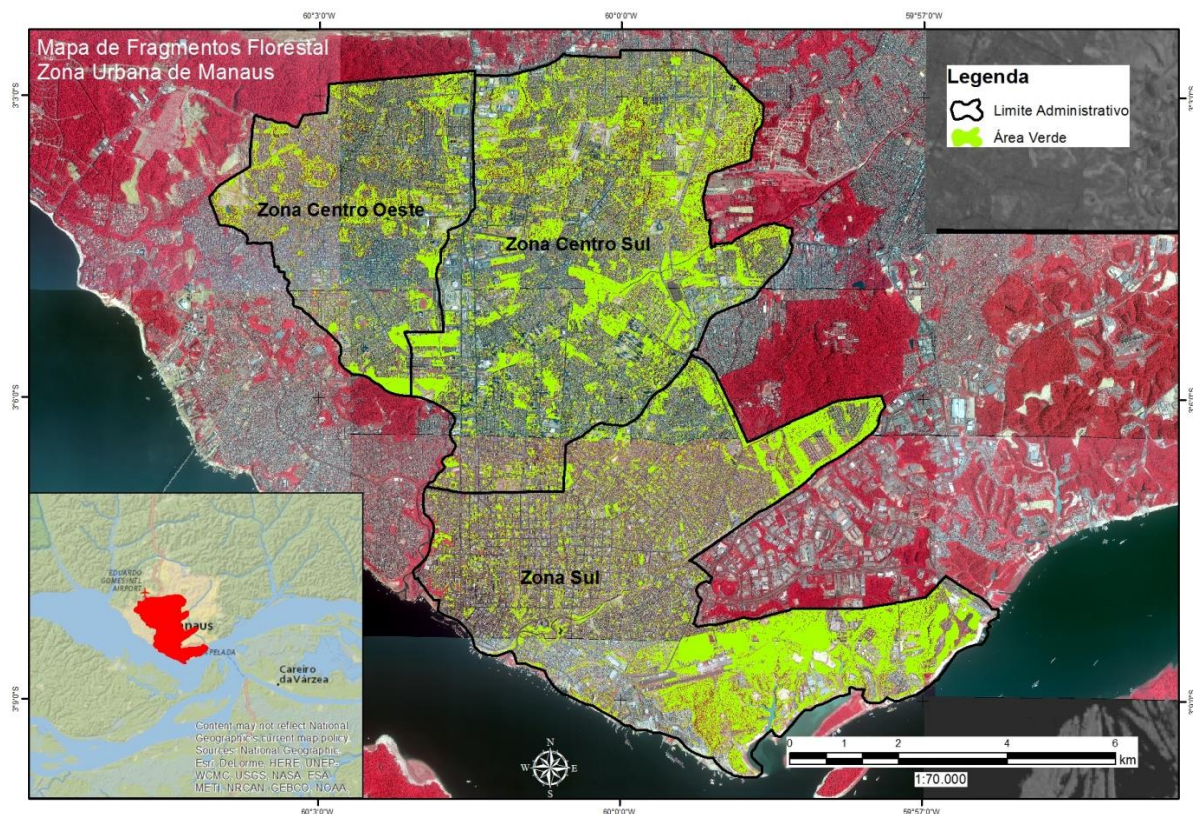


Figura 5 Mapa da Análise Espacial dos Fragmentos Florestais da Zona Urbana de Manaus.

#### 4 Conclusões

O uso das imagens do sensor ADS-80 juntamente com procedimentos adotados nesta pesquisa permitiu analisar espacialmente e quantitativamente o tamanho dos polígonos dos fragmentos. Os resultados obtidos demonstraram uma distribuição dos fragmentos de forma variada nas zonas mapeadas.

Na zona Centro Oeste foi observada que a distribuição espacial dos fragmentos florestais maiores concentrados em porções centrais e nordeste e a distribuição métrica de 406,25 ha total dos polígonos mapeados.

Na zona Centro Sul, a espacialidade dos polígonos maiores estão concentrados na região central do mapa, com métrica de 1098,17 ha de polígonos mapeados. Na zona Sul analisou-se espacialmente uma distribuição de fragmentos grandes na porção sudeste e noroeste e uma distribuição métrica de 1167,42 ha dos polígonos identificados durante o mapeamento.

A partir dos mapas elaborados, notou-se que a zona Centro Oeste apresenta uma maior frequência de fragmentos da classe Muito Pequeno, ou seja, menores que 0,36ha, indicando uma zona extremamente fragmentada. Já na zona Centro Sul, a incidência de fragmentos com o intervalo de classe Muito Pequeno também é ocorrente, porém há a presença de áreas em que os polígonos possuem uma maior dimensão.

Por fim, na zona Sul nota-se que a classe Muito Grande apresenta um intervalo entre 18,33 e 611,05, e uma área de fragmentos correspondente a 622,89 ha, bem superior à classe Muito Pequeno, 379,40 ha, o que indica uma zona com fragmentos mais expressivos. Tais observações são reflexo das ações antrópicas sobre as áreas de vegetação, principalmente pela expansão urbana.

## Agradecimentos

Ao Centro Regional de Manaus do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, por oferecer toda a estrutura necessária para desenvolvimento desta pesquisa através do Programa de Apoio de Iniciação a Pesquisa - PAIC e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas pelo financiamento da bolsa de estudo e pela oportunidade dada para a realização desse trabalho.

## Referências

COLGATON, R. G. *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment*, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

CRÓSTA, A. P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas: Unicamp, p. 170. 1992.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. *Degradação ambiental*. In: GUERRA, A. J.; CRÓSTA, A. P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas: Unicamp, p. 170. 1992.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2016.

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2005.

LANDIS, J.R. e KOCH, G.G. *The measurement of observer agreement for categorical data*. *Biometrics*, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

MARINHO, Carlos A. B. *Proposta de ferramenta computacional para discriminação de feições espectrais de óxidos de ferro em solos da região agrícola do DF, por meio do sensor aerotransportado ADS-80*. Universidade de Brasília, Tese de Mestrado nº 58. 2014.

RAMBALDI, Denise M; OLIVEIRA, Daniela A. S. de. *Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas*. Ministério do Meio Ambiente – SBF. Brasília: 2003.510 p.

SEMMAS – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Disponível em : <<http://semmas.manaus.am.gov.br/>>. Acesso em: 15/01/2016.

SILVA, Ardemírio de Barros. *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos*. Campinas: Unicamp, 236 p., (Coleção Livro-Texto), 1999.

VAPNIK, V. *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York: Springer-Verlag, 1995.