

USO DE IMAGENS RADARSAT-1 PARA FINS DE MAPEAMENTO DE USO DA TERRA E COBERTURA DO SOLO EM AMBIENTE TROPICAL ÚMIDO URBANO: O CASO DE MANAUS, ESTADO DO AMAZONAS

WALDIZA SOUZA BRANDÃO^{1,2}
WALDIR RENATO PARADELLA²

¹UFAM - Universidade Federal do Amazonas
Av. Gal. Rodrigo O. J. Ramos, 3000 - 69077-000 – Manaus - AM, Brasil
waldiza@ltid.inpe.br

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
waldir@ltid.inpe.br

Abstract. The purpose of this investigation is to make a preliminary evaluation of the information derived from distinct modes of RADARSAT-1 images (Standard and Fine) acquired over the Manaus city during different passes (ascending and descending) for land use and land cover mapping. In addition, aspects related to the influence of sensor (incidence angle, look-azimuth and spatial resolution) and target (surficial roughness, moisture, type of terrain, etc) were also evaluated. The chosen test-site is the Manaus city, capital of Amazonas State, Brazilian Amazon Region. The investigation has allowed to produce a semi-detailed map of the urban land use and land cover units for the Manaus area. This research has also shown that tone and texture were the dominant image attributes in the interpretation process, controlled by target (mainly surface roughness and moisture) and sensor parameters (look-azimuth, incidence angle and spatial resolution) which expressed distinct backscattering responses from the thematic classes.

Keywords: radar remote sensing, RADARSAT-1, land use, land cover, Brazilian Amazon Region.

1. Introdução

Dentre as inúmeras aplicações da tecnologia de sensoriamento remoto, o mapeamento de uso da terra e cobertura do solo tem se destacado como uma das mais importantes nos últimos anos. Isto se deve principalmente à rapidez, precisão e periodicidade com que as informações podem ser obtidas, seja em escala global, nacional ou local (Henderson e Xia, 1998). O que diz respeito à utilização de dados provenientes de sistemas de radar imageador para este fim, estes vêm se tornando cada vez mais frequente e têm servido de fonte de informação para diversas aplicações relacionadas com este tema, que vão desde análise e mapeamento de padrões urbanos, detecção de povoados, detecção de mudanças antrópicas, até trabalhos mais detalhados relacionados à estimativa de população e à interpretação de características socioeconômicas de áreas urbanas.

Apesar deste uso comum dos produtos provenientes de sistemas de imageamento por microondas para estudos urbanos, no Brasil, ainda existem poucos trabalhos com este enfoque, principalmente desenvolvidos na Amazônia. Nesta região, devido ao clima tropical úmido, a utilização de dados de sensores ópticos é bastante limitada, pois a cobertura de nuvens, incidência de chuvas, e a presença de brumas e fumaça de queimadas são frequentes. Através dos sistemas de radar, contudo, é possível obter um imageamento contínuo dessas áreas, uma vez que se tratam de sistemas de sensoriamento remoto que operam em comprimentos de onda maiores, o que permite o imageamento da superfície terrestre em tais condições atmosféricas adversas.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo principal a avaliação da potencialidade das imagens RADARSAT-1 para a identificação de alvos relacionados com uso da terra e cobertura do solo em uma região urbana de clima tropical, na Amazônia. Especificamente, o

trabalho objetivou: a) selecionar os produtos mais adequados à extração de classes de uso da terra e cobertura do solo e compor um mapa que reunisse o maior número possível de tais informações; b) realizar uma avaliação de diversas imagens RADARSAT-1 quanto à influência dos parâmetros azimute de visada, ângulo de incidência e resolução espacial na identificação dos alvos investigados; c) avaliar a aplicabilidade da metodologia de interpretação empregada em função dos elementos de interpretação considerados.

2. Área de Estudo

Este estudo foi realizado na região de Manaus, Estado do Amazonas, localizada entre os meridianos $59^{\circ}47'W$ e $60^{\circ}07'W$ e paralelos $3^{\circ}14'S$ e $2^{\circ}55'S$ (**Figura 1**). A área inclui a zona urbana de Manaus e seu entorno, que envolve áreas de expansão urbana atuais, igarapés, como os igarapés do Tarumã e Puraquequara, e as áreas de várzeas localizadas nas margens dos rios Negro, Solimões e Amazonas; totalizando uma área de aproximadamente 668 km^2 .

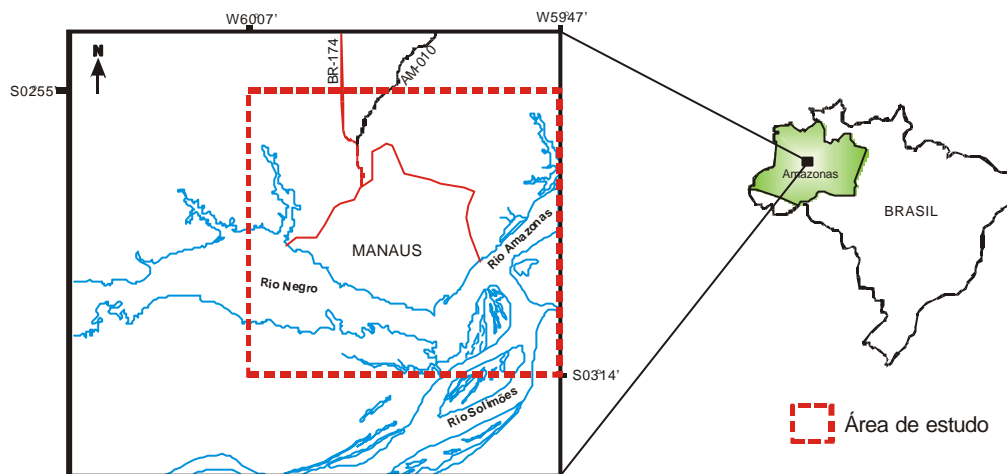


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

3. Materiais e Método

Os materiais utilizados na realização deste estudo consistiram do conjunto de dados SAR (imagens digitais RADARSAT-1), dados climáticos (precipitação), cartas topográficas da área, *softwares* e aplicativos específicos para o tratamento dos dados.

O conjunto de dados SAR utilizado é constituído por cinco (5) imagens digitais RADARSAT-1 (**Tabela 1**) adquiridas através do Centro Canadense de Sensoriamento Remoto (CCRS) no âmbito do Programa GlobeSAR 2.

Como dados auxiliares, foram utilizados dados climáticos (precipitação) da cidade de Manaus registrados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC/INPE) durante os anos de 1996, 1997 e 2001, que correspondem aos anos de aquisição das imagens avaliadas. A utilização destes dados teve como finalidade relacionar as condições ambientais da área estudada durante o imageamento, em especial o conteúdo de umidade, com a resposta espectral dos alvos investigados.

Metodologicamente, o estudo foi realizado em três etapas: 1) Pré-processamento; 2) Interpretação e; 3) Avaliação dos parâmetros que influenciaram na discriminação dos alvos.

A etapa de *pré-processamento* dos dados consistiu na aplicação das técnicas de correção geométrica e filtragem para atenuação do ruído *speckle*. A técnica de correção geométrica aplicada foi a ortorretificação, onde se faz necessário também a utilização do modelo de elevação digital do terreno (DEM); este processo foi realizado através do módulo SRORTHO (*Satellite Radar Ortho Image Generation*) do *software* EASI-PACE/PCI v.8.1 (PCI

TABELA 1 - DADOS RADARSAT-1 UTILIZADOS NO ESTUDO.

IMAGEM	DATA DE AQUISIÇÃO	ÂNG. DE INCID.	RESOLUÇÃO ESPACIAL	TAMANHO DO PIXEL	NÍVEL DE QUANT.	FORMATO	NO. DE LOOKS	ÓRBITA
RADARSAT-1 Standard 2	07 de Junho, 1997	24-31°	22,0x27,0	12,5x12,5	16-bits	SGX Path Image Plus	1x4	Descendente Azimute de Visada = 282°
RADARSAT-1 Standard 5	28 de Maio, 1997	36-42°	24,,2x27,0	12,5x12,5	16-bits	SGF Path Image	1x4	Descendente Azimute de Visada = 282°
RADARSAT-1 Standard 7	07 de Outubro, 1996	45-49°	20,1x27,0	12,5x12,5	16-bits	SGX Path Image Plus	1x4	Descendente Azimute de Visada = 282°
RADARSAT-1 Fine 2	03 de Junho, 2001	39-42°	8,7x8,4	6,25x6,25	16-bits	SGF Path Image	1x1	Ascendente Azimute de Visada = 78°
RADARSAT-1 Fine 2 Near	31 de Maio, 2001	39-42°	8,7x8,4	6,25x6,25	16-bits	SGF Path Image	1x1	Descendente Azimute de Visada = 282°

Geomatica, 2001). Durante o processo de reamostragem realizado no SRORTHO foi utilizado o filtro EFROST de tamanho de janela 5x5 para a redução de *speckle*.

Para a *etapa de interpretação*, primeiramente, as imagens ortorretificadas e filtradas foram submetidas a uma análise visual prévia com a finalidade de selecionar aquelas que possibilitassem discriminar o maior número de informações ou classes de interesse possíveis. Esta análise foi realizada comparando-se as imagens do conjunto de dados entre si e atribuindo-se os seguintes pesos quanto à detectabilidade das classes de uso da terra e cobertura do solo nas imagens: 1 (ruim), 2 (razoável), 3 (bom) e 4 (ótimo). Os resultados desta análise mostraram que as imagens Fine 2 Ascendente e Fine 2 Near Descendente são as que apresentaram os melhores índices de detectabilidade de classes (**Tabela 2**). Tal resultado é em função, principalmente, da melhor resolução espacial das imagens do Modo Fine, que permitiu a extração das classes intra-urbanas e das feições menores, como as de arruamento da cidade. Adicionalmente, com o intuito de reunir informações complementares em um único produto que pudesse ser usado como suporte à interpretação das imagens individuais, foi gerada uma composição colorida (**Figura 2**) com as imagens que apresentaram melhores índices de detectabilidade por classe obtidos na fase anterior, ou seja, as imagens Fine 2 Near Descendente, Fine 2 Ascendente e Standard 2 Descendente, ortorretificadas e filtradas.

Para a etapa de interpretação propriamente dita, as imagens selecionadas previamente foram submetidas a uma interpretação visual a fim de ser identificados os alvos relacionados com o uso da terra (áreas industriais, comerciais, residenciais, agrícolas, etc.) e cobertura do solo (vegetação, drenagens, etc), de acordo com o nível II do esquema de classificação desenvolvido por Anderson et al. (1976). O objetivo deste processo foi gerar um mapa temático de uso da terra e cobertura do solo que reunisse o maior número de informações possíveis extraídas das imagens. Para tanto, foram levados em conta os seguintes elementos de interpretação sugeridos por Henderson e Xia (1998) na análise de dados de radar para fins de estudos urbanos: tom, textura, tamanho, forma, padrão e contexto. Tal metodologia serviu como base para interpretações e classificações em diversos estudos, como em Henderson e Merchant (1983) e Werle (1992).

Na *etapa de avaliação dos parâmetros que influenciaram na discriminação dos alvos*, considerando os diferentes tipos de imagens do conjunto de dados, os resultados obtidos na etapa de interpretação foram submetidos a uma avaliação com o intuito de observar as influências que alguns parâmetros do sistema sensor e dos alvos tiveram sobre a extração das informações de uso da terra e cobertura do solo, principalmente no que diz respeito aos alvos: áreas industriais, comerciais, residenciais, rurais, vegetação, drenagens, etc. Nesta análise,

TABELA 2 - DETECTABILIDADE DE CLASSES POR IMAGEM – SELEÇÃO DOS MELHORES PRODUTOS PARA INTERPRETAÇÃO.

Classes \ Imagens	Fine 2 Asc	Fine 2 Near Desc	Standard 2 Desc	Standard 5 Desc	Standard 7 Desc
Terra Florestada Sempre Verde	4	4	3	3	3
Terra Úmida Florestada	4	4	4	4	2
Terra com Vegetação Rasteira	4	4	4	3	3
Água	4	4	4	4	4
Uso da Terra	4	4	3	2	3
Terra Urbana ou Construída	4	4	4	4	4
Expansão Urbana	4	4	3	3	3
Comercial e Serviços	4	4	2	2	2
Residencial 1	4	4	3	2	3
Residencial 2	4	3	3	3	3
Residencial 3	3	4	2	2	2
Industrial	4	4	3	3	3
Aeroportos	4	4	4	4	4
Rodovias, Estradas, Ruas, Barras de Areia	4	4	2	2	3
Detectabilidade Total da Classe	55	55	44	41	42

foram levados em conta, portanto, os seguintes parâmetros do sistema sensor, julgados mais importantes para este trabalho: Azimute de Visada, Ângulo de Incidência e Resolução Espacial. Quanto às características dos alvos, foram analisados a geometria, o arranjo espacial e o tipo de interação ocorrida entre a energia emitida pelo radar e os alvos. Adicionalmente, como variáveis ambientais, foram levadas em conta as condições climáticas da região registradas nas épocas de aquisição das imagens, além da topografia e da presença ou não de vegetação.

4. Resultados

Como resultado final da etapa de interpretação das imagens, obteve-se o mapa temático de uso da terra e cobertura do solo para a região de Manaus apresentado na **Figura 3**, o qual foi validado em campo para uma melhor caracterização das classes definidas preliminarmente.

Uma análise da metodologia de interpretação mostrou, com base nos critérios interpretativos de rugosidade estabelecidos por Morain (1976), que, de uma forma geral, o tom e a textura foram elementos particularmente importantes nas imagens, principalmente para a discriminação das classes relacionadas com vegetação. O tamanho e o padrão são elementos bastante associados e foram importantes, principalmente, na delimitação das classes intra-urbanas relacionadas aos bairros residenciais e da classe de uso da terra. O contexto ou associação teve papel importante na interpretação, uma vez que algumas classes tinham relação com outras feições da área de estudo, tais como topografia, estradas de acesso e localização. Estas informações foram reunidas na **Tabela 3** de forma a saber qual o elemento de interpretação mais dominante em cada classe.

Quanto à análise da influência dos parâmetros do sensor na interpretação, observou-se que o azimute de visada foi essencial na análise do efeito cardinal, onde o posicionamento dos alvos na direção perpendicular à iluminação do sensor favorece o realce das feições ou, ao contrário, a sua atenuação. Quanto ao ângulo de incidência, observou-se que a variação deste parâmetro causou algumas diferenças de padrões de respostas, em função da maximização de variações topográficas (microtopografia) na imagem de menor ângulo de incidência (26°), a imagem Standard 2, ou seja, alvos que nas demais imagens, de ângulos de incidência variando entre 39 e 46°, comportavam-se como superfícies lisas, na Standard 2 apresentam uma certa

rugosidade e, portanto, o sinal de retorno registrado foi maior. Com relação à resolução espacial, esta foi determinante na extração das informações em escala de maior detalhe, como, por exemplo, as classes intra-urbanas e feições lineares menores (ruas). A **Tabela 4** resume a influência de cada um dos parâmetros discutidos para cada classe ou feição observadas.

Finalmente, a influência das variáveis ambientais (em especial a precipitação) na discriminação dos alvos investigados foi também considerada. Comparando-se as imagens entre si, observou-se que ocorreu perda de contraste nas imagens cujos registros atmosféricos indicam a ocorrência de precipitação no dia da aquisição do dado e no anterior. Neste caso, a presença de água aumenta a constante dielétrica do solo exposto, eleva a resposta do alvo ao sensor e decresce o contraste da imagem para este alvo em particular, dificultando a identificação dos mesmos.

TABELA 3 - INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO NA DISCRIMINAÇÃO DAS CLASSES DE USO DA TERRA E COBERTURA DO SOLO.

Classes \ Atributo	Tom	Textura	Tamanho	Padrão	Forma	Contexto
Terra Florestada Sempre Verde	2	2				1
Terra Úmida Florestada	2	1				
Terra com Vegetação Rasteira	2	2				
Água	2					
Uso da Terra	2	2	1		1	1
Terra Urbana ou Construída	1	2		1		1
Comercial e Serviços	2			2		1
Residencial 1	2			1		1
Residencial 2	2		1	1	2	1
Residencial 3	2			2		1
Industrial	2			1		1
Aeroportos	2				2	
Rodovias, Estradas, Ruas, Barras de Areia	1			1	2	1

TABELA 4 - INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO SISTEMA SENSOR NA DISCRIMINAÇÃO DAS CLASSES DE USO DA TERRA E COBERTURA DO SOLO.

Classes \ Parâmetros	Ângulo de Incidência	Resolução Espacial	Azimute de Visada
Terra Florestada Sempre Verde		1	
Terra Úmida Florestada			2
Terra com Vegetação Rasteira			
Água			
Uso da Terra	1	1	
Terra Urbana ou Construída		1	
Comercial e Serviços		2	2
Residencial 1	1	1	1
Residencial 2	1	1	2
Residencial 3	1	1	2
Industrial		2	2
Aeroportos			
Rodovias, Estradas, Ruas, Barras de Areia		2	2

- 1 Característica Sub-Dominante
- 2 Característica Dominante
- Influência Não Observada

5. Conclusões

De um modo geral, o conjunto de dados (imagens RADARSAT-1) e a metodologia empregada (análise visual através dos elementos de interpretação) geraram resultados satisfatórios na classificação do uso da terra e cobertura do solo para a região de Manaus. Assim, considerando os parâmetros do sistema sensor e dos alvos discutidos, algumas conclusões são pertinentes:

1. O mapa gerado a partir da interpretação visual das imagens RADARSAT-1 Fine 2 Near Descendente e Fine 2 Ascendente, com apóio da composição colorida, representa o máximo de informação possível de extração com as imagens SAR em relação aos alvos investigados. Para uma precisão maior, bem como para estimar a acurácia da classificação, seria necessário o uso de dados adicionais como fotografias aéreas, videografia, imagens de satélite de alta resolução, por exemplo;

2. A geometria de imageamento (particularmente a variação no azimute de visada e no ângulo de incidência) é extremamente importante na discriminação de classes no mapeamento urbano baseado em dados RADARSAT-1. A utilização de imagens com dois azimutes de visada e com ângulos de incidência diferentes possibilitou a extração de informações complementares e, conseqüentemente, um maior detalhamento no mapeamento das feições de interesse, além de evitar interpretações erradas e/ou não-coerentes;

3. É importante considerar as condições ambientais no planejamento da aquisição dos dados, uma vez que o conteúdo de umidade influencia na constante dielétrica, podendo isto contribuir para a redução do contraste entre os alvos;

4. A acurácia na interpretação de imagens de radar para o uso da terra e cobertura do solo depende de um bom entendimento dos processos de retroespalhamento e de uma avaliação da importância dos vários elementos que contribuem para tais processos.

Referências

- Anderson, J.R.; Hardy, E.E.; Roach, J.T.; Witmer, R.E. **A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensing Data**, US Geological Survey Professional Paper 964, United States Government Printing Office, Washington, DC, 1976, 28p.
- Henderson, F.M.; Merchant, J.W. Microwave Remote Sensing. In: Richardson Jr., B.F. (ed.). **Introduction to Remote Sensing of the Environment**, Second Edition, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, 1983. p.191-217.
- Henderson, F.M.; Xia, Z. Radar Applications in Urban Analysis, Settlement Detection and Population Estimation. In: F.M. Henderson & A.J. Lewis (eds.). **Principles & Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing, v.2**, New York, Am. Soc. Phot. and Rem. Sens., 1998. p.733-768.
- Morain, S.A. Use of Radar for Vegetation Analysis. In: A.J. Lewis (ed.). **RSEMS, Remote Sensing of the Electromagnetic Spectrum**, Association of American Geographers, v.3, n.3, 1976. p.61-78.
- PCI Geomatica. Using PCI software. Richmond Hill, ON. 279p. (PCI Committed to Remote Sensing Version 8.1 – EASI-PACE). 2001.
- Werle, D. **Radar Remote Sensing: A training manual**. Ottawa: Dendron Resource Survey, 1992. 300p.

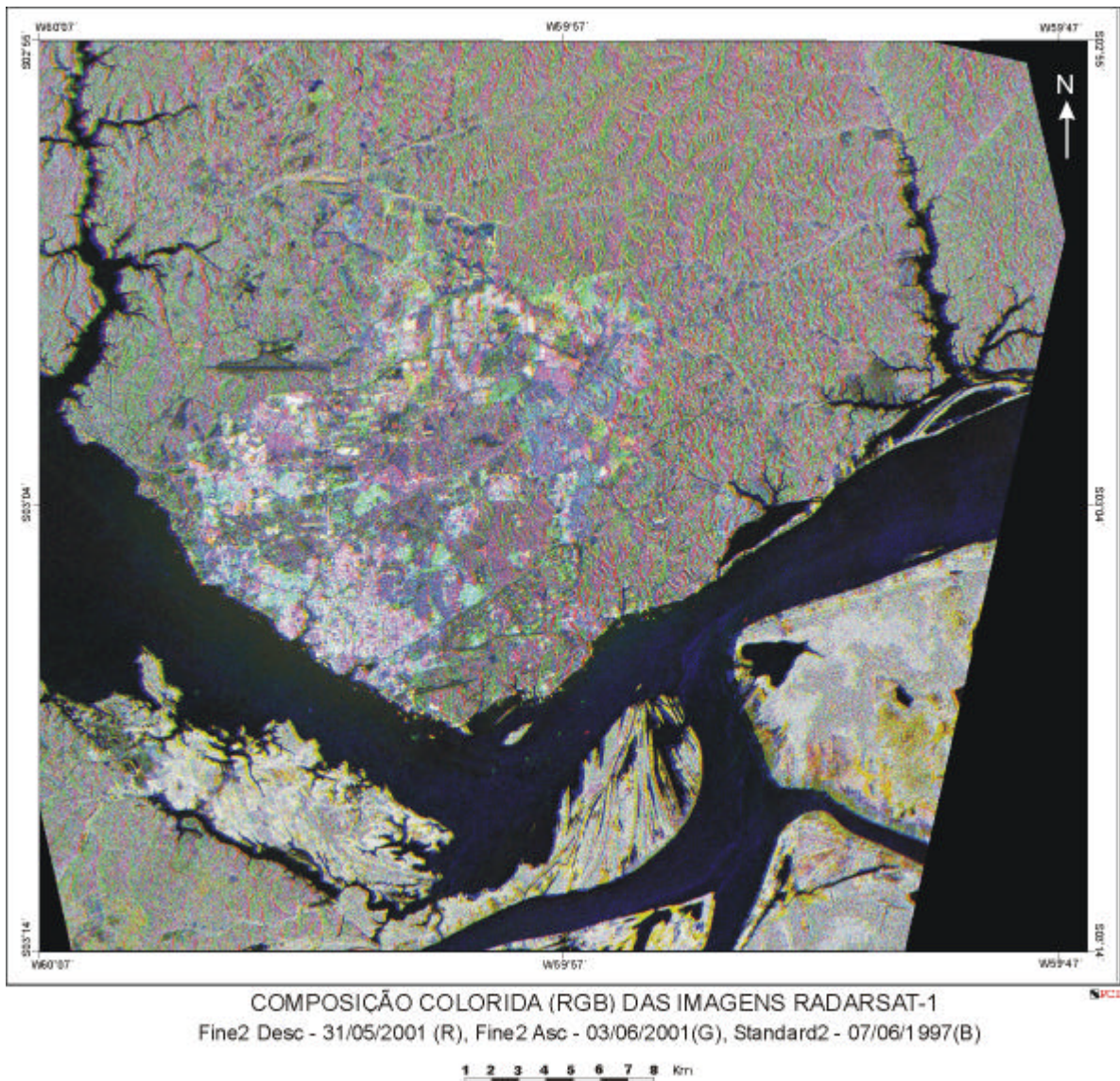


Fig. 2 - Composição colorida gerada a partir das imagens Fine 2 Near Descendente, Fine 2 Ascendente e Standard 2 Descendente, selecionadas para a interpretação visual.

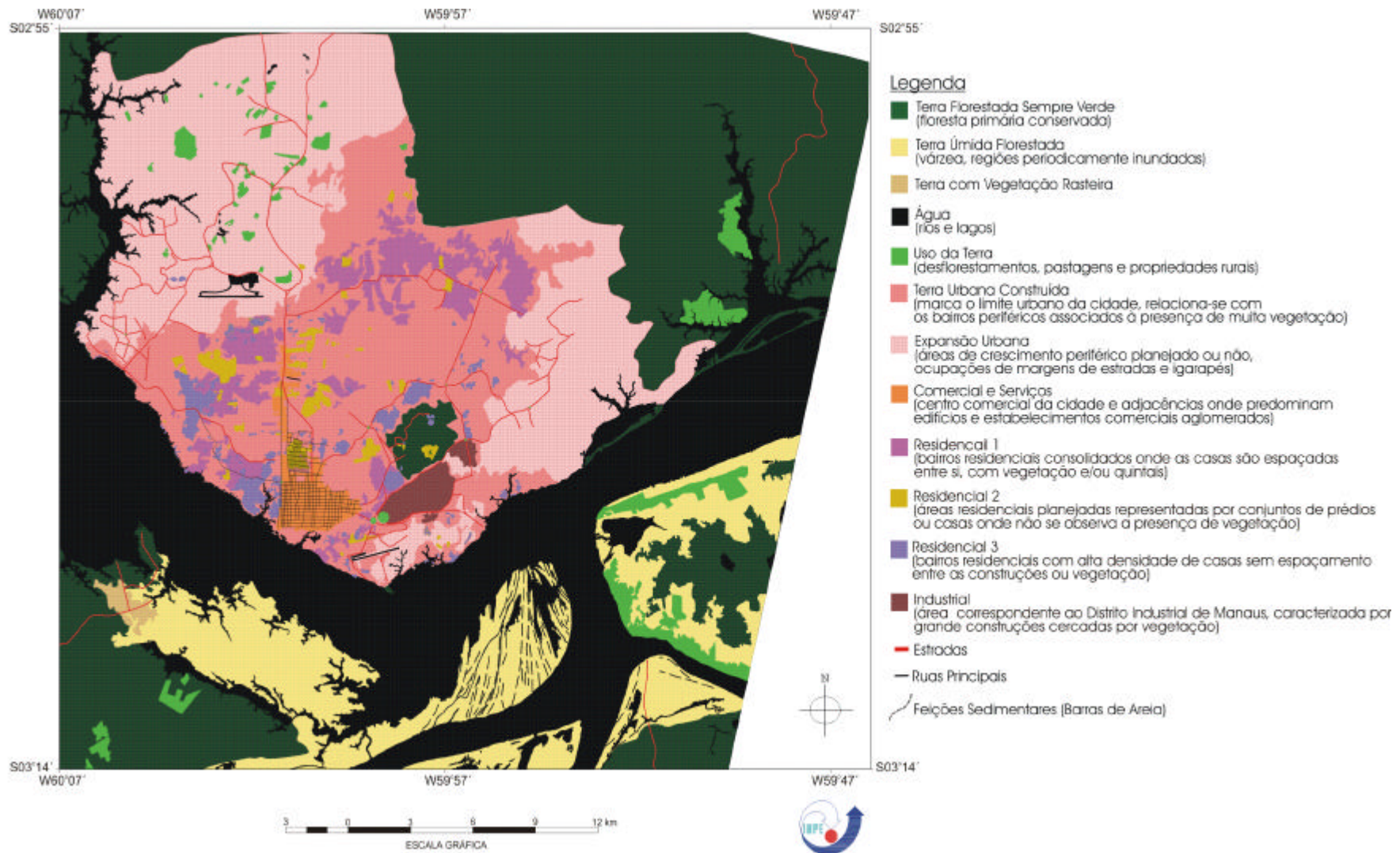


Fig. 3 - Mapa de Uso da Terra e Cobertura do Solo elaborado a partir da interpretação visual das imagens RADARSAT-1.