



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

*O Projeto RADAM e o Levantamento Radargramétrico do
Território Nacional*

IZAURA CRISTINA NUNES PEREIRA

Rio de Janeiro- RJ, Brasil
Jun/2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

*O Projeto RADAM e o Levantamento Radargramétrico do
Território Nacional*

IZAURA CRISTINA NUNES PEREIRA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO**

ORIENTADOR

PROF. DR. MANOEL DO COUTO FERNANDES

CO-ORIENTADOR

PROF. DR. PAULO MÁRCIO LEAL DE MENEZES

Rio de Janeiro- RJ, Brasil

Jun/2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

*O Projeto RADAM e o Levantamento Radargramétrico do
Território Nacional*

IZAURA CRISTINA NUNES PEREIRA

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Geografia (M.Sc).

Aprovada por:

Prof Dr. _____ - Orientador

Manoel do Couto Fernandes

Depto. Geografia/ UFRJ

Prof Dr. _____ - Co-orientador

Paulo Márcio Leal de Menezes

Depto. Geografia/ UFRJ

Prof^a Dra _____ - Avaliador Interno

Carla Bernadete Madureira Cruz

Depto. Geografia/ UFRJ

Prof Dr. _____ - Avaliador Externo

Raúl Sánchez Vicens

Depto. Geografia/.UFF

FICHA CATALOGRÁFICA

PEREIRA, Izaura Cristina Nunes

O Projeto RADAM e o Levantamento Radargramétrico do Território Nacional

[Rio de Janeiro], 2008

ix.123 p. (IGEO/ UFRJ, M.Sc., GEOGRAFIA, 2007)

Dissertação– Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO

1. Sensoriamento Remoto
2. Radar
3. Informação Geográfica
4. Projeto RADAM

A expressão meio técnico-científico pode, também, ser tomada em outra acepção talvez mais específica, se levarmos em conta que, nos dias atuais, a técnica e a ciência presentearam o homem com a capacidade de acompanhar o movimento da natureza, graças aos progressos da teledeteção e de outras técnicas de apreensão dos fenômenos que ocorrem na superfície da terra.

As fotografias por satélite retraíam a face do planeta em intervalos regulares, permitindo apreciar, de modo ritmado, a evolução das situações e, em muitos casos, até mesmo imaginar a sucessão dos eventos em períodos futuros. Os radares meteorológicos, cada vez mais poderosos e precisos, são colaboradores preciosos nessa tarefa, porque permitem que as previsões se realizem com intervalos ainda menores.

(Milton Santos em “A natureza do Espaço”, 1996, p.162)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente dedico este trabalho à Deus, por ter sido o meu refúgio nos momentos mais turbulentos que enfrentei durante o período que morei na cidade do Rio de Janeiro em busca dos meus objetivos.

Aos meus pais pelo apoio integral e incondicional sem o qual não poderia ser a pessoa que sou hoje.

Ao meu marido, Alcicley, que sem dúvida foi primordial nesse momento, por garantir minha serenidade e as condições básicas, necessárias à execução do presente trabalho.

À minha filha Sofia, que veio ao mundo para me tornar uma pessoa mais paciente e tranqüila, além de me dar o prazer de ser mãe de uma pessoa muito especial como ela.

Ao meu querido professor, amigo e co-orientador Paulo Menezes por ter acreditado em mim desde o nosso primeiro contato, abrindo as portas de seu laboratório, e de certa forma de sua vida, para que pudesse crescer tanto profissional, quanto academicamente.

Ao meu queridíssimo amigo, professor e orientador Manoel do Couto Fernandes pelo apoio, dedicação e confiança em todos os momentos, sem o qual de certo não conseguiria terminar este trabalho, pois através dele tive acesso ao material necessário para desenvolver minhas pesquisas com segurança.

Aos senhores Ricardo Forin Lisboa Braga, Jaime Franklin Vidal Araújo e Edson de Faria Almeida, ambos do IBGE, por disponibilizarem de forma simples, e não burocrática, dados e informações sobre o Projeto RADAM, principais fontes dessa pesquisa.

Aos colegas Paulo Alves dos Santos e Luciana Temponi pela importante contribuição no desenvolvimento do presente trabalho.

À todos os integrantes do Laboratório de Cartografia da UFRJ (GEOCART), tanto aos veteranos quanto aos novatos, pelos momentos felizes e de descontração que passamos, comemorando aniversários, compartilhando sorrisos, frustrações e bastante sabedoria.

Aos amigos que conheci em minha passagem pelo Rio de Janeiro, faço um agradecimento muito especial, dentre eles: Keila, Frank e Vanessa. Saibam que foram substanciais na minha longa jornada, que foi a conclusão desse trabalho.

Ao CNPq que através do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), fomentou o desenvolvimento do presente trabalho.

DEDICATÓRIA

*Aos meus queridos pais, Maria Lucilene e Luiz
E ao meu marido, Alcicley, e a minha filhota, Sofia.*

RESUMO

O presente trabalho constitui um esforço analítico sobre o levantamento radargramétrico da superfície terrestre no Brasil, em particular na Amazônia. Deste modo, apresenta como objetivo principal discutir o papel desse levantamento como suporte à geração da informação geográfica voltada ao reconhecimento do território no país, analisando como estudo de caso a atuação do Projeto Radar da Amazônia (RADAM) instalado a partir da década de 70 na região da Amazônia Legal. No âmbito desse objetivo, o trabalho procura analisar também como foi realizado o mapeamento a partir do imageamento por radar aerotransportado. Para tanto, procedeu-se ao levantamento documental e bibliográfico sobre o Projeto em questão, bem como dos produtos gerados (mapas temáticos e cartas imagens). Assim, foi realizada, primeiramente, a análise do sensor radar no cerne do Sensoriamento Remoto, discutindo sua geometria, tipos, aplicabilidades e características técnicas. Em seguida, discorreu-se sobre o projeto propriamente dito, sua gênese, perfil técnico-metodológico, etapas de análise e interpretação das imagens de radar, entre outras. Com o intuito de discutir o detalhe e a riqueza das informações geradas, foi realizada uma breve descrição dos resultados obtidos da área que compõem a Folha SA 22 Belém, acompanhada dos mapas temáticos produzidos nas divisões de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. O trabalho discute também a contribuição do projeto RADAM no levantamento de informações sobre recursos naturais, a atualização do material obtido por meio do Projeto Sistematização de Informações sobre Recursos Naturais desenvolvido pelo IBGE, além das principais tendências na produção de conhecimento do território na Amazônia, com ênfase na atuação dos Projetos SIPAM/ SIVAM. Dessa forma, pode-se concluir que o radar, independente do período histórico e das características técnicas, mostra-se essencial no processo de geração da informação geográfica e que a implementação do RADAM foi um marco no processo de reconhecimento do território no país, principalmente no que diz respeito a Amazônia brasileira, pois foi a partir do material produzido que se pôde identificar e quantificar a real potencialidade dos recursos naturais presentes nessa região e depois em todo território nacional, o que fez do RADAM, durante a sua vigência, o maior projeto de mapeamento por sensoriamento remoto através do uso de radares aerotransportados.

ABSTRACT

This research is an effort to analyze radar surveying projects developed in Brazil, more specific in Amazonian Region. It aims, as a main purpose, to discuss the importance of that project, as support to generate a great data volume of geographical information lead to territory survey. It's analyzed the performance of the RADAM Project (Projeto Radar da Amazônia) installed from the 70th decade in Amazonian Legal area. Still inside of the purpose, it will be analyzed the mapping developed through the radar airborne images. To develop the research it was proceeded a documental and bibliographical survey on the Project, as well as of the derivate products (thematic maps and image charts). It was accomplished, the analysis of the radar sensor about Remote Sensing view, discussing its geometry, types, applications and technical attributes. The RADAM Project was presented, showing its genesis, methodological-technician profile, analysis stages developed and the radar images interpretation methodology, among others. Intending the discussion of details and wealth of the generated information, it was accomplished a short description of the results obtained through the SA 22 Belém Chart, and the produced thematic maps of Geology, Geomorphology, Pedology, Vegetation and Land Use. The research also discusses the high contribution of RADAM project about the survey of on natural resources data, on the updating of obtained data through the IBGE Project of Natural Resources Systematic Data, besides the discussion of tendencies in knowledge production data of Amazonian territory, focusing the SIVAM/SIPAM'S Projects performances. In this way, it can be concluded that the radar use, independent of the historical period and technical characteristics, it was shown essential to generate geographical data and knowledge information. The RADAM Project was a mark in the process of Brazilian territory survey and mapping regarding the Amazonian Region, once it was starting point to identify and to quantify, from the data produced the high potentiality of natural resources of that area and later in all Brazilian territory, defining RADAM Project as the largest mapping and surveying project for Remote Sensing using airborne radars

Key words: Remote Sensing; Radar; Geographical Information; RADAM Project

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------|--|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| BD | Banco de Dados |
| CCG | Centro de Coordenação Geral |
| CNAE | Comissão Nacional de Atividades Espaciais |
| CODEVALE | Companhia de Desenvolvimento dos Vales |
| CPRM | Serviços Geológicos do Brasil |
| CRADAM | Comissão de Levantamento Radargramétrico da Amazônia |
| CRV | Centro Regional de Vigilância |
| DNPM | Departamento Nacional de Produção Mineral |
| DSG | Diretoria de Serviços Geográficos |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ERTS | Earth Resources Technology Satellite |
| ETM | Enhanced Thematic Mapper |
| FUNAI | Fundação Nacional de Assistência aos Índios |
| GEMS | Goodyear Mapping System |
| GHZ | Gigahertz |
| IBAMA | Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDESP | Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social |
| IGA | Instituto de Geociências Aplicadas |
| INCRA | Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária |
| INPA | Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IV | Infra-Vermelho |
| LRN | Relatório de Levantamento de Recursos Naturais |
| MDE | Modelo Digital de Elevação |
| MEC | Ministério da Educação |

| | |
|----------|---|
| MHZ | Megahertz |
| MINTER | Ministério da Integração Nacional |
| MME | Ministério das Minas e Energia |
| MSS | Multispectral Scanner |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| OIS | Optical and Infrared Sensor |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PARA-SAR | Esquadrão Aeroterrestre de Salvamento |
| RADAM | Radar da Amazônia |
| RAR | Real Aperture Radar |
| SAE/PR | Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República |
| SAR | Synthetic Aperture Radar |
| SERE | Projeto Sensoriamento Remoto |
| SHF | Super High Frequency |
| SIPAM | Sistema de Proteção da Amazônia |
| SIVAM | Sistema de Vigilância da Amazônia |
| SLAR | Side Looking Airbone Radar |
| SRTM | Shuttle Radar Topography Mission |
| SUDAM | Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia |
| SUDENE | Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste |
| TIROS | Television Infrared Observation Sattelite |
| TM | Thematic Mapper |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| UHF | Ultra High Frequency |
| UNB | Universidade de Brasília |
| UTM | Universal Transverse Mercator |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| Lista de figuras..... | viii |
| Lista de tabelas..... | x |
| Lista de equações..... | x |
| | |
| 1- INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1- Apresentação..... | 1 |
| 1.2- Justificativa | 2 |
| 1.3- Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1- Objetivo Geral..... | 3 |
| 1.3.2- Objetivos Específicos..... | 4 |
| 1.4- Materiais e Método..... | 5 |
| 1.5- Caracterização do objeto de estudo..... | 6 |
| | |
| 2- O SENSORIAMENTO REMOTO E O LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE A SUPERFÍCIE TERRESTRE..... | 09 |
| 2.1- Sensoriamento Remoto: origem e desenvolvimento..... | 09 |
| 2.2- Sistemas sensores: Radar..... | 13 |
| 2.2.1- Geometria de aquisição dos sensores radar..... | 18 |
| 2.2.2- Radar imageador..... | 21 |
| 2.2.3- Características das imagens de radar..... | 26 |
| 2.3- Aplicações do radar no levantamento de informações sobre a superfície terrestre..... | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 3- O PROJETO RADAM E O LEVANTAMENTO RADARGRAMÉTRICO DO TERRITÓRIO NO BRASIL: GÊNESE, EVOLUÇÃO, PERFIL TÉCNICO E METODOLÓGICO..... | 32 |
| 3.1- A gênese do Projeto RADAM..... | 32 |
| 3.1.1- Contextualização..... | 32 |
| 3.1.2- Origem..... | 34 |
| 3.2- Características técnicas..... | 37 |
| 3.3- Sistemática de operacional e interpretação das imagens de radar..... | 44 |
| 3.3.1- Sistemática operacional..... | 44 |
| 3.3.2- Análise e interpretação das imagens de radar..... | 47 |
| 3.3.2.1- Considerações gerais..... | 47 |
| 3.3.2.2- Metodologia de Interpretação Radartemática..... | 49 |
| 3.3.2.2.1- Áreas homogêneas e microcosmos: definição e delimitação..... | 52 |
| 3.3.2.3- Operações de verdade terrestre..... | 56 |
| 3.3.2.4- Análise temática..... | 58 |
| 3.4- Do RADAM ao RADAMBRASIL..... | 64 |
| 4- O PROJETO RADAM E AS INFORMAÇÕES GERADAS: BREVE ANÁLISE DA FOLHA SA.22 BELEM..... | 66 |
| 4.1- Localização da Folha SA.22 Belém..... | 66 |
| 4.1.1- Geologia..... | 69 |
| 4.1.2- Geomorfologia..... | 72 |
| 4.1.3- Pedologia..... | 74 |
| 4.1.4- Vegetação..... | 78 |
| 4.1.5- Uso Potencial da Terra..... | 81 |

| | |
|---|------------|
| 5- IMPORTÂNCIA DO PROJETO RADAM: CONTRIBUIÇÃO E TENDÊNCIAS NO PROCESSO DE GERAÇÃO DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA AMAZÔNIA | 84 |
| 5.1- Principais contribuições do Projeto RADAM..... | 84 |
| 5.2- A Sistematização das informações sobre recursos naturais..... | 94 |
| 5.3- Tendência atuais no processo de geração de informações na Amazônia: os Projetos SIVAM e SIPAM..... | 101 |
| | |
| 6- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 107 |
| 6.1- O Projeto RADAM e as informações geradas..... | 107 |
| 6.2- Importância metodológica do Projeto..... | 109 |
| 6.3- A sistematização e disponibilização das informações..... | 110 |
| 6.4- SIVAM uma continuidade do Projeto RADAM..... | 111 |
| | |
| 7- CONCLUSÕES..... | 112 |
| | |
| 8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 114 |
| | |
| ANEXO I..... | 122 |
| | |
| ANEXO II..... | 123 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01: Fluxograma de trabalho..... | 06 |
| Figura 02: Localização da Folha SA.22 Belém no âmbito da área de cobertura do Projeto RADAM..... | 08 |
| Figura 03: Classificação dos sistemas sensores..... | 13 |
| Figura 04: Espectro Eletromagnético..... | 14 |
| Figura 05: Onda Eletromagnética..... | 15 |
| Figura 06: Estrutura básica de formação da imagem pelo radar..... | 16 |
| Figura 07: Geometria de aquisição da imagem radar..... | 18 |
| Figura 08: Tipos de resolução espacial..... | 21 |
| Figura 09: Funcionamento do sensor RAR..... | 22 |
| Figura 10: Radar de Abertura Sintética (SAR)..... | 23 |
| Figura 11: Dependência da resolução espacial em azimute da largura do feixe..... | 24 |
| Figura 12: Procedimento operacional da antena SAR..... | 25 |
| Figura 13: Pixel da imagem..... | 26 |
| Figura 14: Imagem radar..... | 27 |
| Figura 15: Encurtamento na geração da imagem de radar..... | 28 |
| Figura 16: Inversão do relevo no processo de geração da imagem..... | 28 |
| Figura 17: O efeito de sombreamento na geração de imagens de radar..... | 29 |
| Figura 18: Localização da área experimental, região do Tapajós Oeste do Estado do Pará..... | 35 |
| Figura 19: Características do Sistema GEMS-1000..... | 39 |
| Figura 20: Câmera ZEISS..... | 40 |
| Figura 21: Câmera Multiespectral..... | 40 |
| Figura 22: Linha de vôo do Projeto RADAM para todo o Brasil..... | 41 |
| Figura 23: Estação TRANSIT..... | 42 |
| Figura 24: Transmissor SHORAN..... | 42 |
| Figura 25: Sistemas de aquisição de dados..... | 45 |
| Figura 26: Correlator óptico..... | 46 |
| Figura 27: Amplificador anamórfico..... | 46 |
| Figura 28: Copiadora Logcolor..... | 47 |

| | |
|---|-----|
| Figura 29: Ampliador..... | 47 |
| Figura 30: Levantamento de campo realizado ao longo da Rodovia Transamazônica..... | 50 |
| Figura 31: Levantamento de campo realizado ao longo da Estrada Cuiabá-Santarém ao Sul da Transamazônica..... | 50 |
| Figura 32: Panorâmica da área coberta por floresta aberta e núcleos de floresta densa..... | 51 |
| Figura 33: Operações de helicóptero com clareira aberta por equipes de selva..... | 51 |
| Figura 34: Representação esquemática de quatro tipos de ambientes..... | 53 |
| Figura 35: Determinação dos microcosmos..... | 53 |
| Figura 36: Numeração dos sistemas..... | 54 |
| Figura 37: Representação da conversão do overlay de sistema em overlay de ambiente..... | 55 |
| Figura 38: Definição de microcosmo- Setor Geologia..... | 56 |
| Figura 39: Definição de microcosmo- Setor Solo..... | 56 |
| Figura 40: Representação da primeira situação de operações de verdade terrestre..... | 57 |
| Figura 41: Interpretação radargeológica..... | 59 |
| Figura 42: Interpretação radargeomorfológica..... | 60 |
| Figura 43: Interpretação radarpedológica..... | 61 |
| Figura 44: Mosaico semi-controlado e sua interpretação na escala 1:1000.000 da área de Aripuanã, com ênfase na vegetação..... | 62 |
| Figura 45: Localização e detalhamento da Folha SA.22 Belém..... | 67 |
| Figura 46: Articulação da Folha SA.22 Belém, na escala 1:250.000..... | 68 |
| Figura 47: Carta Imagem na escala 1:250.000 (Folha SA.22- V-A Monte Dourado)..... | 69 |
| Figura 48: Mapa Geológico..... | 71 |
| Figura 49: Mapa Geomorfológico..... | 73 |
| Figura 50: Mapa Exploratório de Solo..... | 76 |
| Figura 51: Mapa de Aptidão Agrícola..... | 77 |
| Figura 52: Mapa de Vegetação..... | 80 |
| Figura 53: Mapa de Uso Potencial da Terra..... | 83 |
| Figura 54: Divisão da Amazônia Legal em blocos..... | 96 |
| Figura 55: Atualização temática- Vegetação..... | 99 |
| Figura 56: Sistemas sensores a bordo da aeronave..... | 104 |
| Figura 57: Primeiras imagens SAR no Brasil..... | 104 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 01: Bandas de radar e suas aplicações..... | 17 |
| Tabela 02: Ampliações em Km ² da área de atuação do Projeto RADAM..... | 65 |
| Tabela 03: Potencialidade madeireira da Floresta Amazônica..... | 86 |
| Tabela 04: Potencialidade dos solos..... | 87 |
| Tabela 05: Quantificação por temas das informações gráficas e não-gráficas da Folha NA. 19 Pico da Neblina do Projeto Sistematização..... | 101 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 2.1: Resolução azimutal..... | 24 |
| Equação 2.2: Ângulo de abertura da antena..... | 24 |

1- INTRODUÇÃO

1.1- APRESENTAÇÃO

Conhecer o território que habita sempre foi substancial para o homem, tanto que ao longo dos anos este foi aprimorando sua habilidade técnica de representação das terras descobertas, expandindo dessa forma o seu conhecimento sobre a superfície terrestre.

Dentre as técnicas, a representação gráfica através de mapas marcou profundamente essa relação, já que a partir daí foi possível delimitar áreas e conhecer melhor as peculiaridades de cada lugar por meio desses registros.

Informações sobre a superfície terrestre são de grande relevância, já que inúmeras atividades estão diretamente relacionadas a elas, como por exemplo, o uso dos recursos naturais, o controle do território, o mapeamento do uso e cobertura do solo e a análise dos fenômenos naturais. No âmbito dessa discussão, merece destaque o Sensoriamento Remoto (SR) por suas características e funcionalidade e, principalmente por sua contribuição, pois o seu desenvolvimento se deu no sentido de tornar-se uma importante fonte de informações sobre a superfície terrestre (TOUTIN & GRAY, 2000).

De um modo geral, o Sensoriamento Remoto pode ser entendido como a técnica de obtenção de imagens sem contato físico com o objeto através de sensores que podem ser ativos e passivos, envolvendo conhecimento e tecnologia extremamente complexa, derivados de diferentes campos que vão desde a física até a botânica e desde a engenharia eletrônica até a cartografia (INPE, 2001). Sua origem está ligada, segundo alguns autores, ao desenvolvimento dos sensores fotográficos, e para outros às experiências de Newton (1822), quando este constatou que um raio luminoso (luz branca) ao atravessar um prisma, desdobrava-se num feixe colorido - um espectro de cores (ALQUATI, 2007, p.2).

2- O SENSORIAMENTO REMOTO E O LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE A SUPERFÍCIE TERRESTRE

2.1- SENSORIAMENTO REMOTO: ORIGEM E DESENVOLVIMENTO

De acordo com a Resolução da ONU nº 41/65 de 09 de dezembro de 1986, o termo Sensoriamento Remoto (SR) significa o reconhecimento remoto da superfície da Terra a partir do espaço, que utiliza as propriedades das ondas eletromagnéticas emitidas, refletidas ou difracionadas pelos objetos sensoriados, para melhorar a gestão dos recursos naturais, o uso da terra e a proteção do meio ambiente. Porém, a primeira vez que o termo apareceu na literatura científica em 1960, indicava apenas a aquisição de informações sem contato físico com os objetos.

A origem dessa técnica é atribuída a Newton, que em 1822 realizou experiências utilizando luz branca e um prisma. Ele percebeu que o feixe de luz (luz branca) ao atravessar o prisma se desdobrava num feixe colorido, um espectro de cores. A partir daí foi descoberto que a luz branca é a síntese de diferentes tipos de luz e que cada cor correspondia a uma temperatura diferente e que a luz vermelha incidindo sobre um corpo aquecia-o mais que o violeta (vermelho visível). Através dessa experiência foi provado ainda, que a onda de luz era na verdade uma onda eletromagnética e que a luz visível, nada mais é que uma dos diversos tipos de ondas eletromagnéticas (ALQUATI, 2007, p.2).

No entanto, o SR como o campo do saber que conhecemos atualmente, é resultado da convergência de conhecimentos derivados de várias linhas de pesquisa, entre elas a aerofotogrametria, a fotointerpretação e a pesquisa espacial. Seu progresso é visto como

consequência dos avanços tecnológicos nessas áreas. Porém, torna-se importante deixar claro que o desenvolvimento do sensoriamento remoto é um esforço multidisciplinar, que advém da física, da química, da biociência, da computação, da engenharia mecânica, entre outras (ALQUATI, 2007, p.2).

Em termos práticos, o avanço do sensoriamento remoto está relacionado ao surgimento da fotografia que foi obtida pela primeira vez em 1839 por Daguerre e Niepce. Um ano depois em 1840 o seu uso estava sendo recomendado para levantamentos topográficos, sendo que nesta direção o seu aprimoramento foi tão rápido, que em 1858 o Corpo de Engenharia da França já estava utilizando fotografias tiradas a partir de balões para o mapeamento topográfico de extensas áreas do território francês (INPE, 2001, p.4).

O grande impulso às aplicações das fotografias para o levantamento de recursos naturais foi dado somente com o advento do avião, concomitante ao desenvolvimento das câmaras fotográficas, o que permitiu, a obtenção de dados sob condições controladas e com a cobertura de áreas relativamente maiores.

Em 1930 foram disponibilizadas as primeiras fotografias aéreas coloridas. Neste mesmo período já havia iniciado pesquisas, visando à produção de filmes sensíveis a radiação infravermelha. Com o início da Segunda Guerra Mundial, começaram os estudos sobre o processo de interação da radiação nessa faixa do espectro com os objetos, almejando utilizar filmes infravermelhos para a detecção de camuflagem. Já o uso em aplicações sistemáticas ocorreu apenas em 1956 nos Estados Unidos para mapeamento de coberturas vegetais (INPE, 2001, p.4).

Embora a radiação de microondas já fosse conhecida desde o início do século XX e existissem sistemas de radar em operação desde a Segunda Guerra Mundial, foi somente a partir

da década de 60 que o uso de sistemas radares, como sistemas de sensoriamento remoto, se tornaram operacionais ao surgir o radar de visada lateral (*Side Looking Airbone Radar- SLAR*)

É nessa década também que surgiram os primeiros sistemas orbitais de sensoriamento remoto voltados à aplicações meteorológicas com o lançamento da série TIROS (*Television Infrared Observation Sattelite*), marcando, assim o início das observações sistemáticas da Terra. Este satélite usava um sistema de câmara de televisão de resolução relativamente baixa. O último satélite da série, o TIROS-10, foi lançado em 1965 (IBGE, 2001).

Ainda em meados da década de 60, mais precisamente em 1964, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) deu início ao programa de satélites da série Nimbus, precursor do atual satélite NOAA, visando o desenvolvimento de plataformas orbitais e também de sensores mais avançados, que permitissem o monitoramento contínuo e global da atmosfera terrestre para se criar uma base de dados de previsão do tempo de curto e médio prazo (INPE, 2001, p.14).

Na década de 70, é lançado o primeiro satélite experimental de levantamento de recursos terrestres *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), que devido ao imenso sucesso passou a se chamar LANDSAT e se transformou no programa de sensoriamento remoto mais duradouro já existente, com o 7º satélite da série lançado em 1999. Em 1978 é lançado o primeiro sistema orbital de radar de Abertura Sintética (SAR), o SEASAT (INPE, 2001, p.5) . Esse satélite foi concebido para monitorar a superfície oceânica, a uma altitude de 800km, operando na banda L com resolução espacial de 25m em *range* (no sentido perpendicular à linha de vôo) e 100m de azimute (no sentido paralelo à linha de vôo) (SANTOS, 2005).

Em 2000 foi lançado o Projeto SRTM (*Shuttle Imaging Radar*), uma missão comum a vários países, a bordo do Ônibus Espacial *Endeavour*, para o reconhecimento de 10 milhões de Km² da superfície terrestre por meio dos satélites SIR-A e SIR-B, lançados em 1981 e 1984,

respectivamente, e o SIR-C em 1994. Alguns anos depois, em 1995, o Canadá lança seu primeiro satélite de recursos naturais, o Radarsat-1, sensor radar do tipo SAR, operando na banda C (PARADELLA & VALERIANO, 2003).

Um outro exemplo que marca o desenvolvimento do SR no cerne dos sistemas orbitais, foi o lançamento do satélite IKONOS-2 em 24 de setembro de 1999, que obtém imagens com resolução espacial de um metro. *Até então, poucos satélites oficialmente conseguiram imagens com Resolução Espacial próxima a este valor, sendo que até poucos anos atrás o satélite civil de maior resolução era o IRS, com cerca de 6mx6m* (BETTONI *et al.*, 2001, p.1474).

Importa ressaltar que a série LANDSAT desempenhou um importante papel no desenvolvimento do sensoriamento remoto, ao ampliar a área de atuação deste que inicialmente concentrava-se no uso de imagens para o mapeamento de feições ou classes da superfície terrestre. Em meados da década de 80, com o lançamento do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite LANDSAT 4 e posteriormente do LANDSAT 5, com resoluções espaciais mais sensíveis, tornou-se possível quantificar parâmetros biofísicos, como turbidez da água, por exemplo, mediante a utilização de dados radiométricos derivados das imagens geradas (INPE, 2001, p.5).

Contudo, muito mais que uma técnica de geração de imagens o SR pode ser considerado um Sistema de Observação que não se limita, porém, a superfície terrestre, já que as atividades de sensoriamento remoto surgiram de fato a partir da necessidade de se obter informações de alguns planetas, como Mercúrio, Marte, Vênus, Júpiter e Urano, no âmbito da Guerra Fria, período marcado pela corrida espacial, onde os foguetes passaram a ser utilizados como instrumentos científicos (INPE, 2001, p.14; IBGE, 2000).

2.2- SISTEMAS SENSORES: RADAR

A partir do breve relato sobre a origem e evolução do Sensoriamento Remoto (SR) pôde-se perceber que a aquisição dos dados é feita através de instrumentos, denominados sensores que se diferenciam entre si por meio de seu funcionamento e resolução (espacial, espectral e radiométrica). Estes sensores podem ser classificados quanto à fonte de radiação (passivo ou ativo), ao princípio de funcionamento (imageadores e não-imageadores) e ao tipo de produto (fotográfico e não fotográfico) (fig.03) (PERONI, 2004).

| | Tipo de Produto | Princípios de funcionamento | Fonte de Radiação |
|----------|------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Sensores | Fotográficos | Imageadores | Passivos Ativos |
| | Não fotográficos | Imageadores | Passivos Ativos |
| | | Não imageadores | Passivos Ativos |

Figura 03- Classificação dos sistemas

Entre os sistemas que compõem o SR, o de interesse para o presente estudo é o RADAR. Trata-se de um sistema eletrônico voltado à detecção e localização de alvos, cujo princípio central está baseado na comparação entre um sinal conhecido, que é enviado, e o eco produzido

por ele. Tal característica o capacita a detectar um objeto indicando sua distância e posição (TREVETT, 1986).

A palavra RADAR é o diminutivo da expressão inglesa *Radio Detecting and Ranging* e significa, grosso modo, detectar e medir distâncias através de ondas de rádio, as radiações eletromagnéticas de menor frequência no espectro eletromagnético (fig. 04) (LIMA, 1995). Sua origem remonta desde o final do século XIX ao ser realizado o primeiro experimento com frequências de microondas pelo físico alemão Heinrich Hertz, ao demonstrar que objetos metálicos e não metálicos podiam refletir radiação com uma frequência aproximada de 200 MHz

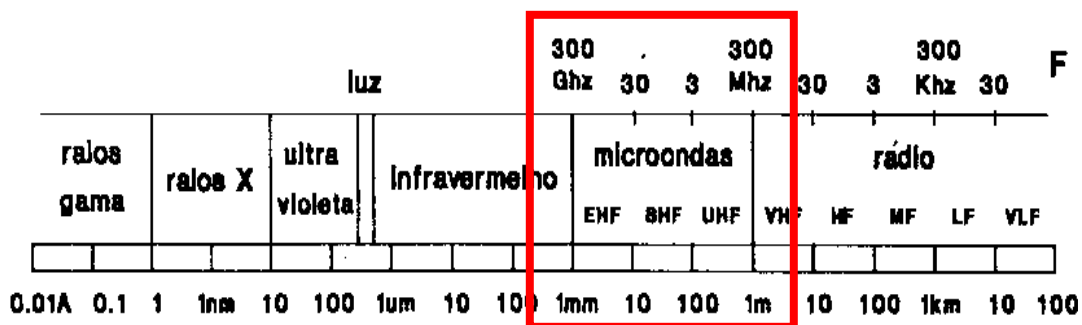


Figura 04- Espectro Eletromagnético

Fonte: INPE, 2001.

Um radar executa pelo menos três funções básicas: a) transmissão de um pulso de microondas em direção a um alvo; a) recepção da porção refletida do pulso transmitido após interação com o alvo (a porção refletida recebe o nome de energia retro-espalhada); c) e registro da potência, da variação temporal e do tempo de retorno do pulso retro-espalhado.

A energia retro-espalhada pelo alvo é influenciada, sobretudo pelas características do pulso incidente (comprimento de onda, amplitude e polarização) e pela geometria do sistema em relação à superfície terrestre (INPE, 2001, p.34). Segundo PARADELLA *et al* (2005, p.57), o

comprimento de onda (λ), corresponde à distância que a onda trafega no tempo requerido para gerar um ciclo; a amplitude refere-se ao máximo desvio em altura da onda e é um indicador da intensidade do sinal, e a fase que descreve a posição de um ponto de vibração no senoide e a direção de movimento, em relação a um *datum* ou posição de referência, variando de 0 a 2 (fig. 05).

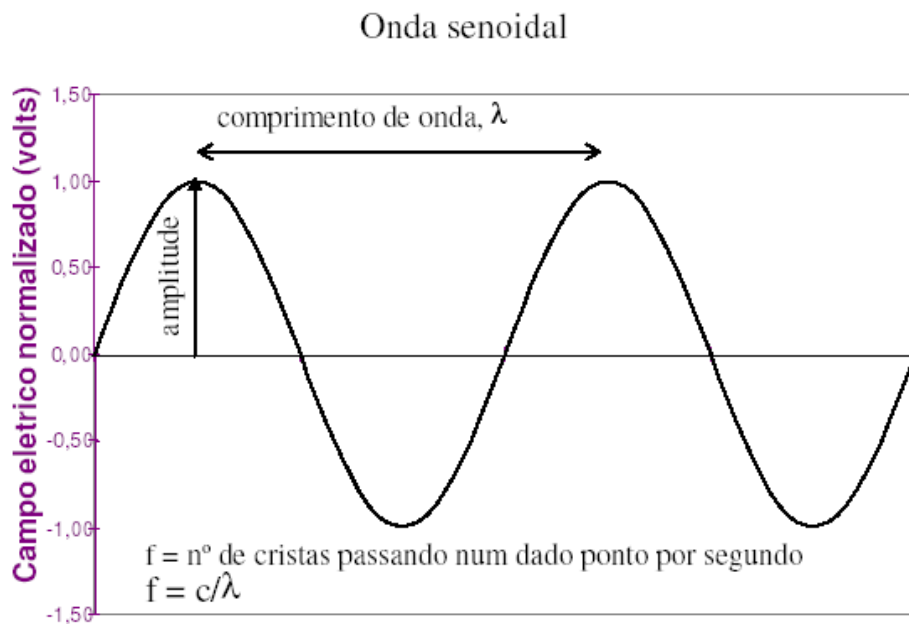


Figura 05- Onda eletromagnética

Fonte: ROCHA, 2007, p.27.

A transmissão do pulso de microondas pelo sistema radar ocorre perpendicular ao deslocamento da plataforma. A direção de transmissão do pulso é denominada *range* ou alcance. O sensor é capaz de determinar as distâncias relativas dos objetos da superfície ao longo dessa direção a partir da análise do tempo que o pulso emitido leva para atingir o objeto e retornar ao sensor. Nesse sentido, o sinal proveniente de um objeto localizado mais próximo ao sensor levará menos tempo para retornar do que um objeto localizado mais distante (fig.05).

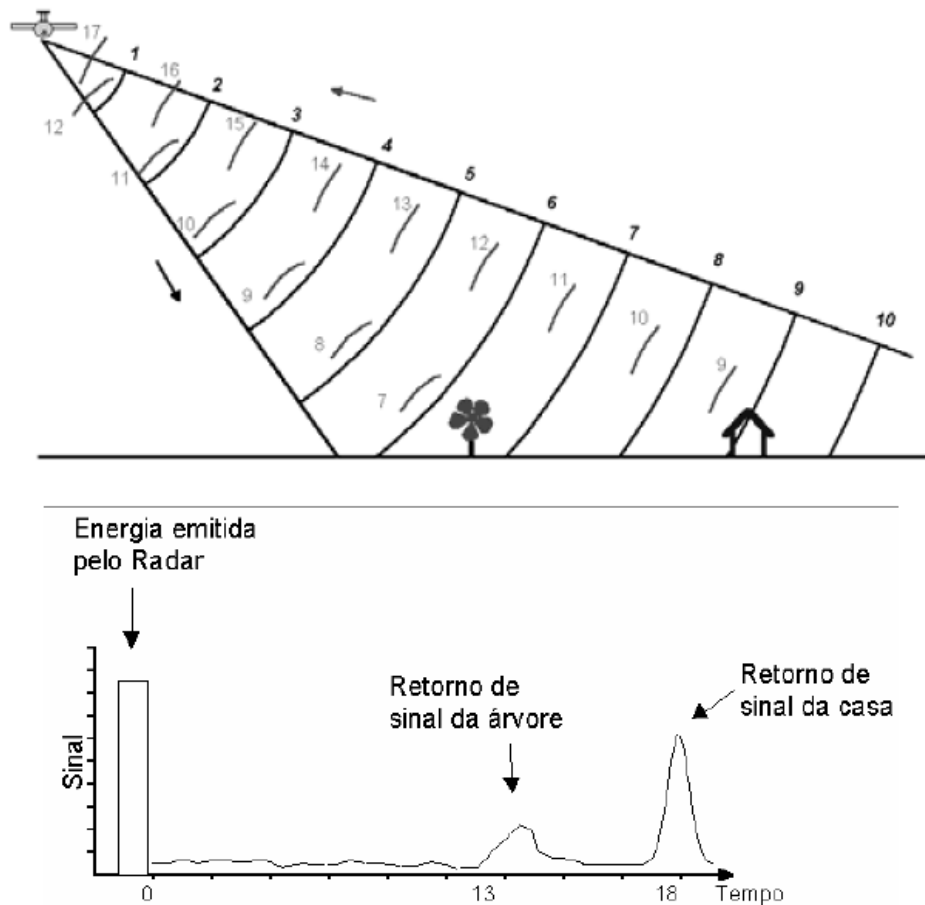


Figura 06- Estrutura básica de formação da imagem pelo radar.
 Fonte: LILLESAND e KIEFER (1994) *apud* SANTOS (2005, p.29).

Dentre as principais vantagens desse sistema está à alta transmissão das ondas eletromagnéticas, independendo, assim, da iluminação solar, mesmo quando a atmosfera se apresenta nublada ou durante eventos de precipitações, possibilitando, a geração de imagens sob as condições atmosféricas mais adversas (INPE, 2001). Além disso, o sensor radar realça a topografia, em virtude de sua maior sensibilidade às variações da morfologia, à rugosidade

superficial do terreno e às propriedades dielétricas dos materiais (ROCHA, 2007). Acrescenta-se ainda, que é o único sensor remoto com penetrabilidade no dossel vegetal, oferecendo a capacidade adicional da polarimetria e interferometria (PARADELLA *et al.*, 2005, p.57).

De acordo com PARADELLA *et al.* (2005, p.57), a capacidade do radar imageador prover imagens de modo independente das condições atmosféricas e fonte solar, o torna uma importante ferramenta para regiões como a Amazônia, onde a presença de chuvas, nuvens, bruma e fumaça, impõem restrições ao uso de outros sensores.

Em relação ao sensor óptico, o sensor radar apresenta diferenças, sobretudo por operar em bandas específicas para as quais foram associadas letras do alfabeto. Na tabela 01 são apresentadas as bandas em uso na atualidade, e suas respectivas aplicações. A banda X foi bastante utilizada no Brasil no cerne dos Projetos RADAM e RADAMBRASIL, tem capacidade para operar em ambientes marcados por precipitações moderadas e com a presença de neves e névoas (AVERY & BERLIN, 1992). As bandas C, L e P operam em todas as condições atmosféricas, sendo que as duas últimas possuem a capacidade de penetrar a cobertura vegetal, sendo bastante utilizadas para a discriminação de tipologias florestais (KUPLICH, 2003).

Tabela 01- Bandas de radar e suas aplicações

| Banda | Comprimento de onda (cm) | Frequência (GHz) | Principal aplicação |
|--------------|---------------------------------|-------------------------|---|
| X | 2,4-3,8 | 8,0-12,5 | Reconhecimento militar e do terreno |
| C | 3,8-7,5 | 4,0-8,0 | Monitoramento de gelo e aplicações oceanográficas |
| S | 7,5-15,0 | 2,0-4,0 | Reconhecimento do terreno |
| L | 15,0-30,0 | 1,0-2,0 | Mapeamento da cobertura vegetal |
| P | 75,0-133,0 | 0,225-0,400 | Mapeamento da cobertura vegetal |

Fonte: Radarsat, 1997 *apud* INPE, 2001, p.35.

Dessa forma, em relação ao sensor óptico há diferença no modo como as imagens são geradas. Tendo em vista, que os sensores de radar utilizam uma frequência imperceptível ao olho humano, diferente dos primeiros, que operam através da energia refletida pela superfície terrestre com comprimento de ondas próximos da visão humana.

2.2.1- GEOMETRIA DE AQUISIÇÃO DOS SENSORES RADAR

Os sensores de radar, de um modo geral, possuem antena posicionada lateralmente na parte inferior da aeronave, emitindo um feixe (ou pulsos) em forma de leque cuja varredura gera a imagem. O processamento dos dados é feito em função do tempo entre o envio do sinal e seu retorno à antena (SANTOS, 2005, p.32). Esses pulsos de energia transmitidos pelas antenas se caracterizam por ondas eletromagnéticas com comprimentos que variam de 1m a 1mm (ou frequências entre 0,3 GHz e 300 GHz).

A geometria de aquisição do sensor radar pode ser observada de forma simplificada na figura 07.

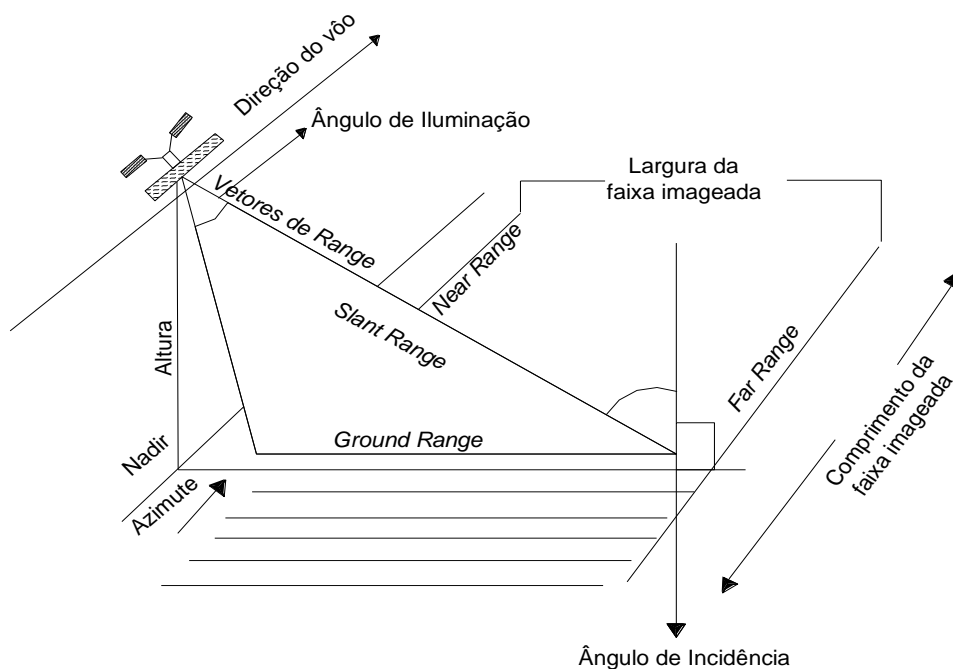


Figura 07- Geometria de aquisição da imagem

O radar possui ainda um dispositivo de orientação, em todos os ângulos, denominado polarização que se apresenta em diferentes configurações, as lineares HH, VV, HV e VH são as mais comuns. Para sua identificação considera-se que a primeira letra indica a polarização do pulso emitido (H – horizontal e V – vertical) e a segunda a polarização do pulso captado pelo sensor (SANTOS, 2005, p.25; ROCHA, 2007, p.23).

O pleno funcionamento do sensor depende de alguns parâmetros, que segundo SILVA (2002 *apud* ROCHA, 2007), podem ser classificados em:

- ❑ Parâmetros do Sistema (comprimento de onda, ângulo da visada, polarização, direção de visada da antena);
- ❑ Parâmetros do Alvo (Rugosidade, declividade e constante dielétrica);

Os parâmetros do sistema permitem definir as características das operações de radar, como a capacidade de penetração nas nuvens, o que é definida pelo comprimento de onda, além do imageamento propriamente dito como o ângulo de visada, ângulo formado pela linha vertical da plataforma e o objeto imageado, e a direção de visada que é o sentido em que a plataforma imageia a superfície. A polarização também é de grande importância e se refere à orientação do campo elétrico em relação a um certo plano de referência. A grande maioria das antenas de radar são construídas para transmitir e receber ondas polarizadas linearmente, tanto na horizontal quanto na vertical (INPE, 2001 p.39).

Com relação as variáveis ligadas aos objetos destacam-se a rugosidade da superfície, a declividade do terreno e a constante dielétrica. A rugosidade é sempre definida em relação a variação estatística da altura e largura das irregularidades presentes na superfície terrestre. A declividade, por sua vez, influencia diretamente o ângulo de depressão. Já a constante dielétrica é uma medida das propriedades dielétricas dos materiais, incluindo sua capacidade de conduzir ou refletir microondas em resposta à radiação incidente. O índice de refração dos materiais varia com a raiz quadrada da magnitude dessa constante. Desta forma, materiais com elevada constante dielétrica interagem ativamente com as microondas, aumentando o coeficiente de retroespalhamento. A intensidade do sinal depende, portanto, da propriedade dielétrica dos materiais, da distribuição de elementos dispersores e do número de partículas espalhadoras. A água apresenta elevada constante dielétrica (valor igual a 80), enquanto a areia e solos secos possuem baixa constante dielétrica em torno de 3 e 8 (INPE, 2001, p.41; ROCHA, 2007), desse modo a água influencia fortemente o sinal de retorno do radar.

Esses elementos são primordiais no processo de aquisição de dados por meio de um sistema de radar, sobretudo no cálculo da resolução espacial, que pode ser definida como a capacidade do sensor identificar dois alvos próximos como pontos distintos.

No caso dos sistemas de radar existem três tipos de resolução espacial: a resolução na direção azimutal (*azimuth resolutions*), a resolução na direção em range (*ground range resolutions*) e a resolução na linha de visada (*slant range resolutions*) (fig.08). A primeira é determinada pelo tamanho da antena; a segunda pela relação entre largura do pulso transmitido e sua duração; e a última, pela distância entre o sensor e o alvo ao longo da direção perpendicular ao deslocamento da plataforma (INPE, 2001, p.36). Nesses sistemas, a resolução espacial é fundamental e varia segundo dois aspectos: duração do pulso e ângulo de incidência, que representa o ângulo entre os vetores de *range* e vertical.

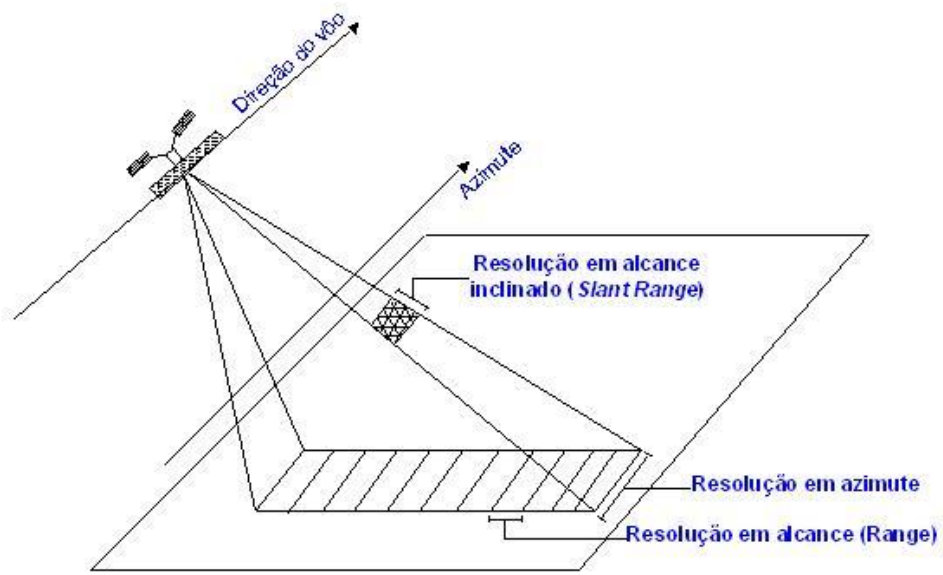


Figura 08- Tipos de Resolução Espacial
Fonte: Adaptado de INPE, 2001, p.35.

2.2.2- RADAR IMAGEADOR

Os sensores de microondas são classificados em dois tipos: de um lado sensores ativos (radares), que subdividem-se em imageadores e não-imageadores; e de outro, os sensores passivos (radiômetros), que podem ser escaterômetros, espectrômetros ou altímetros (SANTOS, 2005).

Os radares imageadores são providos de um sensor que emite sua própria energia em forma de pulsos, “iluminando” a área que está sendo imageada (SANTOS, 2005, p.28). Compreende dois sistemas um de antena rotatória e os de visada lateral (SLAR- *Side Looking Airborne Radar*). Este último subdivide-se em dois tipos de radar: o de abertura real (RAR- *Real Aperture Radar*) e o de abertura sintética (SAR- *Synthetic Aperture Radar*). O SLAR foi amplamente utilizado no Brasil a partir da década de 70, para o recobrimento de toda extensão da Amazônia Legal, no âmbito do Projeto RADAM (Radar da Amazônia) e depois em todo território nacional, quando passou a se chamar RADAMBRASIL.

O sensor RAR possui uma antena que ilumina lateralmente os alvos com um feixe que é amplo verticalmente e estreito horizontalmente. A varredura de geração da imagem é produzida pelo próprio movimento da aeronave durante a passagem sobre a área a ser recoberta. Um pulso é transmitido pela antena e a intensidade relativa do retorno é usada para gerar uma imagem de uma faixa estreita do terreno (SANTOS, 2005).

Esse sistema consistia em um transmissor, um receptor, um aparelho Transmissor-Receptor (TR), uma antena que servia tanto para transmitir quanto para receber, um visualizador CRT (*cathode-ray tube*) e um dispositivo de gravação fotográfica (fig. 09).

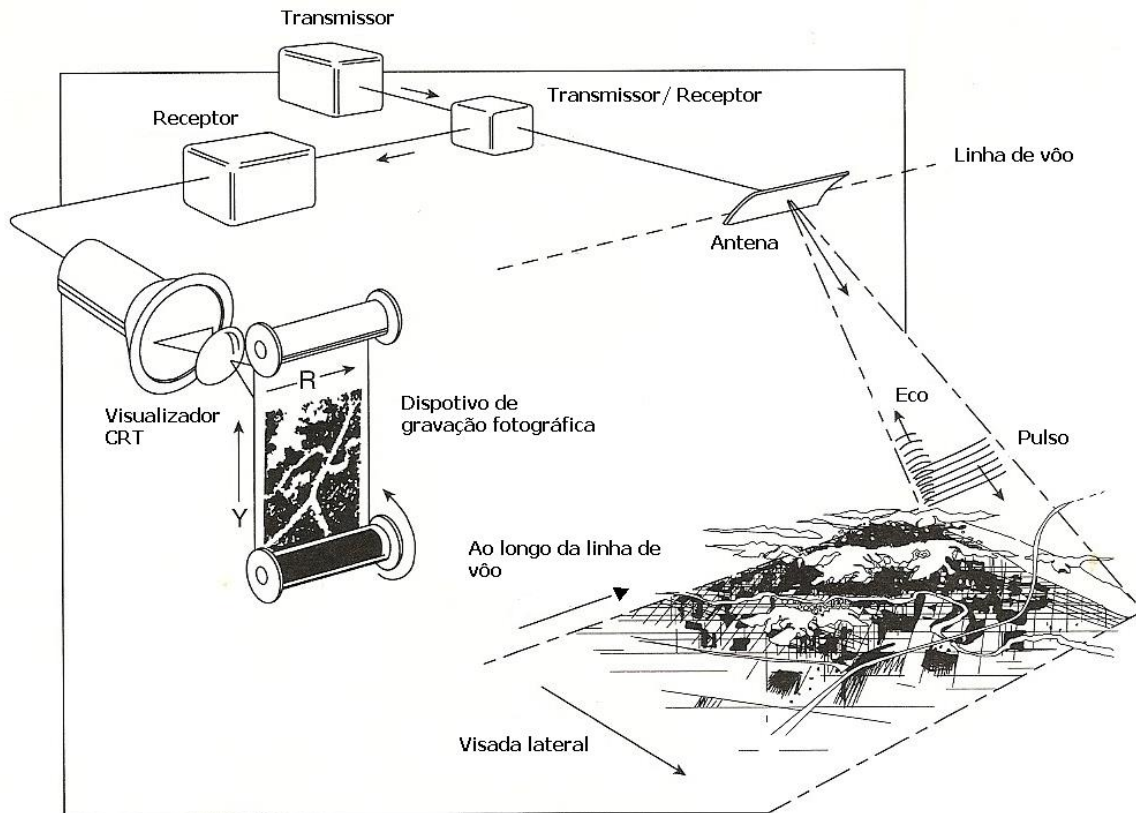


Figura 09- Funcionamento do sensor RAR.
 Fonte: Adaptado de AVERY & BERLIN, 1992.

O Radar de Abertura Sintética (SAR) (fig.10), é um sistema imageador que através de gravações e processamento dos sinais de retorno, produz uma antena virtual 100 (cem) vezes maior que o seu tamanho físico (SILVA JUNIOR, 2001 *apud* SANTOS, 2005, p.31). Apresenta boa resolução em azimute, independente da distância entre o radar e o objeto a ser imageado, o que permite seu uso em plataformas orbitais sem comprometer a resolução azimutal (SANTOS,

2005 p.31). Este sistema foi desenvolvido por Carl Wiley em 1950, durante estudos visando aperfeiçoar a resolução espacial de radares aerotransportados.

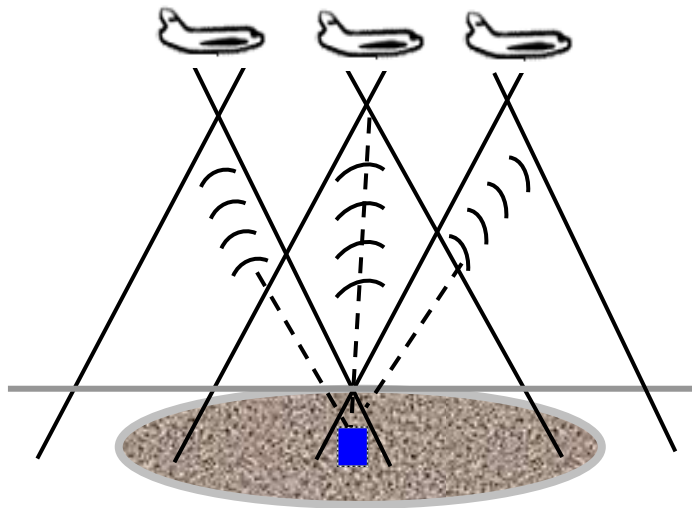
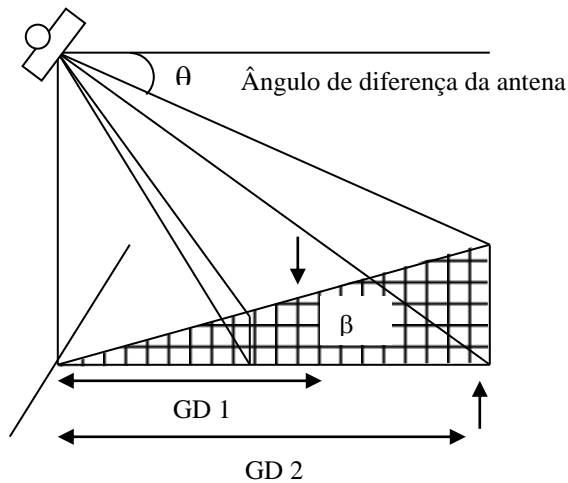


Figura 10- Radar de Abertura Sintética (SAR)

Fonte: Modificado de TOUTIN & VESTER, 2000 *apud* SANTOS, 2005, p.31.

O princípio de funcionamento nos dois sistemas é similar, já que ao atingir o alvo, o pulso de energia emitido interage com o mesmo e depois de retro-espalhado retorna ao sensor. Diferenciam-se, entretanto, no processamento do sinal de retorno e na resolução azimutal, pois no RAR a resolução azimutal depende da abertura real da antena e do seu comprimento, já que este é configurado de tal forma que a resolução espacial em azimute seja proporcional à distância entre o sensor e a superfície (INPE, 2001, p.36), isso quer dizer que, quanto mais distante da antena menor a resolução espacial (fig.10). Deste modo, a largura do feixe produzido pela antena (β) determina a resolução espacial em direção azimutal (S_{ra}), e seu cálculo é feito a partir da seguinte equação:



Eq. 2.1

$$S_{ra} = GD \cdot \beta$$

Onde,
 GD= distância em *range*
 β = ângulo da antenna

Figura 11- Dependência da resolução espacial em azimute da largura do feixe

Fonte: Adaptado de INPE, 2001, p.37.

Percebe-se, desta forma que o ângulo é dependente do tamanho físico da antenna, conforme deduzido pela equação 2.2.

Eq. 2.2 $\beta = \frac{\lambda}{AL}$

Onde,
 β = ângulo de abertura da antenna
 λ = comprimento de onda da radiação transmitida pela antenna
 AL = comprimento da antenna

Assim, a redução do ângulo de abertura da antenna, ocorrerá somente se for ampliado o comprimento da própria antenna. Segundo DUTRA *et al* (2003), isso constitui uma impossibilidade física do RAR, já que a obtenção de uma boa resolução azimutal depende de uma antenna mais longa (COIMBRA, 2008) e em determinadas dimensões isso é inviável.

No radar de Abertura Sintética, esse problema foi solucionado através da simulação eletrônica da antena, que se desloca no intervalo de tempo entre t_1 e t_2 , conforme pode ser observado na figura 12.

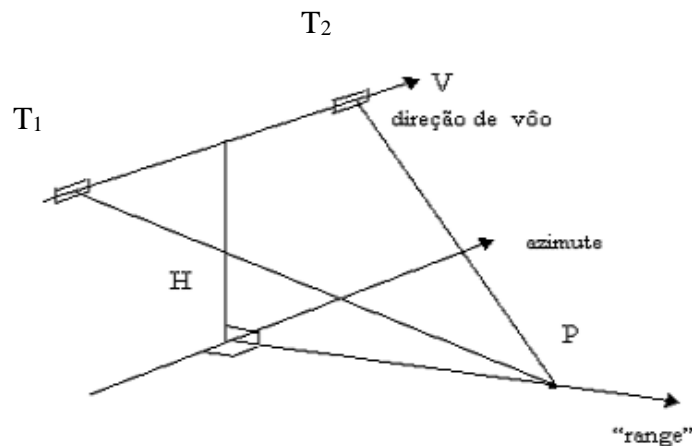


Figura 12- Procedimento operacional da antena SAR

Fonte: INPE, 2001.

No intervalo de tempo (t_1 . t_2) o radar envia um número n de pulsos, dessa maneira coleta-se n amostras do eco do ponto P nesse intervalo. As amostras são armazenadas em um dispositivo de memória. Durante esse intervalo a plataforma SAR se desloca a $V(t_1$. $t_2)$ metros, que é conhecido como o comprimento da "Abertura Sintética" (INPE, 2001).

O eco recebido do pulso enviado sofre uma variação de frequência devido a velocidade V da plataforma. Essa variação é conhecida como efeito *Doppler*. A variação de frequência no intervalo t_1 até t_2 é conhecida como largura de banda Doppler (B_d).

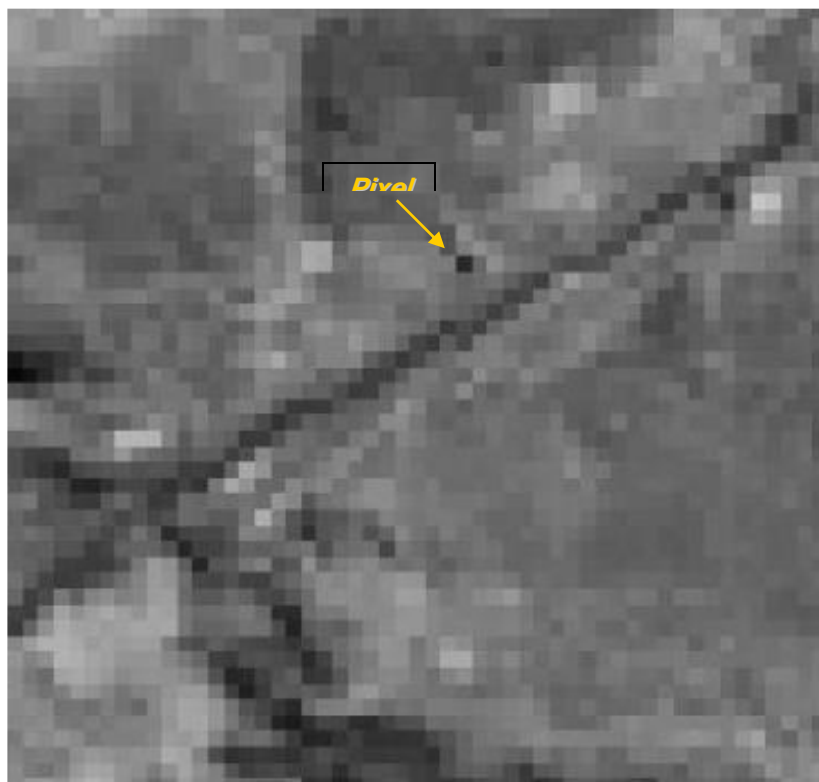
Através desse sistema, o sinal ao passar pela primeira vez sobre um determinado ponto armazena toda informação em uma matriz bidimensional (*range* e *azimute*). Todos os pontos

coletados são combinados numa série temporal, compondo, assim, o dado sintético (INPE, 2001, p.38).

2.2.3- CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DE RADAR

De uma forma geral, uma imagem de radar representa a interação entre a energia do sinal do instrumento radar e o objeto (alvo) imageado na superfície terrestre, sendo que sua aparência depende da forma e da textura do alvo. Para VANNUCCI (1999, p.01), elas *expressam as propriedades geométricas e dielétricas das superfícies observadas. Estas características permitem que o Radar encontre uma vasta gama de aplicações em diferentes campos do monitoramento e estudo da superfície da Terra.*

Uma imagem de radar é composta por vários pontos denominados pixel (*picture element*) como todos os outros tipos de imagem (fig.13). Cada pixel representa a intensidade da reflexão: áreas mais escuras são superfícies de retorno ou reflexão de fraca intensidade do sinal do radar; áreas mais brilhantes correspondem a alvos em que a reflexão de energia para a antena do sistema radar foi maior e mais intensa (FREEMAN, 1996).



A apre:

Figura 13- Pixel da imagem

Fonte: Adaptado de FIGUEIREDO, 2005

osaicos e em tons

de cinza, do branco ao preto (fig.14).

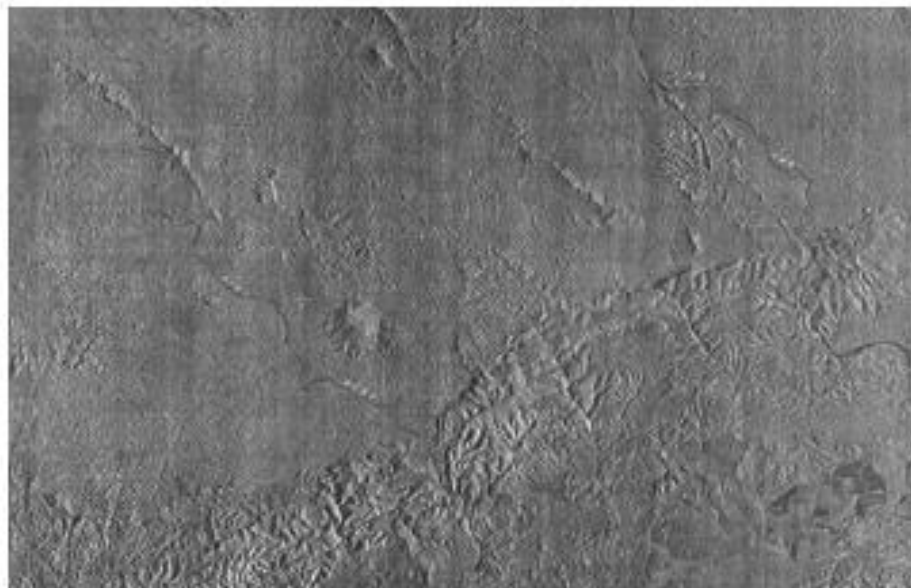


Figura 14- Imagem Radar

Fonte: Projeto RADAM (Ecolha SA, 22 V. A)

O sucesso na interpretação das imagens de radar exige atenção especial para as seguintes feições: relevo, drenagem, vegetação e cultivo, principalmente. Assim como nas fotografias aéreas, esses elementos são expressos através da tonalidade, textura, padrão e forma. Porém, é necessário considerar também a configuração do radar, a energia associada a ele, a forma como esta energia interage com a superfície e como essa interação é representada como imagem. Além disso, as imagens apresentam diferenças quanto a sua geometria, devendo ser observado os seguintes aspectos: encurtamento (*foreshortening*), inversão de relevo (*layover*) e sombreamento.

O encurtamento ocorre devido ao deslocamento horizontal resultante do uso de ângulos de incidência pequenos (fig.15), que de acordo com FERREIRA *et al* (2003), ocorre em função do radar ser do tipo visada lateral, o que faz com que as ondas cheguem antes do que deveria no ponto de transmissão, acarretando o deslocamento do topo das feições mais altas em direção à antena (SANTOS, 2005; ROCHA, 2007).

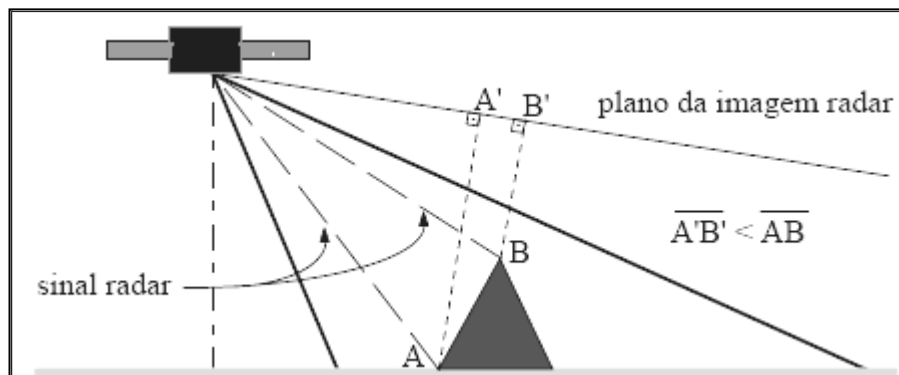


Figura 15- Encurtamento na geração de imagens de radar.

Fonte: Adaptado de VEIGA e ANDRADE (2005) *apud* ROCHA, 2007, p.26).

A inversão do relevo (*layover*) é um fenômeno que ocorre quando a inclinação do alvo recoberto é maior que o ângulo de incidência (fig. 16). As frentes de onda chegam aos topos antes de suas bases gerando um efeito de achatamento das elevações nas imagens (ROCHA, 2007, p.26).

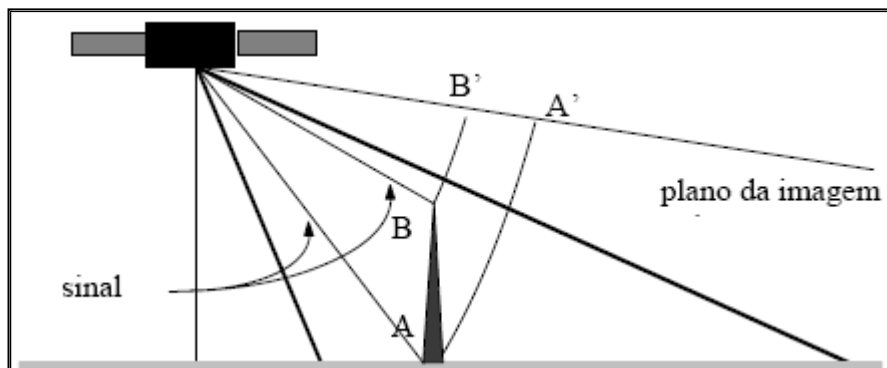


Figura 16- Inversão de relevo no processo de geração da imagens.

Fonte: Adaptado de VEIGA e ANDRADE, 2005 *apud* ROCHA, 2007, p. 26.

O efeito de sombreamento indica a presença de áreas na superfície que não foram imageadas pelo radar, isto é, não foram “iluminadas”, em decorrência da geometria de visada e das características do relevo, sendo mais comum em terrenos íngremes (fig.17). Deste modo, as áreas com sombreamento aparecem na imagem com uma tonalidade muito escura, o que leva a perda de informações radiométricas sobre a cena imageada (SANTOS, 2005, p.36).

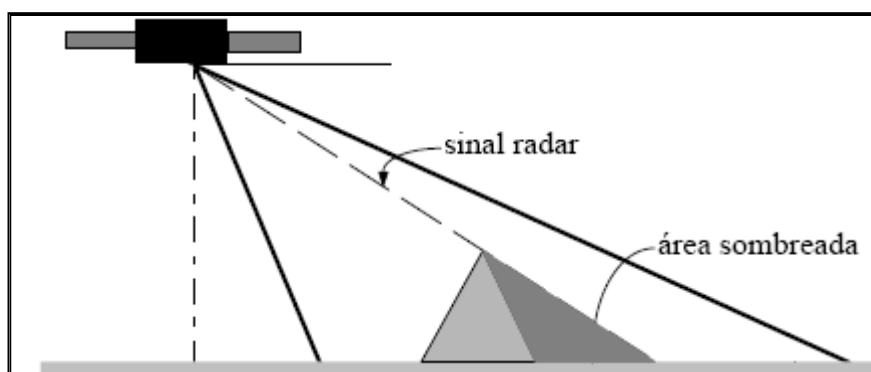


Figura 17- O efeito de sombreamento na geração de imagens de radar.

Fonte: Adaptado de VEIGA e ANDRADE (2005) *apud* ROCHA (2007, p.27).

2.3- APLICAÇÕES DO RADAR NO LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE A SUPERFÍCIE TERRESTRE

No âmbito das tecnologias de geração da informação geográfica, o radar imageador como um instrumento de coleta, vem desempenhando um importante e prático papel, sobretudo por suas características.

No mapeamento de recursos naturais em áreas constantemente cobertas por nuvens o RADAR mostra-se como o instrumento mais adequado para o reconhecimento territorial. A partir da década de 60, vários recobrimentos de extensão regional foram realizados em muitos países utilizando este sistema, como no Panamá, Venezuela, Colômbia, Equador, Guatemala e Brasil (LIMA, 1995).

Dentre as principais aplicações, merece destaque o uso do radar para estudos florestais, já que dados de radar contêm informações relacionadas às propriedades biofísicas da vegetação, sobretudo sobre a estrutura da mesma e o conteúdo líquido (KUPLICH, 2003; ARAÚJO *et al*, 2001; ATTEMA, 1978); para o mapeamento sedimentar, na determinação precisa da linha de costa e localização de áreas sujeitas a desflorestamento, em ambientes costeiros tropicais úmidos, principalmente em costas dominadas por manguezais em condições de macromarés semidiúrnas, juntamente com dados de sensores ópticos, conforme apontado por SOUZA FILHO *et al* (2005); e, a utilização de imagens de radar para o monitoramento de infestações de plantas aquáticas em reservatórios, através da seleção de alguns parâmetros como biomassa, altura das plantas, potencial hídrico das plantas, orientação das hastes e folhas, essenciais para a caracterização dos diferentes gêneros de plantas aquáticas presentes em um reservatório (NOERNBERG *et al.*, 1999). Diversos trabalhos vêm explorando o potencial do radar para mapeamento de plantas

aquáticas como os desenvolvidos por NOVO *et al.* (1994), no reservatório de Tucuruí (PA) com dados SAR multipolarimétrico aerotransportado na banda C; COSTA *et al.* (1996) para testar o grau de separabilidade entre diferentes classes de plantas aquáticas, dentre outros.

De acordo com SANTOS (2006, p.162), o aprimoramento técnico nessa direção vem permitindo um maior conhecimento dos processos naturais e com isso antever os seus respectivos comportamentos, permitindo deste modo um maior grau de certeza e sucesso na realização de determinadas atividades, como a agricultura, por exemplo, pois as porções do território assim instrumentalizadas oferecem possibilidades mais amplas de êxito que outras zonas igualmente dotadas de um ponto de vista natural, mas que não dispõem desses recursos de conhecimento.

Nesse contexto, a variedade de aplicações dos sensores de radar nas mais diversas áreas indica a importância constante da geração de informações e conhecimento para o correto gerenciamento dos recursos naturais, seja para fins econômicos, científicos ou sociais. No caso da tecnologia de sensoriamento remoto com o uso de imagens, sejam elas orbitais ou sub-orbitais, é possível realizar ainda o monitoramento da dinâmica sócio-territorial em intervalos de tempo cada vez menores e com isso a obtenção de modelos que permitam a melhor compreensão dessas dinâmicas, bem como a simulação de problemas que possam vir a existir futuramente. Tal potencialidade caracteriza, portanto, a informação, e nesse caso a informação geográfica, como um recurso de grande importância nos dias atuais.

3- O PROJETO RADAM E O LEVANTAMENTO RADARGRAMÉTRICO DO TERRITÓRIO NO BRASIL: GÊNESE, EVOLUÇÃO, PERFIL TÉCNICO E METODOLÓGICO.

Até a década de 70, a obtenção de conhecimento em termos cartográficos e sócio-ambientais sobre a Amazônia era uma atividade que encontrava grandes obstáculos, devido às

características físicas da região. Tal dificuldade somente foi superada com o uso de sensores de radar aerotransportados, que possibilitou efetuar o imageamento homogêneo da região, onde as condições climáticas com a presença de nebulosidade e a intensidade das chuvas eram (e ainda hoje são) o principal empecilho ao reconhecimento do potencial existente por meio de outros instrumentos, como as fotografias aéreas.

Diante desse quadro a partir da década de 70 com a implantação do Projeto RADAM (Radar da Amazônia), teve início o maior projeto mundial de cobertura radargramétrica do período, através do imageamento por radar de visada lateral (*Side Looking Airbone Radar-SLAR*), para fins de mapeamento dos recursos naturais em nível de reconhecimento. Assim foi mapeado todo território amazônico num curto período de tempo, preenchendo a lacuna cartográfica que até então existia sobre região, no que tange aos aspectos, geológico, geomorfológico, pedológico e fitoecológico, principalmente.

Em virtude do sucesso alcançado, o Projeto foi implantado em todo Brasil, constituindo o maior acervo de informações geoambientais do território nacional executado na escala 1:250.000 (Cartas de Serviço) e disponível na escala 1:1.000.000.

3.1- A GÊNESE DO PROJETO RADAM

3.1.1- CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao final dos anos setenta, os efeitos da nova ordem econômica planetária associada à alta tecnologia, se fizeram sentir na transformação do estado e do espaço com o crescimento do poder das grandes empresas, inclusive das estatais que resguardaram para si setores e espaços nacionais, fazendo com que o estado atravessa forte crise econômica e institucional obrigando-o a redefinir suas bases políticas (BECKER, 1990, p.184).

Nesse processo ao contrário dos demais estados que mantiveram suas funções de hierarquização e controle, o estado brasileiro atuou ainda como mediador entre os interesses do grande capital e a sua concepção de nacionalismo, provocando uma radical reestruturação em todo o território nacional, influenciado pelo novo vetor científico tecnológico moderno (*idem*).

Na Amazônia as implicações desse movimento ganharam forma em um novo processo de ocupação do território regional, que se fez baseado num projeto de modernização dirigido pelo governo federal, que nesse período assume a responsabilidade de gerir um novo e ordenado devassamento amazônico (BECKER, 1998).

Desse modo, a região torna-se palco de um novo planejamento que se fez a partir da Malha Programada imposta pelo estado que correspondeu a programas e projetos governamentais de empresas públicas e privadas, onde a implantação de redes de integração (de todos os tipos), formaram o substrato material de uma nova intervenção cuja meta central foi a completa apropriação física e o controle do território em questão, inaugurando um novo momento no processo de gestão da região.

Assim, o novo vetor-tecnológico agiu como um elemento de estruturação regional, criando no território núcleos de modernização, voltados a grandes grupos econômicos, resultando em conflitos sociais e ambientais generalizados (BECKER, 1998, p.225).

No bojo dessa discussão, foi instalado o Projeto RADAM (Radar da Amazônia), com a missão de produzir de modo científico, conhecimento sobre as características do meio físico e das reais potencialidades que a região poderia oferecer. No contexto apresentado, a instalação desse projeto pode ser entendido como o resultado da reformulação das bases do controle e domínio político sobre o território nacional, que a partir da década de 70 passa a ser realizado por meio do novo vetor científico-tecnológico moderno, uma vez que para o Estado, somente através de

pesquisas coordenadas é que seria possível realizar o levantamento e a qualificação dos recursos naturais da Amazônia (SUDAM, 1971, p.53).

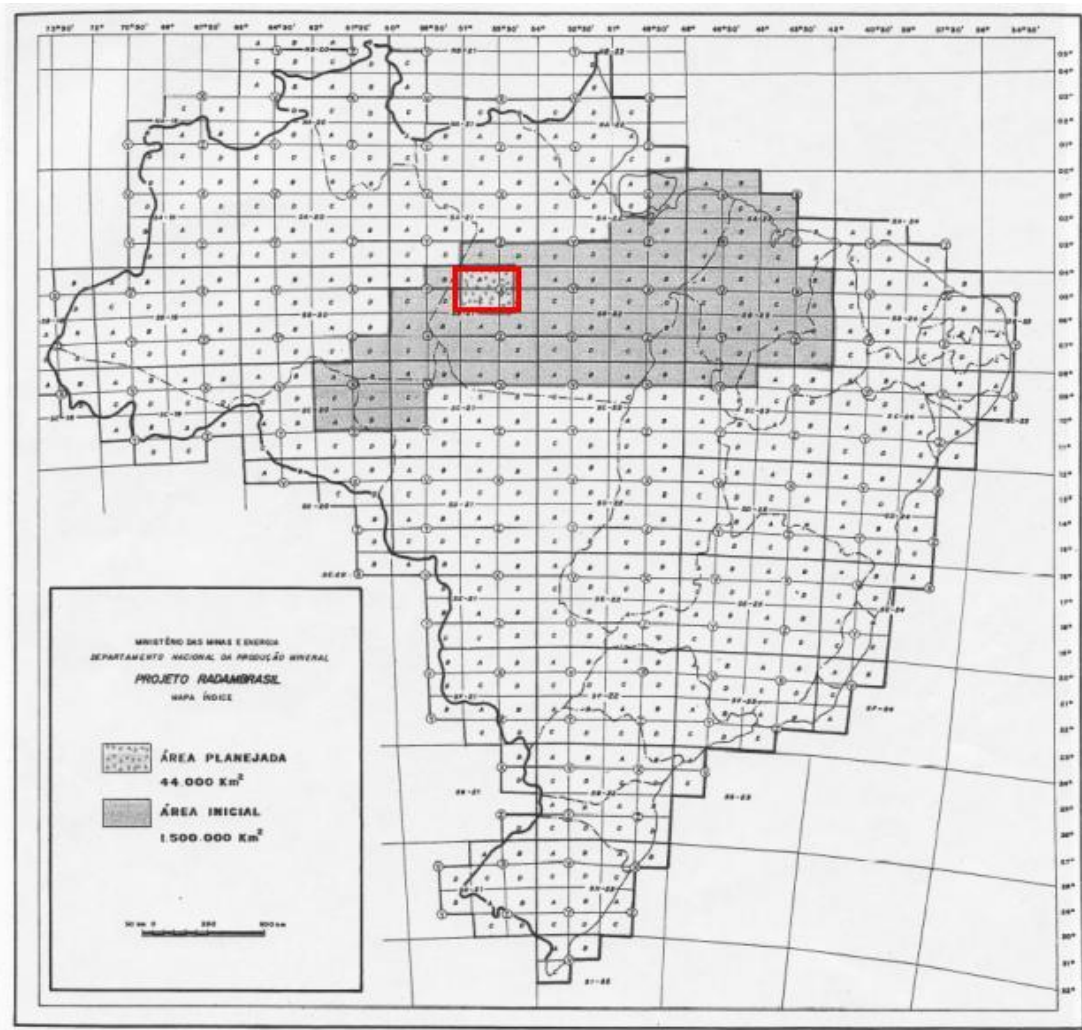
3.1.2- ORIGEM

O Projeto RADAM foi posto em prática sob a coordenação do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), fruto dos bons resultados obtidos em testes de aerolevanteamento com emprego de radar de visada lateral, realizado em 1969 através do convênio firmado entre a *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* e a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE), extinta em 1971 passando a se chamar Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que juntos realizaram o aerolevanteamento numa área de 5.000 Km², no quadrilátero ferrífero, do Estado de Minas Gerais (OLIVEIRA, 1999).

A partir dos resultados, o DNPM propôs que se fizesse o reconhecimento aéreo de uma área de aproximadamente 44.000 km² (fig. 18), em caráter experimental na região do Tapajós, localizada no setor oeste do Estado do Pará. Ficando, estabelecido, assim, que somente através do avançado método seria possível obter a baixo custo e num curto período de tempo, as informações necessárias para o conhecimento dos recursos naturais da Amazônia, em virtude das características atmosféricas da região.

Enquanto se aguardava a aprovação do projeto, surgia o Programa de Integração Nacional (PIN) instituído com fins precípuos de promover a rápida integração à economia nacional, as regiões Norte e Nordeste. Nesse contexto, o então Projeto RADAM passou a integrar este programa, sendo criado em 29 de Outubro de 1970 a Comissão de Levantamento Radargramétrico da Amazônia (CRADAM), cuja função era administrar, controlar e acompanhar a execução do projeto, que teve sua área de atuação ampliada para 1.500.000 km².

Com um custo inicial orçado em 35 milhões de cruzeiros (moeda corrente do período)¹, o RADAM foi implementado com o objetivo principal de realizar o levantamento aeroradargramétrico dos recursos naturais do território brasileiro, com base nas imagens de radar e de outros equipamentos. Sua atuação na região amazônica foi curta, de apenas dois anos, porém eficiente. Para tanto, contou com modernos equipamentos adquiridos através de contrato estipulado com a empresa norte-americana *Litton Aeroservice* associada a *Good Year Aerospace Corporation*.



composto por me

Figura 18- Localização da área experimental, região do Tapajós (PA).

Fonte: Adaptado de MME, 1979, p.7.

serem

¹ Atualmente este valor equivale em reais aproximadamente R\$1.272.000,00.

adotadas no programa. Em meados de 1967, um pequeno grupo de 12 pesquisadores brasileiros foram treinados pela NASA nos Estados Unidos², ficando os mesmos incumbidos de retornarem ao país e assim, repassarem os conhecimentos adquiridos para a qualificação de mais 40 pessoas.

Superada a fase de qualificação dos recursos humanos, foram implementadas duas atividades diferentes, mas complementares entre si: o Projeto RADAM (Radar da Amazônia) e o Programa de Sensoriamento Remoto por Satélite (SERE).

Aprovada a escolha do sistema a ser adotado no projeto, teve início os vôos de recobrimento no território amazônico em 17 de julho de 1971, terminando no dia 27 de agosto do mesmo ano, seguido pelos trabalhos de interpretação e de campo, que se estenderam até dezembro de 1972 (LEÃO, 1999).

Dentre as principais atribuições do RADAM, destacaram-se as seguintes:

- a) Administração do levantamento por imagens de radar (SLAR) e outros sensores remotos;
- b) Controle, acompanhamento e fiscalização da elaboração dos mosaicos de radar e dos outros dados obtidos do aerolevanteamento;
- c) Realização do mapeamento cartográfico, geológico, geomorfológico, de solo, da vegetação e do uso potencial da terra;
- d) Elaboração e publicação de relatórios sobre o levantamento realizado, com mapas geológico, geomorfológico, fitoecológico, exploratório de solos, de aptidão agrícola e do uso potencial da terra, na escala 1: 1.000.000, em folhas de 4°00' por 6°00';

² No dia 25 de Janeiro, teve início nas instalações da EARTHSAT SATELIT CO., em Berkeley, Califórnia, um curso de Sensores Remotos, lecionado com ênfase na interpretação das imagens de radar e infra-vermelho. Entre os especialistas que ministraram as aulas, mereceram destaque os professores das Universidades da Califórnia, de Stanford e de Kansas, nos Estados Unidos e de Sydney, na Austrália. O curso foi encerrado em 19 de Fevereiro, com uma média de aproveitamento excelente, além do alto índice de assiduidade (MME-DPNM, 1971).

- e) Elaboração das cartas planimétricas, na escala 1: 250.00, em folhas de 1°00 por 1°30’;
- f) Elaboração dos mapas de geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra, na escala 1: 250.000.

Devido a qualidade das respostas obtidas, a área original do projeto foi sendo paulatinamente ampliada, atingindo em 1975 a totalidade do território brasileiro, passando a se chamar RADAMBRASIL, tornando-se, assim, o maior projeto mundial de cobertura radargramétrica efetuada com radar aerotransportado (OLIVEIRA, 2007).

Dessa forma, com base na interpretação de 551 mosaicos semi-controlados de radar na escala 1:250.000, um intenso trabalho de mapeamento foi desenvolvido por uma equipe composta por cerca de 702 profissionais, sendo 306 técnicos de mapeamento de nível superior e aproximadamente 396 técnicos de nível médio nas áreas de apoio técnico, administrativo e logística (OLIVEIRA, 2007). Os resultados desse trabalho foram registrados em 38 volumes denominados, Relatório de Levantamento de Recursos Naturais (LRN), dos quais foram publicados até hoje 34 (LIMA, 1995, p.34).

O RADAM foi extinto em 4 de março de 1986, através do Decreto nº 91.295, de 31/05/1985, todo o acervo gerado pelo projeto, bem como a maior parte de seus profissionais foram transferidos e incorporados ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

3.2- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para o início das atividades do Projeto RADAM, o instrumento selecionado entre os diversos sensores remotos existentes foi o Radar de Visada Lateral (SLAR- *Side Looking Airbone Radar*), por superar a dificuldade de se conseguir um imageamento homogêneo e cenas de boa

qualidade, uma vez que a incidência de nuvens e a precipitação pluviométrica intermitente na região, apresentava-se como fatores restritivos à obtenção de fotografias convencionais (MME, 1984).

O SLAR foi acoplado a um avião de origem francesa de jato duplo denominado *Sud Aviation Caravelle*, voando a uma velocidade em torno de 700 a 800 Km/h e altitude média de levantamento de 11.000 a 12.000m acima do terreno, ou seja, efetivamente acima da maioria das coberturas de nuvens (MOURA, 1972; 1992, p.2). Esta aeronave vôo um total de 350 horas que corresponderam a 240.000 quilômetros lineares, o equivalente a 6 voltas em torno da Terra (MME, 1971).

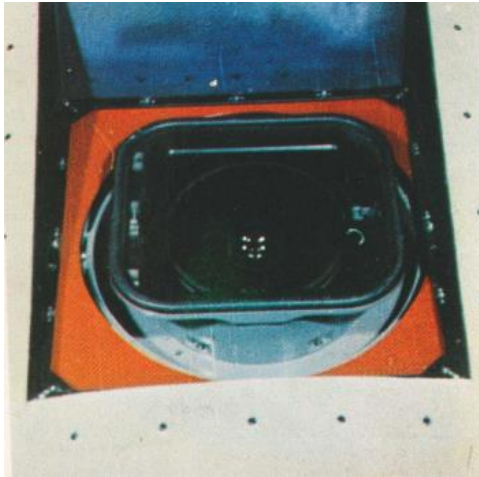
O sistema imageador empregado inicialmente foi o modelo APQ-102 da Goodyear, substituído posteriormente pelo modelo GEMS (*Goodyear Mapping System 1000*) (fig.19) de abertura sintética, operando na banda X, por assegurar uma penetração máxima das camadas densas de nuvens e de chuva, com resolução superior a 20 metros em todos os pontos da imagem e faixa de recobrimento contínua ao longo do vôo (MOURA, 1972). Segundo ABREU (1974, p.31), teoricamente era prevista a resolução de 16m, mas uma pesquisa realizada por técnicos do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), identificou para a região condições satisfatórias de contraste à resolução máxima de 25m, resultado este atribuído às características do sistema e ao espalhamento do sinal de retorno.

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| Nome | Sistema GEMS-1000 |
| Aeronave | Caravelle |
| Altura | 11.000 m |
| Espaçamento entre linhas | 15 minutos |
| Recobrimento | 10% |
| Tipo de antena | Abertura Sintética |
| Banda | X |
| Comprimento de onda | 3,12cm |
| Frequência | 9,6 Ghz |
| Potência | 100watts |
| Dynamic Range | 20 a 28db |
| Polarização | HH |

Figura 19- Características do Sistema GEMS-1000

Fonte: LIMA, 1995.

No levantamento aéreo também foi utilizada uma câmara ZEISS (fig. 20) super grande angular com filme infra-vermelho colorido e uma multiespectral IRS sensível a três faixas do espectro visível e uma do invisível (fig.21). Com esse equipamento, obteve-se fotografias do tipo *ground-range*, isto é, planimetricamente corretas (MME, 1979), com um campo de visada que possibilitava uma pequena sobreposição com a imagem de radar simultânea, além de 60% de superposição com as outras fotos, servindo para auxiliar a interpretação das imagens de radar, que foram adquiridas com um alcance dinâmico (*dynamic range*) em torno de 30 db, dos quais, normalmente, não menos do que 20 db eram preservados ao longo das fases de processamento, revelação e cópia.



Especificações técnicas

Marca: Zeiss
Tipo: grande Angular
Modelo: RMKA 85/23
Dist. Focal: 85mm
Filtro Wratten 12 ou Wratten 15
Filme: Infravermelho colorido 9"x 9"
Acionamento: Automático a cada 10Km

Figura 20- Câmera Zeiss

Fonte: MME, 1972.



Especificações técnicas

Marca: PS
Dist. Focal: 150mm
4 Objetivas operando, simultaneamente,
em um mesmo filme
Filtros: Objetiva 1- W47
" 2- W57
" 3- W25A
" 4- W89B
Acionamento: Automático a cada 10Km

Figura 21-Câmera Multiespectral

Fonte: MME, 1972.

A linha de vôo do aerolevante foi no sentido norte-sul³ (fig.22). O ângulo de depressão mínimo foi de 13° e o máximo de 45° a partir do horizonte, viabilizando o imageamento de faixas com cerca de 37 Km de largura (MOURA, 1972; LIMA, 1995;

³ Com exceção de um trecho no litoral da Baía, onde fortes ventos obrigaram a mudança para sentido Leste-Oeste (MOURA, 1972).

ESCOBAR *et al.*, 2005, p.4396). Por essa razão cada linha de vôo foi realizada em intervalos de 15 minutos, o que na região correspondeu a uma distância de aproximadamente 28 Km (MOURA, 1972, p.2).

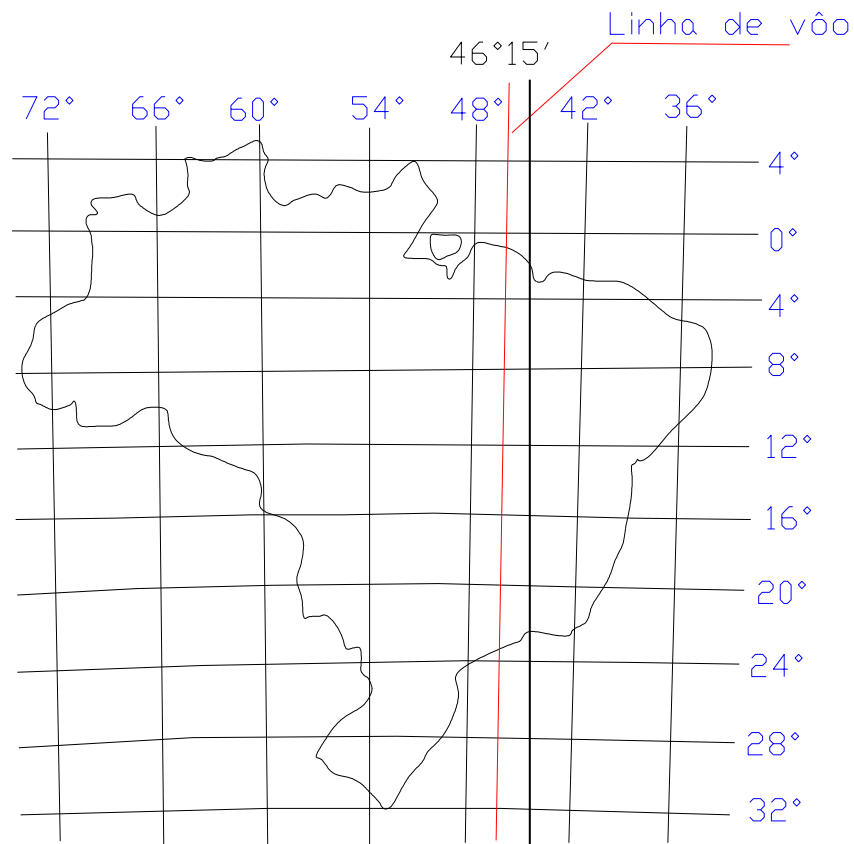


Figura 22- Linha de vôo do Projeto RADAM para todo Brasil

Fonte: Adaptado de ALLEVATO, 1979, p.34

Em média a duração dos vôos foram de 3 a 5 horas por dia, o que correspondeu a um percurso de 2.100 a 3.500km. Com o intuito de obter o máximo de rendimento em fotografias infravermelho colorido e multiespectral, os vôos foram realizados apenas durante o dia. Em

lugares onde as fotografias não fossem necessárias foi preciso realizar vôos noturnos para obtenção das imagens de radar (MOURA, 1972).

O controle de posição foi obtido através do auxílio de vértices da trilateração HIRAN existente e uma rede de estações TRANSIT (fig.23), como base para o posicionamento pelo sistema de navegação SHORAN (fig.24), instalado a bordo da aeronave, constituindo o Sistema de apoio cartográfico.

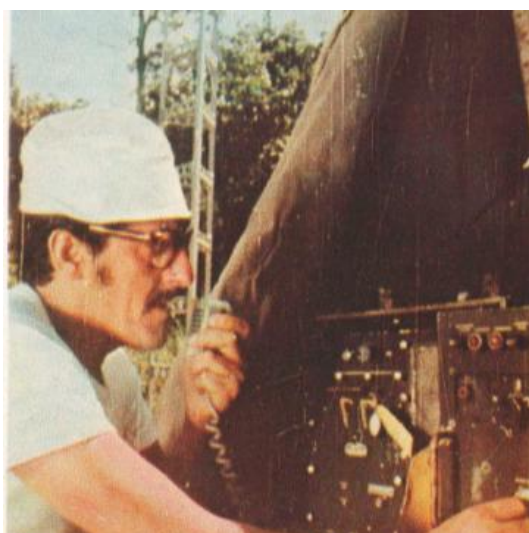
Especificações técnicas

Estação de Satélite TRANSIT
Modelo Magnavox MX 702
Incluindo: Antena, Receptos, Padrão de tempo, Perfurador de fita de papel e Geradores



Figura 23- Estação TRANSIT

Fonte: MME, 1972.



Especificações técnicas

Transmissor SHORAN
Marca RCA
Frequência 250 a 300Mhz
Alcance 400Km

Figura 24- Transmissor SHORAN

Fonte: MME, 1972.

Por ser tratar do levantamento de uma extensa área florestada fixou-se o limite máximo de 450Km para o afastamento entre os pontos de apoio terrestre, que foram determinados com precisão de primeira ordem por meio de estações receptoras de sinais de satélites geodésicos da Marinha Norte Americana (ABREU, 1974; MOURA, 1972). Sendo que essas estações ficavam instaladas por aproximadamente dois dias até a determinação das coordenadas. A escala era uniforme ao longo de todo o mosaico, dentro de 1% de erro (MOURA, 1972).

Os serviços de aerolevanteamento e preparação das imagens e dos mosaicos foram responsabilidade das empresas LASA Engenharia e Prospecções S/A, associada a *Aero Service Corp.* dos Estados Unidos, e Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S/A. Sendo que na fase inicial, o RADAM contou com a assessoria técnica da *Earth Satellite Co*, empresa norte-americana especializada em sensoriamento remoto. Já a interpretação das imagens para a confecção das cartas temáticas finais foram executas pelas equipes do projeto.

O enfoque regional do RADAM abrangendo uma área de 18.000 Km² e resolução máxima de 25m, correspondente a uma folha de 1° por 1° 30' (cerca de 110km x 165km), subsidiou uma metodologia de aquisição de dados, que partiu do geral para o particular, permitindo, desse modo, a seleção de áreas prioritárias para estudos mais detalhados. Tal metodologia, segundo MOURA (1972), pode ser entendido como um desvio sensível do sistema de montagem de numerosos levantamentos detalhados em um panorama geral.

O RADAM contou ainda com uma integrada estrutura logística para dar apoio nas operações de campo, utilizando dois veículos Rural Wylis equipadas com sistema de fonia terra-

terra e um jipe. Para o apoio aéreo foi usado um avião bimotor ISLANDER de categoria STOL com capacidade de operar em pistas curtas (MME, 1971).

Por sua magnitude, o Projeto RADAM reuniu a maior equipe integrada de profissionais nas mais diversas áreas do conhecimento, dentre eles geólogos especializados em petrografia, metalogenia, hidrogeologia e paleontologia; engenheiros agrônomos especializados em pedologia; engenheiros florestais; engenheiros cartógrafos; geógrafos especializados em geomorfologia e climatologia; e biólogos. Dispôs ainda de uma equipe técnico-científico-econômica voltada especificamente à análise de problemas relacionados ao uso dos recursos naturais, treinada pela sua vivência regional e nacional, além de uma equipe especializada em operações de selva, composta por elementos oriundos da unidade *PARA-SAR*, da Força Aérea Brasileira (MME, 1984).

3.3- SISTEMÁTICA OPERACIONAL E INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS DE RADAR

3.3.1- SISTEMÁTICA OPERACIONAL

A sistemática operacional de mapeamento do projeto RADAM consistiu basicamente na coleta de dados através de vários sistemas de aquisição, seguida pelo processamento e registro dos mesmos em um Banco de Dados (BD), para depois serem utilizados no processo de interpretação.

O projeto contou com quatro sistemas de aquisição, que juntos formavam a fonte alimentadora do BD: Sistema Aéreo, Sistema de Apoio Cartográfico, Sistema Espacial e, o que estamos denominando, Sistema de Apoio Complementar (fig.25). No caso do sistema espacial este passou a fornecer dados somente no final do quarto trimestre de 1972, com o lançamento do satélite de recursos naturais ERTS 1, operando a uma altitude nominal de 912 km em órbita sol-síncrona quase polar e cobertura de área a cada 18 dias (MME, 1972).

As etapas de coleta, controle e distribuição de dados e informações pertencentes ao projeto foram realizadas a partir do BD. Esse trabalho foi desenvolvido como rotina, visando atender a requisições de outros órgãos, tanto internos quanto externos ao RADAM. A estrutura do BD foi dividida em dois setores: Setor Rio de Janeiro (RJ) e Setor Belém.

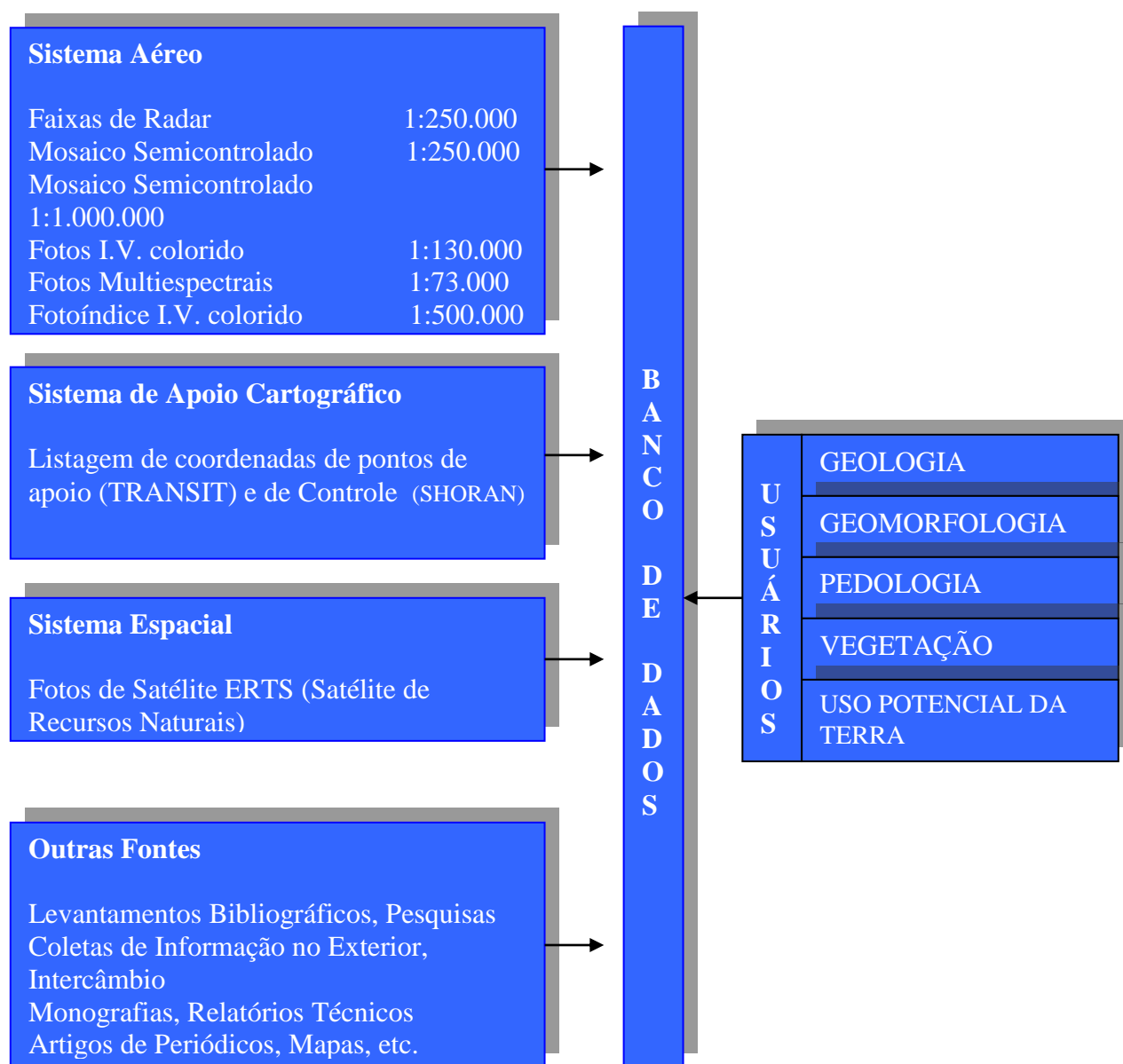


Figura 25- Sistema de Aquisição de Dados

Fonte: ALLEVATO e PINGARILHO, 1979.

O Setor RJ tinha a responsabilidade de coletar e controlar todo material gerado no âmbito do projeto, material este que era processado e codificado nessa unidade da federação para depois ser enviado a Belém. Além disso, o Setor RJ tinha a função de requisitar dados de outros órgãos do governo, bibliotecas e empresa de levantamento, entre outros. O Setor Belém também coletava dados externos, porém sua principal função era a distribuição do material disponível às equipes do projeto e o recolhimento dos produtos acabados e semi-acabados, como folhas de interpretação e mapas temáticos.

No âmbito dessa sistemática e da quantidade de dados produzidos diariamente, o processamento era uma etapa fundamental e deveria contar com uma gama diversificada de equipamentos como: correlator óptico (fig.26), usado para processar data filmes e produzir negativos de radar na escala 1:400.000; reveladora; ampliador anamórfico (fig.27), para ampliar negativos de radar com correção independente nos eixos x e y; Câmara escura e tanque de revelação para filmes infravermelho (I.V.) colorido; copiadora Logcolor (fig.28) para reprodução com correção de cor dos filmes I.V. colorido; ampliador (fig.29) de negativos das quadrículas de radar e das fotos índices; impressora off-set; prensa para a produção de cópias em papel e diapositivos dos negativos de mosaico e foto-índice; além de computadores e periféricos.

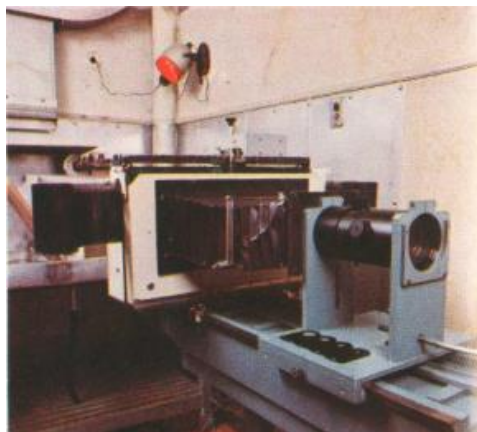
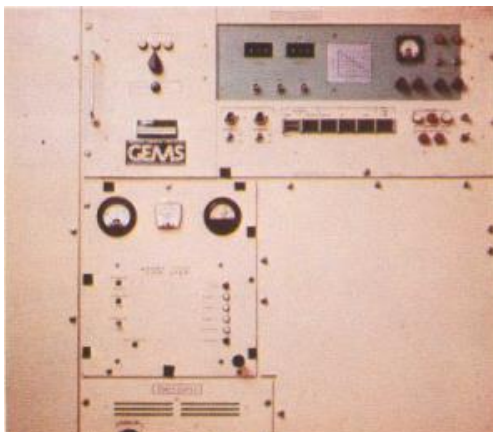




Figura 28- Copiadora Logcolor



Figura 29- Ampliador

3.3.2- ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS RADAR

3.3.2.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

A fase de interpretação das imagens de radar ocorreu de modo setorizado, conforme o grupo de pesquisa. Na ordem proposta, os primeiros grupos a analisarem as imagens foram da Cartografia e da Hidrografia. O primeiro tinha a função de preparar as quadrículas e o formato das folhas segundo o padrão cartográfico estabelecido no projeto. Já o grupo de hidrografia deveria realizar a integração da imagem radar com dados secundários, visando gerar dois produtos: a) o primeiro seria a definição da hierarquia da drenagem; b) o segundo era um

relatório identificando (caso houvesse) áreas com potencial para a construção de represas, reservatórios e hidroelétricas. Em seguida as imagens eram repassadas para os outros setores do projeto (relevo, solo, vegetação, geologia, entre outros).

Os sistemas de relevo foram analisados por uma equipe interdisciplinar coordenado por geomorfólogos. O objetivo era preparar uma visão preliminar das principais formas de relevo, para posterior classificação, coleta de amostras e análise. Após estas etapas, a equipe de geomorfologia em parceria com o grupo de geologia, com base nos resultados parciais gerados, teria que produzir um mapa geológico preliminar, já que o produto final somente poderia ser feito depois que fosse realizado a classificação do solo. Ao grupo de geologia cabia ainda a realização de um levantamento adicional sobre as características das rochas, da água e a integração entre esses dois elementos, visando identificar áreas com potencial para exploração mineralógica e petrolífera, o que foi utilizado desta forma para a seleção de áreas prioritárias de desenvolvimento.

O grupo encarregado de analisar a vegetação deveria proceder a partir das análises anteriormente geradas. Assim, deveriam preparar dois produtos distintos, visando a seleção de áreas prioritárias, os quais foram:

- a) Com base na drenagem e no relevo, o delineamento exato dos diferentes tipos de vegetação no terreno, para assim elaborar um mapa fitogeográfico; e,
- b) Um inventário madeireiro com base na identificação da vegetação.

A análise do solo foi realizada a partir da integração de todos os dados já produzidos pelos grupos anteriores, a partir daí foi gerado um mapa de classificação do solo, criando subsídios à avaliação da aptidão agrícola das terras, que fora realizado por outro grupo encarregado de exercer esta função.

Entretanto, o início das atividades de interpretação propriamente dita de qualquer quadrícula, ocorria somente após serem tomadas as seguintes medidas:

- a) Reunião das informações de logística;
- b) Reunião das informações técnicas pretendidas;
- c) Reunião das imagens disponíveis, as quais deveriam constar de:
 - i) Folhas 1:250.000 com informações referentes a locomoção na área, aeroportos, cidades, rios navegáveis, clareiras, entre outras, acompanhadas dos respectivos resumos de logística;
 - ii) Folhas 1:250.000 com informações sobre geologia, solo ou vegetação;
 - iii) Imagem de radar em 1:250.000, Infravermelho colorido em escala 1:130.000, Fotos multiespectrais em 4 canais em 1:70:000 e vídeo tape, além das fotografias tiradas nos vôos de baixa altitude.

Desta forma, depois de reunido todo o material necessário, definidos os parâmetros para a identificação das feições (áreas homogêneas e microcosmos), estabelecidas as quadrículas a serem analisadas, é que era dado início a etapa de interpretação.

3.3.2.2- METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO RADARTEMÁTICA

De um modo geral, a metodologia de interpretação das imagens de radar foi a mesma aplicada na interpretação de fotografias aéreas em preto e branco, onde são observados elementos como textura, padrão, forma e tonalidade. Para tanto, o trabalho foi realizado de forma seqüencial (Anexo II), através do cumprimento das seguintes etapas, a saber:

- a) **Interpretação preliminar:** usando-se o método de percepção remota, que consistiu na identificação a distância e sem contato com os objetos, empreendeu-se

análises radartemáticas por observação de elementos e fenômenos naturais, seguidas de identificações, e, finalmente, suas classificações, por critérios seletivos, realizadas na escala 1:250.000.

- b) **Trabalhos de campo:** todas as feições, texturas e tons das imagens foram analisadas através de operações de campo realizadas por meio terrestre (figs. 30 e 31), através de aviões e helicópteros (figs. 32 e 33.), ou fluvial, segundo as condições de penetrabilidade da área estudada e do tipo de informações a serem analisadas.

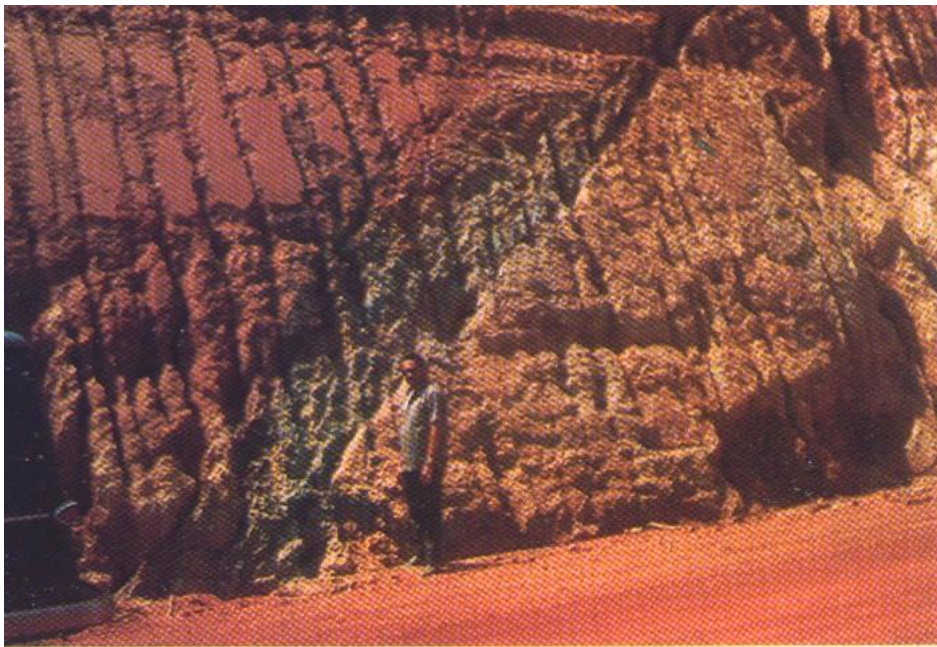


Figura 30- Levantamento de Campo realizado ao longo da Rodovia Transamazônica.

Fonte: Projeto RADAM, 1975.

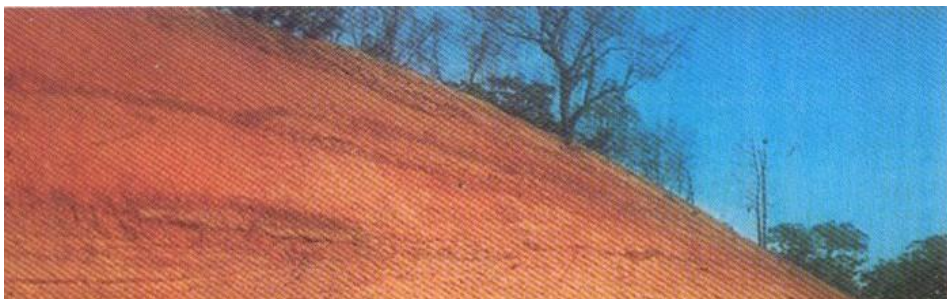




Figura 32- Panorâmica da área coberta com floresta abeta e núcleos de floresta densa.
Fonte: Projeto RADAM, 1974.



c) **Interpretação final:** com o recebimento dos resultados de análises petrográficas, químicas, espectrográficas, geocronológicas, de fertilidade de solo, identificação de espécies ou gêneros vegetais e outras análises específicas quando indispensáveis, visando a elaboração do mapa final.

d) **Integração multidisciplinar:** para cada área cuja interpretação tivesse sido concluída, promovia-se uma reunião técnica, trazendo a tona as informações mais atualizadas da região estudada. Os dados obtidos em cada tema eram analisados em conjunto, resultando na integração de informações propriamente dita.

3.3.2.2.1- ÁREAS HOMOGÊNEAS E MICROCOSMOS: DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO

O procedimento técnico para a identificação das feições geográficas nas imagens de radar partiu da adoção do conceito de Sistemas Homogêneos e da determinação dos microcosmos.

Por Sistemas Homogêneos entendia-se no âmbito do Projeto RADAM, um ambiente qualquer, visualmente perceptível na imagem de radar, detentor das mesmas características quanto à densidade, textura, morfologia e drenagem (MME, 1970). Por exemplo, se a interpretação de solos mostrasse na imagem do radar um ambiente de mesmas características visuais, este deveria ser mapeado como sendo o mesmo alvo. Assim, generalizando-se, todos os ambientes homogêneos tinham que ser mapeados e, quando semelhantes nas imagens, eram considerados como mesmo tipo de ambiente (fig.34). A identificação desses sistemas era realizada por um grupo interdisciplinar de técnicos previamente selecionados, visando a homogeneização da interpretação da superfície pertencente à área de cobertura do Projeto em questão.

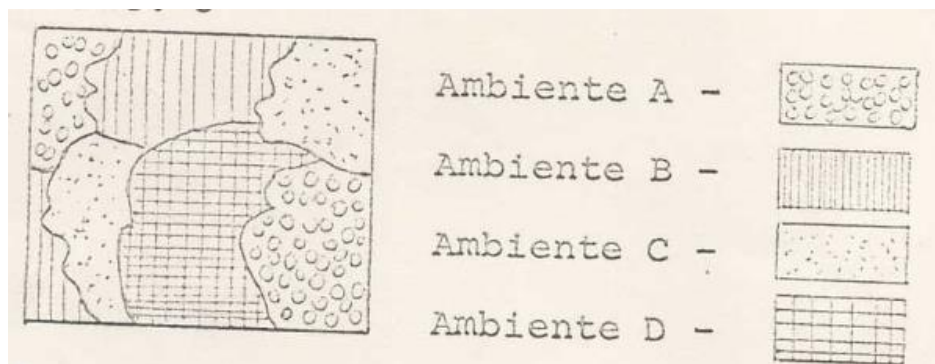


Figura 34 - Representação esquemática de quatro tipos de ambientes.

Fonte: MME, 1970.

A partir dessa primeira classificação realizava-se um estudo para determinar dentro de cada ambiente um ponto representativo para verificação de campo, denominado microcosmo.

Os microcosmos podem ser definidos com um ambiente, cujas características representavam um ambiente maior. Sua determinação era realizada a partir da delimitação das áreas homogêneas

com a finalidade de representar todo o sistema ou o cosmo (fig.35). Os critérios para a definição dos microcosmos eram:

- a) Capacidade de representar o sistema;
- b) Acesso facilitado;
- c) Passível de identificação nas imagens em Infravermelho e Multiespectrais.

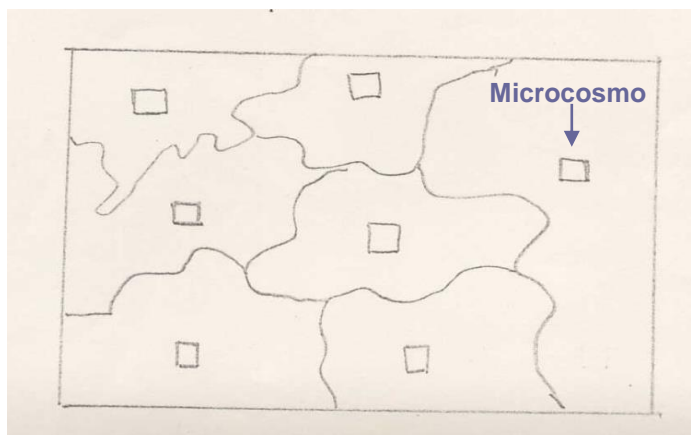


Figura 35- Determinação dos microcosmos.
Fonte: Adaptado de MME, 1970.

Em alguns casos, como a presença de estruturas favoráveis a mineralização, deveriam ser assinaladas nas imagens, independente de estar ou não na área selecionada como microcosmo.

Dando continuidade a interpretação, a determinação da semelhança geográfica, somente era realizada após a identificação dos sistemas homogêneos. Em termos práticos, isso somente poderia ser feito no microcosmo escolhido, para isso a rotina desenvolvida consistiu nas seguintes etapas, a saber:

- 1ª) Numeração dos sistemas (fig. 36);**

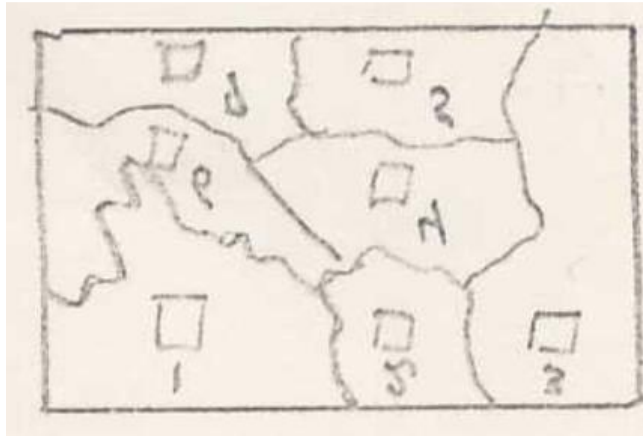


Figura 36- Numeração dos Sistemas.

Fonte: Adaptado de MME, 1970.

2ª) Seleção dos microcosmos nos sensores: utilizando-se foto índices e outras informações referentes aos vôos, localizava-se nos mosaicos de radar as fotografias multiespectrais e infravermelho. A análise das imagens em conjunto, possibilitava a localização dos microcosmos de cada grupo, de modo que fossem identificáveis nos três sensores.

3ª) Criação de chaves de interpretação: era analisado nos sensores os microcosmos representativos de cada sistema e criava-se chaves interpretativas observando os seguintes elementos:

- a) nas imagens de radar: densidade ótica, textura, drenagem e morfologia;
- b) nas fotografias infravermelhos coloridas: cor predominante, densidade ótica e textura.

4ª) Determinação da semelhança de sistemas: nesta etapa além de considerar as informações já produzidas, deveriam ser observados possíveis defeitos nas imagens, já que problemas de exposição e processamento fotográfico poderiam ocasionar informações quantitativas erradas, devendo as mesmas ser corrigidas pelos intérpretes.

5ª) Representação dos ambientes: nesta fase era realizado a representação de cada ambiente nos overlays 1:250.000, isto é, transformava-se o overlay de sistema em overlay de ambiente (fig.37).

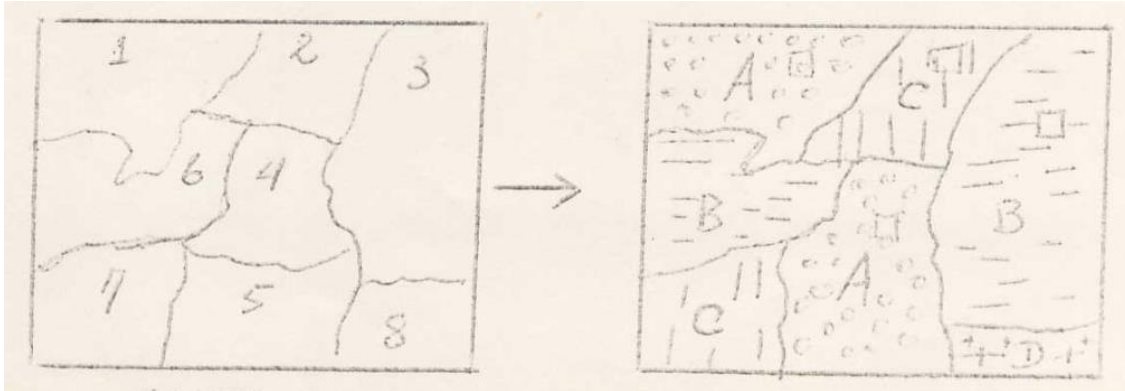


Figura 37- Representação da conversão do overlay de sistema em overlay de ambiente.

Fonte: MME, 1970.

Os overlays de ambiente constituíam a base para os trabalhos de interpretação. Nesta fase, os intérpretes faziam as análises a partir de suas especialidades e planejavam em conjunto as operações de campo, denominadas de “operações de verdades terrestres” para os pontos a serem amostrados (microcosmos) da região mapeada.

3.3.2.3- OPERAÇÕES DE VERDADE TERRESTRE

As operações de campo ou de verdade terrestre eram formadas por equipes integradas, geralmente constituídas por: geólogo, engenheiro florestal, engenheiro de solos, geógrafo e um auxiliar. Em casos especiais as equipes eram deslocadas com um ou mais técnicos.

Essas operações eram necessárias para confirmar as características dos ambientes definidos na interpretação preliminar. Os pontos a serem visitados (microcosmos) deveriam ser os mais representativos de cada área homogênea.

Quando havia convergência de microcosmos definidos a partir de grupos diferentes, como, por exemplo, Geologia e Solo, os respectivos técnicos deveriam fazer visitas em todos os pontos separadamente e depois em conjunto. Nesse caso as operações eram distribuídas da seguinte maneira:

- 1ª) Operação: visita pelo geólogo ao microcosmo 1 (G) (fig.38);
- 2ª) Operação: visita pelo pedólogo ao microcosmo 2 (S) (fig.39);
- 3ª) Operação: visita composta pelos dois profissionais nos microcosmos 2(G) e 1 (S).

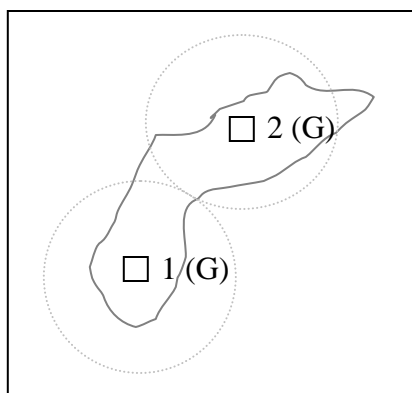


Figura 38- Definição de microcosmo- Setor Geologia

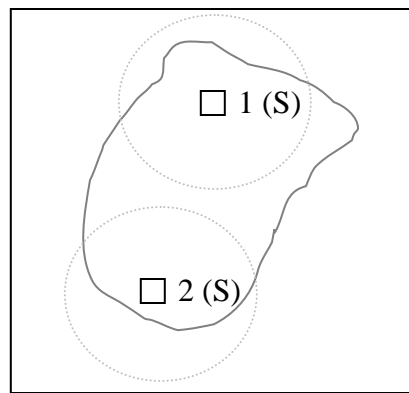


Figura 39- Definição de microcosmo- Setor Solos

A partir da terceira operação verificava-se se o ambiente era comum aos dois grupos. Em caso positivo a área delineada era considerada como semelhante para ambos.

Uma diversidade de situações poderia ocorrer após as interpretações, e para cada caso específico, era estudada uma logística própria, associada ao número e tipo de missões. Tais

situações relacionadas também a acessibilidade aos lugares que deveriam ser visitados. Assim, existiam algumas tipologias de operações já definidas, as quais eram:

a) Primeiro Caso: quadrícula localizada numa área com a presença de apenas um aeroporto e pontos onde os helicópteros poderiam aterrisar (fig.40). Nesse caso, era levado até a área um helicóptero transportado por um avião C-82. No aeroporto era montado o acampamento central e, dependendo do estudo feito para a coleta de campo, o helicóptero transportaria os profissionais aos pontos selecionados.

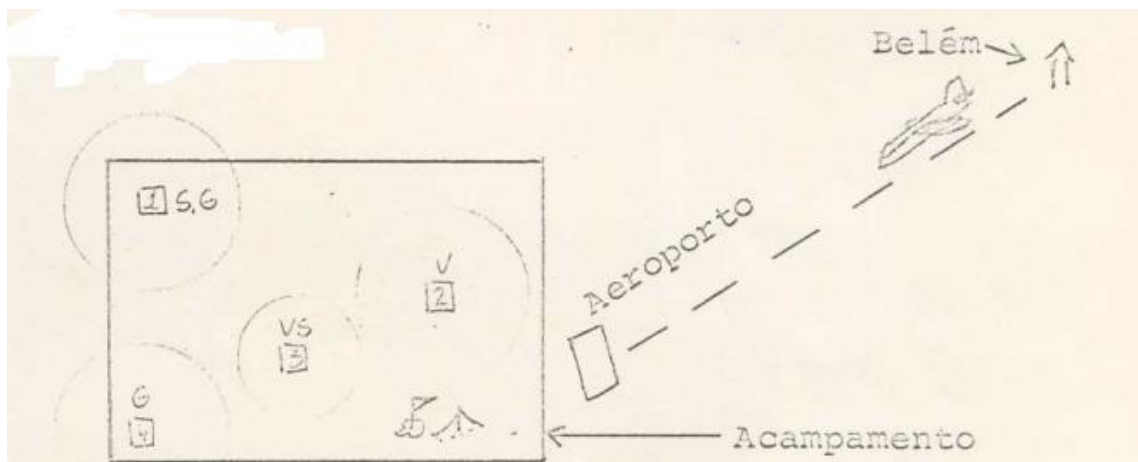


Figura 40- Representação da primeira situação de operações de verdade terrestre.
Fonte: MME, 1970.

b) Segundo Caso: ponto de visitação localizado próximo a estrada com acesso interno também terrestre. Neste caso as equipes eram deslocadas com duas viaturas e todo o levantamento era realizado por vias terrestres.

c) Terceiro Caso: ponto localizado em área de acesso aéreo, mas com estradas no seu interior. Nessa situação após a transferência da equipe para a área e, dependendo das condições locais, as viaturas poderiam ser adquiridas no local ou transportadas por avião.

Importante ressaltar que em alguns casos, quando a logística adotada para atingir o ponto amostral (microcosmo) incluísse aeronave, um levantamento aéreo a baixa altitude tinha que ser realizado.

3.3.2.4-ANÁLISE TEMÁTICA

Em cada sessão temática aplicaram-se análises diferenciadas, sendo constantemente alterada em vista do aprimoramento técnico do instrumental utilizado, e também dos objetivos que se pretendiam alcançar⁴. De um modo geral, tem-se os seguintes perfis metodológicos:

- **Geologia:** A base do mapeamento foi a imagem de radar em mosaicos semi-controlados na escala de 1:250.000. As faixas com recobrimento possibilitaram visão estereoscópica para as interpretações (fig. 41). O auxílio dos demais produtos do sensoriamento efetuado pelo RADAM, principalmente as fotos em infravermelho, foi valioso do mesmo modo que outras fotos anteriormente obtidas. O resultado dessa metodologia: dados anteriores mais interpretação, aliada a experiência profissional nesta área de alguns dos técnicos da equipe, possibilitou critérios mais favoráveis à escolha dos pontos de amostragem e estudo de campo (RADAM, 1974). Os parâmetros utilizados para a interpretação radargeológica foram: morfologia, drenagem e fraturamento, traçado de estruturas planares, lineares e tabulares, textura topográfica e tonalidade, relação de resistência com rochas circundantes, estilo tectônico, cobertura de solos, cobertura vegetal, teor de umidade no terreno e cobertura laterítica, quando presente (LEÃO, 1999).

⁴ Não foi possível determinar um limite temporal exato dessas mudanças, porém as mesmas podem ser percebidas através da análise sistemática e minuciosa dos 34 volumes já publicados



Figura 41- Interpretação de imagem radar (enfoque geológico)
Fonte: Projeto RADAM, 1975.

- **Geomorfologia:** Depois da fase convencional de pesquisas cartográficas e bibliográficas, seguiu-se a de fotointerpretação preliminar. Utilizou-se o material fornecido pelo radar em ordem de precedência técnica: fotoíndice na escala de 1:1.000.000, mosaicos semi-controlados a 1:250.000, faixas estereoscópicas na mesma escala dos mosaicos e perfis altimétricos. Além destes recursos, também foram utilizadas fotografias infravermelho em cópias coloridas e em preto e branco na escala de 1:130.000

e fotos multiespectrais na escala de 1:73.000. A utilização múltipla de todos esses elementos permitiu boa capacidade de solução de problemas geomorfológicos, ao nível da fotointerpretação, tornando o método muito adequado para o mapeamento da área, acrescidas de sobrevôo de reconhecimento para uma maior conhecimento das feições geomorfológicas do relevo (fig. 42), apresentados depois em mapas na escalas 1:500.000 e 1:1.000.000. (RADAM, 1974)

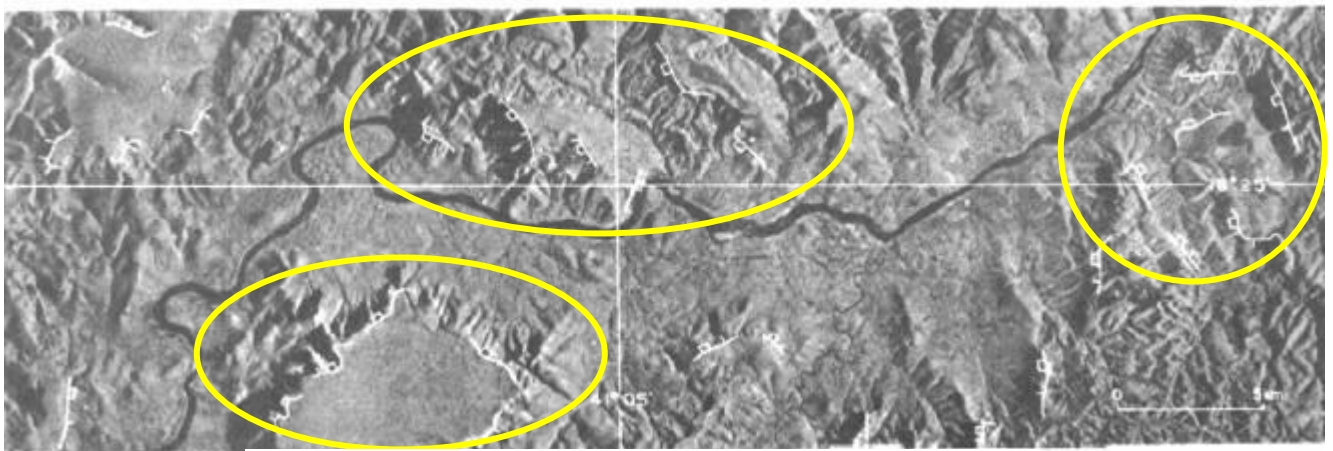


Figura 42- Interpretação geomorfológica*
Fonte: Projeto RADAM,1987.

** Depressão do Médio Jequitinhonha visivelmente destacada das unidades circunjacentes por uma mudança de modelado, ressaltando-se paredões rochosos com cornijas.*

- **Solos:** após trabalhos de campo, os mosaicos, foram reinterpretados utilizando-se os respectivos pares estereoscópicos de imagem de radar (fig. 43), bem como fotografias infravermelhas (negativo na escala de 1:30.000) e multiespectrais (escala 1:70.000) de áreas não cobertas por nuvens. Utilizou-se também informações de geologia e vegetação fornecidas pelos respectivos setores do projeto. O delineamento final foi lançado sobre uma base cartográfica planimétrica fornecida pelo Setor de Geocartografia do projeto, o que possibilitou a confecção do Mapa Exploratório de Solos, na escala 1:1.000.000. O

mapa de Aptidão Agrícola dos Solos, foi também confeccionado na escala 1:1.000.000 e consistiu na interpretação para uso agrícola dos solos, adotando-se um sistema de manejo primitivo ou tradicional e outro sistema melhorado ou desenvolvido, preparado para ser apresentado em uma única folha, colorido de acordo com a padronização para cada classe de aptidão agrícola, nos dois sistemas (RADAM, 1974).

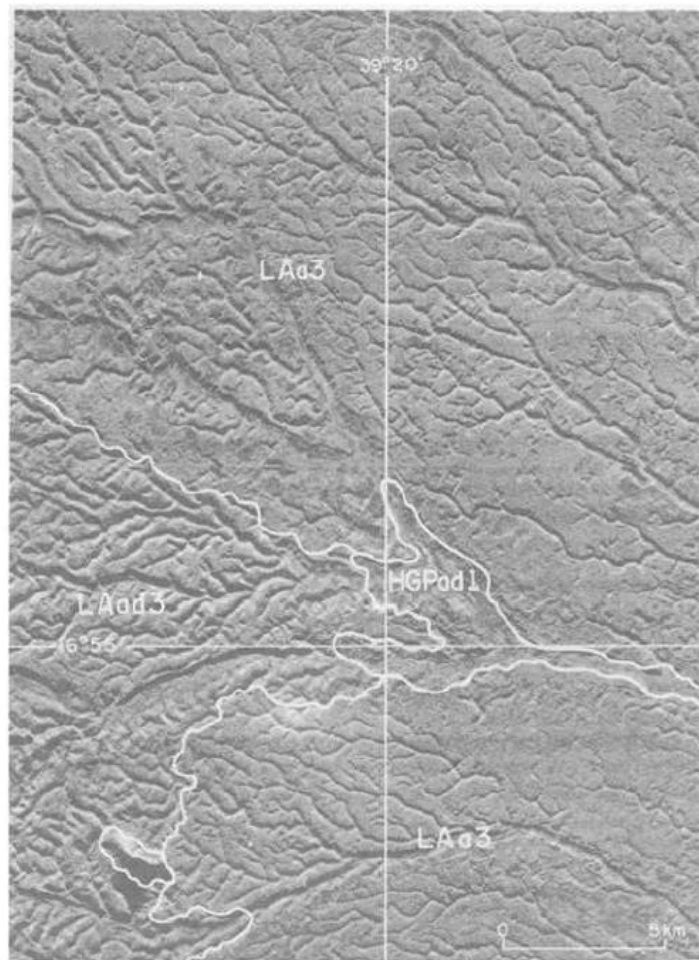


Figura 43- Interpretação radarpedológica
Fonte: Projeto RADAM, 1987 (Folha SE.24-V-B)

- **Vegetação:** Foram usados mosaicos não controlados das imagens de radar, com as faixas para estereoscopia (imagens e faixas na escala 1:250.000) (fig.44) fotografia em

infravermelho em cópias preto e branco e falsa cor, na escala 1:130.000; vôos de reconhecimento a baixa altura; e observações terrestres acompanhadas de inventário florestal. A metodologia estabelecida para a execução dos trabalhos compreendeu: a) interpretação do mosaico de imagem de Radar, com auxílio dos demais sensores; b) marcação dos pontos para observação em sobrevôo à baixa altura; c) verificação terrestre, com inventário florestal; d) reinterpretação com síntese temática. (RADAM, 1974).

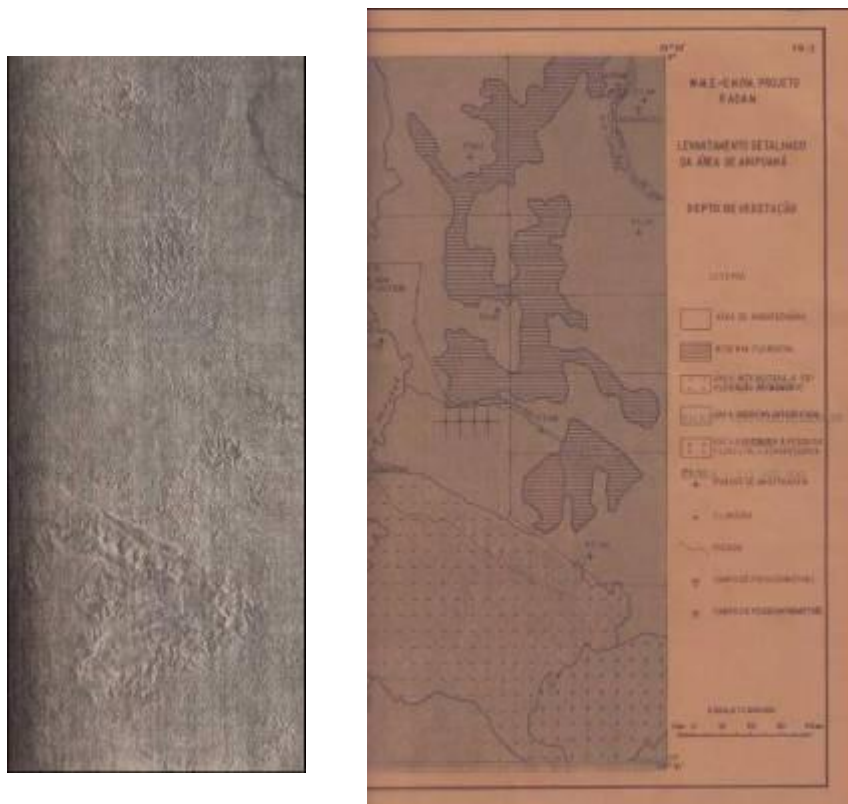


Figura 44- Mosaico semi-controlado e sua interpretação na escala 1:1.000.000 da área de Aripuanã (MT), com ênfase na vegetação.

Fonte: RADAM, 1974.

- **Uso Potencial da terra:** A metodologia adotada baseou-se na utilização conjunta dos elementos fornecidos pelos mapas temáticos atendendo às seguintes etapas:

a) Estabelecimento das grandes unidades homogêneas a partir de elementos obtidos dos mapas geomorfológicos e geológico, complementados pelo exame das imagens de radar;

b) Em cada uma das atividades foram atribuídos pesos que variaram de 0 (zero) a 1 (um) para dados obtidos nos mapas de solos, geomorfológico, fitoecológico, avaliando-se assim, as condições de solo, relevo, clima e vegetação para as grandes unidades homogêneas;

c) Adoção de critério combinatório probabilístico, sob a forma de multiplicação sucessiva dos respectivos pesos, obtendo-se assim, os índices de capacidade natural. O índice unitário representaria condições ótimas para todos os fatores (RADAM, 1974).

A rotina de tratamento e interpretação dos mosaicos semi-controlados de radar foram realizadas em 14 etapas distintas, conforme listadas abaixo:

- 1) Identificação das marcas fiduciais Shoran nos filmes do radar;
- 2) Marcação dos pontos nos filmes com um furo, que pode ser visualizado no processo de ampliação;
- 3) Identificação das estações satélites nos filmes de radar;
- 4) Preparo dos manuscritos em plásticos indeformável das colunas de folhas em 200.000, com todos os pontos Shoran (escolhidos para o controle do mosaico) e os pontos satélites determinados;
- 5) Transferência de todos os pontos do manuscrito transparente para a base onde iria ser colocado o mosaico, já considerando a correção do deslocamento lateral;
- 6) Preparação do gabarito das seções das faixas de radar que iriam ser ampliadas entre cada dois pontos fiduciais Shoran selecionados;
- 7) Ampliação anamórfica pelos gabaritos

- 8) Colagem das seções das faixas de forma que não cobrisse os pontos de controle utilizados;
- 9) Iluminação dos mosaicos colados, dos pontos de satélite e Shoran empregados;
- 10) Registro num croqui correspondente a cada folha de mosaico dos erros entre a colagem e dos pontos dos manuscritos;
- 11) Reambulação das folhas de mosaico semi-controlado pelos mapas existentes;
- 12) Desenho das folhas (reambulação e reticulado);
- 13) Reprodução das folhas de mosaico para apresentação na escala 1:250.000;
- 14) Confecção das cópias dos mosaicos de acordo com as especificações determinadas.

Ao surgirem erros na colagem das seções das faixas de vôo, outros procedimentos eram adotados, que não cabem aqui detalhar, mas demonstram um certo cuidado metodológico, visando o aproveitamento máximo da imagem de radar.

3.4- DO RADAM AO RADAM-BRASIL

A área de abrangência planejada para a execução do Projeto RADAM compreendia inicialmente toda extensão da rodovia Transamazônica, além dos estados do Amazonas, Pará, Piauí, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins, totalizando uma área de 1.500.000 Km² ⁵, conforme estipulado pela Portaria-MME nº 2.048, de 20 de Outubro de 1970. Posteriormente, pela repercussão do projeto, mais precisamente em 1976 (LIMA, 1995, p.15), e do interesse de

⁵ Segundo João Maciel de Moura, Presidente do Projeto RADAM à época, a escolha da área inicial para o levantamento foi ditada, principalmente por argumentos técnicos. Porém, sendo a maior parte dos recursos oriundas do PIN, a área coberta deveria estar situada nos limites dos territórios da antiga SUDAM (Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia) e da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste), hoje ADA (Agência de Desenvolvimento da Amazônia) e ADENE (Agência de Desenvolvimento do Nordeste), respectivamente. Para produzir informações básicas ao planejamento e execução de ações de desenvolvimento nessas regiões, e, assim, integrá-las economicamente ao restante do país.

diversas entidades governamentais foi ampliado para 4.600.000 Km², o que correspondeu a 54% do território nacional, passando a se chamar RADAM BRASIL.


Com a modernização nos métodos de trabalho e a conseqüentemente melhoria da produtividade foi possível alcançar os objetivos almejados pelo projeto (MME, 1979). Desse modo, em apenas cinco anos, o RADAM abarcava todo o território nacional (tab. 02). Entre 1971 a 1973, a área expandida compreendeu todo o limite da região da Amazônia Legal e parte da região nordeste, abarcando todo Estado do Maranhão, Piauí e uma faixa de terras no sentido norte-sul do Estado da Bahia. O restante do território nacional passou a ser contemplado a partir da terceira ampliação, que ocorreu em 29/07/1975 (MME, 1979).

Tabela 02 - Ampliações em Km² da área de atuação do Projeto RADAM

| Ampliações | Data | Km² |
|-------------------|-------------|-----------------------|
| Área inicial..... | 29.10.70 | 1.500.000 |
| 1ª ampliação..... | 05.10.71 | 1.800.000 |
| 2ª ampliação..... | 05.10.75 | 1.450.000 |
| 3ª ampliação..... | 29.07.75 | 3.762.000 |
| Total | | 8.512.000 |

Fonte: Adaptado de MME, 1979, p.10.

Segundo TORRICO (1999), a passagem do projeto de âmbito regional para nacional, foi especificamente importante não apenas pelas dimensões geográficas que adquiriu, mas também e, sobretudo, pela mudança das características do objeto de análise, que deixou de ser uma área quase totalmente coberta de vegetação nativa, em sua maioria primária, com vias de comunicação predominantemente fluvial e nunca antes pesquisada de forma integral e sistemática, para outra



com inúmeros levantamentos em diferentes escalas, o que exigiu por sua vez novas metodologias, visando a correta organização e interpretação dos dados obtidos.

Assim, ao longo da ampliação da área coberta pelo RADAM novas metodologias foram surgindo, ou então, aperfeiçoadas. Desse modo foi gerado o mapeamento homogêneo de todo território nacional (8.511.965 km²), abrangendo 551 folhas de mosaicos semi-controlados de radar e 132 cartas imagem de radar de diversas regiões todas em escala 1:250.000, acompanhadas de fotografias em InfraVermelho e Multiespectrais, além de vídeo tapes e perfis altimétricos.

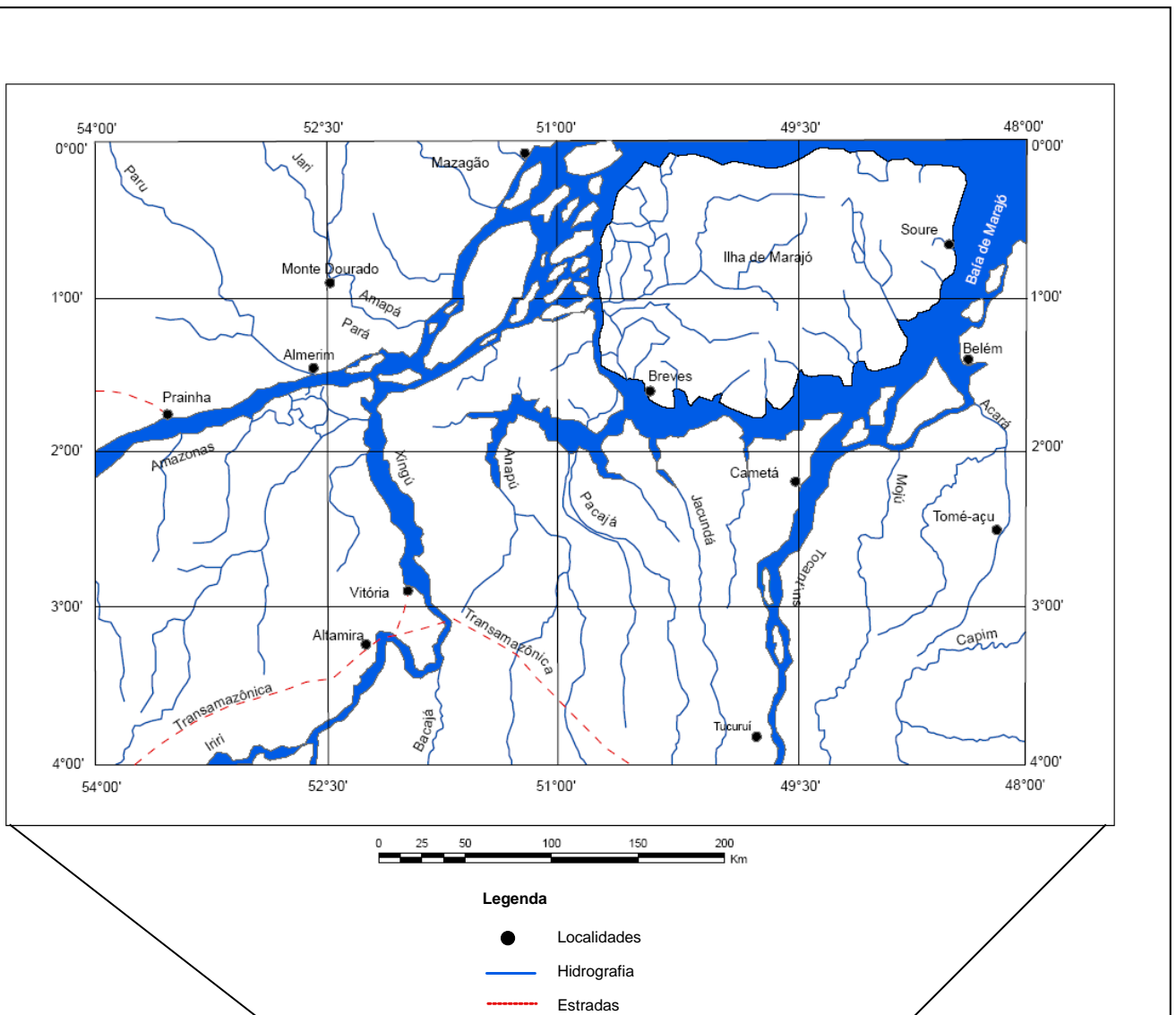
4- O PROJETO RADAM E AS INFORMAÇÕES GERADAS: BREVE ANÁLISE DOS RESULTADOS DA FOLHA SA.22 BELÉM

Conforme já explicitado em capítulo anterior, o levantamento das informações do Projeto RADAM teve como subsídio básico a imagem de radar, que neste caso foi de visada lateral. Assim, a partir de metodologia específica gerou-se os mapas temáticos, acompanhados da descrição sumária das características físico-geográficas dos locais mapeados.

Entre as áreas onde foi realizado o levantamento radargramétricos está a Folha SA.22 Belém, através da análise do relatório referente a esta folha pretende-se mostrar a riqueza das informações, que apesar de terem sido produzidas durante a década de 70, ainda são fundamentais para o conhecimento das características sócio-espaciais da área, bem como dos recursos naturais existentes.

4.1- LOCALIZAÇÃO DA FOLHA SA.22 BELÉM

A folha SA.22 Belém foi apresentada no 5º volume do relatório sobre Levantamento de Recursos Naturais do Projeto RADAM em 1974. A área está situada entre o equador e o paralelo 4° S e os meridianos de 48° W e 54° W, com uma superfície total de 284.780 Km², abrangendo quase a totalidade do Estado do Pará e uma pequena porção do Estado do Amapá, no Extremo Norte do País (fig.45). Apresenta como expressão fisiográfica de grande importância a Foz do Rio Amazonas, subdividida em dois setores aos 48.000 km² da Ilha de Marajó. O setor meridional, denominado rio Pará, que liga a pujança do Tocantins-Araguaia e dos drenos das bacias a leste até o Xingu, e no setor oriental, os rios Moju, Acará e Guamá-capim. As drenagens mais importantes fluem do norte para o Amazonas e são os rios Jari e Paru (RADAM, 1974).



**Figura 45- Localização e detalhamento da Folha
SA.22 Belém**

Como os demais relatórios, este compreendeu cinco seções: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. No geral, a metodologia utilizada foi a mesma empregada nos trabalhos iniciais, partindo da interpretação das imagens de radar, auxiliadas, quando se fez necessário, por fotos infravermelho e multiespectrais, complementadas por levantamento aéreo, verificação de campo e pesquisas bibliográficas.

Essa área foi dividida cartograficamente em 16 folhas nas escala 1:250.000 (fig.46), em quadrículas de 1° por 1° 30'. Na figura 47, pode ser observado a Carta Imagem da folha SA.22-V-A, gerada a partir do mosaico semi-controlado de radar.

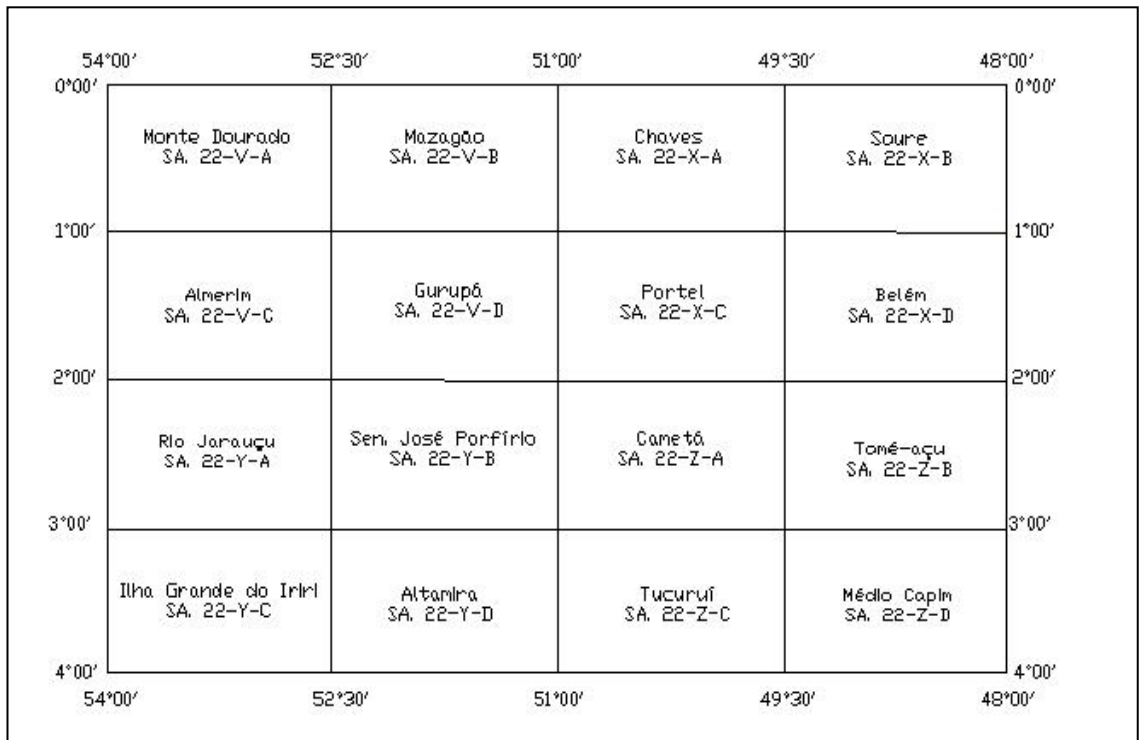


Figura 46- Articulação da Folha SA.22 Belém, na escala 1:250.000.

Fonte: RADAM, 1974.

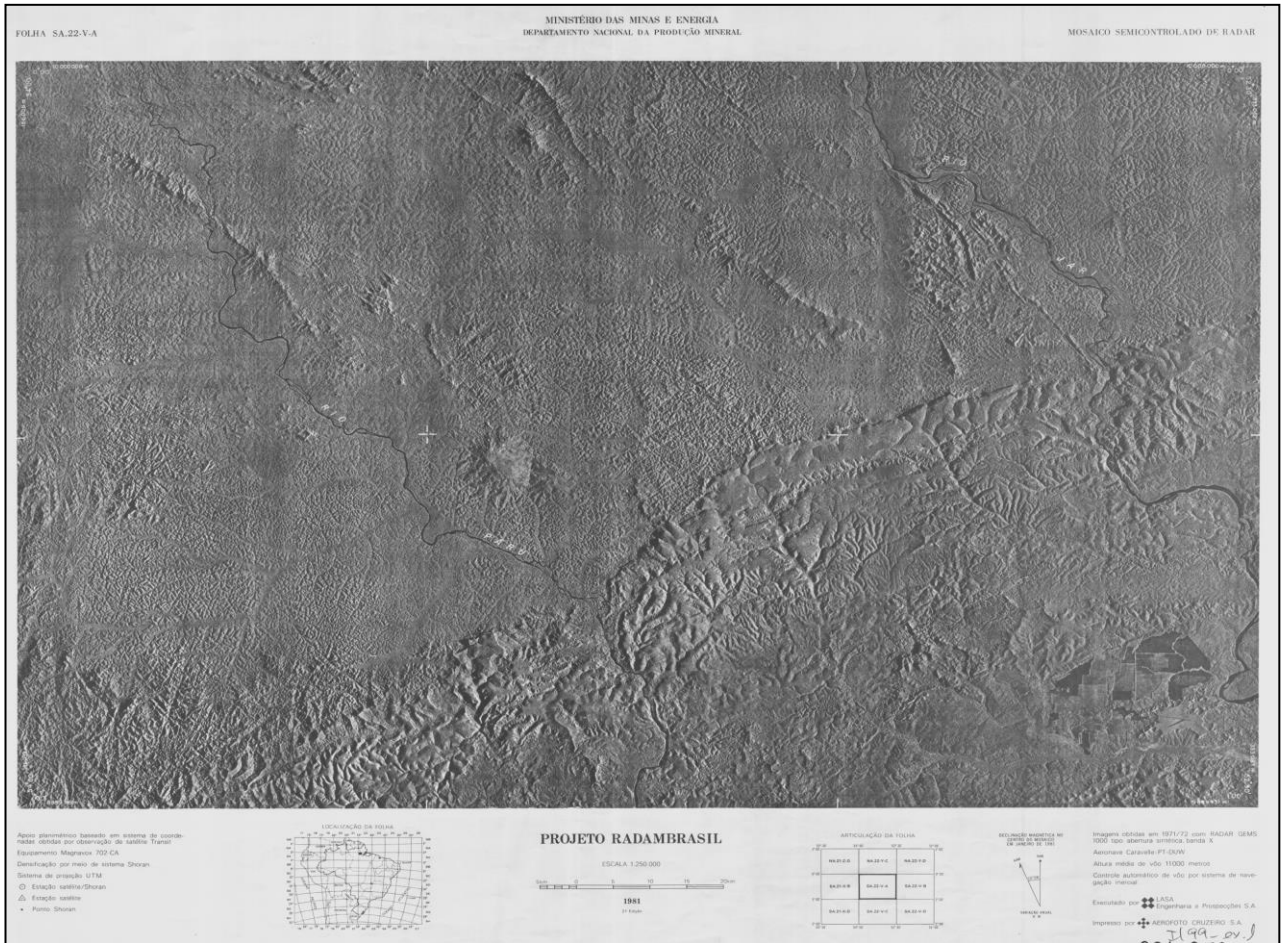


Figura 47- Carta Imagem na escala 1:250.000 (Folha SA.22-V-A Monte Dourado)
 Fonte IBGE, 2007; Projeto RADAM, 1981.

4.1.1- GEOLOGIA

No que tange a geologia, o LNR vol.5 apresenta o perfil estratigráfico da folha SA. 22 Belém, com a descrição (localização e evolução) das seis províncias geológicas presentes na área: Área Cratônica do Guaporé, Área Cratônica das Guianas, Faixa Orogênica Araguaia-Tocantins, Sinéclise do Amazonas, Sinéclise do Maranhão-Piauí e Cobertura Cenozóica. Além disso, é descrito as principais características das unidades geológicas, como: generalidades, posição estratigráfica, distribuição espacial, geocronologia e Petrografia. São elas: Complexo Xingu, Complexo Guianense, Grupo Vila Nova, Alcalinas de Maraconai, Grupo Tocantins, Formação

Trombetas, Formação Curuá, Formação Monte Alegre, Formação Itaituba, Diabásio Penatecaua, Formação Itapicuru, Formação Barreiras e Aluviões.

Através das imagens de radar foi observado que na folha em questão há feições estruturais com amplitudes regionais, e em alguns casos essas feições apresentam características orogênicas. No que se refere as estruturas locais foram identificados dobras, falhas, lineamentos, bem como incorformidades entre rochas, tais como a existente entre rochas metamórficas e sedimentares.

No mapa geológico (fig.48) estão representadas as unidades e suas características, conjuntamente com a divisão temporal a qual pertence, além das feições estruturais presentes na área. Embora não esteja representado graficamente, o estudo geológico analisou o potencial econômico da folha a partir dos principais minerais identificados, como o ouro, diamante, calcário e ferro, e ainda as possibilidades metalogênicas da região.

A partir do levantamento efetuado foi possível concluir que existe uma extensa cobertura de sedimentos novos com uma pequena distribuição de rochas pré-cambrianas e paleozóicas aflorantes. E, que a ocorrência de minerais, passível de exploração econômica, ocorre de forma pontual na folha, com destaque para a área referente a folha SA.22-V-A Monte Dourado (escala 1:250.000), por estar nela presente o Grupo Vila Nova, que na totalidade da Folha SA.22 Belém se apresenta com morfologia de serras alinhadas em direção NW-SE com suas unidades potencialmente ferríferas e manganésíferas, cuja ocorrência se dá na parte central do Estado do Amapá, na bacia dos rios Vila Nova, Amapari, Flexal, Tartarugal e Jari, incluído neste grupo estão as jazidas de Manganês na Serra do Navio e os Afloramentos ferríferos situados a noroeste do Estado do Pará à margem direita do Rio Ipitinga.

4.1.2- GEOMORFOLOGIA

Geomorfologicamente, a área total da folha SA.22 Belém foi dividida em sete grandes unidades: Planalto Setentrional Pará-Maranhão, Planalto Tapajós-Xingu, Planalto da Bacia Sedimentar do Amazonas, Planalto Rebaixado da Amazônia, Depressão Periférica do Sul do Pará, Depressão Periférica do Norte do Pará e Planície Amazônica. Realizou-se a descrição da evolução do relevo da área, os efeitos estruturais na esculturação do mesmo, as depressões periféricas à Bacia Paleozóica, os níveis de aplainamentos e ainda, os problemas da foz do Rio Amazonas, relacionados a natureza, classificação, idade e evolução desse imenso corpo hídrico, bem como o potencial hidrelétrico disponível.

O mapa gerado (fig.49) em parceria com órgãos federais (SUDENE/MINTER; INCRA/MA; UFRGS/MEC; UNB) e estaduais (IDESP/PA; IGA-CED;CODEVALE/MG; USP/SP), apresenta além das principais formas de relevo as unidades morfoestruturais e morfoclimáticas da área, assim identificadas, como:

- Domínio morfoclimático dos planaltos amazônicos rebaixados ou dissecados das áreas colinosas e planícies revestidas para floresta densa;
- Domínio das planícies inundáveis recobertas por campo;
- Faixas de transição de domínios morfoclimáticos em depressões e colinas revestidas por floresta aberta mista;
- Faixa de transição de domínios morfoclimáticos em planaltos, planaltos rebaixados revestidos por floresta densa, floresta aberta mista e cerrado.

Com base na análise das características geomorfológicas, observou-se que a gênese do relevo da área está contida no Cenozóico, embora tenha sido identificado efeitos tectônicos, tanto no Terciário quanto no Quaternário. Sendo confirmado a existência de uma depressão periférica no sul do Pará e processo homólogo na parte norte. A existência de aplainamentos revelou depósitos correlativos na estratigrafia Cenozóica da fossa do Marajó. No âmbito dessas considerações é demonstrando ainda os complexos problemas da hidrografia amazônica, da feição estuarina, da gênese da Ilha do Marajó, por processos de subsidência, Transgressão Flandriana e pelos mecanismos específicos da drenagem amazônica.

Nessa seção é discutido também os principais problemas da cartografia geomorfológica para a escala de mapeamento do projeto (1:1.000.000), já que não foi possível representar cartograficamente determinados processos geomorfológicos.

4.1.3- PEDOLOGIA

No que tange ao solo, foram estabelecidas unidade de mapeamento por associações, estando as unidades taxonômicas empregadas de acordo com a classificação usada pela Divisão de Pedologia do Ministério da Agricultura, durante o período do levantamento. Nesta seção

foram elaborados dois mapas: o Mapa Exploratório de Solos e o Mapa de Aptidão Agrícola. Ambos em parceria com órgãos federais e estaduais.

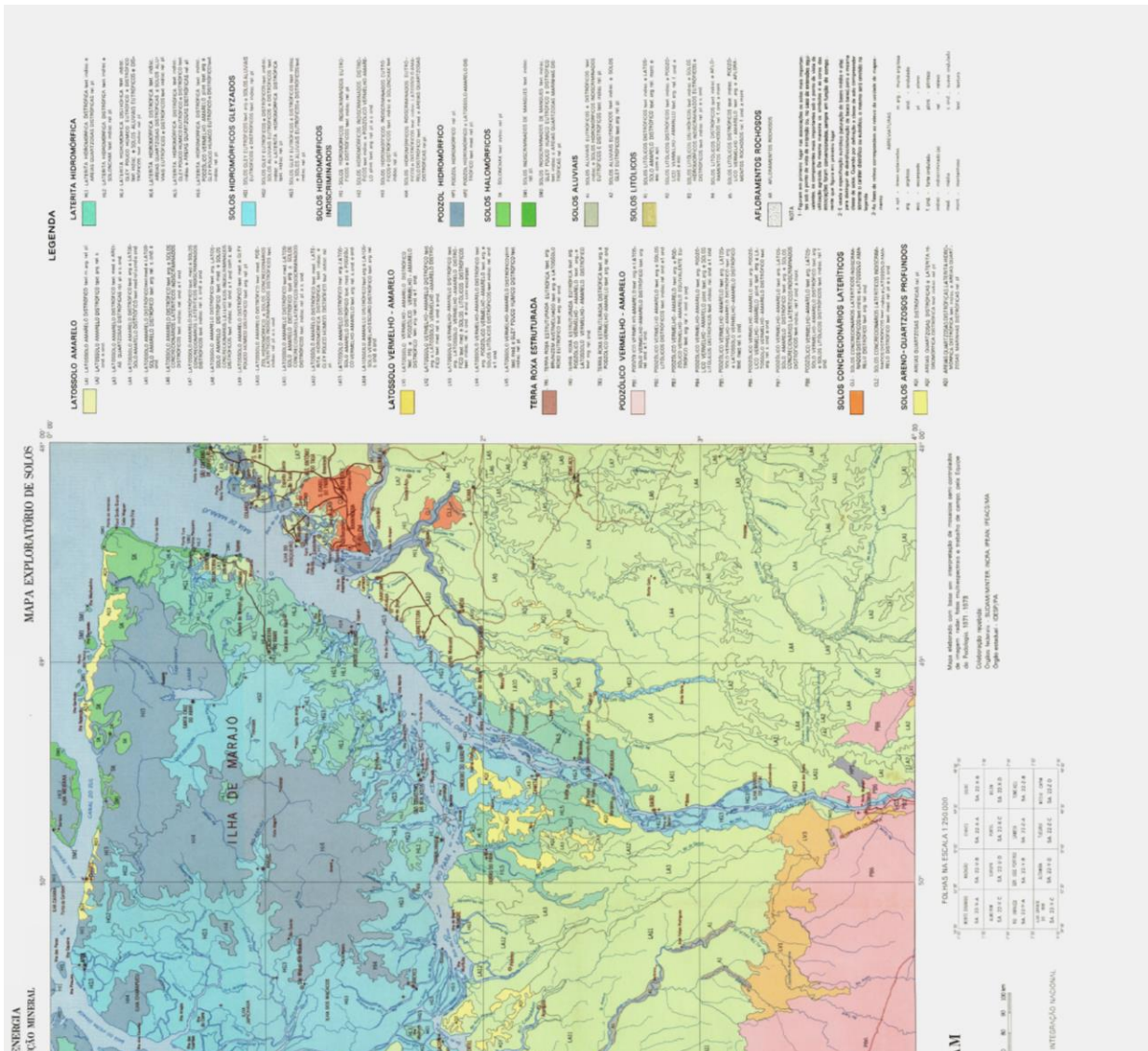
No Mapa Exploratório (fig. 50) é possível visualizar as principais unidades de solos presentes na área em questão, as quais foram:

- 1) Latossolo Amarelo;
- 2) Latossolo Vermelho Amarelo;
- 3) Terra Roxa Estruturada;
- 4) Laterita Hidromórfica;
- 5) Solos Hidromórficos Gleyzados;
- 6) Podzólico Hidromórfico;
- 7) Solos Halomórficos;
- 8) Podzólico Vermelho-Amarelo;
- 9) Solos Aluviais;
- 10) Solos Litólicos;
- 11) Solos concrecionários lateríticos;
- 12) Solos Areno-quartzosos profundos;
- 13) Afloramento rochoso.

O Mapa de Aptidão Agrícola, confeccionado com base no anterior, consistiu na interpretação para uso agrícola, a partir da análise dos graus de limitações que condicionavam o uso das terras para aquele fim, como: deficiência de fertilidade, susceptibilidade à erosão, deficiências ou excesso de água e impedimentos à mecanização. Desse modo, as terras foram classificadas em dois sistemas de manejo, que podem ser visualizados no mapa da figura 51, com as modificações necessárias para ser empregadas em toda a área do Projeto. São eles:

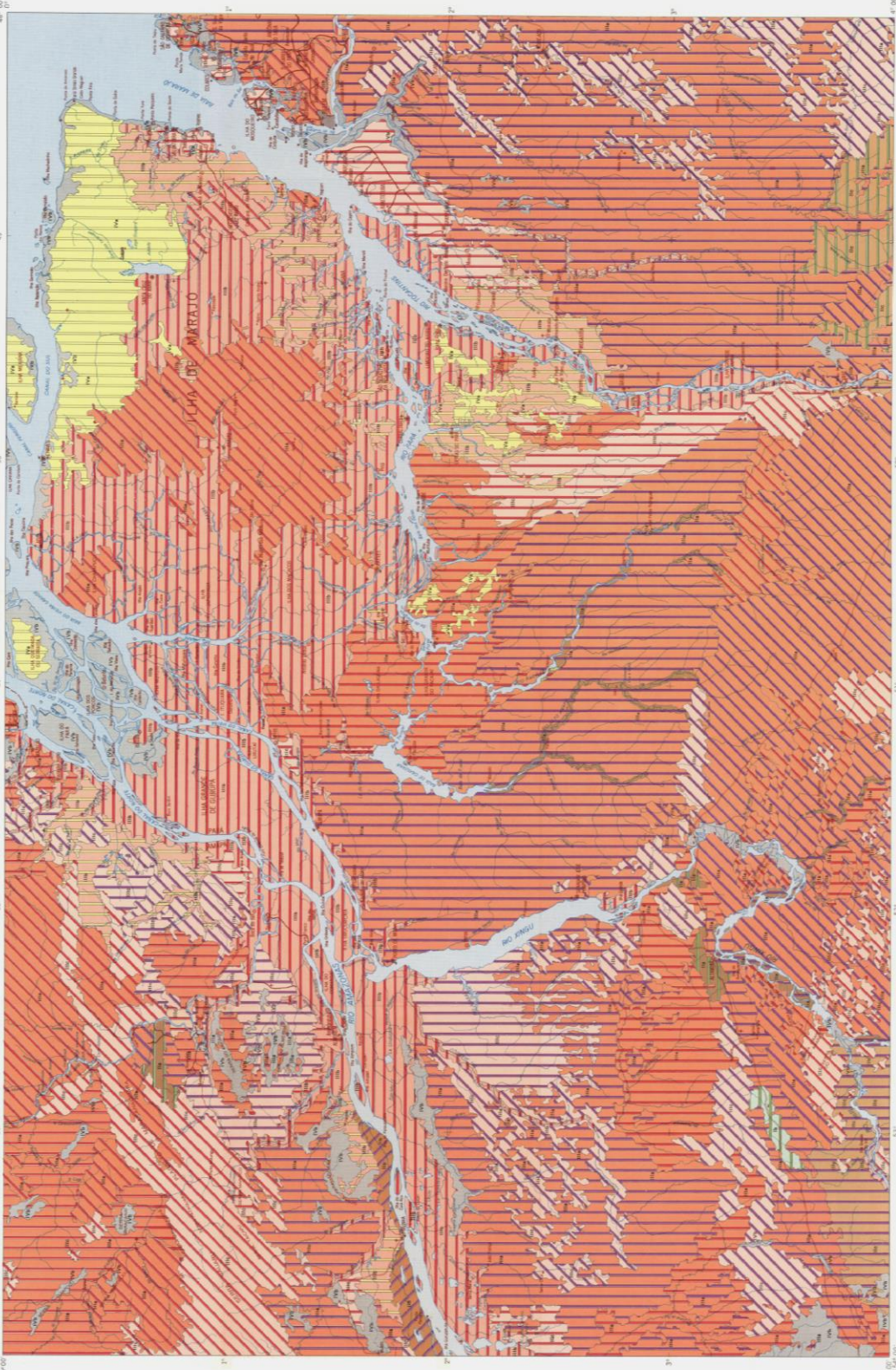
a) **Sistema Primitivo de agricultura**, bastante disseminado na região e que foi utilizado por pessoas sem capital, baixo nível técnico e com práticas tradicionais de manejo; e

b) **Sistema Desenvolvido de agricultura**, com grandes perspectivas de utilização a curto prazo e caracterizado por um nível técnico aceitável, possibilidades de orientação e assistência técnica e capital médio suficiente para superar determinadas limitações do solo.



a) 50- Mapa Exploratório de Solo
Fonte: RADAM, 1974.

MAPA DE ATIVIDADE AGRICOLA DOS SOLOS



LEGENDA
SISTEMA DE MANEJO PRIMITIVO

- 101 - Área com colheita de 100-150% (Mapa para colheita de 100% e 150%)
- 102 - Área com colheita de 150-200% (Mapa para colheita de 150% e 200%)
- 103 - Área com colheita de 200-250% (Mapa para colheita de 200% e 250%)
- 104 - Área com colheita de 250-300% (Mapa para colheita de 250% e 300%)
- 105 - Área com colheita de 300-350% (Mapa para colheita de 300% e 350%)
- 106 - Área com colheita de 350-400% (Mapa para colheita de 350% e 400%)
- 107 - Área com colheita de 400-450% (Mapa para colheita de 400% e 450%)
- 108 - Área com colheita de 450-500% (Mapa para colheita de 450% e 500%)
- 109 - Área com colheita de 500-550% (Mapa para colheita de 500% e 550%)
- 110 - Área com colheita de 550-600% (Mapa para colheita de 550% e 600%)
- 111 - Área com colheita de 600-650% (Mapa para colheita de 600% e 650%)
- 112 - Área com colheita de 650-700% (Mapa para colheita de 650% e 700%)
- 113 - Área com colheita de 700-750% (Mapa para colheita de 700% e 750%)
- 114 - Área com colheita de 750-800% (Mapa para colheita de 750% e 800%)
- 115 - Área com colheita de 800-850% (Mapa para colheita de 800% e 850%)
- 116 - Área com colheita de 850-900% (Mapa para colheita de 850% e 900%)
- 117 - Área com colheita de 900-950% (Mapa para colheita de 900% e 950%)
- 118 - Área com colheita de 950-1000% (Mapa para colheita de 950% e 1000%)

SISTEMA DE MANEJO DESENVOLVIDO
SEM INUNDACAO

- 201 - Área com colheita de 100-150% (Mapa para colheita de 100% e 150%)
- 202 - Área com colheita de 150-200% (Mapa para colheita de 150% e 200%)
- 203 - Área com colheita de 200-250% (Mapa para colheita de 200% e 250%)
- 204 - Área com colheita de 250-300% (Mapa para colheita de 250% e 300%)
- 205 - Área com colheita de 300-350% (Mapa para colheita de 300% e 350%)
- 206 - Área com colheita de 350-400% (Mapa para colheita de 350% e 400%)
- 207 - Área com colheita de 400-450% (Mapa para colheita de 400% e 450%)
- 208 - Área com colheita de 450-500% (Mapa para colheita de 450% e 500%)
- 209 - Área com colheita de 500-550% (Mapa para colheita de 500% e 550%)
- 210 - Área com colheita de 550-600% (Mapa para colheita de 550% e 600%)
- 211 - Área com colheita de 600-650% (Mapa para colheita de 600% e 650%)
- 212 - Área com colheita de 650-700% (Mapa para colheita de 650% e 700%)
- 213 - Área com colheita de 700-750% (Mapa para colheita de 700% e 750%)
- 214 - Área com colheita de 750-800% (Mapa para colheita de 750% e 800%)
- 215 - Área com colheita de 800-850% (Mapa para colheita de 800% e 850%)
- 216 - Área com colheita de 850-900% (Mapa para colheita de 850% e 900%)
- 217 - Área com colheita de 900-950% (Mapa para colheita de 900% e 950%)
- 218 - Área com colheita de 950-1000% (Mapa para colheita de 950% e 1000%)

Mapa elaborado com base no levantamento de Mapeamento do Solo para o Projeto de Irrigação 1971-1973
Coordenação Geral: DR. JOSE AMARAL DE SOUZA
Elaboração: DR. JOSE AMARAL DE SOUZA

FOLHAS NA ESCALA 1:250.000

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| SA. 01 | SA. 02 | SA. 03 | SA. 04 | SA. 05 | SA. 06 | SA. 07 | SA. 08 | SA. 09 | SA. 10 | SA. 11 | SA. 12 | SA. 13 | SA. 14 | SA. 15 | SA. 16 | SA. 17 | SA. 18 | SA. 19 | SA. 20 | SA. 21 | SA. 22 | SA. 23 | SA. 24 | SA. 25 | SA. 26 | SA. 27 | SA. 28 | SA. 29 | SA. 30 | SA. 31 | SA. 32 | SA. 33 | SA. 34 | SA. 35 | SA. 36 | SA. 37 | SA. 38 | SA. 39 | SA. 40 | SA. 41 | SA. 42 | SA. 43 | SA. 44 | SA. 45 | SA. 46 | SA. 47 | SA. 48 | SA. 49 | SA. 50 | SA. 51 | SA. 52 | SA. 53 | SA. 54 | SA. 55 | SA. 56 | SA. 57 | SA. 58 | SA. 59 | SA. 60 | SA. 61 | SA. 62 | SA. 63 | SA. 64 | SA. 65 | SA. 66 | SA. 67 | SA. 68 | SA. 69 | SA. 70 | SA. 71 | SA. 72 | SA. 73 | SA. 74 | SA. 75 | SA. 76 | SA. 77 | SA. 78 | SA. 79 | SA. 80 | SA. 81 | SA. 82 | SA. 83 | SA. 84 | SA. 85 | SA. 86 | SA. 87 | SA. 88 | SA. 89 | SA. 90 | SA. 91 | SA. 92 | SA. 93 | SA. 94 | SA. 95 | SA. 96 | SA. 97 | SA. 98 | SA. 99 | SA. 100 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|

PROJETO RADAM

ESCALA 1:1.000.000

1974

MAPA REALIZADO PELO DNPM PARA O PROGRAMA DE INTEGRACAO NACIONAL



Este projeto executado no Departamento de Cartografia - F.O.C. do Projeto RADAM, mediante integração de recursos administrativos de origem rural, tem finalidade de estabelecer a base cartográfica para o planejamento e a execução de obras de irrigação e drenagem.

Projeto de Integração Nacional

- Cidades
- Assentamentos planejados
- Vias
- Drenagem planejada
- Pontes, túneis
- Rios, canais
- Pontos de controle
- Pontos de passagem
- Pontos de apoio

Mapa elaborado com base no levantamento de Mapeamento do Solo para o Projeto de Irrigação 1971-1973
Coordenação Geral: DR. JOSE AMARAL DE SOUZA
Elaboração: DR. JOSE AMARAL DE SOUZA

4.1.4- VEGETAÇÃO

Sobre a vegetação foi realizado o inventário madeireiro da área, baseado na descrição minuciosa das fisionomias ecológicas encontradas: Cerrado, Formações Pioneiras, Floresta Aberta, Floresta Densa e Floresta Secundária.

Com base na reinterpretação das imagens radar e nas características morfológicas do levantamento fitofisionômico, a área foi dividida em regiões fitoecológicas, conforme pode ser observado no mapa da figura 52 onde é possível visualizar ainda os principais Bioclimas além de sua distribuição espacial ao longo da folha.

Os bioclimas foram definidos com base em dados meteorológicos das estações de Belém, Breves, Porto de Moz, Soure, Tomé-açu, Marabá e Altamira, partindo da classificação dos climas pelos métodos das Curvas Ombrotérmicas de Gaussen e do levantamento fitoecológico da vegetação. Assim, a folha SA.22 apresenta climas térmicos, que incluem:

- *Clima xeroquimênico*: clima tropical de monção caracterizado por um período seco na estação menos quente (inverno) e por um período úmido bem acentuado, marcado por chuvas torrenciais, na estação quente (verão);
- *Clima xeroquimênico em transição para o xerotérico*: clima tropical de monção, caracterizado por um período seco na primavera e por um período úmido bem acentuado e nitidamente marcado por chuvas torrenciais no fim do verão;
- *Clima termaxérico*: é um clima equatorial, com temperatura do mês mais frio de 20°C, e com chuvas influenciadas por duas frentes amazônicas que determinam a falta do período seco. Apresenta um período quente quase contínuo com estações do ano pouco marcadas ou mesmo inexistentes.

É importante ressaltar que o estudo da vegetação também abordou questões econômicas como o potencial madeireiro da área, através de inventários florestais realizados segundo um posicionamento ecológico, conforme descrito no relatório.

4.1.5- USO POTENCIAL DA TERRA

A seção final intitulada Uso Potencial da Terra, produzida a partir das informações geradas na outras seções, apresenta uma análise da aptidão econômica da área, além das possíveis mudanças que a implantação de determinadas atividades causariam na região. Desse modo, o mapa gerado (fig.53) é um pouco mais complexo que os demais por apresentar na legenda, intitulada Avaliação Média da Capacidade Natural do Uso da Terra, as atividades que foram consideradas (exploração madeireira, lavoura e criação de gado em pasto plantado, extrativismo vegetal e criação de gado em pastos naturais) e sua classificação em Alta, Média, Baixa, Muito Baixa e Não Significante-, os fatores impeditivos à realização dessas atividades (solo, clima, relevo e vegetação), além de identificadas áreas destinadas a proteção ambiental, com destaque às Reservas Biológicas e as de Preservação Permanente, visando a proteção da floresta densa, quando em relevo dissecado. Neste mapa são indicadas também áreas potenciais à exploração mineral com ocorrências comprovadas.

A avaliação das condições que resultaram na interação dos fatores solo, clima, relevo e vegetação, permitiu a identificação de quarenta e cinco combinações de classes de atividades, conforme apresentadas no mapa. Assim, foi possível afirmar que:

- o maior potencial da área está representado pelos recursos florestais, devido à ocorrência da Floresta Densa em quase toda área mapeada;
- em quase toda folha é viável a implantação da Lavoura e Criação de Gado em Pasto Plantado, com algumas exceções, onde se apresentam nas classes Baixa e Muito Baixa;

- apesar de pequena distribuição espacial, a Criação de Gado em Pastos Naturais, pode ocorrer em duas classes: Alta e Muito Baixa, predominando, entretanto, a primeira;
- áreas com elevado potencial à Exploração madeireira e de grande expressão espacial, têm condições de solos que desprotegido de sua cobertura vegetal e exposto às chuvas de grande intensidade, exigem um cuidado especial, frente a sua vulnerabilidade, à lixiviação e a erosão. O que justificou a classificação dessas áreas como de Utilização Condicionada a Estudos Específicos. Por outras razões essa proposição foi estendida as áreas de elevado potencial madeireiro, estando nesse caso aquelas onde a topografia é fator limitante a uma agricultura rentável e ainda lugares em que o regime de inundação, diária ou anual, conduz a problemas de drenagem de difícil correção.
- a relativa homogeneidade do relevo, particularmente onde domina a topografia plana a suave ondulada, restringiu-se as áreas de Proteção ao Ecossistema por Imposição Legal;
- Com base no potencial madeireiro foi proposto a implantação da Floresta Nacional do Bacajá-Itacaiúnas que se estende da Folha SB.22 Araguaia para a área estudada;
- a implantação de duas Reservas Biológicas em áreas campestres: uma a sul-sudeste de Cametá, nos campos de Anauerá e outro no interflúvio Tocantins-Moju, a nordeste de Mocajuba.

A partir desse levantamento a área da Folha SA.22 Belém foi caracterizada como bastante promissora para alavancar o desenvolvimento econômico da região, sobretudo por contar com uma densa rede hidográfica navegável, aliada à implantação de rodovias federais, quando necessárias.

5. IMPORTÂNCIA DO PROJETO RADAM: CONTRIBUIÇÃO E TENDÊNCIAS NO PROCESSO DE GERAÇÃO DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO BRASIL E NA AMAZÔNIA

5.1-PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO RADAM

Diante da magnitude e das informações geradas, o RADAM desempenhou um importante papel técnico-científico no país. A possibilidade de conhecer territórios jamais estudados, bem como seu potencial por meio de produtos cartográficos abriu um leque de possibilidades a sociedade como um todo, apesar da instalação do projeto ter sido motivada, principalmente, por interesses econômicos.

O RADAM constitui a principal fonte de informações da região amazônica, que ainda necessita de mapas com maior nível de detalhamento para estudos específicos, como por exemplo, nas escalas 1:50.000 e 1:100.000. Tanto que essas informações vêm sendo constantemente atualizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), no âmbito do Projeto Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais.

A atuação do projeto no território brasileiro representa até hoje um esforço técnico sem precedentes e não superado nos aspectos humanos, financeiros, operacionais, entre outras, mesmo não tendo dado continuidade ao programa de mapeamento. Tal importância pode ser mensurada a partir da descrição das principais contribuições do RADAM ao longo de 13 anos de levantamento, que teve a imagem de radar como suporte básico de mapeamento. Para isso é apresentado a seguir um breve relato de algumas realizações do projeto por sessão temática:

a) Vegetação:

Os estudos de vegetação efetuados pelo Projeto RADAM permitiram um conhecimento global dos recursos vegetais do País. Possibilitando, através da interpretação dos dados

fornecidos pelos sensores remotos e pelos demais instrumentos, a primeira tentativa de uniformização da nomenclatura fitogeográfica brasileira, pela adoção de um sistema de classificação fisionômico-ecológico da vegetação Neotropical, além da definição do potencial econômico da cobertura vegetal.

Dentre os principais resultados alcançados pela divisão de vegetação, destacaram-se:

i) A elaboração de mapas de vegetação de todo território brasileiro na escala 1:1.000.000, contendo a distribuição das regiões fitogeográficas (formações e subformações), diferenciação dos aspectos estruturais e florísticos da vegetação e mapa fitoclimático (relação vegetação/clima);

ii) Elaboração de relatório por folha 1:1.000.000 com a avaliação do potencial madeireiro dos diferentes tipos florestais, avaliação do potencial de fitomassa parcial das áreas cobertas pela vegetação de savana (Cerrado), recomendações e sugestões de uso conservacionistas dos recursos naturais renováveis e um estudo das relações entre os gradientes ecológicos fundamentais (litológicos, morfológicos e climáticos) com a vegetação.

No que se refere ao setor florestal, as informações geradas pelo RADAM foram substanciais no:

- estudo das formações florestais de todo o Brasil, sua estrutura, composição florística e zonação geobotânica;

- na constituição de um herbário contendo 30.000 plantas catalogadas e identificadas por gênero e espécie;

- na realização de inventário florestal para determinação do potencial madeireiro definindo os volumes por hectare e por espécie; a viabilidade para exploração da madeira com a cotação dos produtos nos mercados interno e externo, acompanhados da listagem de uso por espécie (tab. 03);

Tabela 03- Potencialidade madeireira da floresta amazônica

| Regiões | Área (ha) | Volume (m³) | | Volume Comercializável (m³ x 10 ⁹) | | Valores (US\$) (x 10 ⁹) | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|----------------------------|--|-----------------|-------------------------------------|-----------------|----------|
| | | Médio (ha) | Total (x 10 ⁹) | Mercado Externo | Mercado Interno | Mercado Externo | Mercado Interno | Total |
| Floresta Ombrófila Densa | 187.125.500 | 120 | 22,455 | 2,245 | 4,490 | 516,35 | 449,0 | 963,35 |
| Floresta Ombrófila Aberta | 105.998.100 | 95 | 10,070 | 1,007 | 2,014 | 231,61 | 201,4 | 433,01 |
| Total | 293.123.600 | – | 32,525 | 3,252 | 6,504 | 747,96 | 650,4 | 1.398,36 |

Fonte: Adaptado de MME, 1984.

- na definição dos recursos madeireiros e extrativistas exploráveis, com indicação de áreas aptas à exploração econômica;
- Indicação de áreas para estudos e experimentações;
- definição de fitoclimas, fundamentais ao planejamento do uso e recuperação de áreas naturais;
- levantamento da fitomassa lenhosa em áreas de savana;
- Indicação de áreas propícias à implantação de pólos produtores de carvão vegetal e madeireiro.

b) Pedologia:

O levantamento de solo realizado pelo Projeto representou e representa até os dias atuais a fonte principal de informação sobre o solo, em escala regional, capaz de expressar a realidade amazônica, já que os dados que se tinham até a instalação do RADAM eram baseados em estimativas, por correlações ou extrapolações. Constituindo, portanto, o resultado mais relevante do trabalho desenvolvido no âmbito do projeto ao permitir o reconhecimento do verdadeiro potencial do solo na área em questão. A Divisão de solos coube ainda a execução do mapeamento

dos solos e a consequente avaliação da aptidão agrícola das terras, identificando e delimitando a principal restrição ao uso agrícola, proporcionando com isso, fundamentos essenciais à tomada de decisão no que ta

Tabela 04- Potencialidade dos solos

| Fertilidade | Carac. Física | Topografia | Limitações | Áreas em Km ² | | | Total |
|--|---------------|--------------------------------|---|--------------------------|---------|-----------|------------------|
| | | | | AM | NE | SUL/SE/CO | |
| Média a Alta | Boas | Plana e suave | | 330.595 | 101.339 | 174.154 | 606.088 7% |
| Média a Alta | Regulares | Plana e suave | Riscos de inundações e imped. de drenagem | 219.332 | 7.050 | 42.252 | 268.634 3% |
| Baixa | Boas | Plana e suave | Fertilidade e excesso de Alumínio | 1.890.386 | 325.229 | 940.088 | 3.155.703 38% |
| Média a Alta | Regulares | Plana a ondulada | Relevo, profundidade, textura grosseira, argila de atividade alta | 161.594 | 150.638 | 135.484 | 447.716 5% |
| Média a Alta | Boas | Fortemente ondulada | Relevo | 53.485 | 57.660 | 60.071 | 171.216 2% |
| Baixa | Regulares | Ondulada a fortemente ondulada | Relevo, características físicas | 398.000 | 32.787 | 503.937 | 934.724 11% |
| Baixa | Desfavoráveis | Plana e suave | Excesso de sódio trocável | 19.000 | 112.018 | 49.460 | 180.478 2% |
| Áreas desaconselháveis à utilização agrícola | | | | 2.049.544 | 255.529 | 442.368 | 2.747.441 32% |

Fonte: Adaptado de MME, 1984.

c) Geomorfologia:

O mapeamento geomorfológico executado durante a vigência do Projeto RADAM teve um papel singular no Brasil e no mundo, pois foi o único mapeamento, em escala regional, destinado a servir de base ao planejamento integrado. Antes da implantação do projeto os conhecimentos geomorfológicos sobre o país limitavam-se aos trabalhos realizados por alguns

especialistas nacionais e estrangeiros e às pesquisas acadêmicas esparsas, abrangendo pequenas áreas, mapeadas nas escalas 1:25.000 e 1:50.000, escalas locais.

Com base nesse mapeamento foi possível implementar determinadas atividades, tanto de ordem econômica quanto infra-estruturais, dentre elas: a indicação de faixas favoráveis ao lançamento de linhas de transmissão de energia elétrica, seleção de sítios com morfologia propícia à instalação e/ou ampliação de instalações portuárias, definição de áreas favoráveis à implantação ou ampliação de atividade turística, estudos de áreas sujeitas a enchentes crônicas, indicação de sítios favoráveis à instalação de portos fluviais, reconhecimento de feições favoráveis a existência de minérios, como Ouro, Diamante e Cassiterita, além de estudos relacionados a condicionantes geomorfológicas para a ocupação das várzeas amazônicas.

O reconhecimento das formas de relevo e suas características morfodinâmicas empreendido pelo RADAM nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul propiciou revelações importantes, fornecendo através do mapa de Avaliação do Relevo, subsídios valiosos aos estudos dos solos, do uso da terra e classificando os tipos de relevo em categorias restritivas e favoráveis a ocupação.

d) Cartografia

O setor de Cartografia do Projeto RADAM transformou as imagens de radar em Cartas Planimétricas e Cartas Imagens de Radar, refletindo uma nova concepção de mapeamento, cuja contribuição foi de grande relevância à cartografia nacional, pois em termos de cartografia básica contenha o levantamento planimétrico de todo território nacional, atualizado, uniforme e em escala homogênea.

Para a execução das Cartas Imagens de Radar, no sistema UTM da Projeção Conforme de Gauss, inéditas no campo cartográfico, utilizou-se a imagem de radar na escala 1:250.000, associada a dados de planimetria e hidrografia.

A partir desse levantamento, foram elaboradas as bases geográficas, na escala 1:1.000.000 na projeção Cônica Conforme de Lambert para a confecção das informações temáticas. Esse mapeamento propiciou a obtenção dos seguintes benefícios:

- apoio para diversos mapeamentos executados por órgãos em geral;
- apoio aos estudos para elaboração de projetos de rodovias, ferrovias, linhas de transmissão, implantação de projetos Fundiários e outros;
- contribuição ao mapeamento aeronáutico da Amazônia, elaborado pelo Ministério da Aeronáutica, na escala 1:1.000.000;
- contribuição relevante à orientação dos pilotos nos vôos visuais, informando sobre rios, cidades, vilas, povoados, campos de pouso e caracterização de relevo;
- contribuição com a Divisão de Fomento do Departamento Nacional da Produção Mineral, para controlar os pedidos de pesquisa e lavra mineral, através dos produtos cartográficos obtidos pelo projeto;
- dotação da Amazônia de um suporte a realizações cartográficas, permitindo o melhor conhecimento do sistema de drenagem, coletando geônimos daquela região, especialmente, no aspecto hidrográfico;
- primeiro mapeamento em escala homogênea, transformando o imenso vazio cartográfico da Amazônia, em uma região privilegiada em termos de mapeamento contínuo na escala 1:250.000;

- contribuição à delimitação de parques e reservas indígenas, identificando o habitat natural desses povos;
- melhor definição das fronteiras, viabilizando o estabelecimento dos reais divisores de água nas linhas fronteiriças;
- atualização de cartas existentes, através de bases cartográficas em escala compatível com o mapeamento sistemático do Brasil;
- apoio relevante aos órgãos de planejamento e execução dos Governos Estaduais e Municipais.

e) Geologia

O mapeamento geológico contribuiu de forma decisiva ao amplo conhecimento geológico do território brasileiro, alcançando resultados surpreendentes mesmo em áreas anteriormente bem conhecidas. Além disso, o RADAM ampliou as perspectivas do Setor Mineral Brasileiro, quer através das descobertas de novas jazidas, quer e, principalmente, através do melhor conhecimento e expansão dos limites de áreas mineralizadas.

Essa Divisão teve como principais atribuições:

- a elaboração de mapas geológicos na escala 1:1.000.000, com base em interpretação de imagens de radar, conforme já citado, e extensivos trabalhos de campo e laboratório. Estes mapas mostram os principais tipos de rochas, reunindo-as em formações ou grupos, com definição de suas relações genéticas, temporais e estruturais, servem de base a qualquer programa de exploração mineral, sendo utilizado, também, como documento principal para estudos de solo, relevo e projetos.

- cadastramento de minas, jazidas, ocorrências e indício de minerais úteis ao homem, procurando seus tipos morfológicos, genéticos e sua localização;

- cadastramento dos jazigos fossilíferos do país, indicando entre estes, aqueles de necessária preservação e proteção.

Na região Nordeste em virtude da demanda e dos problemas enfrentados pela escassez de água foi realizado ainda mapas de Potencial de Recursos Hídricos, os quais demonstram a qualidade e distribuição sazonal da disponibilidade das águas subterrâneas e superficiais, material de grande relevância ao planejamento de ações que tenham o elemento água como foco principal.

f) Uso Potencial da Terra

Através dos relatórios produzidos pelo Setor Uso Potencial da Terra foi possível avaliar qualitativa e quantitativamente as potencialidades do solo em termos econômicos, identificando usos e formas de manejo, contribuindo, assim, em escala regional, para seleção de áreas merecedoras de estudos detalhados e ao investimento de capitais por parte do setor privado.

Na região amazônica esse tema foi abordado nos relatórios em três partes, a saber:

- 1) Capacidade Natural Média do Uso da Terra:** utilizando as informações decorrentes dos demais estudo sobre solos, clima, vegetação, relevo e geologia, elaborou-se um documento síntese que avaliou a capacidade do solo;

- 2) Diagnóstico Sócio-Econômico:** estudo desenvolvido em nível municipal abarcou todos os setores econômico-sociais;

3) Subsídios ao Planejamento Regional: nesta parte foram enfocados alguns aspectos regionais e indicadas as melhores áreas para a implantação de empresas. Além disso, este trabalho revelou, para cada área selecionada, dados sobre possibilidades ecológicas de determinadas culturas, bem seus correspondentes custos e receitas aproximados por hectare.

Para as outras regiões foi produzido o mapa de capacidade de uso, de caráter inédito no país, cuja finalidade foi a definição de áreas que poderiam ser consideradas homogêneas sob o ponto de vista de sua capacidade de produção.

g) Publicações:

No âmbito das publicações o Projeto RADAM desenvolveu um modelo integrado do Levantamento de Recursos Naturais, primeiro com a produção de relatórios técnicos envolvendo cinco áreas específicas, cada uma constituindo um capítulo com os seus respectivos mapas temáticos. E segundo, com a criação de padrões de publicação dentro da Cartografia Temática, sempre em conjunto com cada Divisão específica, conforme relatado a seguir:

a) No âmbito da Geologia, procedeu-se ao desenvolvimento de uma tabela geral de cores para representação gráfica das unidades geológicas, dentro de um nível de detalhamento compatível com a escala 1:1.000.000, abrangendo todo o território brasileiro, definindo uma solução cromática para os 38 volumes da série LRN, obedecendo a uma escala cromática consagrada internacionalmente, que se correlacionava de forma direta com a escala temporal geológica. Foi estabelecido um quadro de convenções geológicas de uma forma mais abrangente, de acordo com o grau de detalhe do mapeamento do projeto apoiado na relação já existiu no manual do DNPM durante esse período. Foram citados modelos de representação em cores e uma simbologia apropriada para publicação dos mapas de potencial dos Recursos Hídricos e Metalogénicos

Previsional na escala 1:1.000.000. A solução gráfica de publicação destes dois mapas foi elaborada dentro de uma concepção técnica sempre voltada à economia de custos.

b) No campo da Geomorfologia criou-se um sistema de representação voltado a transmissão das informações do relevo a partir de uma hierarquia cromática apropriada. Para tanto, foi fixado um quadro geral de convenções lineares e puntiformes para todo o país.

c) No que tange a vegetação foi desenvolvido um modelo gráfico de representação envolvendo praticamente a junção de dois mapas em um só, configurando-se a solução de um por meio de cores e do outro com a criação de um sistema de convenções com 57 elementos para representar a cobertura vegetal.

d) Na área de solos desenvolveu-se uma tabela de cores geral para todo o Brasil, aplicada ao Mapa Exploratório, tomando com base uma tabela já existente do Ministério da Agricultura, ampliando sua quantidade para um total de 88 cores representativas das unidades de solo. Foi criado ainda um modelo de publicação para os mapas de Aptidão Agrícola, utilizado somente na área da Amazônia, envolvendo a representação de dois a três sistemas de manejo num único mapa.

e) Para o Mapa de Uso Potencial da Terra foi estabelecido um sistema de representação a cores, associado a um modelo matemático de quantificação das unidades mapeadas no caso da Amazônia. Para as demais regiões foi desenvolvida outras soluções gráficas, baseadas na classificação cromática vinculadas às classes do clima, relevo e solo.

Através da descrição das principais contribuições empreendidas pelo RADAM, pode-se observar o caráter sistêmico que envolveu sua execução e seu *modus operandi*, que baseado em uma concepção integrada de análise dos recursos naturais, promoveu mudanças significativas no

processo de levantamento de informações por meio de sensores remotos no país, que foi para além das etapas de coleta e tratamento dos dados ao apresentar uma preocupação no que se refere a disseminação e transferência do material obtido, o que exigiu a criação de um sistema interativo de informações, já que além dos relatórios, mapas e imagens de radar, o RADAM produziu:

- 3.300 folhas na escala 1:250.000 correspondentes aos temas mapeados;
- 20.000 pontos amostrados com dados geológicos, pedológicos, de vegetação, entre outros;
- 50.000 pontos geoambientais observados em campo;
- 5.000 cardenetas de campo com observações temáticas multidisciplinares;
- 4.785 unidades, entre fotolitos, fotoplásticos, negativo e máscaras, correspondentes aos mapas temáticos dos volumes 1 ao 28;
- 2.401 fotolitos de cartas planimétricas;
- 100.000 bibliografias consultadas e citadas.

Desse modo, tornou-se imperativo a necessidade de organizar o numeroso acervo. Optou-se por um sistema gráfico interativo com estrutura de banco de dados associado, que foi desenvolvido pela INTEGRAPH, considerado, durante o período o maior da América Latina (MME, 1984).

5.2- A SISTEMATIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS NATURAIS

A partir da década de 90, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), iniciou o projeto intitulado Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais, sendo este

realizado pela Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais do Rio de Janeiro e pelas Gerências de Recursos Naturais e Estudos Ambientais das Unidades Estaduais do IBGE nos Estados do Pará, Bahia, Goiás e Santa Catarina, no âmbito da Diretoria de Geociências do órgão em questão (IBGE, 2002). O projeto teve como meta atualizar as informações de recursos naturais produzidas pelo RADAM no período entre 1972 a 1986.

Segundo FERNANDES e BRAGA (2005), para o alcance dos objetivos propostos pelo Projeto Sistematização foi realizado inicialmente a compatibilização das metodologias de mapeamento com base nos Manuais Técnicos de Geociências, visando homogeneizar as metodologias de mapeamento dos temas, que muito evoluíram ao longo dos anos de trabalhos do Projeto RADAM e RADAMBRASIL. A partir disso, procedeu-se a atualização periódica do material disponível.

Em 1997 foi firmado um convênio entre o IBGE e a coordenação do Projeto SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia), visando a atualização e disponibilização de um amplo banco de dados geoespacial da Amazônia Legal, contendo informações de Cartografia, Geologia, Geomorfologia, Solo, Vegetação, Socioeconômica, Biodiversidade, Pluviometria e Fluviometria (IBGE, 2002).

Devido a complexidade que envolveu a execução do projeto, tornou-se necessário a criação de uma estrutura operacional fragmentada, visando suprir os requisitos para seu desenvolvimento. Desta forma, a área da Amazônia foi dividida em seis blocos (fig.54), o que facilitou não apenas a carga do banco de dados, mas também a execução do cronograma estabelecido pelo contrato. Assim, em 2004 a sistematização foi finalizada, resultando em 305 cartas imagens com o nível de detalhamento compatível com escala 1:250.000 (IBGE, 2002; VARGAS & LOCH, 2005; TEMPONI e SANTOS, 2004).

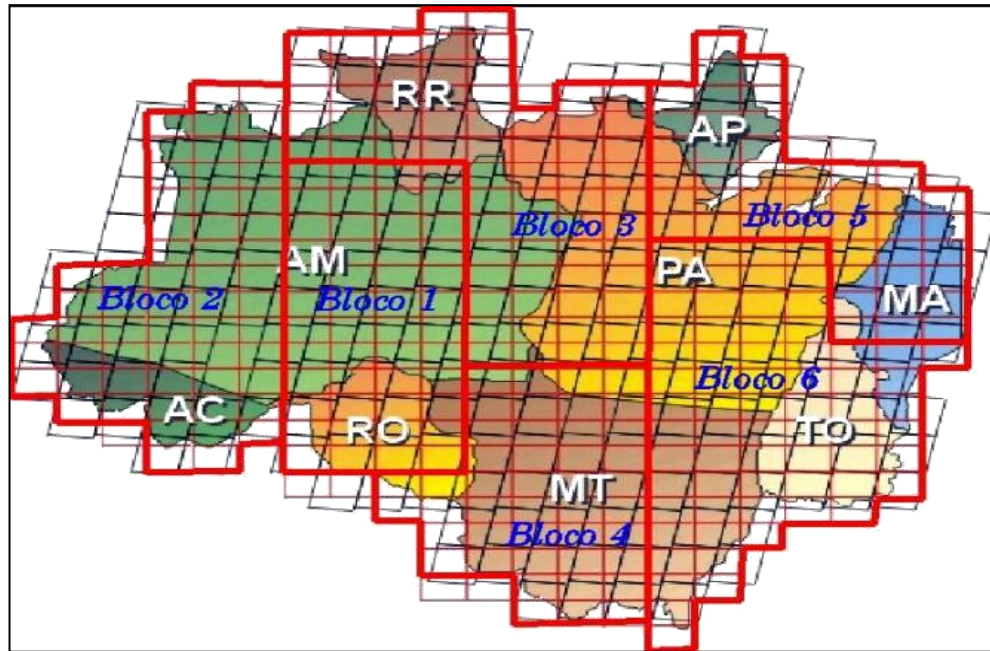


Figura 54- Divisão da Amazônia Legal em blocos

A elaboração das cartas imagens foi desenvolvida na Diretoria de Geociências de forma descentralizada, com a participação do Departamento de Cartografia, das Divisões de Geociências e supervisionado pelo Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, compreendendo as seguintes fases: escolha das cenas, registro, mosaico e corte, e transformação da projeção de UTM (*Universal Transverse de Mercator*) para a Equivalente de Albers, que ao contrário da primeira permite a visão integral da Amazônia Legal (IBGE, 2002).

Dentre as principais motivações à realização do projeto Sistematização na região amazônica, o IBGE (2002) destacou os seguintes fatores:

- Lacunas existentes em algumas áreas de conhecimento;

- Desatualização de parte do material existente;
- Dispersão das informações nas diversas instituições públicas e privadas com atuação na área;
- Multiplicidade de escalas;
- Formatos e mecanismos de divulgação adotados e,
- Adoção de diferentes referenciais teórico-conceituais no trato da problemática regional e das questões temáticas.

No desenvolvimento do trabalho foram utilizadas informações atuais provenientes de levantamento de campo, imagens de satélite (229 Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM+) e de radares (18 cenas do Radarsat). Foram usados ainda dados sócio-econômicos produzidos no Censo do IBGE (Censo Demográfico de 1991, a Contagem Populacional de 1996 e o Censo Agropecuário de 1995-96), além de informações sobre biodiversidade, pluviometria e fluviometria, sendo essas últimas provenientes de outras instituições, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). De forma resumida, as etapas do trabalho consistiram em:

- Levantamento das informações existentes no IBGE e em outras Instituições;
- Análise e incorporação das informações, inclusive oriundas de imagens de satélites;
- Recuperação e tratamento de dados socioeconômicos;
- Verificação de campo das informações;
- Conversão de material para meio digital;
- Estruturação para uso em ambiente de sistemas de informações geográficas;
- Auditoria e controle de qualidade;
- Transferência das informações para o ambiente SIVAM.

Entre as instituições consultadas na etapa de levantamento de informações, priorizou-se à aquelas com forte atuação na região como: a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG), a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM); a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM); o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), além das Secretarias Estaduais de Planejamento e Meio Ambiente, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), a Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), entre outras.

A sistematização entre outras realizações possibilitou o reconhecimento de novas formações ou feições, através do uso de imagens ópticas, principalmente, já que as imagens de radar que são em escala de cinza, não permitem a plena discriminação dos elementos na superfície imageada, ao contrário das primeiras, que proporcionam uma visão bem mais detalhada do espaço geográfico, porém a atualização limitou-se apenas a confecção de mapas não sendo produzidos relatórios técnicos como os LRN's (Relatório de Levantamento de Recursos Naturais) do Projeto RADAM. No Anexo I é possível observar um mapa resultante deste trabalho, a título de exemplificação.

No que se refere a vegetação, a atualização foi realizada a partir das cartas imagens de apoio temático, que possibilitaram melhor identificação de formações e fisionomias devido a resposta espectral das imagens orbitais. Com base no mapeamento anterior e considerando os padrões de tonalidade, textura, relevo e drenagem, associadas as informações climáticas e verificação de campo, foi possível delinear os diferentes ambientes ecológicos que relacionam-se com as diversas tipologias da vegetação (fig. 55).

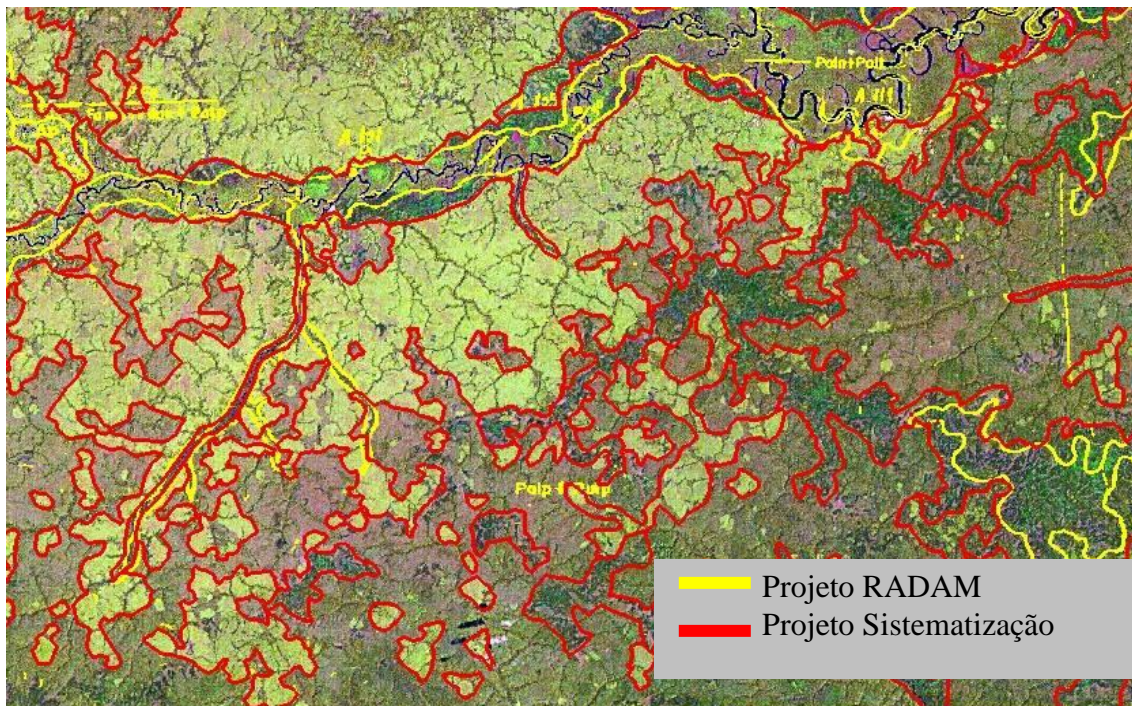


Figura 55- Atualização temática-

A atualização pedológica foi produzida a partir da interpretação das cartas imagens de apoio temático, associadas aos mosaicos semi-controlados de imagens de radar em meio digital, viabilizando a identificação de novas unidades de mapeamento, bem como um melhor delineamento das feições existentes. Esta nova base de informações foi compatibilizada com as informações adicionais coletadas, resultando num mapeamento preliminar, que necessitou de verificação de campo, gerando, assim um novo mapeamento de solos.

Do mesmo modo, atualizou-se as informações sobre a Geomorfologia da Amazônia, que foi sendo reavaliada e devidamente retocada com maior detalhamento para a produção dos mapas digitais. Em conjunto com o levantamento de campo obteve-se uma pesquisa geomorfológica acurada, mais próxima do estado atual da paisagem, levando assim, ao delineamento dos modelados e a redefinição dos Domínios Morfoestruturais, Regiões e Unidades Geomorfológicas.

No setor de Geologia, com o uso de cartas imagens de apoio temático, além de outras informações, juntamente com a adoção de conceitos modernos da tectônica de placas, foi possível caracterizar em um curto período de tempo o perfil tectonoestrutural e estratigráfico da Amazônia. Desta forma, diversas unidades geológicas já conhecidas foram reavaliadas e redefinidas, enquanto outras foram criadas. O melhor entendimento dos processos envolvidos quando da formação e das modificações a que foram submetidas, permitiu que fossem descortinadas novas perspectivas no tocante ao potencial de seus recursos minerais.

Os produtos da Sistematização (informações gráficas e não-gráficas) foram disponibilizados em formato *shapefile* (Projeto Arcview), os quais podem ser consultados através da página do IBGE na Internet (<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/sistematizacao>), onde é possível ainda baixar gratuitamente os dados já finalizados. Para cada tema há um arquivo compactado (zipado) do projeto, contendo a base cartográfica com um nível de detalhamento compatível com a escala 1:250.000, além de uma série de arquivos gráficos, como hidrografia, localidades, aeroportos, áreas especiais, sistema viário, limites políticos-administrativos, entre outros (FERNANDES e BRAGA, 2005). Trata-se, portanto, de uma gama diversificada de dados, conforme pode ser observado na tabela 05 que mostra o quantitativo de arquivos produzidos para a folha NA 19 Pico da Neblina, estruturados em banco de dados, visando sua utilização em

Sistemas de Informações Geográficas - SIG, permitindo, deste modo, o cruzamento dos temas e a geração de novos produtos que podem contribuir para estudos sobre o ordenamento territorial.

Tabela 05 - Quantificação por temas das informações gráficas e não-gráficas da Folha NA. 19 Pico da Neblina do Projeto Sistematização.

| Tema | Nº de Arquivos Gráficos | Nº de Campos nas Tabelas Gráficas | Nº de Arquivos não Gráficos | Nº de Campos nas Tabelas não Gráficas |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Vegetação | 2 | 60 | 14 | 132 |
| Solos | 2 | 618 | 12 | 640 |
| Geologia | 6 | 179 | 26 | 474 |
| Geomorfologia | 4 | 166 | 12 | 186 |
| Base de apoio temático | 17 | 111 | 0 | 0 |
| Total | 31 | 1134 | 64 | 1432 |

Fonte: BRAGA e FERNANDES, 2005.

5.3- TENDÊNCIAS ATUAIS NO PROCESSO DE GERAÇÃO DE INFORMAÇÕES NA AMAZÔNIA: OS PROJETOS SIVAM E SIPAM

Segundo MOURA FILHO (1997, p.25), demarcar e mapear, sempre foram a grande preocupação de todos os países quer na paz e, principalmente, na guerra, o que atribui a informação geográfica um caráter altamente estratégico, fundamental ao conjunto de práticas e ações voltadas ao controle do território.

Para BECKER (1988, p.1983), [...] *o território de um país é um patrimônio fixo da sociedade nacional, sua apropriação social em termos de conhecimento e de posse, constitui fonte de poder para os grupos sociais e para o Estado Nacional.*

Sabe-se, portanto, a importância do conhecimento das bases físicas e territoriais de um país, principalmente quando este possui dimensões continentais e áreas de imenso valor estratégico e de interesse mundial, como a Amazônia. Nesse sentido, a geração de informações geográficas deve ser um contínuo, acompanhando sempre o desenvolvimento tecnológico do setor, bem como mudanças as empreendidas por dinâmicas de ocupação e uso do solo.

No que se refere a Amazônia, a geração de informações geográficas segue na atualidade um novo contexto, marcado por uma concepção multisetorial que vai desde o mapeamento dos recursos naturais até o controle e gestão territorial. Trata-se do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), cuja proposta *é integrar informações e gerar conhecimento atualizado para a articulação, o planejamento e a coordenação de ações globais de governo na Amazônia Legal brasileira, visando a proteção, a inclusão social e o desenvolvimento sustentável da região* (SIPAM, 2007).

No âmbito desse projeto, está o SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia) que resumidamente pode ser entendido como uma rede de coleta e processamento de informações para o SIPAM. Foi concebido pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), em parceria com os Ministérios da Justiça e Aeronáutica.

O SIVAM apresenta como um dos principais objetivos, pelo menos em tese, compartilhar conhecimento entre os diversos órgãos que atuam na região, diminuindo com isso a repetição de esforços no que tange a produção de informações, além de subsidiar a gestão adequada dos recursos disponíveis no território em questão através do monitoramento de ações indiscriminadas, como de madeireiros, garimpeiros e narcotraficantes. Atua em parceria com o Instituto Nacional

de Pesquisas Espaciais (INPE), sobretudo na questão do desmatamento. Contando, ainda com uma infra-estrutura comum e integrada, destinada à aquisição e tratamento de dados e para a visualização e difusão de imagens, mapas, previsões e outras informações, sendo que esses instrumentais abarcam o sensoriamento remoto, a monitoração ambiental e meteorológica, a exploração de comunicações, a vigilância por radares, recursos computacionais e meios de telecomunicações (CCSIVAM, 2006).

Em termos de base física o SIVAM conta com três Centros Regionais de Vigilância (CRV), localizados em Belém, Manaus e Porto Velho, e um Centro de Coordenação Geral (CCG), em Brasília, além de vários Órgãos Remotos e sensores distribuídos por toda a Amazônia.

O Sistema operacional do projeto está organizado em cinco subsistemas, os quais são: aquisição de dados; tratamento e visualização de dados; telecomunicações; suporte de transmissão e auxílio à navegação aérea. O subsistema de Aquisição de Dados é composto por recursos técnicos que propiciam a obtenção de dados necessários à geração de informações atualizadas e confiáveis sobre a dinâmica territorial da área, e ainda das condições hídricas, meteorológicas e acompanhamento das comunicações clandestinas. Para tanto, dispõe dos seguintes recursos:

- Sensoriamento Remoto por satélite;
- Sensoriamento aéreo;
- Sensores meteorológicos;
- Plataforma de coleta de dados;
- Radiodeterminação;
- Rede de exploração de comunicação; e,
- Rede de detecção Radar.

O SIVAM utiliza imagens nas faixas do espectro visível, infravermelho e microondas, em alta e baixa resolução, que permitem a identificação e o mapeamento de incêndios florestais, por exemplo. Para aquisição dessas imagens utiliza-se uma aeronave do tipo R-99B (fig.56) da Força Aérea Brasileira (FAB), onde são acoplados os seguintes sensores:

- Radar de Abertura Sintética (SAR);
- Imageador Multiespectral (MSS);
- Sensor Ótico e de Infravermelho (OIS);
- Sistema de Exploração de comunicações nas faixas de HF, VHF, UHF e SHF.



Figura 56- Sistemas sensores a bordo da aeronave

R99B

Entre esses o sensor principal é o Radar de Abertura Sintética (SAR), operando em dois modos: mapeamento e vigilância. No modo mapeamento, o SAR é capaz de gerar imagens com até 3m de resolução, operando na banda X, a fim de serem usadas no mapeamento do relevo por

meio de técnicas de interferometria (fig.57), e na banda L para mapear as propriedades de polarização da radiação eletromagnética pela superfície (imageamento multipolarimétrico).

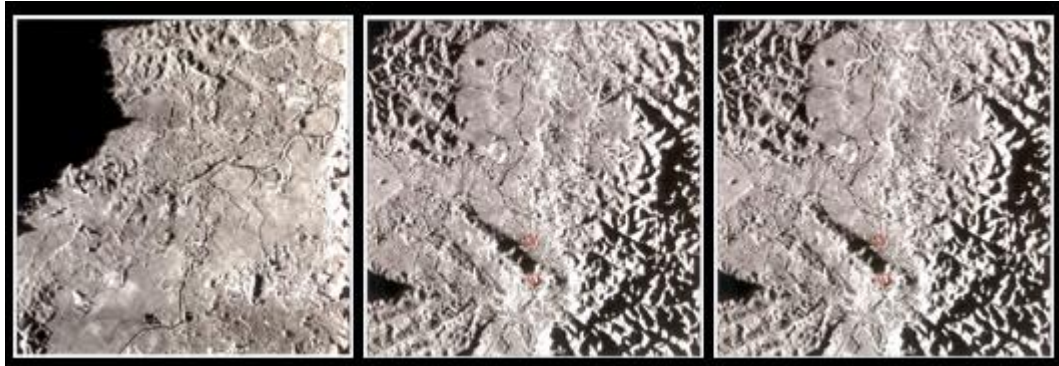


Figura 57- Primeiras imagens SAR no

No modo vigilância, o sistema é capaz de produzir imagens com 1,8 metros de resolução de áreas pequenas (modo *spot*), detectando e rastreando alvos móveis, aéreos e de superfície, situados a uma distância de 100km.

O imageador multiespectral (MSS) é capaz de imagear o terreno em 31 faixas espectrais, podendo ser usado em várias aplicações, entre elas o monitoramento do uso do solo. Já o Sensor Óptico Infravermelho (OIS) é empregado em tempo real, dentre suas funções está a determinação da distância entre o alvo e a cena imageada, bem como das coordenadas geográficas e a elevação do terreno onde se localiza o alvo de interesse.

As mesmas aeronaves de sensoriamento remoto estão equipadas com sistemas exploradores de comunicações, com isso é possível identificar emissores não autorizados e comunicações relacionadas a atividades ilegais.

O SIVAM conta ainda com instrumentos normativos como o Decreto nº 5.144, de 16 de Julho de 2004, conhecido com “Lei do Abate” que permite a Força Aérea Brasileira tomar providências hostis contra aeronaves que não se identifiquem e não tenham autorização para sobrevoar o espaço aéreo da Amazônia.

O SIVAM é visto como um projeto reconhecidamente estratégico para o país, onde se almeja obter efetivo controle sobre a região amazônica, não apenas do seu espaço aéreo, mas e principalmente, do uso de seus recursos hídricos, da biodiversidade, da ocorrência de desmatamentos e queimadas, do assentamento e movimentação dos povos indígenas, das fronteiras terrestres e no suporte à repercussão do contrabando, ao narcotráfico e à garimpagem ilegal (CCSIVAM, 2006).

Em relação ao Projeto RADAM, o SIVAM apresenta uma perspectiva bem mais abrangente. O RADAM teve como objetivo gerar informações e conhecimento das potencialidades do território regional amazônico para integrá-la a economia nacional, através da exploração de seus recursos naturais. Já a implantação do SIVAM foi motivada por fortes pressões internacionais voltadas a preservação da floresta, além da necessidade do governo federal em manter sua soberania sobre a região que durante a década de 80 estava sofrendo várias intervenções predatórias, como ocupação desordenada e invasão de terras indígenas, somente para citar algumas.

Desse modo, não bastava apenas levantar informações sobre o potencial natural existente na região, não desmerecendo a atuação do RADAM por se tratar de contextos históricos diferentes, mais se tornou necessário acompanhar a dinâmica sócio-espacial da região, através da produção de informações e conhecimento de forma contínua. Percebe-se, assim, o caráter geopolítico que envolveu a instalação do SIVAM, que vai para além do aparato técnico, conforme já discutido, envolvendo, assim, o controle e a gestão territorial.

O SIVAM é o principal projeto que visa a produção de informações geográficas através de sensor radar sobre a Amazônia. Desse modo, deveria dar suporte a todas as organizações que atuem na região, inclusive aos cidadãos que necessitem desses dados. Cumpre destacar ainda a atuação de outros organismos na região como: a Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) e a 4ª

Divisão de Levantamento do Exército para a Cartografia da Amazônia, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Serviço Geológico Nacional (CPRM), que vem realizando ainda um trabalho voltado à preservação das informações dos negativos e diafilmes originais do Projeto RADAM, através das seguintes atividades: inventário do material existente, esquematização da distribuição espacial das faixas imageadas, digitalização das imagens em *scanners* de alta resolução, tratamento e edição das faixas imageadas.

6- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1- O PROJETO RADAM E AS INFORMAÇÕES GERADAS

Com as informações geradas pela RADAM foi possível efetuar modificações na coluna estratigráfica geológica precedente e, principalmente, identificar novos arranjos estruturais para a exploração dos minerais existentes. Na análise geomorfológica, os levantamentos atualizaram e enriqueceram as informações que já existiam, possibilitando discutir e analisar os problemas sobre a cartografia temática de mapeamentos geomorfológicos, além da caracterização da região em estudo a partir de seus aspectos morfoclimáticos. O estudo dos solos por sua vez, permitiu identificar diferentes classes de solos presentes na região, sua distribuição geográfica, sua cartografia, bem como suas características morfológicas, químicas e físicas. Já os estudos sobre a vegetação, ao inventariar todo o potencial florestal da área a partir de características fitogeográficas, ampliou o conhecimento sobre os ecossistemas existentes, além da análise de fisionomias vegetais ligadas aos seus ambientes climáticos, morfológicos e litológicos (RADAM, 1976).

O produto utilizado para nortear a tomada de decisão, sem dúvida, foi sobre a capacidade natural de uso da terra, ao produzir dados sobre o potencial econômico da Amazônia no que se refere aos recursos naturais disponíveis, pois foi com base nesse estudo, que as ações do governo

foram implementadas. O mapa gerado a partir dessa análise pode se visto, portanto, como uma avaliação síntese da interação entre geologia, geomorfologia, solo e vegetação, além de outras informações.

Além disso, os estudos realizados pelo RADAM viabilizaram também a definição de áreas a partir de sua importância ambiental, iniciando os primeiros trabalhos de zoneamento na região. Dessa forma, foram caracterizadas áreas da seguinte maneira: Áreas de Utilização Condicionadas a Estudos Específicos; Áreas de Proteção de Ecossistemas por Imposição Legal; Parques Nacionais; e, Estações Ecológicas.

Assim, a partir dos levantamentos realizados pelo Projeto RADAM, a grande fronteira aos poucos vai deixando de ser uma incógnita aos “olhos” do Estado, deixando transparecer sua imponência natural e ao mesmo tempo toda a sua fragilidade diante dos imperativos territoriais de grupos hegemônicos, que utilizaram as informações geradas para fins de inserção no mercado regional e para efetuar a completa apropriação dos recursos existentes.

É nesse sentido que podemos afirmar que o RADAM, como produtor de conhecimento sobre a região, se constituiu num recurso técnico e político de gestão e controle. Controle esse que não se limitou à pretensões puramente geopolíticas, mas também a criação de toda infraestrutura necessária ao processo de acumulação capitalista. Na medida em que as informações geradas foram, principalmente sobre os aspectos físicos da região, com as do solo, por exemplo, ao indicar possíveis usos.

Com o RADAM, criou-se, portanto, toda a estrutura para produção institucionalizada de informações sobre a Amazônia, visando assegurar as condições básicas de exploração econômica dos recursos naturais da região, entendida como uma estratégia de desenvolvimento, pois a partir desse período, a região passou a dispor de informações, e nesse caso geográficas, atualizadas e

detalhadas indispensáveis ao planejamento, conforme exemplificado no presente trabalho com a descrição dos principais resultados da Folha SA.22 Belém.

Para OLIVEIRA (1988), a instalação do sistema em questão, bem como de outros projetos, teve como objetivo a produção de informações sobre as riquezas naturais da Amazônia, não para promover o progresso da região, mas para facilitar a apropriação desses recursos pelo capital internacional. Fato este que ficou bastante evidenciado a partir do programa de cooperação assinado durante o Governo do General Médici entre o DNPM e o *Geological Survey*, órgão do Departamento do Interior do governo dos Estados Unidos, para a definição de 21 (vinte e um) projetos geológicos e de mineração na bacia amazônica (*idem*).

Contudo, a partir da década de 70 a mobilização dos recursos na Amazônia vai se dar por meio de um processo seletivo do espaço à tomada de ações concentradas do governo e do setor privado em pontos economicamente estratégicos do território regional, e uma expressão dessa nova orientação foi a Política dos Pólos de Desenvolvimento que elegeu espaços a partir de suas vantagens potenciais, com base nas informações geradas pelo RADAM, possibilitando, assim, a implementação de políticas públicas para um maior aproveitamento dos recursos, o que é proeminentemente ratificado por RAFFESTIN (1993, p.234), quando diz que *toda mobilização de recursos supõe um domínio mínimo, porém suficiente, de uma certa quantidade de energia e de informação, de maneira a preparar um plano ou um programa de exploração, de inventário e de avaliação dos recursos potenciais.*

6.2-IMPORTÂNCIA METODOLÓGICA DO PROJETO

O trabalho desenvolvido pelo RADAM contou com uma estrutura integrada composta por trabalhos de campo, sobrevôos da baixa altitude, pesquisas bibliográficas e pelo uso de outros equipamentos para a aquisição de dados. Além disso, antes da instalação física do

projeto houve a capacitação dos profissionais para a realização da interpretação dos mosaicos semi-controlados. Fator este que pode ser considerado fundamental no sucesso alcançado pelo Projeto, pois foi esta etapa (Etapa de Interpretação), que permitiu o adequado conhecimento das características naturais do país, apresentadas através de mapas e relatórios técnicos, divididos em sessões temáticas (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra).

Somado a isso merece destaque a metodologia adotada, que para cada divisão do projeto, foi diversificada, partindo, entretanto, sempre da análise das imagens radar; e da sistemática operacional, desde a etapa de aquisição até o processamento e publicação dos resultados. Considera-se ainda um outro ponto bastante relevante, a matriz teórico-conceitual adotada, que além de ter sido baseada em uma concepção multidisciplinar, partiu de uma visão sistêmica dos recursos naturais.

Ao dispor da imagem radar, a equipe de profissionais envolvidos no Projeto procurou estabelecer um padrão de trabalho com segurança técnica e metodológica e com grande rapidez, para garantir informações necessárias à tomada de decisão, visando alavancar o processo de ocupação da Amazônia, uma vez que todo o conhecimento existente sobre a área anterior a instalação do RADAM tinha sido obtido através de levantamento empírico realizado ao longo dos rios e de conhecimento setorizado em torno de alguns núcleos pioneiros de povoamento (ALLEVATO e PINGARILHO, p.19).

À medida que o projeto passou a atuar em todo território nacional, passando a se chamar RADAMBRASIL, essa metodologia foi sendo constantemente aprimorada, em virtude das novas necessidades impostas, porém tendo ainda o radar como suporte básico de aquisição.

Pode-se afirmar que os bons resultados atingidos pelo RADAM decorreram de um conjunto de fatores, que atuando de forma integrada e sistemática, formou o maior acervo de informações geoambientais do território nacional, cuja importância se perpétua até os dias atuais.

Contudo, em termos metodológicos a grande preocupação é que se trata de um conhecimento que está se perdendo, já que não está sendo possível, mesmo através de um levantamento histórico, determinar, exatamente, as etapas de interpretação e classificação das imagens de radar.

6.3- A SISTEMATIZAÇÃO E DISPONIBILIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Apesar do esforço que vem sendo realizado pelo IBGE para atualizar as informações produzidas pelo RADAM e RADAMBRASIL, ficam ainda as seguintes questões porque as cartas temáticas na escala 1:1.000.000 não foram vetorizadas e disponibilizadas gratuitamente por esta instituição? Além disso, quatro volumes ainda não foram publicados, porquê? As respostas a essas questões podem ser simples, porém em se tratando de Brasil e Amazônia é importante considerar um conjunto de variáveis, que vai para além dos aspectos econômicos.

6.4- SIVAM UMA CONTINUIDADE DO PROJETO RADAM?

Foi apresentado no trabalho que SIVAM e RADAM, apresentam diferenças, principalmente, no que se refere ao aspecto conceitual, isto é, enquanto o primeiro tem por objetivo compartilhar dados e gerir, através do monitoramento ambiental, o uso dos recursos naturais na Amazônia, o segundo foi concebido com a missão de inventariar o potencial natural do território em questão. Porém, até que ponto se poderia afirmar que isso é verdade, não seria o SIVAM um prolongamento do Projeto que desbravou a Amazônia? Quem são os usuários das informações produzidas pelo SIPAM? Para que são utilizadas? Trata-se de um mapeamento, visando a proteção da floresta, ou de inventário dos recursos naturais ainda disponíveis? Essas e outras questões surgem, simplesmente, por que o acesso aos dados que o SIVAM se propõe a

gerar ainda são inacessíveis a maior parte da sociedade em geral, inclusive os dados gerados através do convênio firmado com o IBGE para atualização e disponibilização de uma base de dados da Amazônia Legal, já concluído desde 2004. Quanto a matriz tecnológica, cumpre destacar que apesar de ambos os projetos, RADAM e SIVAM, utilizarem o radar de abertura sintética (SAR) o funcionamento do mesmo foi diferenciado. No RADAM, o SAR operou somente na banda X e no modo mapeamento, já no SIVAM é um instrumento polivalente, apto a cumprir missões de vigilância e aquisição de dados para mapeamento cartográfico e temático da superfície terrestre, além disso, o Projeto utiliza dados de sensores ópticos como o OIS (*Optical and Infrared Sensor*).

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação do Projeto RADAM foi um marco no processo de geração da informação geográfica no Brasil, principalmente no que diz respeito à Amazônia brasileira, pois foi a partir do material produzido que se pôde identificar e quantificar a real potencialidade dos recursos naturais presentes naquela área e depois em todo território nacional.

Todo o equipamento utilizado pelo Projeto era o que se tinha de mais avançado no período (década de 70), no que tange ao levantamento de informações sobre a superfície terrestre por técnica de Sensoriamento Remoto. Segundo RODRIGUES (1982, p, 534 *apud* PEREIRA, 2005, p.49), *era o conjunto mais importante de todo o equipamento adquirido, o qual foi construído especialmente para a NASA e alugado na oportunidade para o Radam.*

O uso de radares aerotransportados mostrou-se de grande aplicabilidade, portanto, no levantamento de informações em nível de reconhecimento da região amazônica, sobretudo pelas respostas obtidas e pela capacidade de operação do sensor em ambientes tropicais úmidos.

Com o desenvolvimento dos modernos sensores, novas técnicas vêm sendo utilizadas para aproveitar ao máximo as imagens de radar e também para a geração de outros produtos a partir

das imagens, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE). Essas técnicas são a Interferometria e a Estereoscopia, que segundo ROCHA (2007) têm sido fortemente aplicadas em estudos de formas de relevo e para a avaliação de modelos de terreno voltadas à geração de mapeamentos cartográficos, como as experiências que vem sendo desenvolvidas desde 2000 na Região do Tapajós (PA) pelo INPE em parceria com a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército e a empresa AeroSensing da Bavária (Alemanha), visando a aquisição de pares interferométricos através do SAR na bandas X e P para a geração de MDEs (DUTRA, 2001).

Importante ressaltar ainda é o pioneirismo do Projeto em questão na interpretação das imagens de radar no país, embora a validação desse processo tenha sido altamente dependente das operações de verdades terrestres ou levantamentos de campo, etapa necessária para o reconhecimento e caracterização das feições mapeadas.

A partir do presente trabalho, surgiram novas perspectivas quanto à aplicabilidade das informações geradas pelo RADAM e atualizadas pelo Projeto Sistematização (IBGE/SIVAM), dentre elas o uso do material para uma série de análises geográficas, como: mensuração da taxa de desmatamento, análise espaço-temporal de uso do solo, manejo integrado dos recursos florestais, diagnóstico ambiental, entre outras. Tais perspectivas poderão ser mais bem exploradas no futuro em uma possível tese de doutorado

Contudo, espera-se com esta dissertação ter contribuído mesmo que minimamente a organização de informações sobre o RADAM e para a divulgação do papel desempenhado por esse projeto no reconhecimento do território nacional, sobretudo amazônico.

8- REFERÊNCIAS

ABREU, L. E. F. Precisão e Alcance da Radargrametria. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, Ano 4, n. 12, Abr./Out., p.30-32, 1974.

ALLEVATO, S. R., PINGARILHO, M. de N. F. Análise e Tratamento da Material Cartográfico no Projeto Radam Brasil. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, 19 n° 24, 1979.

ALLEVATO, S.R. Memória Central do Projeto RADAM BRASIL. In: **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, n° 25, 1971. (p.31-36)

ALQUATI, M. **Sensoriamento Remoto**. Notas de aula. CTI, 2007.

ARAÚJO, L. S., *et al.* The use of microwave and optical data for estimating aerial biomass of the Savanna and forest formatens et Roraima State, Brazil. In: **IGARSS**, Hamburg: IEEE, 1999.

ATTEMA, E. . W., *et al.* **Vegetation modeled is a water cloud**. Radio Science, n°13, 1978. (p.357-364).

AVERY, T. E., BERLING, G. L. **Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation**. 5ª Ed. Macmillan: United States of America, 1992.

BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. **Introdução ao Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. (INPE eprintsid.inpe.br/eprint@80/2005/04.01.14.06).

BECKER, B. K. **Tecnologia e Gestão do Território**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1988.

_____.A fronteira em fins do século XX: oito proposições para um debate sobre a Amazônia. In : BECKER, B. K., *et al.* **Fronteira amazônica: questões sobre a gestão do território**. Ed. da Universidade de Brasília; Ed. da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

_____.Redefinindo a Amazônia: o vetor tecno-ecológico. In: CASTRO, I. E. de, et all (Orgs.). **Brasil: questões atuais da reorganização do território**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. (p.223-244).

_____. **Tecnologia e Gestão do Território**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1998.

_____. **Revisões das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenário?** In: Revista Parceria e Estratégias, setembro de 2000, n.12 (p.135-158).

_____. A geopolítica na virada do milênio: logística e desenvolvimento sustentável. In: CASTRO, I. E. de, *et al.* (Orgs.). **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. (p.271-307)

_____. Informação e Território. In: **Revista Ciência Hoje**. n. 117 v.20, 2003.

BENZ, K. H. **História da Conquista Espacial: o Programa TIROS**. Disponível em: <http://www.karl.benz.nom.br/hce/tiros>.

BETTONI *et al.*. Legislação Concernente à observação da Terra. In: **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu, Brasil, INPE, 2001. (p.1473-1478).

BRANDÃO, W. **Detecção de Movimentação de Terrenos por Interferometria de Radar de Abertura Sintética (InSAR) orbital**. Disponível em http://www.mundogeo.com.br/revistas-interna.php?id_noticia=10616 . Acesso em 24/05/2006

COIMBRA, M. J. B. **Radar de Abertura Sintética**. Disponível em <<http://paginas.fe.up.pt/~hmiranda/st2/sar.pdf>>. Acesso em 1 24/02/2008,

Comissão para Coordenação do Projeto do Sistema de Vigilância da Amazônia (CCSIVAM). **Projeto SIVAM**, 2006. Disponível em: <http://www.sivam.gov.br/Index.htm>. Acesso em 03/04/2007.

CORREA, A. V. Levantamento Radargramétrico da Amazônia no Programa de Integração Nacional. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, n° 2, 1971. (.15-16).

CORREIA, J. D, *et al.* Contribuição das imagens CBERS na atualização do mapeamento sistemático brasileiro na escala 1:100.000. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, INPE, 2005. (p 873-880).

COSTA, M. P., *et al.* Efeito dos dados multipolarização SAR-C aerotransportado na separabilidade do retroespalhamento de plantas aquáticas do reservatório de Tucuruí-Amazônia. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais: Salvador, INPE, 1996.

COSTA, S. dos S., *et al.* Imageamentos realizados pelo sistema aerotransportado SAR/ SIPAM. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, INPE, 2007. (p.6661-6665).

DUTRA, L.V, *et all.* Processamento de Imagens de Radar de Abertura Sintética- Princípios e aplicações. In: **Workshop em Tratamento de Imagens**. José dos Campos: INPE, 2003. (p.4-13). Disponível em: <http://www.npdi.dcc.ufmg.br/workshop/wti2003/pdfs/p04-dutra.pdf>. Acesso em 12/08/2006.

Earth Satellite Corporation (EARTHSAT). **Analysis of side-looking airborne radar (SLAR) services and recommended technical specification for project RADAM**. Washington, 1970.

ESCOBAR, I. P., *et all.* Reprocessamento digital das imagens SLAR dos Projetos RADAM e RADAMBRASIL- projeto RADAM D. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, São José dos Campos: INPE, 2005. (p. 4395-4397)

FERNANDES, D., FERNANDES, M.T.C. Imagens de Radar de Abertura Sintética como instrumento de auxílio na avaliação do impacto ambiental. In: **Anais XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos-SP, INPE, 1998. (p.733-744).

FERNANDES, M. do C., BRAGA, R.F. L. Disseminação de produtos do projeto sistematização de informações de recursos naturais. In: **XXII Congresso Brasileiro de Cartografia e XX Expositocarta**. Macaé-RJ, 2005.

FERREIRA, J. M. C., *et al.* Metodologia para Extração de Modelo Digital do Terreno para a Cartografia Sistemática Utilizando Pares Radarsat. In: **Congresso Brasileiro de Cartografia**, Belo Horizonte - MG, 2003. (p.1-10).

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 2005. Disponível em:

FONSECA, J. de S. RADAM trinta anos- uma proposta. In: **XXII Congresso Brasileiro de Cartografia e XX Expositiva. Macaé-RJ, 2005.**

FREEMAN, A. **What is imaging Radar?**. Jet Propulsion Laboratory. Pasadena: Califórnia, 1996. Disponível em <<http://southport.jpl.nasa.gov>>. Acesso em 20/01/2008.

IEAV-CTA **Elementos de imageamento por radar**. Publicação Do Centro Tecnológico De Aeronáutica, Instituto De Estudos Avançados (IEAV), <http://www.esr.ieav.cta.br>. 2003.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Teoria: Sistemas de Radar**. São José dos Campos. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/radar/radar.htm>. Acesso em: 24/02/2007.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2001.

IBGE. **Introdução ao processamento digital de Imagens**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. Manuais Técnicos em Geociências, n° 9. Rio de Janeiro, 2001.

IBGE. **Relatório de Metodologia de trabalho**. Fundação Instituto Brasileira de Geografia e Estatística, IBGE. Projeto IBGE/SIVAM. Rio de Janeiro, 2002.

KRUG, T. Tecnologia espacial como suporte a gestão dos recursos naturais. In: **Revista Parcerias Estratégicas**, n° 7, Outubro, 1999. (p.211-225).

LEÃO, M. S. S. **Projeto RADAM: Trabalho realizado**. Disponível em <http://www.projeto.radam.nom.br/trabalho.htm>. Rio de Janeiro, 17 de maio de 1999. Acesso em: 03/12/2007.

LIMA, M. I. C. de. **Introdução à interpretação radargeológica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.

LILLESAND, T. e KIEFER, R. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3a. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAM: relatório trimestral n° 1**. 1971.

Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAM: relatório trimestral n° 4.** 1971.

Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAM: relatório trimestral n° 7.** 1972.

Ministério das Minas e Energia. **Comissão executora do Projeto RADAMBRASIL: informações básicas.** Rio de Janeiro, 1979.

Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL: Realizações.** Rio de Janeiro, 1984.

MOURA, J. M. de. Radar descobre a Amazônia. In: **Revista de Engenharia, Mineração e Metalurgia.** Rio de Janeiro, 1971.

_____. **Project RADAM of the Ministry of Mines and Energy.** Report 16/ONU/INPE: Project SERE, Nov./Dec., 1972.

_____. Levantamento dos recursos naturais das regiões Amazônica e Nordeste do Brasil, por meio de radar e outros sensores. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, n° 6, ano 3, Mar/Abr, 1972. (p.1-4)

MOURA FILHO, J. **Elementos de cartografia técnico e histórica.** Vol.2. Belém: Falangola, 1997.

NOERNBERG, M. de A., *et al.* Aplicação de sistemas radar no monitoramento de infestações de plantas aquáticas em reservatório: vantagens e limitações. In: **Bol. Ciência Geodésicas**, vol.5, Curitiba, 1999. (p.41-54).

NOVO, E. M., *et al.* Airbone SAR data to map Tucuruí reservoir (Amazon). In: **South American Radar Experiment- SAREX-92.** Paris, 1994. (p.71-86).

OLIVEIRA, M. A. M. de. **A pesquisa geológica no projeto RADAM: Sistematização e Opções.** Rio de Janeiro: CENPES, 1972.

OLIVEIRA, A. U. de. **Integrar para não entregar: políticas públicas e Amazônia.** Campinas, SP: Papirus, 1988.

OLIVEIRA, A. A. B. de. **Projeto Radam: Histórico**. 1999. Disponível em <http://www.projedoradam.nom.br/projetptadam.htm>. Acesso em 02/03/2007.

PARADELLA, W.; VALERIANO, D. M. Sensoriamento Remoto por Radar. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003.

PARADELLA, W. R., *et al*. Radares imageadores na geociências: estado da arte e perspectivas. In: **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro. nº57/01, 2005. (p.56-62).

PEREIRA, I. C. N., MENEZES, P. M. L. de. O radar como instrumento de geração da informação espacial para a gestão do Projeto RADAM. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, INPE, 2007. (p.6913-6920).

PERONI, R. de L. **Princípios de Sensoriamento Remoto. Notas de aula**. Minas Gerais, 2004.

KUPLICH, T. M. Estudos Florestais com imagens de radar. In: **Espaço e Geografia**, vol.6, nº1, 2003. (p.1516-9375).

RAFFESTIN, C. **Por uma Geografia do Poder**. São Paulo: Ática, 1993

RADAM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha SB.22 Araguaia e parte da Folha Sc.22 Tocantins**; Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, vol 4, 1974.

RADAM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha SA.22 Belém**; Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, vol 5, 1974.

RADAM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha SB.21 Tapajós**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, vol. 7, 1975.

RADAM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha NA. 21 Tucumaque e parte da folha NB. 21**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, vol. 9, 1976.

RADAM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha SE. 24 Rio Doce**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, vol 34, 1987.

ROCHA, E. M. F. da. **Avaliação da altimetria obtida por MDE gerado a partir de imagens de Radarsat 1 em área de relevo misto no entorno da Baía de Guanabara.** IGEO/ UFRJ, Msc, 2007.

ROCHA, E. M. F da, *et al.* Produtos sensores radar na cartografia de base- principais uso e aplicações. In: **XXII Congresso Brasileiro de Cartografia e XX Expositiva.** Macaé-RJ, 2005.

ROSOT, N. C. **Integração de imagens de sensores de microondas e ópticos para fins de mapeamento e classificação de reflorestamento no sul do Brasil.** (Tese de Doutorado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção.** São Paulo: Hucitec, 1996.

SANTOS, P. R. A. dos. **Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM em diferentes escalas: um estudo de caso da Amazônia.** Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2005. (116p.).

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção.** 4. ed. São Paulo; EDUSP, 2006.

SILVA , J. X. da. A geocodificação de informações ambientais do Projeto RADAMBRASIL. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 26, 1978.

SILVA JUNIOR, L.W.P. **Classificação da cobertura da terra na Floresta Nacional do Tapajós através de medidas de textura utilizando dados do radar ERS /** São José do Campos: INPE, 140 p. 2001.

SILVA, W. S. B. **Uso de imagens Radarsat-1 para fluxos de mapeamento de uso da terra e cobertura do solo em ambiente tropical úmido urbano: o caso de Manaus, Estado do Amazonas.** (Monografia de Conclusão de Curso)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

SIPAM. **Sistema de Proteção da Amazônia.** Disponível em <http://www.sipa.gov.br>. Acesso em 05/08/2006.

SOARES, J. V. **Fundamentos de Radar. Notas de aula - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/dsr/vianeir/radar>>.

SOUZA FILHO, P. W. M e. Sistema de observação costeira e o papel dos sensores remotos no monitoramento da costa Norte brasileira, Amazônia. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, nº.57/02, 2005.

SUDAM. **Subsídios ao Plano Regional de Desenvolvimento** (1972-1974). Belém/Pa, 1971.

_____. **II Plano Nacional de Desenvolvimento da Amazônia**; Detalhamento do II Plano Nacional de Desenvolvimento (1975-79). Belém/Pa, 1975.

TEMPONI, L., SANTOS, P. A. **Projeto SIVAM- Tratamento Digital de Imagens Orbitais**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, IBGE. Rio de Janeiro, 2004.

TEMPONI, L., FERNANDES, M. do C., SANTOS, P. A. **Sensoriamento Remoto: aplicativos, produtos e suas políticas de distribuição de dados**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, IBGE. Rio de Janeiro, 2004

TORRICO, E. M. **O Projeto RADAMBRASIL e as metodologias para a determinação da Capacidade de uso dos recursos naturais renováveis e das relações uso atual/ uso potencial**. 1999. Disponível em <http://www.projedoradam.nom.br/projetptadam.htm>. Acesso em 02/03/2007.

TOUTIN, T e GRAY, L. **State-of-the-art of elevation extraction from satellite SAR data**. Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), 2000.

TREVETT, J. W. **Imaging radar for resources surveys**. New York, N.Y. Chapman and Hall, 1986.

VANNUCCI, T. A. M. **Redução do Speckle em imagem radar**. (dissertação de Mestrado). Curitiba:UFPR, 1999.

VARGAS, R. M. de A., LOCH, R. E. N. Cartografia como instrumento para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, INPE, 2005. (p.873-880).

VELLOSO, F. de C. O emprego da imagem de radar e do posicionamento geodésico por satélite como contribuição imediata do mapeamento sistemático na escala de 1:100.000. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, ano 5, jun/set, 1976.

ANEXO II

Fluxograma de trabalho do Projeto RADAM

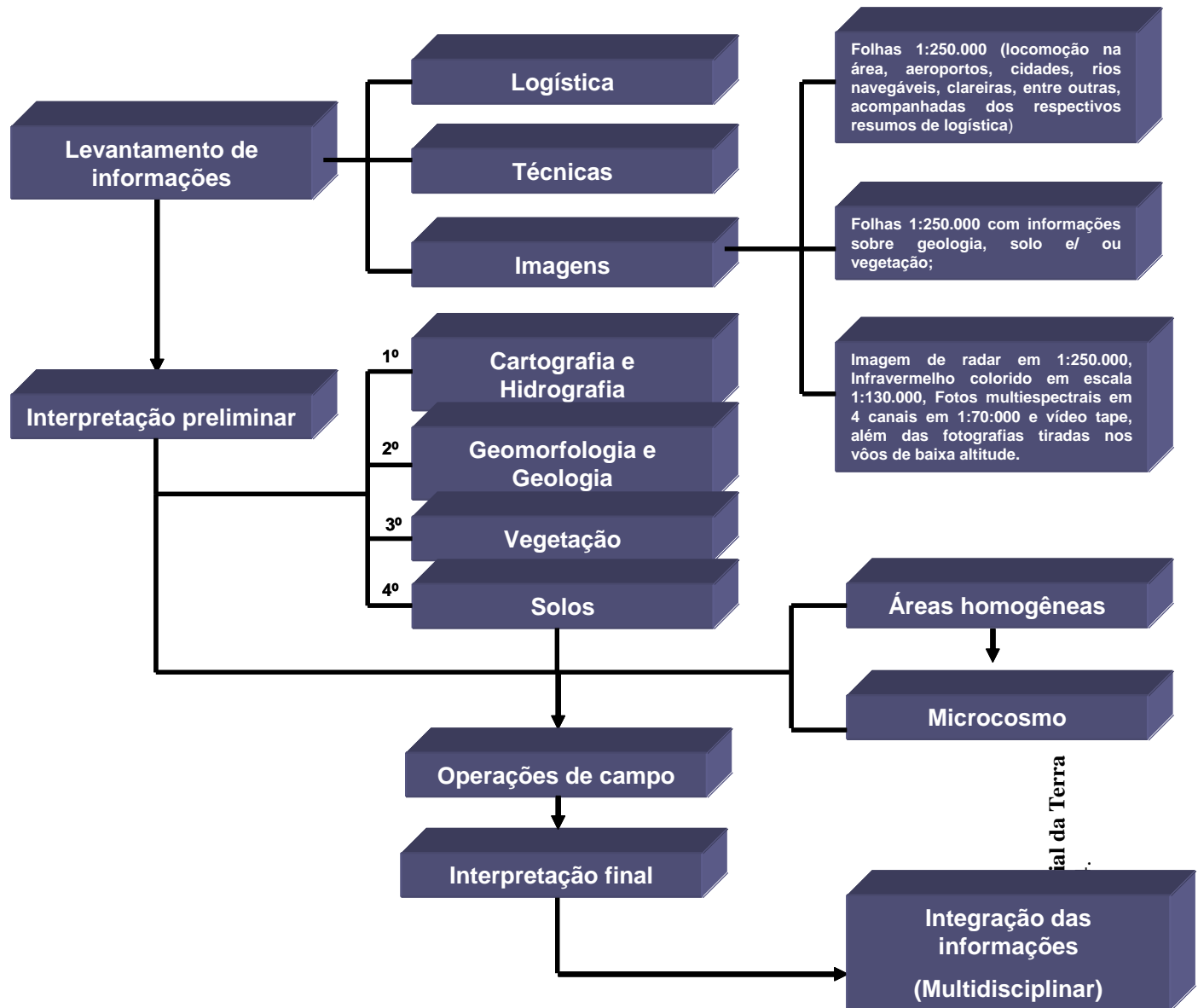


Figura 53- Mapa da Terra
Fonte: