

UM NOVO PRODUTO DO INPE: A IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT PRODUZIDA PARA
UTILIZAÇÃO CONJUNTA COM IMAGENS DE RADAR

José Luiz de Barros Aguirre

Márcio Nogueira Barbosa

Sérgio de Paula Pereira

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Caixa Postal 515 - 12200 São José dos Campos, SP, Brasil

O Departamento de Produção de Imagens do CNPq/INPE, responsável no país pela aquisição, processamento e distribuição de dados dos satélites da série LANDSAT, e objetivando cada vez mais uma maior utilização dessas imagens pela comunidade de usuário, desenvolveu uma metodologia de processamento eletrônico dos dados LANDSAT, que facilitará sua utilização conjunta com as imagens de RADAR, obtidas pelo projeto RADAMBRASIL. Este trabalho apresenta as técnicas desenvolvidas e os procedimentos usados nos experimentos deste novo produto. Exemplos de imagens MSS-LANDSAT e RADAR da mesma área, separadas e combinadas a cores, são apresentados para demonstrar que, utilizando conjuntamente esses dois tipos de dados em uma única imagem, obtêm-se maior informação. A principal vantagem da metodologia desenvolvida, em comparação com técnicas normais de superposição fotográfica, é que se pode obter registro quase perfeito de uma área de 17.000 km², utilizando-se parte de uma imagem LANDSAT e o mosaico de RADAR correspondente.

1. INTRODUÇÃO

1.1 - AS IMAGENS LANDSAT

Desde 1974, o INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais), um dos organismos pioneiros no Brasil no uso e disseminação de técnicas de sensoriamento remoto, tem distribuído imagens LANDSAT, através de seu Departamento de Produção de Imagens, às comunidades nacional e internacional de usuários. Estas imagens, adquiridas pelo sistema MSS (Multispectral Scanner - Varredor Multispectral) do satélite, têm uma resolução aproximada de 80 metros e apresentam-se em 4 bandas, situadas na região do visível (verde e vermelho) e na região do infravermelho próximo*. O potencial de utilização dessas imagens é enorme nos mais diversos campos, constituindo-se elas em ferramenta indispensável de trabalho para entidades envolvidas no controle de recursos terrestres e monitoramento do meio ambiente.

No processamento, os dados são formatados em quadros de 185 x 185 km, como os apresentados na Figura 1, cobrindo portanto cada foto uma área de mais de 34000 km².

As características multispectrais das imagens LANDSAT - MSS permitem a obtenção de várias informações sobre a natureza e composição do terreno imageado ou daquilo que o recobre. Assim, é possível, por exemplo, distinguir uma plantação sadia de uma atacada por pragas, ou águas límpidas de águas poluídas. Além disso, o fato de se dispor de várias bandas espectrais possibilita a obtenção de apresentações coloridas.

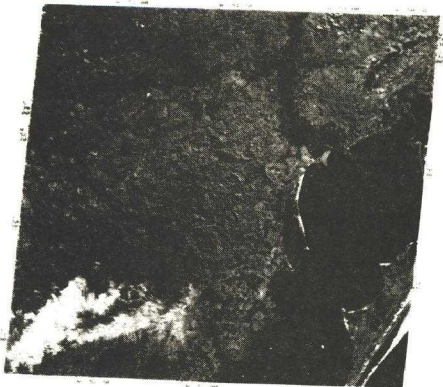
* Uma quinta banda, na região do infravermelho termal, é disponível no LANDSAT-3, terceiro da série, lançado em 5 de março de 1978. Essa banda possui resolução de 240 m.



Canal 4 - MSS



Canal 5 - MSS



Canal 6 - MSS



Canal 7 - MSS

Fig. 1 - Os quatro canais espectrais do LANDSAT

1.2 - AS IMAGENS DE RADAR

Um outro sistema de sensoriamento remoto que adquiriu âmbito nacional é o Radar de Visada Lateral, operado pelo Projeto RADAM BRASIL, do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) do Ministério das Minas e Energia. É um sensor remoto ativo, montado a bordo de avião, e cujo princípio de funcionamento se baseia em ecos refletidos pelo terreno a partir de pulsos de radar emitidos de bordo.

O resultado é uma apresentação em preto e branco do terreno, retratando principalmente, graças às características do sistema, os aspectos de relevo e "textura" do terreno, contrastando superfícies mais "lisas" de superfícies irregulares.

Por ser um dispositivo montado em aeronave, a área recoberta em uma linha de vôo é limitada, possuindo cada faixa uma largura média de 37 km. Isto obriga a montagem de mosaicos para cobertura de grandes áreas. Um dos objetivos do projeto RADAMBRASIL é obter o recobrimento total do Brasil, apresentando-o em mosaicos, sob a forma de cartas na escala 1:250.000.

O Radar de Visada Lateral não possui, evidentemente, o poderio de um sensor multispectral capaz de fornecer assinaturas únicas de solos, vegetação, mananciais, etc... através da reflectância diferencial nos comprimentos de onda envolvidos, nem a possibilidade prática de uma cobertura repetitiva. Entretanto, possui resolução bem maior que a oferecida por um satélite como o LANDSAT, além de ser imune à presença de nuvens sobre a área a ser imageada, podendo captar em uma imagem detalhes geológicos significativos de uma dada área.

1.3 - AS VANTAGENS DA COMBINAÇÃO

Pelo exposto acima, percebe-se que o MSS e o Radar são sensores que de uma certa forma se complementam. Do ponto de vista do LANDSAT, o Radar oferece o realce da morfologia do terreno; pelo lado

do Radar, ter-se-ia o acréscimo da informação multispectral ligada à composição do mesmo. Uma apresentação combinada MSS/Radar tem, portanto, potencial informativo maior que cada um dos sensores em separado.

A idéia da combinação desses sensores não é nova, tendo já sido desenvolvida em vários países. No entanto, até o presente, a grande limitação das técnicas apresentadas tem sido a extensão das áreas abarcadas nas composições. Um trabalho representativo sobre o tema foi apresentado por Harris e Graham (1976). As áreas compostas se limitavam a cerca de 1/10 de uma imagem LANDSAT, ou seja, 3400 km². Imprecisões intrínsecas dos mosaicos, diferenças de projeção, distorções associadas ao relevo pela forma de obtenção de dados, além de dificuldades de registro fotográfico, têm sido os fatores limitantes.

Neste trabalho, apresenta-se um método de composição que permite registro satisfatório praticamente sobre uma folha completa de mosaico do RADAMBRASIL: quase 18000 km². Na verdade, o método pode ser estendido, por justaposição de folhas de mosaico, até os 34000 km² de uma cena LANDSAT-MSS.

2. MÉTODO DE COMPOSIÇÃO LANDSAT/RADAR

Para descrever o método proposto faz-se necessário dar alguns detalhes sobre o processo utilizado no Departamento de Produção de Imagens do INPE para conversão das fitas magnéticas com os dados MSS, gravadas na Estação de Recepção de Cuiabá, nos filmes originais em 70 mm, que são o ponto de partida para todas as operações fotográficas subsequentes.

2.1 - CARACTERÍSTICAS DO PROCESSAMENTO

Os filmes originais são produzidos em um Gravador de Imagens por Feixe Eletrônico (EBIR - Electron Beam Image Recorder), onde o filme é exposto diretamente por elétrons disparados de um canhão eletrônico, de um modo semelhante ao que se observa em um tubo de TV.

Assim como o aparelho de TV, o EBIR possui um sistema de deflexão ótico/eletrônico/magnético que apresenta distorções intrínsecas e, por outro lado, possui compensações magnéticas e eletrônicas que permitem reduzir essa distorção. No caso do EBIR, é claro, essas compensações são muito mais sofisticadas, admitindo correções programáveis sobre toda a área útil da imagem. Essas correções são programadas pelo computador que controla o processamento e determinadas, previamente, a partir de medidas efetuadas sobre uma grade padrão, como a apresentada na Figura 2, produzida no EBIR a partir de um gerador de padrões. Esta grade possui 81 pontos de cruzamento.

As medidas são efetuadas sobre uma ampliação dessa grade, produzida num ampliador especial de fator de ampliação fixo e igual ao necessário para fornecer uma ampliação em escala 1:1.000.000 a partir do original 70mm (escala 1:3.704.000). O aparelho de medida é um digitalizador Datagrid ligado ao computador, que recebe os valores medidos e calcula as correções a serem aplicadas em cada cruzamento de linhas, com o objetivo de levar a grade padrão à geometria ideal. O esquema a seguir, Figura 3, onde se apresenta uma simplificação da grade padrão, exagerando-se a distorção, e a grade ideal em pontilhado, assinala essas correções.

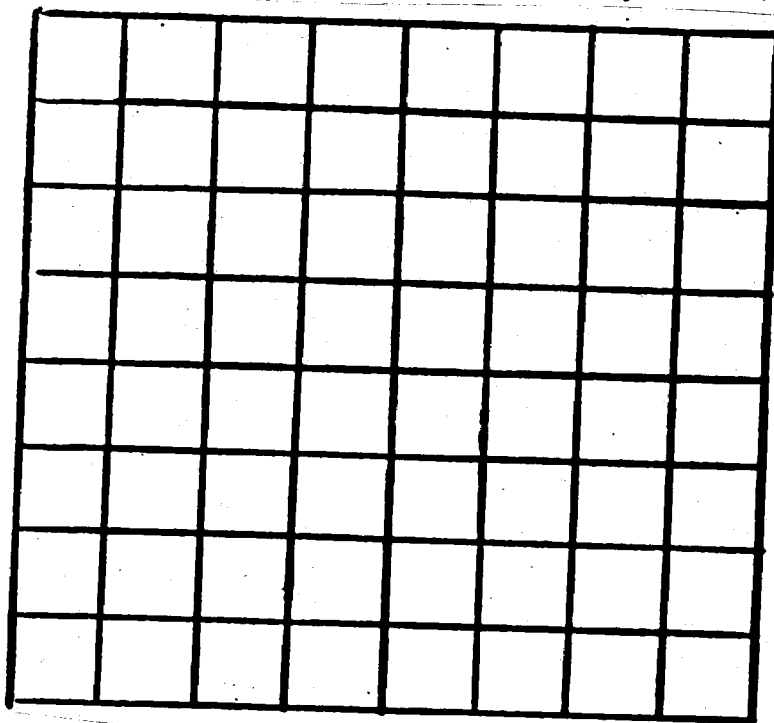


Fig. 2 - Grade Padrão.

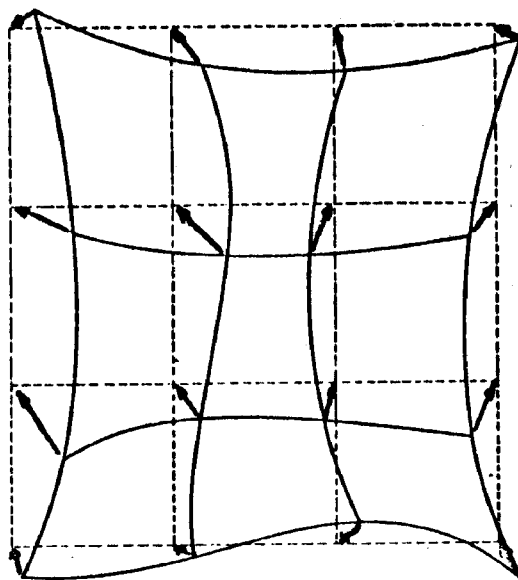


Fig. 3 - Grade Simplificada.

As correções assim calculadas são armazenadas numa Fita de Correções que será utilizada durante a produção de filmes. Na prática, a medição da grade padrão é repetida duas ou três vezes, em iterações sucessivas, sendo que de cada vez as novas correções são adicionadas às anteriores, produzindo uma nova Fita de Correções que será utilizada para gerar uma nova grade padrão, mais próxima da grade "ideal". Este ciclo é repetido até que o relatório de erros residuais, emitido pelo computador depois de cada medição, indique um valor RMS menor que 30μ . Este valor foi escolhido por corresponder à resolução do próprio aparelho Datagrid associada aos erros humanos durante a medição. Assim, garante-se que as imagens LANDSAT produzidas utilizando a última Fita de Correções, estarão livres de distorções sistemáticas. Este processo, denominado Calibração Geométrica, é efetuado sempre que se substitui uma peça de canhão eletrônico do EBIR, que se desgasta com o uso.

2.2 - IDEIA BÁSICA DO MÉTODO

A disponibilidade de um sistema que permite acomodar as imagens produzidas a um padrão determinado sugeriu a sua utilização para distorcer a imagem LANDSAT de modo a conformá-la a um modelo escolhido; por exemplo, uma imagem de Radar.

Surgiu assim, o início, o problema de transformar esse modelo em uma entrada compatível com o sistema de correção.

2.3 - SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução desenvolvida foi a de superpor uma transparência do modelo escolhido, numa escala de 1:1.000.000, a uma grade padrão igual à utilizada na Calibração Geométrica, identificando como pontos de amarração, no modelo, os pontos situados sobre os cruzamentos das linhas da grade padrão.

Se, numa foto LANDSAT da mesma área, na escala 1:1.000.000, marcarmos e medirmos os pontos correspondentes aos pontos de amarração do modelo, o sistema tenderá a levá-los para as posições "ideais" da grade e, portanto, a imagem LANDSAT tenderá a coincidir com o modelo empregado.

3. IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO

O método consiste de três partes, que são levadas a efeito em sequência: 1a) uma parte inicial, em que se obtém o material necessário; 2a) as operações iterativas de marcação, medida e geração de imagens; 3a) as operações fotográficas que fornecerão o produto final.

3.1 - OPERAÇÕES INICIAIS

A primeira tarefa a fazer é obter o modelo a ser utilizado. No caso deste trabalho, uma redução 1:1.000.000 de um mosaico de Radar, originalmente em uma carta na escala 1:250.000*. Utiliza-se uma transparência negativa para evitar o problema que seria ocasionado pelas áreas escuras, correspondentes à água, na apresentação positiva.

* Figura 4



Fig. 4 - Mosaico de Radar - Escala 1:1.000.000.

Ao mesmo tempo, produz-se uma ampliação em transparência negativa 1:1.000.000 de uma imagem LANDSAT correspondente à mesma área. Utiliza-se a banda 7, que é a mais semelhante à apresentação obtida pelo Radar.

É necessário também uma transparência ampliada da grade padrão para ser superposta ao negativo de Radar.

Essa superposição é feita tendo-se o cuidado de apor o negativo à grade de modo a fazer o terreno ocupar aproximadamente a mesma posição que ocupa, com relação ao quadro, a área correspondente na foto LANDSAT. As Figuras abaixo, 5 e 6, ilustram essa operação.

Essa providência tem o intuito de evitar a ocorrência de correções muito acentuadas, acelerando o processo de convergência.

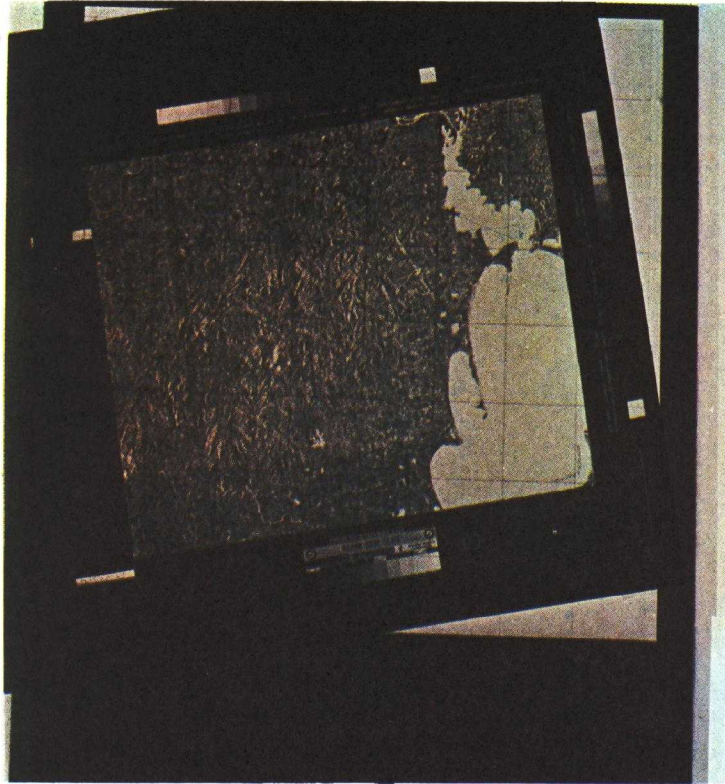


Fig. 5 - Superposição Radar x Grade.

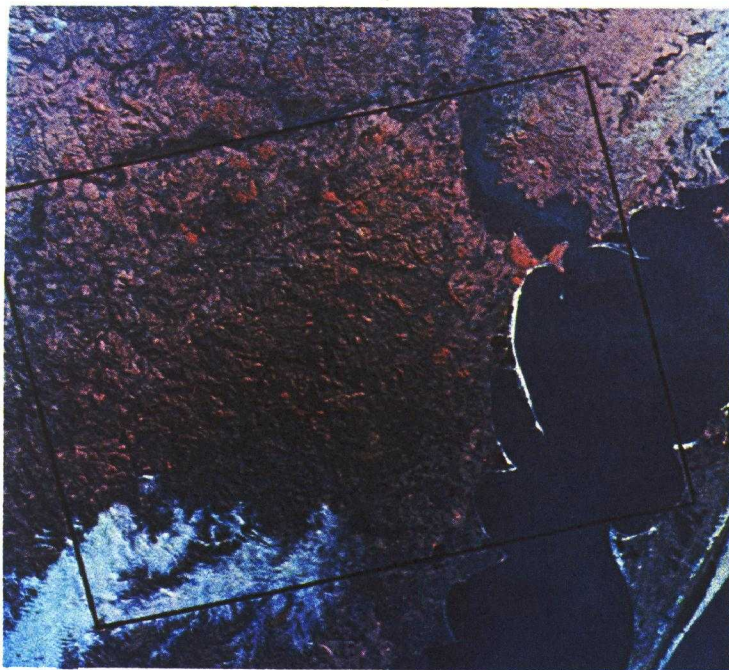


Fig. 6 - Posição do Mosaico de Radar na Imagem LANDSAT.

A redução da escala do Radar para 1:1.000.000 pode, na verdade, ser feita de forma aproximada, já que o processo permite à imagem LANDSAT ajustar-se à escala do Radar. Nos métodos convencionais de superposição fotográfica este ajuste de escala tem que ser feito dentro do menor erro possível, já que o registro das 2 imagens depende fundamentalmente dele.

3.2 - CICLOS DE ITERAÇÃO

De posse da superposição Radar/Grade Padrão, em uma mesa de luz faz-se, na imagem LANDSAT da banda 7, a identificação dos pontos correspondentes aos pontos de amarração, marcando-os com estilete.

Os cruzamentos da grade padrão que caem fora da imagem de radar, ou sobre regiões que não permitem localização precisa do ponto de amarração, são marcados na imagem LANDSAT por superposição desta com a grade padrão.

Dessa maneira, obtém-se uma imagem LANDSAT com 81 marcas de estilete. Essa imagem é então levada ao Datagrid e as marcas são medidadas da mesma forma como se fossem as interseções de uma grade padrão.

Efetuada as medidas, tem-se uma nova Fita de Correções e uma listagem de erros residuais. Caso o valor RMS dos erros seja menor que 30 μ (o que dificilmente ocorrerá da primeira vez), considera-se terminado o processo iterativo. Caso contrário, produz-se uma nova imagem LANDSAT, utilizando a nova Fita de Correções, e repete-se o processo. Os erros residuais deverão ir decrescendo a cada ciclo, da mesma maneira que na Calibração Geométrica.

Ao término do último ciclo de iteração, gera-se, utilizando-se a última Fita de Correções obtida, as imagens LANDSAT que irão ser utilizadas nas operações fotográficas.

3.3 - OPERAÇÕES FOTOGRÁFICAS

No presente trabalho foi utilizado, para obtenção do produto final, um negativo colorido LANDSAT, produzido segundo o processo normal*, e um outro negativo de Radar, geometricamente idêntico ao utilizado na superposição Radar/Grade Padrão. Este outro negativo teve sua densidade média ajustada de forma a não introduzir fortes mudanças de cor no produto final, apenas destacando as informações de relevo e textura do terreno. O valor utilizado para a densidade média, no exemplo piloto, foi igual a 0,35. O negativo de Radar foi então manualmente registrado com o negativo colorido LANDSAT e assim exposto o produto final.

Desse modo os valores de cor da superfície dos terrenos da imagem LANDSAT foram, dentro de certos limites, preservados. As informações sutis do Radar, definindo fronteiras entre as várias classes de terrenos e mostrando características do relevo, foram adicionadas como variações de intensidades ou densidade na imagem combinada, sem alterar significativamente o balanço de cor. Os dois passos necessários ao processo estão esquematizados abaixo, na Figura 7.

Este não é o único processo que pode ser utilizado na combinação dos sensores MSS e Radar. Foi o escolhido por ser mais simples em função dos equipamentos disponíveis no Laboratório Fotográfico do INPE. Poder-se-ia, por exemplo, utilizar a imagem do Radar em substituição a uma das bandas espectrais na composição colorida LANDSAT normal.

* Canal 4 - filtro azul, produzindo amarelo no negativo
Canal 5 - filtro verde, produzindo magenta no negativo
Canal 7 - filtro vermelho, produzindo cian no negativo
Escala de cinza neg. colorido - Densidade média (cian) = 1.10
Densidade média (magenta) = 0.90
Densidade média (amarela) = 0.70

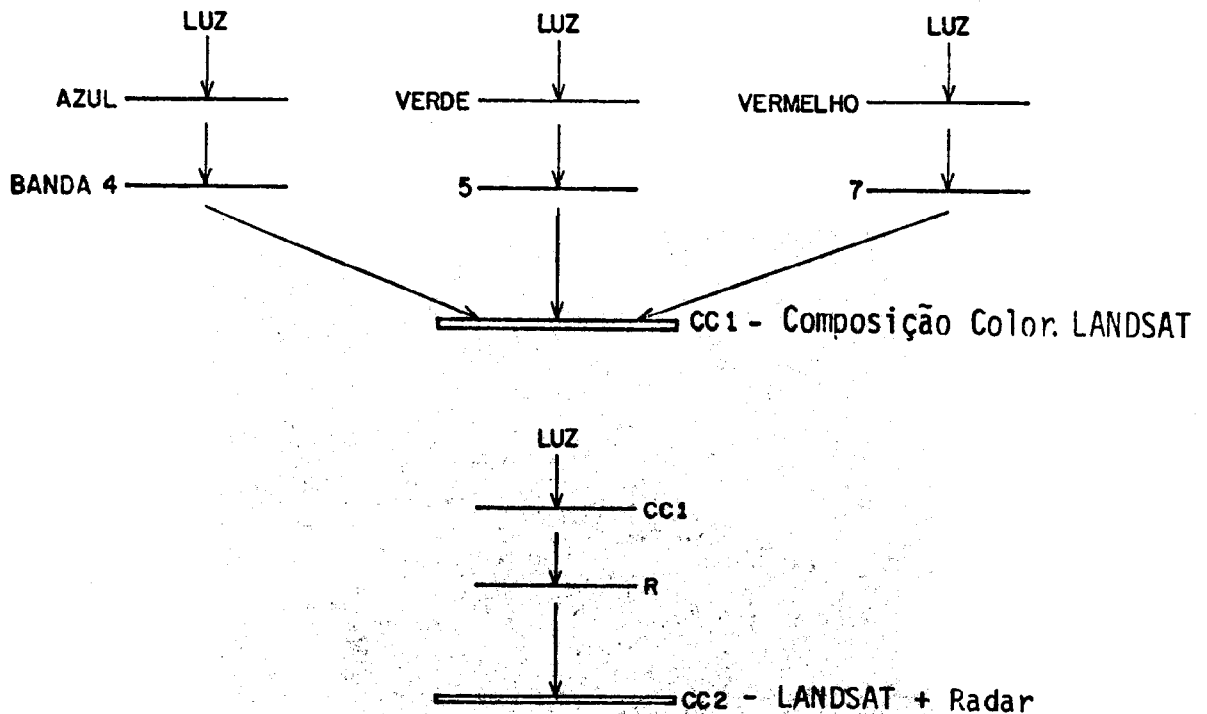


Fig. 7 - Operações Fotográficas.

4. RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS FINAIS

Para a aplicação piloto deste método, escolheu-se uma área da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, para a qual se dispunha da carta publicada pelo projeto RADAMBRASIL*. A imagem LANDSAT utilizada foi de uma passagem de 16 de junho de 1975, com identificação 175167-122520. Apresenta-se, na Figura 8, a parte dessa imagem correspondente à carta do RADAMBRASIL. Na Figura 9, mostra-se o resultado da combinação LANDSAT/Radar utilizando-se o negativo LANDSAT normal, sem ter passado pelo processo de conformação. Finalmente, na Figura 10, é apresentada a composição obtida depois de executado todo o processo descrito neste trabalho - o produto final LANDSAT/Radar.

Nas Figuras 11 e 12 são mostrados os fluxos de sistema do método aqui descrito. Apresenta-se, a seguir, algumas observações relativas ao processo e à aplicação piloto.

* folha SH.22-Y-B



Fig. 8 - Parte da Imagem LANDSAT 175167 - 122520 correspondente à folha SH-22-Y-B.



Fig. 9 - Combinação LANDSAT/Radar (negativo LANDSAT normal)



Fig. 10 - Combinação LANDSAT/Radar (negativo LANDSAT corrigido)

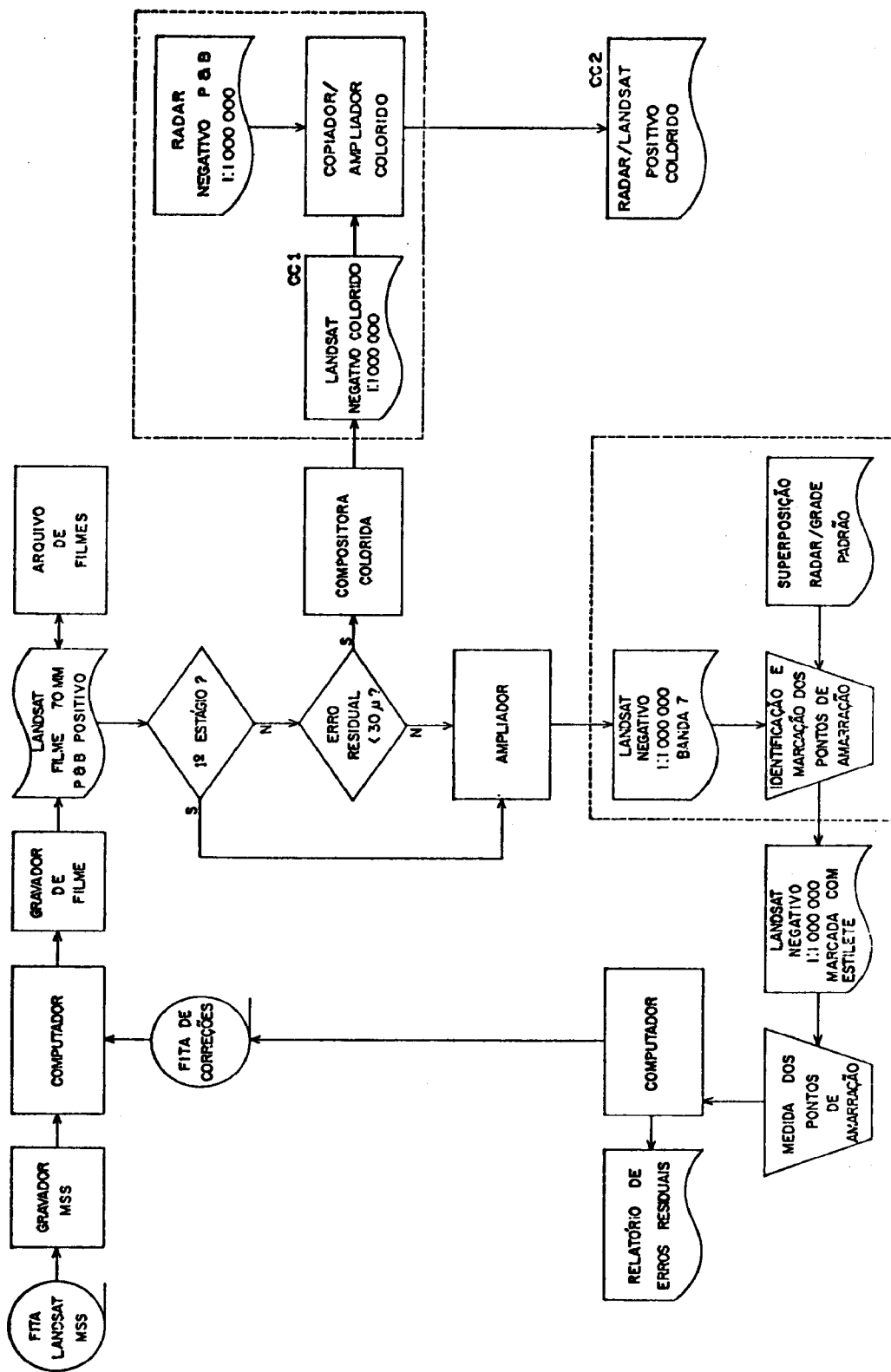


Fig. 12 - Método de Registro Landsat/Radar.

Nota-se, no exemplo exibido, que o aumento do teor informativo da combinação LANDSAT/Radar é bastante evidente, em relação às apresentações normais. No entanto, o contraste poderia ter sido maior, caso a imagem LANDSAT usada tivesse sido adquirida com um maior ângulo de elevação do Sol (neste caso, apenas de 20°). Baixos ângulos de elevação ocasionam o aparecimento de sombras que evidenciam o relevo, dando às imagens do LANDSAT uma feição mais parecida com a que o Radar de Visada Lateral fornece.

A escolha da imagem Radar em negativo (ao invés de positivo), como já mencionado anteriormente, na área selecionada para o experimento, fez-se necessária tendo-se em vista que o negativo permitiria a preservação, no último estágio de composição, das importantes variações de cor presentes nas regiões de água da imagem LANDSAT. Estas regiões se apresentariam escuras caso fosse utilizado um positivo. Além disso, estas regiões escuras no positivo, quando extensas, dificultariam ou mesmo impediriam a correta localização dos pontos de amarração.

Existem limitações para a qualidade do registro conseguido, relacionadas principalmente com a distância entre os pontos de amarração. No presente caso, as imprecisões intrínsecas do mosaico podem causar registro deficiente na área entre dois pontos de amarração, embora estes estejam bem registrados. A maneira de reduzir este problema seria aumentar o número de pontos de amarração, aproximando-os. É claro que isto implicaria em modificações razoavelmente profundas no sistema de processamento do INPE. Em sistemas que trabalham com técnicas de "resampling" para as correções geométricas, o impacto seria apenas sobre o "software", não havendo restrições teóricas a esse aumento. No caso, tem-se restrições no EBIR quanto ao número de correções que se pode aplicar durante as varreduras do feixe eletrônico.

Como a idéia básica do método não depende de características específicas do Radar de Visada Lateral, ele pode ser utilizado para conformar uma imagem LANDSAT-MSS a qualquer outro tipo de imagem de sensor que permita a identificação de pontos de amarração e com es

cala compatível com a distância entre esses pontos (por exemplo, imagens do Skylab, fotos aéreas de grande altitude, imagens RBV do próprio LANDSAT).

Como a imagem LANDSAT é levada a coincidir com o modelo escolhido, qualquer que seja ele, a precisão geométrica do produto final será aquela do modelo utilizado.

O tempo necessário para o processo completo aqui descrito é de um a dois dias, o que é bastante razoável, considerando-se as dificuldades existentes em métodos anteriormente empregados e a extensão da área coberta pelo produto final.

BIBLIOGRAFIA

1. BARBOSA, M.N. et al - *Manual do Usuário de Dados do Satélite ERTS (LANDSAT)*. São José dos Campos, INPE, junho 1975. (668/NTE/009).
2. GRAHAM, C.L.; HARRIS, Jr., G. - *LANDSAT/RADAR Synergism*. XIII Congress of the International Society for Photogrammetry, Helsinki, 1976.
3. MARCHETTI, D.A.B.; GARCIA, G.J. - *Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação*. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1977.
4. NASA - Goddard Space Flight Center - *Landsat Data Users Handbook*. USA, Setembro, 1976 (DOC. 76SDS4258).