

A PRECISÃO DE SENSORES AEROTRANSPORTADOS ALIADA À ABRANGÊNCIA E AO BAIXO CUSTO DE SISTEMAS ORBITAIS – EM BUSCA DA VIABILIDADE PARA O MONITORAMENTO DE TRANSFORMAÇÕES AMBIENTAIS EM BIOMAS BRASILEIROS

DARCTON POLICARPO DAMIÃO

EMAER – Estado-Maior da Aeronáutica
Esplanada dos Ministérios, Bloco ‘M’ – 5º Andar, 70.045-900, Brasília-DF, Brasil
darcton@abordo.com.br

Abstract. This paper presents an inexpensive way of monitoring environmental changes in large Brazilian biomes, without compromising resolution (spectral, spatial and temporal). This goal can be achieved by combining the high resolution, found in airborne sensors (e.g. SIVAM-SAR and/or SIVAM-HSS) with the relatively low cost, inherent to satellite imagery (e.g. LANDSAT 7, SPOT 5 and/or RADARSAT). With this arrangement in mind, a model was conceived taking into account a multi-layer approach.

Keywords: remote sensing, image processing, SIVAM, multi-layer.

1. Introdução

De acordo com Vincent (1997), os seres humanos podem ser somente a segunda espécie em toda a história geológica do planeta capaz de promover mudanças globais. A primeira espécie teria sido a alga “verde-azul”, que modificou a atmosfera terrestre de anaeróbica para uma atmosfera rica em oxigênio, há mais de três bilhões de anos.

No caso dos seres humanos, a população existente antes do Século XIX, aliada à baixa capacidade tecnológica, até então alcançada, eram insuficientes para provocar mudanças globais. Entretanto, a explosão demográfica, ilustrada na **Figura 1**, e o rápido desenvolvimento tecnológico trazem consigo o poder de provocar tais mudanças num horizonte muito próximo.

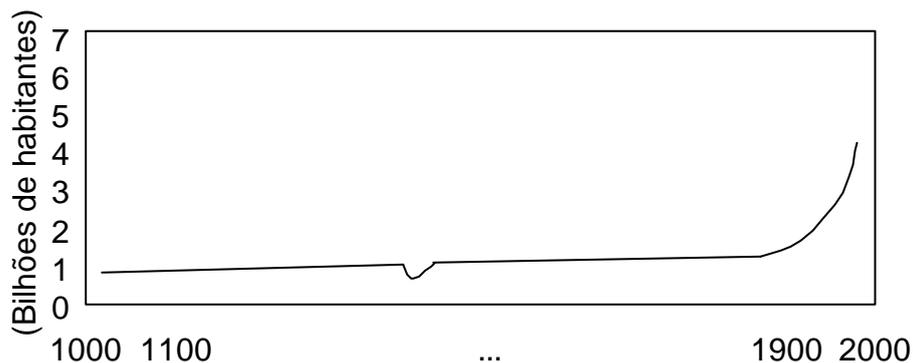


Fig. 1 – Crescimento da população mundial entre os anos 1000 e 2000.

FONTE: Adaptada de Getis *et* Getis (1982, *apud* Vincent, 1997).

Diante desta nova realidade, paira uma questão que instiga a comunidade científica mundial:

- *Teríamos, seres humanos, já provocado uma mudança de caráter global, de maneira não intencional?*

Embora a resposta a tal questão seja bastante controversa, não restam dúvidas de que, ainda que mudanças ao planeta em si, sua atmosfera e seus oceanos não possam ser comprovadas inequivocamente, há claros indícios de tendências nesta direção.

À parte da discussão puramente científica, está o fato de que as novas condições de contorno vigentes (superpopulação e o grave contraste existente entre alta tecnologia e índices de miséria global) tornam as questões ligadas ao meio ambiente um assunto de primeira grandeza no panorama geopolítico mundial.

Com efeito, pode-se dividir esse novo panorama em dois grupos de países claramente distintos: os que dispõem de alta tecnologia e aqueles que detêm vastas fontes de recursos renováveis.

Os demais países que não se enquadram em um dos dois casos supracitados simplesmente não possuem grande relevância nesse tipo de discussão.

No caso específico do Brasil, este ocupa posição de destaque entre os países do segundo grupo. Além de possuir uma grande dimensão geográfica, o Brasil possui dois dos mais complexos ecossistemas continentais existentes (Amazônia e Pantanal Matogrossense), detentores das maiores bacias de água doce da Terra. Além disso, dispõe de um vastíssimo litoral, o maior dentre os que são banhados pelo Oceano Atlântico.

Na iminência de eventuais mudanças climáticas e/ou ecológicas de caráter global, é natural de se esperar que a percepção que se tem da responsabilidade dos países pertencentes ao segundo grupo (para os fins desta argumentação) cresça rapidamente.

É igualmente natural esperar que a cobrança – justa ou injusta, pouco importa – sobre esse aumento de responsabilidade ambiental (percebido, é sempre bom lembrar) parta das nações do primeiro grupo em direção àquelas do segundo.

Coincidência ou não, o Brasil vem liderando iniciativas de pesquisas voltadas ao meio ambiente com avanços dignos de nota. Entretanto, dada a grandeza da tarefa e a relativa escassez de recursos num país sempre às voltas com mazelas mormente de fundo social, pode-se afirmar categoricamente que pesquisas ambientais estão longe de atingir um ponto de saturação.

Tal afirmação é especialmente aplicável à Amazônia, que constitui uma reserva com baixíssima ocupação demográfica (a mais baixa do País!), pouco conhecida e dotada de uma peculiar dificuldade de acesso. Tendo esse cenário em mente, concebeu-se um modelo de pesquisa para o ambiente amazônico que, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, cria condições para se atingir o objetivo apresentado a seguir.

2. Referencial teórico e analítico

A Amazônia possui algumas características intrínsecas que a tornam o objeto ideal para pesquisas conduzidas a partir de sistemas de sensoriamento remoto apoiados por sistemas de informação geográfica (SIG).

Trata-se de uma área extremamente vasta e de difícil acesso. O uso de sistemas sensores orbitais, portanto, se apresenta como uma solução tecnológica bastante atraente. Não sem razão, os satélites das séries LANDSAT, SPOT e RADARSAT vêm sendo usados sistematicamente por pesquisadores brasileiros e estrangeiros há anos, naquela região.

Basta lembrar que o Brasil - não somente por conta de trabalhos de monitoramento da Amazônia, é verdade – é hoje um dos maiores usuários de satélites de sensoriamento remoto do mundo. De acordo com matéria publicada pela Gazeta Mercantil, em 8/11/02 (Relatório Gazeta Mercantil – Indústria Aeroespacial Brasileira, p.2), para ter acesso às informações repassadas somente pelos satélites LANDSAT e SPOT, são gastos por ano o equivalente a US\$ 2 milhões.

Entretanto, há determinados eventos e fenômenos que, para serem adequadamente investigados, necessitariam de sistemas dotados de melhores resoluções espacial, espectral e temporal. Os novos satélites de alta resolução espacial podem resolver apenas parte desse problema. Ainda assim, o custo por km² tornaria seu uso proibitivo para toda a Amazônia.

Para abordar a questão, vislumrou-se o uso de sistemas sensores aerotransportados de alta resolução (espacial, espectral e temporal), como forma de maximizar a eficiência de sistemas sensores orbitais de média resolução (espacial e espectral) e de grande cobertura territorial.

Naturalmente, ainda que tal abordagem possa resolver as questões técnicas ligadas às resoluções, ela também implicaria uma linha de ação economicamente inviável para se empreender. Deste aparente paradoxo, diagnosticou-se o seguinte problema:

- o *Como alcançar a compreensão de eventos ou fenômenos ligados ao ambiente amazônico, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, de maneira adequada (a solução funciona, ou seja, resolve efetivamente o problema), praticável (a solução é passível de implementação) e aceitável (os benefícios auferidos com a solução compensam os custos e os riscos assumidos)?*

Uma boa maneira de responder a essa pergunta é indagar o que tem sido feito com este perfil de abordagem.

O ciclo de sensoriamento remoto pode ser didaticamente dividido em três etapas: aquisição, processamento e análise (interpretação). Ocorre que, no Brasil, pesquisas envolvendo sistemas sensores de altas resoluções espacial, espectral e temporal sempre estiveram restritas às duas últimas etapas. A razão é simples: não dispúnhamos das plataformas com tais características para conduzir a etapa de aquisição segundo as nossas próprias necessidades.

Agora, com a premente entrada em operação do SIVAM, o País dispõe de suas próprias plataformas de sensoriamento remoto, nas quais estão montados sistemas sensores de alto desempenho. Dentre esses sensores, dois merecem destaque: um radar de abertura sintética (SIVAM-SAR) que opera nas bandas 'X' (com capacidade de interferometria) e 'L' (com multipolarização); e um imageador hiperespectral (SIVAM-HSS) de 50 canais, distribuídos no visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho termal.

Diante dessa realidade, partiu-se da premissa de que a aplicação de técnicas de tratamento de imagens digitais (TID) em cenas coletadas por sistemas sensores aerotransportados (SIVAM-SAR e SIVAM-HSS) - combinados ou não -, permite o isolamento de atributos de interesse, numa dada área de estudo da região amazônica.

Isso possibilita a extrapolação desses atributos para imagens coletadas por sistemas sensores orbitais, o que torna economicamente viável o estudo sistemático de áreas extensas.

O sistema conceitual implícito no modelo formulado é função precípua da natureza dos eventos ou fenômenos escolhidos para sua aplicação. Tais eventos ou fenômenos constituem o objeto de estudo propriamente dito e podem ser, entre outros:

- a. Transformações ambientais vinculadas ao desenvolvimento sustentável;
- b. Conflitos socioambientais, como desmatamentos e atividades extrativistas;
- c. Manejo de resíduos sólidos na bacia amazônica;
- d. Relação entre atividades produtivas e o ambiente amazônico.

De qualquer forma, objetivou-se a concepção de um modelo que fosse aplicável a uma miríade de objetos de estudo, desde que devidamente adaptados caso a caso. Significa dizer que, em última instância, a abordagem de uma pesquisa envolvendo águas pode ter uma orientação bastante similar àquela de uma pesquisa voltada à vegetação, rochas etc.

3. Materiais e Métodos

Dois possibilidades de utilização de sistemas sensores são divisadas como ferramentas de validação do modelo em tela: o radar de abertura sintética (SIVAM-SAR) e o imageador hiperespectral (SIVAM-HSS).

O primeiro apresenta características que o creditam como um tipo de ímpar de imageador para a Amazônia. Até o início da década de 70, a região amazônica era uma das áreas mais pobremente mapeadas de todo o mundo. Em que pese sua extensão territorial, essa realidade se justificava também por suas características climáticas.

Segundo Maurício (1987), a cobertura de nuvens para o Brasil é tal que o percentual de imagens ópticas satisfatórias (com cobertura máxima de 30%) é de apenas 7,7%. O clima existente na Amazônia, ainda mais propício à formação de nuvens do que no restante do País, torna simplesmente inviável o mapeamento sistemático daquela região por sistemas sensores ópticos, estatisticamente falando. Naturalmente, quanto menor for a área coberta pelo sistema óptico (satélites cobrem extensas áreas, enquanto aeronaves produzem imagens sobre áreas mais contidas), menor será a sua restrição de uso em função das condições climáticas.

Em face do comprimento de onda utilizado pelos radares (microondas) ser bem maior do que as partículas em suspensão na atmosfera, esta pode ser considerada transparente à radiação desses sistemas sensores, sob virtualmente quaisquer condições atmosféricas.

Além disso, os radares imageadores são sistemas sensores ativos, ou seja, emitem a própria radiação. Uma vez que atuam dessa forma, independem da iluminação solar, podendo ser empregados tanto diurna, quanto noturnamente.

No caso específico do SIVAM-SAR, ele possui capacidades absolutamente inéditas, quando se tem em mente a coleta de imagens de radar sobre o território brasileiro. Na banda 'X', possui duas antenas dispostas lado a lado num pedestal localizado na parte ventral da aeronave (Embraer 145, ou FAB R-99B). Essa configuração o habilita a gerar imagens interferométricas e, por conseguinte, modelos numéricos de elevação (MNE), sem a necessidade de coletas de dados de campo.

Na banda 'L', possui a mesma geometria de aquisição daquela existente para a banda 'X' (sem a capacidade interferométrica), com a disponibilidade de quatro polarizações (HH, HV, VH e VV), o que confere ao SIVAM-SAR possibilidades temáticas sem precedentes para a comunidade de pesquisadores brasileiros nessa área.

Essa grande oferta de produtos, que podem ser combinados em imagens com resoluções de até 3 m, em faixas de 20 km de largura, é o melhor indicador da grande sinergia trazida pelo SIVAM-SAR para a pesquisa brasileira.

Os imageadores hiperespectrais, por sua vez, conquanto não possuam as propriedades que permitem aos radares a capacidade de imageamento em qualquer hora (dia-noite) e em qualquer tempo (meteorologia), detêm algumas características que lhes conferem outros atributos bastante interessantes.

Os imageadores hiperespectrais – ou espectrômetros imageadores – são instrumentos capazes de coletar imagens em várias bandas espectrais contíguas e muito estreitas, ao longo das faixas visível e infravermelho do espectro eletromagnético. Com isso, busca-se integrar as capacidades de ampla visão espacial provida pelos sistemas imageadores com o alto poder de discriminação espectral dos espectro-radiômetros.

O resultado é a possibilidade de discriminação de feições na superfície que possuem características próprias de absorção e reflexão em porções do espectro que são muito estreitas para serem notadas por imageadores multiespectrais tradicionais, devido à baixa resolução espectral desses sensores.

Por terem um uso eminentemente científico, esse tipo de sistema sensor é bastante caro e relativamente raro. O exemplar mais sofisticado que se tem notícia pertence à NASA e é

conhecido pelo acrônimo AVIRIS (Airborne Visible-Infrared Imaging Spectrometer). Ele possui 224 canais, distribuídos entre 0,4 e 2,45 μm , em pequenas faixas com cerca de 9,6 nm de largura. A bordo de uma aeronave ER-2 (versão de pesquisa do U-2 militar), voando a 20 km de altitude, produz imagens com resolução espacial de 20m.

Ainda que o SIVAM-HSS não possua atributos de engenharia tão sofisticados quanto os do AVIRIS (são “apenas” 50 canais), ele tem algumas características peculiares que o tornam mais atraente sob determinados aspectos.

Em primeiro lugar, ele pode compensar a comparativamente baixa resolução espectral com uma resolução espacial dezenas de vezes superior, dado que a plataforma na qual ele está instalado (um *Cessna Caravan*, ou FAB R-98) voa em altitudes bem inferiores (cerca de 3 km) às do ER-2.

Por voar em altitudes inferiores, o SIVAM-HSS é bem menos afetado pela atmosfera terrestre, o que irá beneficiar sobremaneira a condução de estudos científicos. Isso porque a implementação de correções atmosféricas é computacionalmente pesada, normalmente baseada em modelos desenvolvidos para o hemisfério Norte e de resultados quase sempre duvidosos, quando aplicados nas condições vigentes no Brasil.

Por fim, merece destaque o fato de que a plataforma de coleta, o R-98, pertence à FAB e não a uma agência estrangeira. Isso significa que projetos de pesquisa podem ser programados segundo as necessidades da comunidade científica brasileira, em data e local apropriados a tais projetos. Trata-se de um diferencial nada desprezível, quando o assunto é a coleta de dados de pesquisa, uma questão quase sempre onerosa e difícil (em termos de disponibilidade).

Vale destacar que o mesmo raciocínio, no que se refere à disponibilidade de meios, pode ser estendido ao SIVAM-SAR.

Os dados a serem obtidos com esses dois tipos de sensores são de natureza bastante diversa. É difícil antever, portanto, se a combinação desses dois sistemas irá trazer benefícios que justifiquem ignorar a economia que os seus empregos isolados podem proporcionar. Entretanto, quando se trata de obter conhecimento acerca de um alvo de superfície, é razoável supor que, quanto mais informações disponíveis sobre ele, tanto melhor.

O modelo toma por base uma investigação conduzida de forma essencialmente empírica, com trabalho de campo e de laboratório distribuídos nas diferentes etapas do modelo proposto a seguir, conforme ilustra a Figura 2.

A partir de uma grande área de interesse, coberta por uma imagem de baixo custo (LANDSAT 7, SPOT 5, RADARSAT), identifica-se um sítio de estudo, no qual se pretenda investigar os eventos ou fenômenos de interesse.

A escolha do sítio deve levar em consideração alguns aspectos básicos. Em primeiro lugar, deve constituir uma área de fácil acesso por terra, a fim de permitir a condução de trabalhos de campo. É interessante, também, que seja uma área relativamente protegida (parque nacional, área militar etc.), de modo a permitir a condução de experimentos tão controlados quanto possível. Por fim, deve abrigar os eventos ou fenômenos de interesse do estudo.

Tal sítio deve ser imageado por sistemas sensores de alta resolução (espacial, espectral e temporal), aerotransportados, portanto. Com o apoio de um criterioso trabalho de campo, deverão ser identificadas feições de interesse notáveis perfeitamente enquadradas na base conceitual adotada para o estudo.

A seguir, essas feições são realçadas e isoladas por meio do uso de técnicas de TID, com apoio de ferramentas de geoprocessamento.

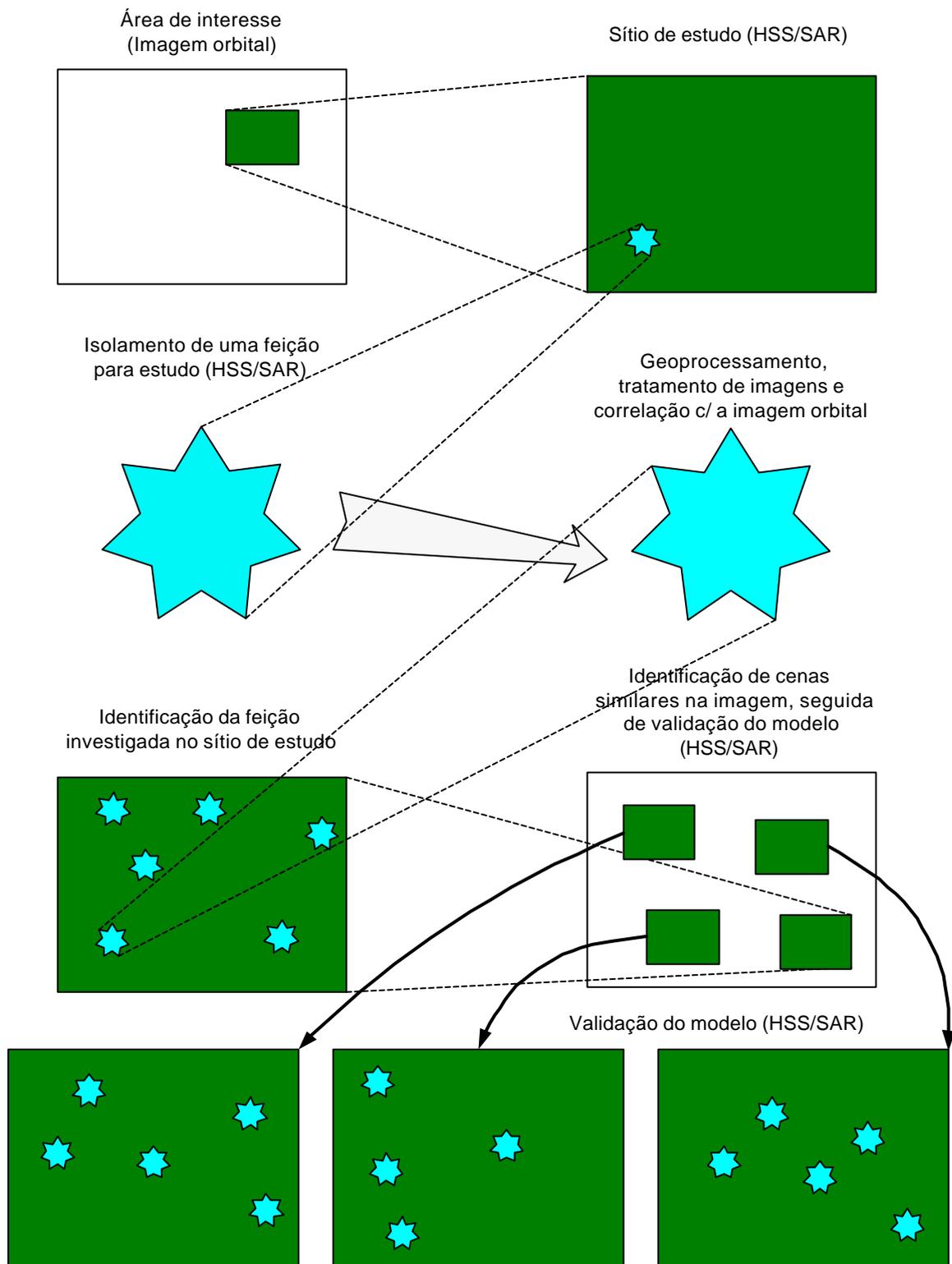


Fig. 2 - Modelo de pesquisa idealizado.

O próximo passo será trilhar o caminho contrário, aquele que irá validar a hipótese formulada. De volta ao sítio sob investigação, procurar-se-á replicar a ocorrência de tais feições, extrapolando-se as características verificadas para toda a cena imageada.

Uma vez compreendido o processo que torna essa feição notável, busca-se o efeito de *zoom-out*, que permite identificar a feição detetada e identificada nas imagens de alta resolução na imagem de satélite.

A seguir, os pontos identificados tornam-se alvo de investigação a partir de satélites considerados de baixo custo (LANDSAT 7, SPOT 5, RADARSAT).

4. Resultados e Discussão

A compreensão das dinâmicas existentes no ecossistema amazônico é extremamente dependente de estudos criteriosos conduzidos naquela região. Pelas razões apresentadas no início deste trabalho, urge fazer algo nesse sentido que tenha o maior alcance possível.

Entretanto, quando se fala em alcance na Amazônia, a primeira restrição que vem à mente é o óbice econômico. Embora o sobrepujamento deste obstáculo não seja o único ganho a ser alcançado com a implementação deste estudo, ele certamente merece destaque.

Além disso, outras razões de ordem teórica e/ou prática justificam a adoção deste modelo:

- a. o estágio atual de desenvolvimento dos conhecimentos referentes ao tema é ainda algo incipiente. Conquanto haja, no contexto mundial, uma boa quantidade de pesquisas envolvendo o uso de sistemas sensores mencionados (o que fornece uma boa base teórica), praticamente nada foi feito no Brasil, pelas razões já apresentadas;
- b. estima-se que este estudo, por envolver teorias já conhecidas num ambiente ainda pouco investigado por essas mesmas teorias, contribuirá, em muito, na proposição de respostas a este e outros problemas similares (outros eventos ou fenômenos), bem como na eventual ampliação das formulações teóricas a esse respeito;
- c. o sucesso desta pesquisa poderá sugerir modificações no âmbito da realidade abarcada pelo tema apresentado, eventualmente na própria maneira de se abordar os meios tecnológicos dispostos pelo SIVAM.

5. Conclusão

O uso de aeronaves dotadas de sistemas sensores de alta resolução simplifica grandemente uma série de tarefas de monitoramento ambiental. Muitas instituições, sem tal suporte tecnológico, estariam fadadas à relativa imprecisão de sistemas orbitais, ou ainda pior, à verificação por terra.

Por outro lado, não resta dúvida que biomas como o da Amazônia são por demais extensos para serem cobertos sistematicamente somente por sistemas sensores aeroembarcados. A massa de dados coletada transformaria o desafio numa tarefa muito pesada, computacionalmente falando, além de economicamente inviável.

Pensando nisso, foi concebido o modelo apresentado, que possui a virtude de propor a solução para um problema de grande monta, sem incorrer na demanda por recursos vultosos na mesma proporção. Ele pode ser implementado a um custo por km² e a um prazo de execução bastante inferiores aos permitidos pelas imagens aerotransportadas. Além do mais, respostas adequadas, praticáveis e aceitáveis aos problemas amazônicos trazem consigo o mérito da relevância social para uma região absolutamente carente.

Finalmente, um modelo capaz de viabilizar o estudo sistemático da Amazônia, a custos não proibitivos, tem o poder de despertar a atenção municipal para o fato de que o Brasil não só se preocupa com o meio ambiente, mas também adota medidas pró-ativas nesse sentido.

Referências

Damião, D. P. *Aerolevantamento na Amazônia – uma tarefa para radares imageadores*. São José dos Campos, 1994. 14 p.

Gazeta Mercantil. *Relatório Gazeta Mercantil – Indústria Aeroespacial Brasileira*. São Paulo, 2002. p. 2.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. *Remote sensing and interpretation*. 3rd Ed. New York, NY, John Wiley & Sons, 1994.

Maurício, J. A. *Efeitos da cobertura de nuvens em sensoriamento remoto*. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado de Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1987.

Vincent, R. K. *Geological and environmental remote sensing*. Upper Saddle River, NJ, Prentice-all, 1997.