


<i>Reference :</i> PNAE-OBT-01-2004	<i>Version :</i> 1.7	
	<i>Status :</i> Draft	
<i>Date :</i> January 2004	<i>Nature :</i> Open	
<i>Origin :</i> Coordenação de Observação da Terra (OBT/INPE)	<i>Revised by :</i> Gilberto Câmara (INPE) João Viane Soares (INPE)	
<i>Authorized by :</i> Luiz Carlos Miranda (INPE)	<i>Approved by :</i> Luiz Carlos Miranda (INPE)	
<i>Document Title</i> Produtos e Serviços de Observação da Terra		

Distribution List

Company	To	Copies
INPE	Luiz Carlos Miranda	1
INPE	Leonel Perondi	1
AEB	Miguel Henze	2
CTA	Maj Ricardo Veiga	1
FIBRA FORTE	Jadir Gonçalves	1
INTERSAT	Luiz Leonardi	1
CENIC	Ralph Corrêa	1
CNPM - EMBRAPA	Marcelo Guimarães	1
CHM-Marinha	Cap Corveta Renato Feijó da Rocha	1

HISTÓRICO

Versão	Histórico das edições
1.0	Análise inicial pela OBT/ INPE
1.1	Primeira revisão por Evlyn Novo e José Bacellar
1.2	Revisão adicional feita por Gilberto Câmara
1.3	Revisão de Gilberto Câmara que incorpora comentários de Ricardo Cartaxo
1.4	Revisão de João Viane Soares que incorpora comentários de Lênio Galvão, Maurício Alves Moreira, Ronald Buss de Souza e João Lorenzetti
1.5	Revisão de Gilberto Câmara que incorpora comentários de Waldir Paradella, Bernardo Rudorff e José Carlos Epiphânio.
1.6	Revisão de José Carlos Epiphânio sobre a parte de Agricultura
1.7	Revisão de João Viane Soares e Gilberto Câmara sobre o resumo executivo

Equipe Responsável pelo Documento

Antônio Miguel Monteiro

Bernardo Rudorff

Evlyn Novo

Gilberto Câmara

João Vianeí Soares

José Carlos Epiphânio

José Teixeira Bacellar

Lênio Galvão

Maurício Alves Moreira

Ricardo Cartaxo Modesto de Souza

Ronald Buss de Souza

João Antônio Lorenzetti

Waldir Renato Paradella

RESUMO DAS PRINCIPAIS CONCLUSÕES

1. O Brasil precisa de sensores ópticos com resolução espacial média e alta resolução temporal, e com bandas posicionadas nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo (uma banda no infra-vermelho de ondas curtas é extremamente desejável). Estes requisitos são em parte atendidos pelo programa CBERS através do uso combinado de seus diferentes instrumentos.
2. O sensor mais adequado para o Brasil seria um imageador de cobertura global com resolução espacial da ordem de 20-30 metros, largura de faixa de 1000 km, e 5 bandas (3 no visível, 1 no infra-vermelho próximo, e 1 no infra-vermelho médio). Dever-se-ia pensar numa configuração como essa para a próxima geração do CBERS.
3. Como complemento ao CBERS, o Brasil deve garantir o acesso a pelo menos mais dois sensores de média resolução espacial, a ser escolhidos entre o IRS, SPOT-5, LANDSAT e DMC/China. Devem ser iniciadas negociações com a China para possível acesso aos dados de seus dois satélites DMC.
4. O Brasil deve colocar o programa de satélites de sensoriamento remoto com SAR em alta prioridade, pois se trata de uma tecnologia de ampla utilização potencial em nosso país. O programa deve enfatizar sensores com banda L, multipolarização e capacidade interferométrica. Para o monitoramento marinho, a prioridade passa a ser um SAR em banda C.
5. Recomenda-se que o Brasil estabeleça conversações iniciais com países como a China e Israel, no sentido de avaliar a possibilidade de construção conjunta de um satélite de alta resolução espacial. Este satélite brasileiro de alta resolução deve ser pensado como um "bem público", com imagens disponíveis sem custo para os usuários nacionais.
6. As cargas úteis a serem colocadas na plataforma multimissão devem, em princípio, ser complementares aquelas dos sensores do programa CBERS.
7. Considerando seu cronograma de construção, a primeira carga útil da plataforma multimissão deveria ser óptica, com um sensor AWF1 similar aos dos satélites CBERS-3 e 4 ou um sensor de alta resolução e capacidade estereoscópica (câmara pancromática com no máximo 3 metros de resolução). Em ambos os casos, a órbita da plataforma deveria ser polar com cobertura global.

8. A segunda carga útil da plataforma multimissão deveria ser um sensor SAR banda L, por suas características já demonstradas de imageamento das áreas florestais e agrícolas do território brasileiro.
9. A OBT está comprometida com uma participação ativa na especificação dos sensores da plataforma multimissão e na construção do segmento solo destas missões.

1 Introdução: Que Satélites Precisamos?

No contexto da revisão do PNAE, este documento busca responder a uma pergunta de simples formulação, mas de resposta não óbvia: *que satélites de observação da terra devem fazer parte do programa espacial brasileiro?* Para responder a esta questão, devemos antes considerar duas questões auxiliares: *Que satélites de sensoriamento remoto precisamos no Brasil? Que satélites podemos construir nos próximos 10 anos, levando em conta expectativas financeiras realistas e a capacidade da indústria nacional?*

Para responder a estas duas questões, será preciso inicialmente analisar a situação internacional, pois o Brasil neste setor sempre teve uma grande interface com programas internacionais, seja com o estabelecimento de estações operacionais de recepção e geração de imagens (LANDSAT, SPOT, RADARSAT-1), seja com a participação de representantes de empresas internacionais (IKONOS, QUICKBIRD). Depois consideraremos o contexto das aplicações de observação da terra e faremos uma breve análise do contexto industrial, para finalmente poder endereçar as questões acima.

2 Os Satélites de Observação da Terra e a Produção de Geoinformação.

Para melhor compreender a capacidade dos programas de Observação da Terra em responder à sociedade, é importante considerar quais são os principais pontos de contribuição das imagens de satélite para a produção de geoinformação. Em outras palavras, cabe responder: *“Em que condições as imagens de sensoriamento remoto representam um diferencial significativo com relação a outras formas de captura de informação?”* A experiência internacional mostra que o diferencial das imagens se concentra em quatro pontos (cf MacDonald, J.S. 2002. *“The Earth Observation Business and the Forces that Impact it”*, EOBN 2002 Keynote Address):

(a) Quando precisamos coletar, de forma rotineira e consistente, informação sobre todo o planeta.

O espaço exterior é o único local do qual pode-se observar a Terra como um todo. Deste modo, em temas como mudanças globais, avaliação das florestas tropicais, e estudos climáticos, o uso de satélites de observação da terra é a única forma de obter dados de forma sistemática e consistente. Os sensores a bordo de satélites como o AQUA, TERRA, ENVISAT são exemplos deste tipo de instrumento.

(b) Quando temos a necessidade de cobrir uma grande área de forma consistente e repetitiva

No caso brasileiro, o monitoramento de desflorestamento e queimadas da Amazônia só pode ser realizado com instrumentos de coleta como imagens de satélite. Com cerca de 8.000 km de extensão, a zona econômica exclusiva marinha brasileira de 200 milhas náuticas, representa uma área agregada ao território nacional de cerca de 3 milhões de quilômetros quadrados. Esta área somente pode ser monitorada por meio de satélites.

Adicionalmente, em função da extensão e incremento constante da área ocupada pelo setor do agrobusiness brasileiro, o uso de imagens orbitais para obtenção de informações agrícolas vem sendo ampliado, permitindo um conhecimento circunstanciado do uso e ocupação das terras no Brasil, de sua dinâmica espaço-temporal e de seus impactos ambientais.

(c) Quando precisamos obter informação de forma rápida sobre eventos cuja localização e ocorrência é de difícil previsão e/ou acesso (e.g., desastres naturais).

Neste caso, inclui-se a ocorrência de desastres naturais (e.g., enchentes) ou produzidos pelo homem (e.g., queimadas ou poluição causada por derramamento de óleo no mar), e ainda casos de reconhecimento militar (e.g., ações na fronteira)) e ainda voltados ao gerenciamento de crises (e.g., Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República/GSI-PR). Nestas situações, a capacidade de obtenção rápida de imagens é absolutamente fundamental. Esta capacidade está sendo materializada, em muitos satélites, pelo uso de diferentes modos de coleta de forma a reduzir o tempo de revisita (cobertura do mesmo ponto da Terra). Um exemplo é o uso de imagens de radar para monitoramento de manchas de óleo no mar territorial brasileiro, feito pela PETROBRÁS ainda, o emprego de imagens no Sistema de Assentimento Prévio e Gestão de Crises, desenvolvido pela Embrapa Monitoramento por Satélite a pedido do GSI-PR, para apoiar o monitoramento da fronteira terrestre do BRASIL e recursos naturais.

(d) Quando precisamos de mapeamento cartográfico, e as imagens de satélite podem substituir ou complementar os levantamentos aerofotogramétricos.

Neste caso, trata-se de atualizar e produzir nossas bases cartográficas, nas diferentes escalas. As imagens de satélite são fontes de dados extremamente úteis, desde que utilizadas na escala adequada para cada tipo de dados. Devemos então distinguir entre dois tipos de mapeamento: a cartografia sistemática (em escalas até 1:50.000) e a cartografia urbana (em escalas 1:5.000 ou maiores). Na cartografia sistemática, a DSG/MEx utiliza rotineiramente imagens LANDSAT para a atualização de seu mapeamento 1:250.000. Trabalhos realizados pelo INPE e resultados publicados na literatura indicam que é possível utilizar imagens RADARSAT-1 (em modo Fine) e imagens com estéreo-par ASTER para geração de carta topográfica com planialtimetria

que atende os requisitos do PEC (COCAR) na escala de 1:100.000. Trabalhos publicados na literatura indicam que imagens de sensores SAR como as previstas para o RADARSAT-2 (3 metros de resolução) e ópticos como as produzidas pelo SPOT-5 (2.5 metros de resolução) podem permitir o mapeamento sistemático em escalas 1:50.000.

Na cartografia urbana, as imagens com resolução métrica ou submétrica tem o potencial de reduzir o custo e o tempo de realização dos projetos de atualização e produção de novas cartas, desde que combinadas com levantamentos existentes de forma adequada.

O que todas estas situações têm em comum? Trata-se de exemplos de informações voltadas para o "*bem público*". Em outras palavras, as áreas de aplicação, nas quais o sensoriamento remoto apresenta um diferencial com relação a outras formas de levantamentos de dados sobre o território, estão fundamentalmente ligadas a missões de governo. Daí decorre o fato de os governos, em suas diferentes instâncias, serem os principais clientes deste tipo de informação, fato que impõe limites e obrigações para a relação público/privado neste setor.

3 O Panorama Internacional em Satélites de Sensoriamento Remoto: Os Produtos

3.1 Diferentes Tipos de Sensores

O panorama internacional de programas de satélites apresenta hoje um quadro no qual podemos distinguir diferentes tipos de sensores:

- *Alta resolução espacial*: sensores com resolução melhor que 5 m, como no caso do IKONOS-2 (1 m PAN, 4 m MS-VIS)¹ e QuickBird (0,6m PAN, 2.4 m MS-VIS). que possuem faixa de imageamento de 13 e 16,5 km, respectivamente. Estes sensores adquirem imagens de forma programada sobre alvos definidos que podem revistos a cada 5 dias com alteração de geometria de visada. Outros exemplos de satélites com sensores de alta resolução espacial são: ORBVIEW-3, EROS-A, SPOT-5, IRS-P6..
- *Média resolução espacial*: sensores multiespectrais com resolução entre 10 e 40 m e faixa de imageamento entre 100 e 600 km, e capacidade de cobertura global

¹ PAN – banda pancromática (tipicamente, 0.50-0.90 μm). MS – multiespectral, VIS – espectro visível (de 0.4 a 0.75 μm), NIR – infravermelho próximo (de 0.8 a 1.1 μm), SWIR – infravermelho de ondas curtas (de 1.5 a 2.7 μm), MIR – infravermelho médio (de 3.0 a 5.0 μm).

de 15 a 30 dias. Exemplos: CBERS/CCD (20 m, 120 km, 4 bandas VIS + NIR) e LANDSAT/TM (30m, 180 km, 6 bandas VIS, NIR e SWIR).

- *Constelações de satélites ópticos*: Trata-se da idéia de produzir um conjunto de satélites semelhantes que, voando em sincronismo, consigam combinar uma média resolução espacial com alta resolução temporal. Nesta classe de satélites, deve-se fazer menção especial às tecnologias de sensoriamento de baixo custo desenvolvidas pelo SSTL (Surrey Satellite Technology)². Esta tecnologia equipa a constelação DMC (Disaster Monitoring Consortium), formada pela China, Nigéria, Turquia, Tailândia e Algéria, com 32 m de resolução espacial, 600 km de faixa de imageamento e bandas multiespectrais VIS e NIR. Também será a base do projeto comercial alemão-canadense "Rapid Eye", com 5 satélites, com 6,5 m de resolução, 160 km de faixa de imageamento e bandas multiespectrais VIS e NIR³.
- *Alta resolução temporal*: sensores multiespectrais com faixa de imageamento entre 750 e 2500 km, resolução espacial entre 60 e 1000 m, e capacidade de cobertura global de 1 a 5 dias. Exemplos: EOS/MODIS (2300 km, 250/500/1000 m, 36 bandas VIS, NIR, SWIR, MIR, revisita diária), ENVISAT/MERIS (1150 km, 300 m, 15 bandas VIS e NIR), IRS-P6/AWiFS (740 km, bandas no VIS, NIR, SWIR, revisita 5 dias) e CBERS/WFI (890 km, 260 m, 2 bandas VIS e NIR, revisita 5 dias).
- *SAR (microondas) com cobertura ampla*: Sensores de microondas com capacidade de imageamento em qualquer condição meteorológica, com diferentes modos de operação que permitem combinações de faixas de imageamento, ângulos de incidência e resolução espacial. Como exemplo, o RADARSAT-1, com banda C (5,3 GHz) e polarização HH, opera desde um modo "Fine" com a faixa de imageamento de 50 km e 8 m de resolução até um modo "ScanSAR" com faixas de imageamento de 300 km a 500 kms e resolução espacial de 50 a 70 m. Dois projetos estão atualmente em andamento: O PALSAR (plataforma ALOS), SAR em banda L quad-pol, a ser lançado pelo Japão em 2005, e o canadense RADARSAT-2, a ser lançado em 2006, com banda C polarimétrico, de elevada resolução espacial (3 metros) desenvolvido numa parceria público-privada (PPP) envolvendo o governo canadense e a MDA, com um investimento total de US\$ 490 milhões.
- *SAR de elevada resolução espacial e cobertura menor*: O alto custo de construção de satélites SAR com cobertura global tem motivado o

² <http://www.sstl.co.uk/index.php?loc=120>.

³ <http://www.rapideye.de/welcome.htm>

desenvolvimento de satélites SAR baseados em plataformas de baixo custo. Estes satélites por vezes contam com faixa de cobertura mais estreita. Exemplo é o alemão TerraSAR-X, previsto para 2006, que terá modos de imageamento que vão de 1,5 m a 30 m de resolução com faixa de imageamento respectiva de 10 km até 200 km.

- *Constelações de satélites SAR*: Da mesma forma que no caso óptico, no domínio SAR também temos os Sensores SARLupe-X com aproximadamente 500-700 kg de peso, com modos de imageamento que incluem desde um modo com 1 m (um metro) de resolução e 8 km de faixa imageada, até um modo com 8 m de resolução e 60 km de faixa imageada⁴ e tendo como inovação antena refletora.

3.2 Políticas de Distribuição de Dados

Uma questão fortemente relacionada com o tipo do sensor é a política de distribuição de dados associada. Esta política de dados está associada ao financiador do satélite (público ou privado) e aos seus clientes. Podemos distinguir aqui quatro situações:

- (a) *Construção e comercialização privada*: a situação mais comum é o caso dos satélites americanos de alta resolução (como IKONOS, ORBVIEW e QUICKBIRD), cuja construção e operação são feitas por companhias privadas. Eles buscam competir no mercado com os provedores de serviço de aerolevanteamento, mas também tem apoio indireto do governo americano sob a forma de compra de imagens. Os casos mais recentes são os dois contratos feitos pela National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) dentro do programa NextView, que garantem a compra de US\$ 500 milhões num período de 4 anos para cada um dos operadores escolhidos, que foram a Digital Globe (QUICKBIRD) e OrbImage (ORBVIEW).
- (b) *Construção e comercialização em parceria público-privada (PPP)*: esta é a situação típica dos satélites canadenses e europeus, nos quais os governos financiam parte da construção, seja diretamente ou através de uma compra antecipada. No caso do RADARSAT-2, o Canadian Ice Service é o cliente principal. Já o SAR-LUPE e o Cosmos-Skymed (SAR banda X) têm garantia de compra pelo setor de defesa e também estão associados ao programa europeu GMES (Global Monitoring for Environment and Security).
- (c) *Construção pública, comercialização privada*: esta é a situação dos programas israelense EROS, francês SPOT e indiano IRS, no qual o governo constrói os

⁴ <http://www.ohb-system.de/Satellites/Missions/sarlupe.html>

satélites e os opera dentro de seu espaço geopolítico para fins públicos. Fora da área de interesse dos governos, estes dados são comercializados por empresas privadas, inclusive com a venda de estações de recepção direta.

- (d) *Construção e distribuição pública*: Esta é a política adotada pelo programa americano LANDSAT e por sensores de baixa resolução espacial como MODIS e AVHRR. Trata-se de dados de uso ambiental e científico.

A diversidade de modelos de comercialização pode ser explicada através da característica de ser a área espacial um mercado com forte presença estatal e afetado por considerações geopolíticas. Assim, a lógica da concorrência direta não é suficiente para explicar tantas diferenças entre os modelos. Apesar destas distinções, pode-se tentar apresentar algumas considerações gerais:

- O investimento do setor privado só tem acontecido quando há um cliente cativo (como o setor de defesa) ou quando há uma expectativa de mudanças de patamar tecnológico (a substituição do aerolevante pelas imagens de alta resolução).
- Ainda não há histórias de sucesso financeiro na comercialização de imagens ópticas com mais de 5 metros de resolução. Os programas de constelações de satélites estão tentando mudar esta situação, tentando acoplar os dados de satélite com serviços de geoinformação associados, como no caso da empresa alemã "Rapid Eye":

"RapidEye AG, founded 1998 in Munich, plans to become the leading service provider for geographical information and will offer geo-information products like crop mapping, crop monitoring, and crop damage assessment on a global basis. Agricultural insurance companies, farmers, food companies, government agencies as well as national and international agencies will be the main users of these information products and services. In addition RapidEye will be able to offer its customers up-to-date maps and digital elevation models of every region on earth".

No entanto, a experiência internacional mostra que a geração de serviços está associada a empresas de caráter local, que conhecem o cliente, têm condições de fazer levantamentos de campo e combinar diferentes fontes de informação. Assim, o desafio que se coloca para empresas com a *Rapid Eye* é considerável.

3.3 Uma Visão Geral.

Para permitir uma visão comparativa dos diferentes sensores, apresentamos a seguir várias tabelas comparativas.

TABELA 1 – COMPARAÇÃO ENTRE SENSORES ÓPTICOS

	Resolução (m)	Faixa (km)	Bandas
ORBVIEW-5 (2007?)	0.4 (PAN) 1.2 (MS)	8	VIS (3) NIR (1)
WorldView (2006)	0.5 (PAN) 1.2 (MS)	?	VIS (3) NIR (1)
QUICK BIRD (2001)	0.6 (PAN) 2.8 (MS)	16	VIS (3) NIR (1)
PLEIADES-1 (2007?)	0.7 (PAN) 2.8 (MS)	20	VIS(3)
EROS C (2008?)	0.7 (PAN) 2.8 (MS)	20	PAN(1)
EROS B (2006?)	0.7 (PAN)	12	PAN(1)
IKONOS (1999)	1.0 (PAN) 4.0 (MS)	11	VIS (3)
ORBVIEW-3 (2003)	1.0 (PAN) 4.0 (MS)	8	VIS (4)
EROS A (2000)	1.9 (PAN)	12	PAN(1)
SPOT-5 HRV(2001)	2.5 (PAN) 10 (MS)	2x60	VIS(3) NIR(1) SWIR (1)
IRS-P5 (2005?)	2.5 (PAN) x 2	30 km	PAN
DMC China (2005?) (2 satélites)	4.0 (PAN)	48 km	PAN
CBERS-3,4/PM (2008?)	5.0 (PAN) 10 (MS)	60 km	PAN, VIS(2), NIR(1)
IRS-P6 LISS-4(2003, 2006?)	5.8 (PAN, MS)	24 (MS), 70 (PAN)	VIS(2), NIR(1)
RAPID-EYE (2007?) (5 satélites)	6.5 (PAN, MS)	78	VIS(2), NIR(1)
CBERS-2, 2B, 3 - CCD (2003, 2006?, 2008?)	20	120	VIS(3), NIR (1)
IRS-P6 LISS-3(2003, 2006?)	23	140	VIS(2), NIR(1), SWIR(1)
LANDSAT - ETM	30	180	VIS, NIR, SWIR
DMC China (2005?) (2 satélites)	32	600	VIS(2), NIR(1)

TABELA 2 - SATÉLITES DE ALTA RESOLUÇÃO - PREVISÃO DE OPERAÇÃO

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
IKONOS	1 m	█							
QUICKBIRD	0.6 m	█							
ORBVIEW-3	1 m	█							
EROS A	1.9	█							
SPOT5	2.5 m	█							
IRS-P6	5.8 m	█							
IRS-P5	2.5 m		█						
DMC China	4 m		█						
IRS-P6 B	5.8 m			█					
EROS B	0.7 m			█					
WorldView (Digital Globe)	0.5 m			█					
RAPID-EYE	6 m			█					
PLEIADES1	0.7 m				█				
ORBVIEW-5	0.4 m				█				
CBERS-3 PM	5 m					█			

TABELA 3 - SATÉLITES ÓPTICOS DE RESOLUÇÃO INTERMEDIÁRIA

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
LANDSAT5	30 m	[Barra]							
SPOT4	20 m	[Barra]							
SPOT5	10 m	[Barra]							
CBERS-2	20 m	[Barra]							
IRS-P6	23m	[Barra]							
CBERS-2B	20 m			[Barra]					
CBERS-3	20 m					[Barra]			
LANDSAT8	30 m					[Barra]			

TABELA 4 – COMPARAÇÃO ENTRE SENSORES SAR

	Resolução (m)	Faixa (km)	Bandas-Polarização
RADARSAT-1 (2001)	8.5 a 100	50 a 500	C-HH
ENVISAT ASAR (2002)	30 a 1000	100 a 400	C-HH ou C-VV
<i>RADARSAT-2 (2005?)</i>	<i>3 a 100</i>	<i>20 a 500</i>	<i>C-QuadPol</i>
<i>ALOS PALSAR (2005?)</i>	<i>10 a 100</i>	<i>35 a 200</i>	<i>L-QuadPol</i>
<i>TERRASAR-X (2006?)</i>	<i>2.5 (PAN) x 2</i>	<i>30 km</i>	<i>X</i>
<i>COSMOS-SKYMED (2007?)</i>	<i>1.0</i>	<i>15 km(?)</i>	<i>X</i>
<i>SAR-LUPE (2007?)</i>	<i>1.0 a 8.0</i>	<i>8 a 60 km</i>	<i>X</i>
<i>MAPSAR (2008?)</i>	<i>3.0 a 20.0</i>	<i>20 a 40 km</i>	<i>L-QuadPol</i>

3.4 A Visão Geopolítica

A diversidade de produtos apresentada nas seções anteriores é de certa maneira desconcertante, com muita concorrência em algumas áreas (e.g., alta resolução óptica, SAR banda X) e menor oferta em outras (e.g., média resolução). Para entender melhor este quadro, será preciso considerar a questão geopolítica. O desenvolvimento de satélites de sensoriamento remoto está intrinsecamente ligado a políticas de governo, seja na construção (e.g., LANDSAT), no financiamento (e.g., SAR-LUPE) ou na compra privilegiada (e.g., IKONOS). Numa breve revisão do quadro geopolítico, podemos indicar:

- (a) *Estados Unidos*: Os EUA têm uma política dupla, onde os satélites de aplicação científica e ambiental são de responsabilidade do governo (e.g., LANDSAT, Terra) e os satélites de maior resolução são operados por empresas comerciais, sob licença e controle estatal⁵. A ênfase das empresas comerciais é em sensores de alta resolução, e não há previsão de programas civis de sensores SAR.
- (b) *Empresas comerciais EUA*: Três empresas buscam atuar no mercado de alta resolução: Space Imaging (IKONOS), Digital Globe (QuickBird) e Orbital Imaging (OrbView). Estas empresas fizeram grandes investimentos e estão com dificuldades financeiras, tanto para recuperar os investimentos como para custear os sucessores dos satélites hoje em órbita. O governo americano, em coerência com sua política, investe de tempos em tempos nestas empresas, usando do seu poder de compra.
- (c) *Canadá*: investe num único tipo de sensor (SAR com cobertura global), para o qual vem combinando investimento estatal com atuação privada (MDA, Radarsat International, PCI).
- (d) *França*: está abandonando a área de média resolução (programa SPOT) em favor de sensores de alta resolução com aplicações comerciais e militares (Plêiades). Aposta ainda na infra-estrutura de atuação global montada pela estatal SPOT Image. Não tem programas SAR orbitais, mas busca ter acesso a esta tecnologia com acordos com Itália (diretamente) e com a Alemanha através da empresa comercial InfoTerra, parte do consórcio Astrium.
- (e) *Alemanha*: faz uma aposta forte na área de SAR, sendo hoje, além da ESA, o principal concorrente internacional do Canadá no desenvolvimento desta

⁵ Veja-se o documento "US Commercial Remote Sensing Policy", disponível no site <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2003/05/20030513-8.html>.

tecnologia para satélites civis. Tem hoje dois projetos em desenvolvimento em parceria governo-empresa: TerraSAR-X (em conjunto com a empresa InfoTerra), e a constelação SAR-Lupe X (com a empresa OHB).

- (f) *Itália:* sem uma tradição estabelecida na área de construção de satélites, também está investindo na área de SAR, com os satélites COSMOS-Skymed. Resta saber se terá condição de competir com alemães e canadenses.
- (g) *Índia:* Tem um programa estabelecido de satélites ópticos de resolução espacial média, associado a um forte componente de aplicações desenvolvidas localmente. Em sua nova geração, busca ampliar sua participação no mercado de alta resolução. Estabeleceu um acordo com a Space Imaging para distribuição internacional das imagens de seus satélites.
- (h) *China:* O programa chinês - apresenta - pelo menos quatro diferentes vertentes: a cooperação com o Brasil no programa CBERS, os satélites militares que usam plataformas semelhantes ao CBERS, os satélites tipo DMC cujos sensores foram desenvolvidos pela SSTL (ver acima), e o grupo do Centro Nacional de Sensoriamento Remoto, cujo foco tem sido no uso e aplicações de satélites estrangeiros (LANDSAT, SPOT, RADARSAT). Especula-se ainda que os chineses devam estar negociando algumas parcerias na área de SAR.
- (i) *Brasil:* O foco principal do programa brasileiro de observação da terra é o programa CBERS. O Brasil beneficia-se do fato do INPE concentrar numa única instituição as funções de construção de satélites, recepção de imagens, pós-graduação e pesquisa em sensoriamento remoto, e desenvolvimento de software de processamento de imagens. Esta situação, talvez única no mundo, permitiu que o programa CBERS obtivesse uma rápida inserção nacional, a partir do lançamento do CBERS-2. O Brasil ainda tem um programa de satélites de observação da terra de médio porte, a partir de uma plataforma multimissão. No entanto, as cargas úteis desta plataforma ainda não estão definidas. Participa atualmente com a DLR (Agência Aeroespacial da Alemanha), de um estudo de viabilidade detalhada (fase A) do MAPSAR, um SAR em banda L, quad-pol com antena refletora.

4 O Ponto de Vista dos Clientes: Os Serviços

4.1 Panorama do Mercado Internacional

Nesta seção, faremos uma análise geral do mercado internacional. De acordo com um relatório da Frost & Sullivan ("World Commercial Remote Sensing Imagery, GIS Software, Data and Value-added Services Markets 2003") o mercado mundial de geoinformação foi estimado como na Tabela 5.

TABELA 5 – MERCADO MUNDIAL GEOINFORMAÇÃO 2003

Segmento de Mercado	Receitas (US\$ milhões)
Imagens	990
Software GIS	1.430
Dados GIS	1.380
Serviços	1.580
Total	5.380

Deste total, estima-se que pelo menos 2/3 da demanda por produtos e serviços seja do setor público. Na área específica de imagens, recente consultoria da Booz Allen para a Agência Espacial Européia ⁶ ("The State and Health of the EO Value Adding Industry in Europe and Canada today", Agosto 2004) indica que nesta área 78% da demanda por produtos vem do setor público. Além disto, o mercado está fortemente concentrado na área de imagens de alta resolução, especialmente pela presença já estabelecida do setor comercial de aerolevanteamento. Segundo outra consultoria da Booz Allen para a ESA, o grande mercado de imagens de sensoriamento remoto é para imagens com menos de 0,5 metro de resolução (ver Figura 1).

⁶ Material disponível em <http://www.eomd.esa.int/>

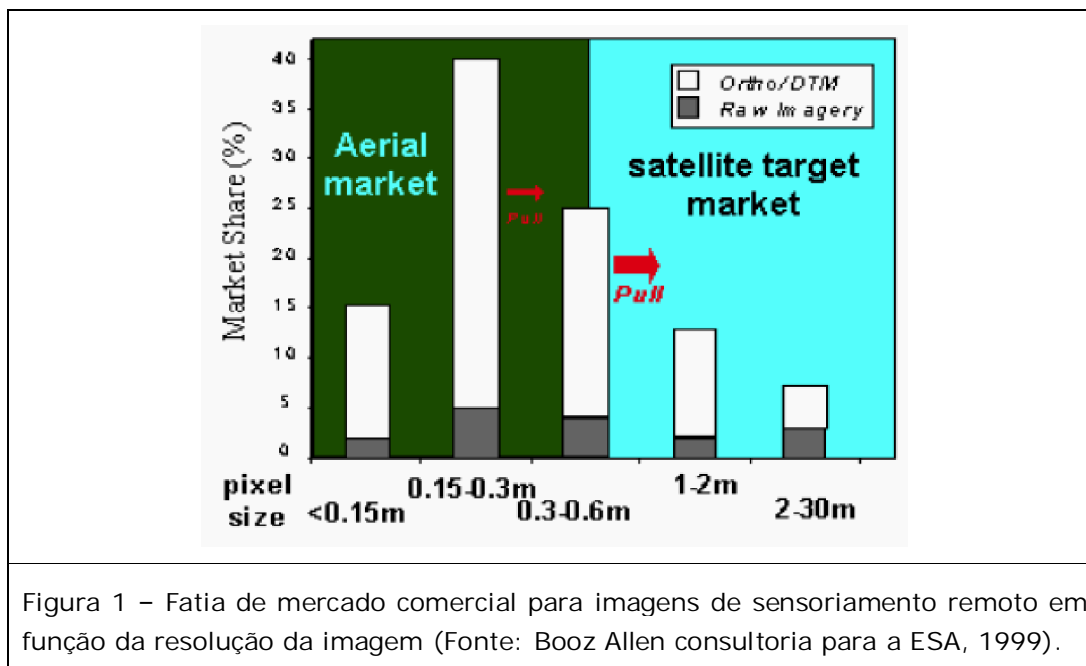


Figura 1 – Fatia de mercado comercial para imagens de sensoriamento remoto em função da resolução da imagem (Fonte: Booz Allen consultoria para a ESA, 1999).

As referidas consultorias também apontam que a forte concorrência entre os fornecedores tradicionais de imagens (companhias de aerolevanteamento) e os operadores de satélites de alta resolução vem forçando os preços para baixo. Isto indica que os principais operadores comerciais estão tendo dificuldade em amortizar os altos investimentos relacionados com seus satélites, mas que ainda não atingiram a resolução necessária para capturar a maior parte do mercado (ver Figura 1 acima). Como consequência, não será simples para estes operadores conseguir capital de risco para sua segunda geração de satélites, que quebraria a barreira de 0,5 metro de resolução. Conclusões semelhantes também são externadas num estudo da RAND Corporation (“U.S. Commercial Remote Sensing Satellite Industry: An Analysis of Risks”)⁷.

Estas análises indicam uma necessária depuração do mercado de alta resolução, com uma competição muito acirrada entre os atuais ocupantes e os sensores planejados (como o “Plêiades” francês). A conclusão evidente é que o programa espacial brasileiro dificilmente teria chance de ocupar uma fatia significativa do mercado comercial internacional de imagens. Não apenas estamos muito atrasados para fazer possíveis investimentos, como também estaríamos lutando por uma área já bastante disputada.

4.2 Análise dos Requisitos do Mercado Brasileiro

⁷ Material disponível em <http://www.rand.org/publications/MR/MR1469/>.

Após esta apresentação do mercado internacional, consideramos a seguir a situação do mercado brasileiro. No que segue, dividiremos o mercado em seus diferentes setores e apontaremos as necessidades de cada setor. Convém alertar que esta análise não resulta de um levantamento de consulta à comunidade de sensoriamento remoto, mas de uma apreciação feita com base na experiência do INPE e de seus parceiros. Para simplificar a análise, consideramos duas situações genéricas para cada área de aplicação:

- *Monitoramento (Atualização)*: capacidade de detectar padrões espaciais e de acompanhar a evolução de um processo espaço-temporal.
- *Identificação*: capacidade de distinguir e individualizar feições no terreno.

Apesar de tratar-se de uma simplificação, esta distinção nos permitirá traçar um quadro inicial de requisitos.

4.3 Requisitos de Aplicações Militares

Deve-se ter em mente que os satélites com resolução melhor que 2,5 metros tem uso dual (militar e civil) e uma forte conotação geopolítica. No caso militar, a primeira questão a ser analisada diz respeito aos objetivos gerais. Por exemplo, países como EUA e Inglaterra têm objetivos globais e tropas espalhadas pelo planeta, com capacidade de ataque. Já a doutrina militar recente do Brasil apresenta como principal missão de nossas forças armadas o controle das fronteiras, especialmente na Amazônia e Centro-Oeste. Este controle está associado ao combate ao narcotráfico e à eventual ação de guerrilheiros vindos de outros países. Na plataforma continental, o controle de tráfego de navios e embarcações de menor porte é realizado por patrulhamento aéreo, com subsequente abordagem local por navios da Marinha. A detecção de embarcações ilegais presentes na costa brasileira e a proteção de toda a infra-estrutura de produção de petróleo instalada no mar, sujeita também a ação de sabotagem, é de importância estratégica para o país e só poderá ser realizada com eficiência em toda essa zona com o auxílio de dados de satélites. Trata-se assim de uma missão de defesa da integridade de nosso território. Considerando Nossa ação militar internacional está associada a missões de cunho humanitário (Haiti, Timor Leste). Assim, o principal requisito de aplicações militares sobre o território continental diz respeito à disponibilidade de imagens sobre a Amazônia e a nossa fronteira no Centro-Oeste. Sobre o território marítimo, dados e imagens de satélites são cruciais para toda a região da plataforma continental brasileira, com ênfase na costa leste e sudeste. Trata-se de um requisitos nada fácil de serem bem atendidos, a saber:

- Os alvos de interesse têm natureza difusa e capacidade de rápido deslocamento, e muitas vezes usam camuflagens que dificultam a detecção remota.

- Os sensores ópticos de alta resolução enfrentam problemas com a freqüente cobertura de nuvens, e com a natureza móvel dos alvos.
- Os sensores SAR operando em bandas X e C têm baixa capacidade de detecção de alvos em regiões de densa cobertura vegetal.
- Para a detecção de alvos no mar, podemos considerar os radares imageadores SAR (bandas C e L) como principal fonte de dados; a principal dificuldade se refere a disponibilidade dos dados para processamento e uso em tempo quase real.

4.4 Requisitos de Aplicações: Agricultura

A agricultura é certamente o maior usuário potencial de imagens de sensoriamento remoto em função da dinâmica da atividade agrícola, a qual é fortemente influenciada pelas condições climáticas e de mercado. Desta forma, as culturas agrícolas precisam ser observadas em épocas específicas a fim de que elas sejam corretamente identificadas para avaliação da área plantada. Além disso, o acompanhamento das culturas agrícolas ao longo da safra por meio de imagens de sensores remotos permite, em conjunto com informações climáticas, estimar a produtividade agrícola e, conseqüentemente, quantificar a produção da safra. Ao longo das últimas três décadas foram realizados inúmeros trabalhos científicos que demonstraram o potencial das imagens de sensoriamento remoto na área agrícola. Contudo, o sensoriamento remoto ainda não substitui os métodos convencionais e subjetivos de previsão e estimativa de safras. A principal limitação do uso destas imagens reside na indisponibilidade de imagens livres de cobertura de nuvens. As nuvens são fundamentais para a agricultura, pois trazem consigo a chuva, mas impedem a obtenção de imagens da superfície terrestre, exceto para as imagens de radar, mas estas ainda têm uso limitado nas aplicações do sensoriamento remoto na agricultura. Uma das formas de aumentar a probabilidade de aquisição de imagens livres de nuvens se dá por meio do aumento da freqüência de observação da Terra pelo satélite. Isto pode ser obtido com o imageamento de órbitas mais largas ou por meio de uma constelação de satélites. No primeiro caso ocorre uma diminuição da resolução espacial enquanto que no segundo caso o custo da missão é bem mais elevado. Nos últimos anos foram disponibilizados dados do sensor MODIS a bordo dos satélites americanos TERRA e ACQUA e cujas imagens são adequadas para estimativa de produtividade de soja conforme foi demonstrado num estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul em dois anos safra. Portanto, o sensor MODIS, com resolução espacial de 250 x 250 m e revisita diária, apresenta grande potencial para fornecer imagens dentro de um sistema operacional de estimativa de produtividade de grandes culturas agrícolas. Entretanto, a disponibilidade de imagens com resolução espacial em torno de 10 m a 30 m, para fins de estimativa de área, continua sendo uma limitação para o uso operacional destas

imagens na agricultura. Esta limitação não se deve à indisponibilidade de sensores a bordo de satélites, mas à falta de capacitação do Brasil na aquisição de imagens de um maior número de sensores. Para esta classe de imagens (resolução de 10 m a 30 m) o Brasil recebe hoje dados dos satélites Landsat-5 e CBERS-2, mas poderia adquirir também imagens dos satélites IRS-P6 (indiano), SPOT-5 (francês), entre outros, a fim de aumentar a disponibilidade de imagens livres de nuvens. Por outro lado, isto acarretaria um aumento significativo dos recursos financeiros para aquisição destas imagens, o que somente pode ser compensado por meio do fornecimento de informações confiáveis e objetivas sobre a previsão e estimativa anual da produção da safra agrícola. Esta é uma questão estratégica e foge do escopo deste documento. Todavia, cabe destacar que existem riscos, principalmente de ordem climática, que alteram a produção de alimentos. A magnitude destes impactos pode causar tanto perdas para o agronegócio, quanto colocar em risco a segurança alimentar. Nestas condições, os tradicionais métodos subjetivos de estimativa de produção perdem confiabilidade, e o sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta auxiliar para estimar a produção. Contudo, a introdução de um sistema de estimativa de produção de safras, para um país de dimensões continentais e com grande diversidade ambiental como o Brasil, precisa ser implementado e ajustado gradativamente pelos órgãos responsáveis pela geração das estatísticas agrícolas. Recentemente, foi estabelecida uma iniciativa de pesquisa entre órgãos das áreas acadêmica e de pesquisa (INPE, UNICAMP, IAC, UFRGS, entre outros) com a CONAB para desenvolver uma metodologia capaz de fornecer informações sobre a estimativa de área plantada e de produtividade de algumas importantes culturas agrícolas, como soja, milho, citrus, cana e café por meio de modelagens agroclimatológicas, técnicas de amostragem, imagens de sensoriamento remoto, e outros mecanismos. Este projeto conjunto já vem mostrando alguns resultados, como foi a estimativa de área de soja para o Paraná e o Rio Grande do Sul, de milho para o Paraná, e de café para o Espírito Santo, com intenso uso de imagens de satélite, incluindo o CBERS. Outro exemplo é o projeto de cooperação técnico-científica entre o INPE, a USP e a UNICA para o mapeamento da área canvieira no Estado de São Paulo por meio de imagens de sensoriamento remoto. Os exemplos dos projetos acima citados buscam contornar o problema da parcial disponibilidade de imagens livre de nuvens por meio do uso de técnicas de amostragem ou de análise multitemporal para o caso de cultura semi-perene (cana-de-açúcar). Finalmente, concluímos que as imagens de sensoriamento remoto podem conter informação relevante sobre as culturas agrícolas, desde que adquiridas em épocas específicas ao longo da safra agrícola. Para tal é necessário que um maior número de imagens seja disponibilizado por meio da aquisição de dados de múltiplos satélites, conforme está resumido na Tabela 6.

Além desse aspecto da melhoria da frequência de aquisição de imagens úteis na época da safra agrícola, há que se mencionar a necessidade de que a qualidade espectral das imagens de sensoriamento remoto atendam de modo satisfatório à agricultura. Neste

sentido, vários estudos e projetos de aplicação têm demonstrado a importância de que uma banda no infravermelho de ondas curtas (1,55 μm a 1,75 μm) esteja presente nos sistemas sensores, preferencialmente na mesma câmera, a fim de propiciar melhores condições de registro inter-bandas. Sem esta banda, como ocorre na câmera CCD dos CBERS 1, 2 e 2B, os satélites deixam muito a desejar no que tange à discriminação dos alvos agrícolas. Esta observação vale para não só para a agricultura como também para todos os alvos vegetais. Assim, nos sistemas futuros, essa consideração é de alta relevância. Pode-se mesmo dizer que deveria ser repensada a configuração dos satélites CBERS 3 e 4, a fim de que suas câmeras MUXCAM e AWFI contemplassem esta banda em suas configurações.

TABELA 6 – REQUISITOS PARA AGRICULTURA

	Identificação de grandes culturas	Avaliação e Identificação	Monitoramento de grandes culturas
Res. Espacial	20-30 m (global)	1-5m (alvos)	80-250 m (global)
Res. Temporal	5-10 dias	(semestral)	3-5 dias
Bandas	VIS, NIR, SWIR	VIS, NIR	VIS, NIR, SWIR

4.5 Requisitos de Aplicações: Floresta

As principais aplicações em na área de Floresta são o monitoramento do desmatamento (com foco principal na Amazônia) e a fiscalização destas atividades, com concessão de licenças para desmatamento que respeitem o Código Florestal. Para estas aplicações, a situação ótima é a disponibilidade de sensores de média resolução espacial e alta resolução temporal (diária ou próxima disto), combinado com o uso de satélites de alta resolução espacial para acompanhamento detalhado de áreas mais críticas (p.ex., reservas indígenas, parques nacionais ou implantação de rodovias).

TABELA 7 – REQUISITOS PARA FLORESTA

	Alerta	Monitoramento	Identificação
Res. Espacial	100-300 m (global)	20-80 m (global)	1-5 m (foco em alvos)
Res. Temporal	- diária	mensal	(semestral)
Bandas	VIS, IR, SWIR ou SAR- L	VIS, IR, SWIR ou SAR - L	VIS, IR, SWIR ou ou SAR - L

4.6 Requisitos de Aplicações em Geologia

A retomada dos levantamentos geológicos básicos (com componentes de cartografia geológica, hidrogeologia, geofísica e geoquímica) é fundamental para o desenvolvimento minero-industrial e da gestão territorial do país. Produzir mapas geológicos tem a mesma importância que construir obras civis necessárias ao desenvolvimento econômico e social do país, como estradas hidrelétricas e redes de transmissão de energia. A diferença é que os investimentos em levantamentos geológicos requerem períodos longos de maturação e por serem de cunho de infraestrutura, somente garantem desenvolvimento sustentável a médio e longo prazos. Isto pode ser comprovado pelos ciclos de geração de grandes jazidas ocorridos nas décadas de 1980 e 1990, que foram induzidos por programas governamentais da década de 1970 e início dos anos 1980, respectivamente. Na década de 1990, o governo interrompeu os Programas de Levantamentos Geológicos Básicos (PLGB), limitando-se à execução de projetos de integração de dados (Geotecnologias). Estes, embora organizem e aumentem a compreensão sobre o acervo geológico do país, não acrescentaram novos dados primários, capazes de atrair e estimular novos investimentos em exploração mineral. Do território total da Amazônia, considerada a região com maior potencial mineral do país, menos de 20% dispõe de conhecimento geológico aceitável na escala de 1:250.000 e na escala de 1:100.000, considerada a escala mínima para dirigir qualquer investimento no setor, este índice se reduz para 1% (fonte: Serviço Geológico Brasileiro-CPRM, maio de 2004). A utilização de informações indiretas fornecidas por sensores remotos é vital neste ambiente, particularmente o uso de sensores de radar, que permitem realces do terreno (macro e micro-topografia) devido à visada lateral, variações de incidência e de azimutes de visada (órbitas ascendentes e descendentes). Além disso, estéreo-pares (visadas opostas e de mesmo lado) podem ser gerados, ampliando a percepção tri-dimensional do relevo e diminuindo a subjetividade inerente a análise monoscópica. A fusão digital entre imagens SAR e aerogeofísica se reveste de enorme importância para aplicações de cartografia geológica, particularmente pelos enormes investimentos previstos para o período de 2004-2006, em levantamentos aerogeofísicos (gamaespectrométrico e magnético) na região. Em síntese, para aplicações geológicas na região Amazônica, a prioridade deve ser dada a um SAR (banda L), polarimétrico, de elevada resolução espacial (5 metros), com atributos adicionais de visadas nos dois lados de trajetória (quatro azimutes de visada) e dotado de capacidade estereoscópica. Para aplicações fora do contexto Amazônico, e em segunda prioridade, sensores ópticos (multiespectral e ou pancromáticos), de elevada resolução espacial e estereoscopia seriam desejáveis

4.7 Requisitos de Aplicações: Cartografia Urbana

Esta é área onde existe uma competição acirrada entre as imagens de satélite com sensores de alta resolução espacial e o aerolevanteamento tradicional (ver seção 3.1 acima). A experiência brasileira recente indica que para a realização de um levantamento inicial (ou no caso de cidades com cartografia muito desatualizada), são necessárias imagens com resolução próxima a 0,5 m. Para a atualização de cartografia existente, podem-se utilizar imagens com resoluções entre 1 e 3 metros.

TABELA 8 – REQUISITOS DE APLICAÇÕES: CARTOGRAFIA URBANA

	Atualização	Identificação
Res. Espacial	1-3 m	0.25 – 0.6 m
Res. Temporal	< anual	< bienal
Bandas	VIS	VIS

4.8 Requisitos de Aplicação: Cartografia Sistemática

Como é sabido, o Brasil tem um déficit substancial em seu mapeamento cartográfico da Cartografia brasileira. Como aponta a Tabela 9, 25% do território brasileiro (especialmente na Amazônia) ainda não possui cartografia na escala de 1:100.000. Adicionalmente, muitas das cartas nas escalas 1:100.000 e 1:250.000 foram produzidas nas décadas de 60 e 70 e estão desatualizadas.

TABELA 9 – SITUAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO (fonte IBGE)

ESCALAS	TOTAL DE FOLHAS	FOLHAS EXECUTADAS	% MAPEAMENTO
1:25.000	47.712	492	1
1:50.000	11.928	1.647	14
1:100.000	3.049	2.289	75
1:250.000	556	444	81
1:500.000	154	68	37
1:1.000.000	46	46	100

Para a atualização de cartas, o IBGE e a DSG tem recorrido cada vez mais a imagens de satélite em resoluções compatíveis. Para produção de cartas topográficas,

especialmente nas escalas 1:50.000 e 1:100.000, será necessário dispor de sensores com capacidade de mapeamento digital de terreno. Temos neste caso três grandes alternativas: (a) sensores ópticos com estereoscopia; (b) sensores SAR com estereoscopia; (c) sensores SAR com interferometria. No primeiro caso, trata-se do equivalente orbital das técnicas já consagradas de aerolevanteamento, como não caso do SPOT HRG e do planejado IRS-P5 Cartosat. O grande desafio dos sensores ópticos são as áreas com freqüente cobertura de nuvens, como a Amazônia e a costa do Nordeste. No caso de sensores SAR com estereoscopia, o modelo digital de terreno gerado no caso da Amazônia refere-se à copa das árvores. Pode-se corrigir este modelo nos casos onde a vegetação acompanhe a variação do relevo (como um tapete) através do uso de medidas de campo. Outra alternativa para derivar a altimetria com imagens SAR é a interferometria, que é mais precisa, mas que em regiões de muito relevo tem suas limitações.

TABELA 10 – REQUISITOS DE APLICAÇÃO: CARTOGRAFIA SISTEMÁTICA

	Atualização	Mapeamento
Res. Espacial	20-1000 m	1 – 3 m
Res. Temporal	semestral	Semestral
Bandas	VIS, NIR	VIS, NIR (com estereoscopia) SAR com interferometria e estereoscopia

4.9 Requisitos de Aplicação: Queimadas

O monitoramento de queimadas é uma atividade operacional no Brasil, e para sua realização precisa principalmente de satélites com bandas espectrais no infravermelho médio na faixa de 3,5 μm , para medir a radiação emitida por alvos em processo de queima. Os sensores AVHRR e o MODIS incluem esta banda. Uma vez monitorada a queimada, a identificação precisa dos alvos pode ser realizada por satélites ópticos de maior resolução.

TABELA 11 – REQUISITOS DE APLICAÇÃO: QUEIMADAS

	Monitoramento	Identificação

Res. Espacial	250-1000 m	1 - 10 m
Res. Temporal	4 x diária	Semanal
Bandas	Infra médio (3.5 μm)	VIS, NIR, SWIR

4.10 Requisitos de Aplicações: Impactos Ambientais e Urbanos

O monitoramento e prevenção de eventos extremos ou de grande impacto ambiental é hoje uma das grandes preocupações de todos os países. Dada a grande concentração urbana brasileira, a necessária proximidade de nossa infra-estrutura industrial (fábricas, oleodutos, refinarias) de nossas cidades, e o grande impacto de eventos climáticos extremos, é importante termos informação para ações de Defesa Civil. A disponibilidade de dados imediata é fundamental para estas aplicações; esta meta pode ser mais bem atingida com uma grande redundância entre diferentes sensores e com a capacidade de apontamento dos satélites.

TABELA 12 – REQUISITOS DE APLICAÇÃO: IMPACTOS AMBIENTAIS

	Monitoramento	Identificação
Res. Espacial	5-20 m	0.5 – 3 m
Res. Temporal	imediata (foco no alvo)	imediata (foco no alvo)
Sensores	VIS, NIR com espelho móvel	VIS, NIR, SAR banda L

4.10. Requisitos de Aplicações: bacias oceânicas, mar territorial e zona costeira.

O principal requisito de aplicação de dados de sensoriamento remoto em oceanografia no Brasil é a capacidade de integração dos mesmos a modelos de monitoramento e previsão. Tais modelos podem se concentrar tanto em processos oceânicos como costeiros que busquem responder às demandas da sociedade. Atualmente, a sociedade dispõe de produtos de sensoriamento remoto (por exemplo, temperatura da superfície do mar, concentração de clorofila, produção primária) e não apenas imagens de bandas espectrais. Essa mudança de paradigma permite a fusão de diferentes produtos obtidos a partir da mesma plataforma, para o estudo detalhado dos processos físicos e biológicos marinhos. Facilita, inclusive a alimentação de modelos orientados àqueles mesmos processos. A integração desses produtos com dados obtidos a partir de sensores altimétricos operando em microondas, permite também o estudo da dinâmica de recursos biológicos importantes (como a pesca) e das condições de dispersão de poluentes no oceano.

No caso do mar territorial brasileiro, a variabilidade das correntes marinhas e das massas de água na superfície pode ser monitorada através destes produtos. As interações da Corrente do Brasil, que domina o nosso mar territorial, com outras

correntes de origem equatorial, subantártica ou com as águas costeiras, necessitam ser melhor avaliadas para que se conheça o impacto destas sobre os recursos vivos, clima e tempo, por exemplo. Da mesma maneira, essas interações geram fenômenos de mesoescala (centenas de quilômetros) no mar, tais como os vórtices (ciclones ou anticiclones marinhos) que afetam a indústria do petróleo e a produtividade marinha.

A detecção remota de variações da cor da água pode ser empregada para a estimativa de um grande número de importantes parâmetros ambientais. Sensores como o Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS), MODIS e MERIS, operando no visível, possibilitam a estimativa da concentração de pigmentos (clorofila) na superfície do mar, produtividade primária, turbidez, plumas de sedimentos ou poluentes, vórtices, frentes de correntes, visibilidade da água, etc. Essas informações são importantes para o monitoramento ambiental, pesca, maricultura, operações navais e de exploração off-shore de petróleo, entre outras. Os dados podem ainda ser utilizados para o monitoramento da qualidade de água de grandes ambientes hídricos continentais, tais como grandes barragens, reservatórios e lagos. Estes tópicos apresentam uma importância não somente pelas suas aplicações comerciais e gerenciais dos recursos marinhos, mas também por questões relacionadas ao ciclo global do carbono no planeta.

Dados de alta resolução espectral, média resolução espacial (1 km) e alta repetitividade temporal (1 dia) são necessários para estes tipos de aplicações.

Para o estudo e monitoramento da zona costeira devem-se também contar com imagens de satélite de alta resolução espacial. As aplicações envolvem estudos de sedimentação marinha e costeira (assoreamento, erosão, dinâmica de dunas, variação da linha de praia, etc), mapeamento de corais e ecossistemas em áreas de preservação ambiental (ilhas, parques costeiros e marinhos, etc) e gerenciamento costeiro, além de servirem como suporte para a tomada de decisão em ações de gestão de uso e conservação. Imagens SAR operando nas bandas C, X ou L multi-polarizadas são também úteis para a detecção de manchas de óleo no mar, além de servirem para a caracterização das ondas superficiais e internas do oceano. Dados provenientes de imagens SAR sobre derrames de óleo podem ser utilizados para alimentar modelos de transporte e dispersão de óleo para aplicações ambientais legais e para suportar planos de contingência.

Sistemas de coleta automática de dados ambientais (telemetria) instalados em plataformas remotas também são instrumentos importantes para o monitoramento oceânico e costeiro. Dados de telemetria de bóias oceanográficas ancoradas e de deriva são importantes também para a validação de dados de imagens de satélite e os sistemas de telemetria é um importante subsistema CBERS que é amplamente utilizado em oceanografia.

TABELA 12 – REQUISITOS DE APLICAÇÃO: Bacias oceânicas, mar territorial e zona costeira

	Monitoramento oceânico	Monitoramento costeiro
Res. Espacial	0,5 - 1 Km	1 – 30 m
Res. Temporal	Diária	Mensal
Sensores	VIS, IV-termal	VIS, NIR, IV-termal, SAR banda C, X ou L

5 A Capacidade Industrial e de Serviços Brasileira.

Após discutir a oferta de sensores (produtos) e descrever os requisitos de aplicação (serviços), cabe aqui uma breve menção à capacidade de serviços instalada em nossas instituições públicas e empresas privadas. Neste particular, o Brasil tem uma capacitação significativa na prestação de serviços na área de observação da terra. Em todas as áreas acima mencionadas, temos empresas e instituições capazes de prover os serviços necessários.

É importante ainda indicar que no Brasil há também uma significativa capacidade instalada no desenvolvimento de tecnologia associada a sistemas de geração, produção, armazenamento e interpretação de imagens de satélite. Na área de produção de imagens, dispomos hoje de um sistema no estado-da-arte, cujo desempenho está atestado pelos indicadores de produção da estação CBERS-2 (ver tabela 13).

TABELA 13 – INDICADORES DE DESEMPENHO DA ESTAÇÃO CBERS-2

Numero de cenas CCD produzidas (200 GB/cena) de 01/maio a 30/setembro/2004	29.500
Numero de usuários	4960
Tempo médio de atendimento a pedidos	12 min
Ambiente de produção	8 PCs/Linux

Adicionalmente, os usuários de sensoriamento remoto brasileiros contam com tecnologias de software livre desenvolvidas pelo INPE (SPRING e TerraLib). O software SPRING é o principal produto de geoprocessamento do INPE e vem sendo largamente utilizado por um grande número de instituições brasileiras. Uma versão sem custo do sistema (código executável) está disponível no sítio www.dpi.inpe.br/spring. Dentro do INPE, o SPRING é utilizado para aplicações importantes como os projetos PRODES (Programa de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia) e ZEE (Zoneamento Ecológico-Econômico). Mais de 40.000 usuários em todo o mundo já obtiveram cópias do software.

A TerraLib é uma biblioteca de código fonte aberto, disponibilizada através da Internet no sítio <http://www.terralib.org>, atualmente em sua versão 3.0. A TerraLib permite a geração de aplicativos de geoprocessamento que integram de dados espaciais (imagens e mapas) em sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD). Como se trata de produto inédito em sua atualidade e funcionalidade, a TerraLib ampliará a autonomia tecnológica e científica nacional na área de Bancos de Dados Geográficos e permitirá que grupos de pesquisa e desenvolvimento se apropriem criativamente da experiência acumulada pela equipe do INPE, com benefícios para toda a sociedade brasileira.

6 Considerações Finais

O panorama acima exposto indica que as aplicações de sensoriamento remoto demandam sensores com diferentes características, e que nenhum país sozinho tem hoje um programa civil auto-suficiente. Outro aspecto a destacar é que aplicações de caráter operacional (como monitoramento do desmatamento, previsão de safras e derrames de óleo no mar) têm necessidade de dados com alta resolução temporal. Estas condições indicam que o Brasil, além de produzir seus próprios satélites, deve promover a integração com os programas internacionais. As recomendações conclusivas para o programa espacial brasileiro, do ponto de vista da área de aplicações em sensoriamento remoto, são as seguintes:

- (a) A maior parte de aplicações do Brasil precisa de sensores ópticos com média resolução espacial (20 a 60 metros) e alta resolução temporal (diária a semanal), com bandas nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo (uma banda no infra-vermelho de ondas curtas, em torno de 1650 nm, é extremamente desejável). O melhor sensor para o Brasil seria um imageador com resolução espacial da ordem de 20-30 metros, largura de faixa de 1000 km, e 5 bandas (3 no visível, 1 no infra-vermelho próximo, e 1 no infra-vermelho médio). O uso combinado dos sensores do satélite CBERS supre em parte esta necessidade, mas dever-se-ia pensar numa configuração como a acima apresentada para a próxima geração do CBERS.

- (b) O programa CBERS corresponde a uma necessidade objetiva de nossas aplicações de sensoriamento remoto e deve ser mantido e ampliado. Se possível, deve-se tentar ter dois satélites ópticos em órbita pelos próximos 10 anos. Como complemento ao CBERS, o Brasil deve receber pelo menos mais dois sensores de cobertura global, a ser escolhidos entre o IRS, SPOT-5, LANDSAT e DMC China. Neste particular, devem ser iniciadas negociações com a China para possível acesso aos dados de seus dois satélites DMC.
- (c) A Amazônia representa um território dentro do território nacional, caracterizada pela falta generalizada de informações, que dificulta a implementação de políticas públicas no levantamento, monitoramento e manejo de seus recursos naturais (renováveis e não-renováveis), com reflexos na gestão e soberania da região. As dificuldades de acesso e clima valorizam cada vez mais o uso de informações indiretas fornecidas por sensores remotos para operação neste tipo de ambiente. Devido às freqüentes cobertura de chuvas, nuvens, brumas e fumaças (queimadas), o uso de radares imageadores dedicados para aplicações de mapeamento temático, deve ter uma ênfase especial no Programa Espacial. Desta forma, o Brasil deve colocar o programa de satélites de sensoriamento remoto com SAR em alta prioridade, pois se trata de uma tecnologia de ampla utilização potencial em nosso país.
- (d) Para fins militares, cujas áreas de maior interesse estão na Amazônia e Centro-Oeste sobre o continente e sobre a zona costeira para o controle de tráfego marinho, um sensor SAR de alta resolução teria maior aplicabilidade do que um sensor óptico de alta resolução.
- (e) Na área de sensores de alta resolução espacial, a competição deve se acirrar bastante até o final da década, com pelo menos 4 satélites com resolução sub-métrica. Os mercados governamentais são cativos e dificilmente um satélite brasileiro teria qualquer chance de conquistar uma fatia significativa do mercado internacional. Um satélite brasileiro de alta resolução espacial só teria sentido se pensado como um "bem público", com imagens disponíveis sem custo para os usuários nacionais. Recomenda-se que o Brasil estabeleça conversações iniciais com países como a China e Israel, no sentido de avaliar a possibilidade de construção conjunta de um satélite de alta resolução espacial. Deve-se lembrar que a compra de imagens aos fornecedores internacionais pode ser uma alternativa apenas para as empresas públicas e privadas com maior poder aquisitivo. Se queremos uma cenário no qual o sensoriamento remoto seja usado de forma ampla pela sociedade, o País precisa de um satélite de alta resolução com imagens disponíveis sem custo para a sociedade.