

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 157

Levantamento Aéreo Expedito (LAE)

2ª Edição Revista

Yeda Maria Malheiros de Oliveira
Marilice Cordeiro Garrastazu
Nelson Carlos Rosot
Maria Augusta Doetzer Rosot
Arnaldo de Oliveira Soares
Joel Pereira Penteado Junior
William M. Ciesla
Erik Johnson

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,

83411 000 - Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675 5600

Home page: www.cnpf.embrapa.br

E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Dalva Luiz de Queiroz

Santana, Edilson Batista de Oliveira, Elenice Fritzsons, Jorge

Ribaski, José Alfredo Sturion, Maria Augusta Doetzer Rosot,

Sérgio Ahrens

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Câmara Trevisan

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

Ilustração da capa: Arquivo Laboratório de Monitoramento da

Embrapa Florestas

1ª edição

1ª impressão (2007): sob demanda

2ª edição

1ª impressão (2008): 500 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Levantamento Aéreo Expedito (LAE) / Yeda Maria Malheiros de Oliveira ...

[et al.]. - 2. ed. rev. - Colombo : Embrapa Florestas, 2008.

53 p. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1517-526X ; 157)

ISSN 1679-2599 (CD-ROM)

1. Levantamento aéreo. 2. Sensoriamento remoto. 3. Floresta -
Dano. I. Oliveira, Yeda Maria Malheiros de. II. Garrastazu, Marilice
Cordeiro. III. Rosot, Nelson Carlos. IV. Rosot, Maria Augusta Doetzer. V.
Soares, Arnaldo de Oliveira. VI. Penteado Júnior, Joel Pereira. VII.
Ciesla, William M. VIII. Jonhson, Erik. IX. Série.

CDD 526.982 (21. ed.)

© Embrapa 2008

Autores

Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Engenheira Florestal, Doutora
Pesquisadora da *Embrapa Florestas*
yeda@cnpf.embrapa.br

Marilice Cordeiro Garrastazu

Engenheira Florestal, Mestre
Pesquisadora da *Embrapa Florestas*
marilice@cnpf.embrapa.br

Nelson Carlos Rosot

Engenheiro Florestal, Doutor
Professor da Universidade Federal do Paraná
ncrosot@ufpr.br

Maria Augusta Doetzer Rosot

Engenheira Florestal, Doutora
Pesquisadora da *Embrapa Florestas*
augusta@cnpf.embrapa.br

Arnaldo de Oliveira Soares

Assistente da *Embrapa Florestas*
asoares@cnpf.embrapa.br

Joel Ferreira Penteadó Junior

Economista, Mestre

Analista da *Embrapa Florestas*

joel@ncpf.embrapa.br

William M. Ciesla

Engenheiro Florestal, Mestre

Forest Health Management International

wciesla@aol.com

Erik Johnson

Engenheiro Florestal

USDA Forest Service

ejohnson02@fs.fed.us

Apresentação

Nesta Série Documentos são apresentados os fundamentos da tecnologia de Levantamento Aéreo Exedito (LAE), desenvolvida pelo Serviço Florestal Americano e adaptada às condições brasileiras pela equipe de LAE da *Embrapa Florestas*.

Originalmente empregado para a detecção de danos bióticos e abióticos em áreas de floresta, o LAE, hoje, tem suas aplicações ampliadas para a detecção de alterações no uso e cobertura do solo, para a verificação da acuracidade temática de mapeamentos efetuados por outras técnicas e para a classificação da vegetação em estágios sucessionais.

Além de uma descrição detalhada da técnica propriamente dita, esta publicação contém um breve histórico do desenvolvimento do LAE no Brasil e um relato das principais campanhas de vôo efetuadas nos últimos 10 anos.

Paralelamente aos levantamentos, a equipe da Embrapa Florestas vem, sistematicamente, realizando cursos teóricos e práticos de LAE, direcionados, principalmente, a técnicos de órgãos ambientais estaduais e federais.

Pretende-se, assim, difundir a técnica de LAE, que possui ótima relação custo-benefício e que representa, hoje, uma possibilidade real de integração a um sistema mais amplo de monitoramento ambiental.

Sergio Gaiad
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

Introdução.....	9
Monitoramento	10
O Levantamento Aéreo Exedito (LAE)	11
Histórico do uso do LAE nos EUA	12
Histórico do uso do LAE no Brasil	13
Relação custo-benefício do uso do LAE	14
Operacionalização do LAE	15
Características das aeronaves recomendadas	16
Tipos de aeronaves de asa alta	16
Aeronaves monomotores (asa alta)	16
Aeronaves bimotores (asa alta)	17
Helicópteros	17
Diretrizes para o uso de aeronaves	18
Perfil do observador aéreo - capacidades pessoais e habilidades básicas	18
Tipos de mapas e sua utilização no LAE.....	19
Considerações sobre escala	24
Considerações sobre “assinaturas do dano” ou “assinatura da feição”	26
Considerações sobre segurança	27
Procedimentos esperados dos observadores aéreos	27
Procedimentos esperados da equipe de planejamento, em terra	28
Acessórios especiais	28
Planejamento e condução do Levantamento Aéreo Exedito	29
Resultados obtidos nas campanhas brasileiras	37

Levantamentos para a detecção de danos florestais e para a avaliação da acuracidade temática	37
Levantamentos para a discriminação de diferentes fases sucessionais em remanescentes de floresta de araucária	41
Levantamentos para monitorar desmatamentos em remanescentes de floresta de araucária	46
Perspectivas futuras	46
Levantamento Aéreo Expedito Digital (LAED)	49
Integração com outras tecnologias	50
Conclusões	51
Referências	52

Levantamento Aéreo Expedito (LAE)

Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Marilice Cordeiro Garrastazu

Nelson Carlos Rosot

Maria Augusta Doetzer Rosot

Arnaldo de Oliveira Soares

Joel Ferreira Penteado Junior

William M. Ciesla

Erik Johnson

Introdução

Com a presente publicação, apresenta-se a técnica de Levantamento Aéreo Expedito (LAE), conhecida como “*Aerial Sketchmapping*” nos Estados Unidos, onde é utilizada há muitas décadas. A *Embrapa Florestas* participou da introdução da tecnologia no Brasil, no contexto de um projeto que visa ao controle biológico da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*), inseto que tem trazido danos substanciais à produtividade de povoamentos implantados com espécies do gênero *Pinus*, principalmente no Sul do Brasil. O projeto em questão foi desenvolvido em convênio com o USDA Forest Service (Serviço Florestal Americano). O LAE foi considerado como alternativa ao fato de que a detecção precoce do dano provocado pela vespa-da-madeira não foi bem sucedida, quando da utilização de imagens de satélite. Ao longo dos anos em que o LAE vem sendo utilizado no Brasil, alguns outros usos para a técnica foram sendo detectados, motivo pelo qual está sendo disseminada hoje como instrumental de apoio ao monitoramento florestal, seja no contexto da fitossanidade, no controle de desmatamento, no acompanhamento da obediência à legislação ambiental, ou como ferramenta para a verificação da acuracidade temática de classificações de imagens satelitárias, por exemplo.

Monitoramento

Sob o ponto de vista da agropecuária, o termo “desenvolvimento” freqüentemente representa o aumento de área que uma determinada atividade passa a ocupar ou a crescente necessidade de aumento de produtividade de certas culturas. Sob o ponto de vista urbano, desenvolvimento está aliado à crescente expansão de áreas destinadas à construção e ao bem-estar humano. Entretanto, considerando-se a importância dos recursos naturais para a regulação da vida no planeta, há a necessidade de aplicação de limites a cada atividade, visando dirimir resultados negativos sobre a qualidade do meio ambiente. Uma forma de atuação sobre as alterações regionais, possibilitando o acompanhamento de mudanças, é o desenvolvimento ou adoção de técnicas de monitoramento do uso do solo, ao nível espacial e temporal.

A Declaração de Santiago define monitoramento como sendo a medição e avaliação periódica e sistemática da mudança em um indicador, mais especificamente, “a aferição regular que tem como objetivo determinar a ocorrência de desvios com relação a uma norma esperada” (ESTRAVIZ-RODRIGUEZ, 1998). O mesmo documento, em sua Seção 2, define um indicador como sendo “uma das medidas escolhidas pelo critério para se avaliar sustentabilidade, e que ao ser medida periodicamente demonstra a existência ou não de tendências”.

Existem várias classificações ou categorias de indicadores para recursos ambientais. Segundo Estraviz-Rodriguez (1998), a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) reconhece:

- a) indicadores de resposta (eficiência de crescimento, danos foliares visuais, exportação de N, abundância e composição de espécies na vegetação secundária, demografia animal);
- b) indicadores de exposição (químicos, nutrientes, acidez, calor ou fadiga física);
- c) indicadores de habitat (representam condições necessárias para o suporte de vida);
- d) indicadores de estresse (emissão de poluentes, focos de doenças ou pragas, práticas de uso da terra).

O monitoramento é uma atividade que requer recursos humanos, financeiros e operacionais. Quando deve ser aplicado em áreas de grandes dimensões, como aquelas que envolvem recursos florestais, torna-se bastante complexo. Em função desta complexidade, muitos países que possuem uma vasta área florestal usam técnicas que facilitam e/ou agilizam este processo. As mais comuns envolvem o uso de imagens (fotografias aéreas ou imagens satelitárias) e o acompanhamento de campo (atualmente também feito com o auxílio de GPS) em um sistema georreferenciado. Está comprovado que o monitoramento terrestre de grandes áreas *per se*, sem o apoio de meios de sensoriamento remoto pode ser inviabilizado, devido à inacessibilidade e às dimensões de determinados locais. Gillespie (1995) afirma que o desenvolvimento de um sistema de monitoramento é geralmente um processo interativo. Aprende-se mais conforme se planejam e implementam as atividades, e aumenta-se a eficiência com modificações introduzidas ao longo do processo.

Um sistema de monitoramento de abrangência regional ou estadual deve prever em sua estruturação algumas componentes estratégicas que aliem a capacidade de se estar verificando grandes áreas à garantia de obtenção do nível de detalhamento desejado para a variável de interesse. Em especial no que diz respeito aos sistemas de monitoramento da vegetação, acredita-se que as técnicas de levantamento aéreo – quer sejam associadas à aquisição de imagens ou não – podem vir a contribuir no sentido de se estabelecer um compromisso entre área sobrevoada e escala de levantamento, envolvendo para tanto os indicadores para recursos ambientais selecionados para cada processo.

O Levantamento Aéreo Expedito (LAE)

O levantamento aéreo expedito (LAE) é uma técnica de sensoriamento remoto usada para a observação de componentes florestais ou mudanças em eventos vinculados à paisagem. A técnica consiste no sobrevôo das áreas (que podem ser extensas) com aviões de pequeno porte asa alta, em baixa velocidade e em alturas de vôo não muito elevadas.

O observador aéreo detecta o “evento” objeto da campanha aérea específica – como, por exemplo, danos causados por pragas ou doenças – e desenha no mapa o tamanho, forma, intensidade do problema (se for o caso) e a sua localização, com a maior precisão possível. Atributos, como hospedeiro, agente causal ou outra característica relacionada ao evento em questão também podem ser captados, via um sistema de codificação previamente definido.

O mapa acima mencionado deve ser preparado previamente para ser utilizado como base, podendo ser um mapa planimétrico ou plani-altimétrico (cartas topográficas) ou ainda uma carta-imagem, devendo-se atentar para o “efeito escala”, a ser discutido a seguir. Essas informações, depois, passam a compor uma *layer* adicional de dados, e podem ser atualizadas periodicamente.

Histórico do uso do LAE nos EUA

O levantamento aéreo expedito (LAE), ou *aerial sketchmapping*, como é conhecido em seu país de origem, é uma técnica que tem sido usada rotineiramente nos últimos 50 anos, nos Estados Unidos e Canadá, para a detecção e mapeamento de danos florestais causados por agentes bióticos (insetos, patógenos e outras pragas) e abióticos (ventos, incêndios, tempestades, furacões, granizo) (CIESLA, 1998; 2000). Utilizando a classificação apresentada por Estraviz-Rodriguez (1998) e mencionada anteriormente, o monitoramento de pragas e doenças via LAE pode ser considerado como um exemplo de indicador de resposta. Pode-se afirmar que nos EUA, tal forma de monitoramento tem se mostrado facilitada pelo uso de levantamentos aéreos, em função das grandes extensões territoriais envolvidas. Podem-se citar como estudos pioneiros:

- 1920 – Estudo sobre a *Choristoneura occidentalis*.
- 1930 – Estudo sobre besouro da casca.
- 1947 – Programa anual usando levantamentos aéreos, instituído em Washington e Oregon, USA.
- 1955 – Primeiro guia escrito sobre condução de estudos aéreos, identificando: a) alturas ideais de vôos; b) o que poderia e o que não poderia ser visto; e c) mapas e recursos visuais (WEAR; BUCKHORN, 1955);

- Anos 80: México e Kênia iniciam o uso do LAE em campanhas regulares.

Atualmente, o LAE está estabelecido como operação de rotina para detecção de pestes florestais nos USA e Canadá. Os procedimentos são definidos por região geográfica e as campanhas e detecção são anuais. Anualmente, uma média de 9 milhões de hectares são percorridos via LAE, em aproximadamente 300 horas de voo e em torno de 32 mil hectares sobrevoados por hora. No caso do uso do LAE para o monitoramento de pragas e doenças, normalmente os voos são realizados nos meses de verão, entre junho e setembro, a um custo anual aproximado de 110 mil dólares americanos. Adicionalmente, campanhas direcionadas a estudos especiais, como o monitoramento de consequências de incêndios, também são frequentemente programados.

Histórico do uso do LAE no Brasil

No Brasil, esta técnica foi utilizada pela primeira vez em uma fazenda florestal atacada pela vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*) no Estado de Santa Catarina, por W.Ciesla e A.Disperati (CIESLA et al, 1999; CIESLA, 2000). Na seqüência, a *Embrapa Florestas* estabeleceu uma parceria com o USDA *Forest Service* (Serviço Florestal Americano) e realizou um curso em que a técnica foi repassada aos participantes. O objetivo foi o treinamento de técnicos para o reconhecimento, em voo, das diferentes assinaturas de danos florestais. Sobrevôos foram realizados sobre uma região onde danos florestais haviam sido previamente detectados e, desta forma, classificados e quantificados.

Outras campanhas foram realizadas, compreendendo 1.166.400 ha (cerca de 5 % da área do Estado do Paraná) em aproximadamente 60 horas de voo (OLIVEIRA et al., 2004).

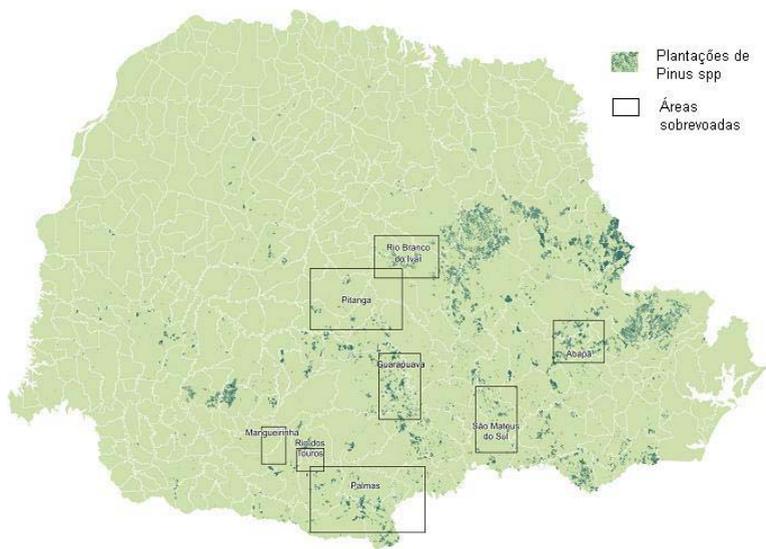


Fig. 1. Áreas sobrevoadas no Estado do Paraná.

Relação custo-benefício do uso do LAE

O monitoramento aéreo possui uma ótima relação custo-benefício, já que cobre extensas áreas florestais, a maioria delas inacessíveis. No caso de monitoramento em florestas plantadas, dois aspectos se apresentam como importantes: **a)** como os povoamentos florestais ocupam grandes espaços territoriais, normalmente são localizados nas áreas mais remotas, em terras de custo mais baixo, geralmente consideradas impróprias para a agricultura; **b)** outro ponto a ser mencionado é o fato de que plantações florestais são, por definição, culturas de ciclo longo e que, após os primeiros anos – em que um certo acompanhamento silvicultural é esperado – os povoamentos podem permanecer longos períodos sem que a conservação de estradas e aceiros seja realizada, o que dificulta a movimentação de veículos para o monitoramento terrestre.

Uma equipe de dois observadores aéreos muito experientes pode cobrir 375 mil ha em apenas um dia. Considerando-se o tempo de espera com relação às condições climáticas, pode-se afirmar que 200 mil ha por dia podem ser monitorados confortavelmente por uma equipe de dois observadores experientes. No Brasil, o voo experimental foi realizado em

aproximadamente uma hora e foram mapeados cerca de 3.985 ha, trabalho este que ocupou uma equipe de três pessoas durante três meses para sua realização via terrestre (CIESLA et al., 2002). Em sua fase de treinamento, as equipes da *Embrapa Florestas* e USDA sobrevoaram 379.200 ha em 4,5 dias, a um custo de R\$ 0,06/ha. No ano de 2002, equipes da *Embrapa Florestas* e USDA já realizaram levantamentos deste porte na região de Palmas/União da Vitória, PR, em área de aproximadamente 240 mil ha, para o levantamento de pragas em *Pinus* spp.

Recente levantamento permitiu considerar que o custo, no Sul do Brasil, incluindo aeronave, combustível e piloto, pode variar de R\$ 0,04 a R\$ 0,60/ha, dependendo da extensão da área a ser sobrevoada, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Comparativos entre grandezas envolvidas nos monitoramentos aéreo expedito e terrestre

Monitoramento	LAE	Terrestre
Custo/ha	de 0,04 (*) a 0,60 (**) reais	9,46 reais
Tempo	1 hora	86.400 horas
Equipe	3 pessoas (***)	3 pessoas

Obs. (*) Para uma área maior que 300 mil ha

(**) Para uma área de aproximadamente 4 mil ha

(***) (1 Piloto e dois técnicos)

Operacionalização do LAE

Levantamentos aéreos são reconhecidamente um poderoso aliado do monitoramento, em função da rapidez com que é possível sobrevoar grandes áreas. Entretanto, alguns requisitos devem ser observados, no que se refere aos tipos de aeronaves mais adequadas, sua operacionalização, o perfil do navegador e dos observadores aéreos, além dos requisitos de segurança e de obediência à legislação pertinente. Apresentam-se, a seguir, informações no sentido da otimização dos resultados do Levantamento Aéreo Expedito.

Características das aeronaves recomendadas

- **Visibilidade:** asa alta, janelas grandes;
- **Capacidade ideal:** quatro pessoas;
- **Capacidade da máquina:** que possa voar a maiores altitudes com um piloto e dois passageiros. No Brasil meridional, a altitude média (primeiro e segundo planaltos) é de 900 metros (3 mil pés). Assim, há necessidade de uma máquina com pelo menos 230 HP (capaz de manter velocidade de 100 MPH - 160 km/hora).

Tipos de aeronaves de asa alta

O levantamento aéreo expedito basicamente depende da anotação – feita por observadores aéreos – de situações relacionadas ao contexto ambiental, sobre cartas-imagem ou mapas topográficos. Desta forma, uma boa visibilidade da paisagem sobre a qual se está voando é fundamental. Como os dois principais observadores trabalham, o primeiro sentado ao lado do piloto, à frente do avião e o outro no banco de trás, mesmo lado do piloto, aviões de asa alta são os recomendados, pois os de asa baixa apresentam uma “zona cega” representada pela asa do avião, que pode impedir ou dificultar a observação da feição desejada no momento exato em que a aeronave a sobrevoa.

Aeronaves Monomotores (asa alta)

- **Aero Boero 115** – usado para treinamento de pilotos; possui dois assentos, admitindo assim apenas um observador. Não é recomendado para *sketchmapping* aéreo, mas foi a primeira aeronave disponível para teste da técnica no Brasil (Fig. 2a);
- **Cessna 150** (dois assentos) – adequado para treinamento. Máquina 100 HP. Também não recomendado para *sketchmapping* aéreo;
- **Cessna série 170 - Skyhawk, 172–150 HP e Cardeal 177–180 HP**, (quatro assentos) - são aeronaves excelentes para uso em levantamentos com baixas altitudes (maiores que 2 mil pés ou 600 metros). Devido a isto, não são recomendadas para o Brasil meridional;
- **Cessna série 180** (quatro assentos) - estas aeronaves são extensamente usadas em *sketchmapping* aéreo. Potencialmente são aeronaves adequadas para o Brasil. No caso de temperaturas altas (>90F ou 32 °C, deve-se levar apenas um observador). Exemplos: Cessna 180 (230 HP, *tail dragger*), Cessna 182 (Skylane 230 HP) e Cessna 185 (285-310 HP,

tail dragger, excelente para viagens curtas). Uma destas aeronaves já foi mais extensamente utilizada no Brasil para o treinamento em levantamento aéreo expedito (Fig. 2b, 2c e 2d);

- **Cessna série 200** – todos extensamente usados em *sketchmapping* aéreo. São operacionalmente mais caros. O Cessna 206 pode ser equipado com um *turbocharger* que o permite operar eficazmente até 18 mil pés (6 mil metros). Exemplos: Cessna 206 (300-310 HP, seis assentos), Cessna 207 (300-310 HP, sete assentos) Cessna 210 (300-310 HP, seis assentos).

Fotos: Willian Ciesla (a, b, d); Joel Penteado Jr. (c)



Fig. 2. (a) Aero Boero; (b) Cessna 182; (c) Técnicos USDA/Embrapa em treinamento e (d) Cessna 182 em União da Vitória, PR.

Aeronaves bimotores (asa alta)

Tais aeronaves possuem a vantagem da maior segurança. As desvantagens são relacionadas à perda de visibilidade de ré. Além disso, as aeronaves tendem a voar mais rápido. Exemplos: Cessna 337; Aero-Comander série 500 e Parnavia 580.

Helicópteros

Helicópteros são considerados outra boa alternativa, já que a maioria tem visibilidade suficiente para o *sketchmapping* aéreo. Possuem as vantagens de poder voar em menor velocidade, inclusive parando sobre determinados

pontos e são mais fáceis de manejar. Infelizmente, possuem como desvantagem o custo mais elevado. A hora/vôo pode custar de duas a três vezes o preço de aeronaves com asas fixas.

Diretrizes para o uso de aeronaves

Os seguintes aspectos devem ser considerados quando do uso da aeronave para o levantamento aéreo expedito:

- **Velocidade:** de 90-100 MPH (145-160 km/h) já que velocidades maiores não são condizentes com o tipo de trabalho a ser realizado, dificultando a anotação das informações observadas. Por outro lado, velocidades menores poderão causar instabilidade na aeronave (velocidade mínima entre 55-65 MPH ou 90-105 km/h);
- **Altura de vôo:** de 1.000-1.500 pés (300-450 metros) sobre elevação média do terreno. Vôos abaixo de 250 metros são considerados como perigosos, especialmente em terrenos montanhosos.
- **Número de horas/dia de vôo:** recomenda-se nunca realizar levantamentos aéreos por mais de seis horas/dia. Deve-se considerar a fadiga e a tensão, tanto do piloto como dos observadores. Geralmente as aeronaves usadas em *sketchmapping* têm autonomia de vôo de aproximadamente 4 horas (combustível). Isto permite dois períodos/dia de três horas cada e combustível suficiente para emergências.
- **Melhores horários para voar:** recomenda-se nunca iniciar os vôos antes das 8 h da manhã, em função da possível presença de sombras nas faces oeste e sul das escarpas e pela possibilidade de ocorrência de neblina matinal. Em vôos à tarde, pode haver turbulência, conseqüentes enjôos e é potencialmente mais perigoso. Adicionalmente, temperaturas mais altas reduzem o desempenho da aeronave.

Perfil do observador aéreo – capacidades pessoais e habilidades básicas

É desejável que o observador aéreo possua as seguintes qualidades:

- **Habilidade de interpretar mapas:** o mapeamento aéreo envolve o registro da localização de áreas em mapas. O observador aéreo deve poder localizar-se exatamente durante todo o tempo de vôo para permitir que os dados sejam registrados adequadamente.

- **Habilidade de identificar a localização da aeronave no mapa:** feições culturais e topográficas são representadas nos mapas por símbolos-padrão.
- **Visão normal para identificação de cores:** esta habilidade é muito importante quando do monitoramento da presença de pragas e doenças em áreas florestadas. A retina do olho humano contém uma série de células receptoras na forma de cilindros e cones. Substâncias fotoquímicas presentes nessas células são sensíveis ao azul, vermelho ou verde. Normalmente os danos em florestas são caracterizados por descoloração das folhas ou a tendência ao aparecimento de tons amarelados e/ou avermelhados nos topos das copas. De qualquer forma, a capacidade de detecção de alterações até mesmo sutis na coloração das árvores, neste caso, é fundamental. Entretanto, para outros usos também em muito contribuirá para a correta classificação dos diferentes usos da terra. Por exemplo, a coloração típica das folhas de algumas espécies de folhosas como a bracatinga (*Mimosa scabrella*), em fase de floração, pode contribuir para a classificação daquela área.
- **Conforto na aeronave e manutenção do interesse no trabalho:** não ter medo de voar é a regra número um. A habilidade de resistir ao desconforto de vôo é inerente a determinados indivíduos, já que algumas pessoas são mais sensíveis que outras. Além disto, a maioria dos problemas ocorre em dias quentes e na presença de turbulência. O real interesse – e o desejo de participar em missões de estudos aéreos – torna-se, desta forma, fundamental para que o indivíduo supere eventuais desconfortos. Existem algumas formas de preveni-los. Dentre elas, destacam-se: medicações e exercício mental (manter-se ocupado no mapeamento e concentrado na poligonalização das informações de interesse). Entretanto, mesmo com treinamento, algumas pessoas certamente serão fisicamente incapazes de participar de estudos de mapeamento aéreo.

Tipos de mapas e sua utilização no LAE

Embora na Europa as denominações “carta” e “mapa” possuam significados diferentes, no Brasil os termos tendem a ser sinônimos. Mapas são as ferramentas básicas para o levantamento aéreo. Todos os mapas estão vinculados a um sistema de coordenadas e as informações neles contidas são registradas, em sistema de linhas e colunas, e em uma determinada escala. A precisão de registro dos polígonos depende da qualidade dos

mapas originais. Todos os mapas de estudos aéreos devem estar referenciados a um sistema de coordenadas conhecido. O melhor recurso é sempre um bom mapa.

Mapas planimétricos: constituem a representação de um conjunto de dados referentes à posição de elementos geográficos em uma superfície plana de referência. Possuem informações nos eixos x e y (longitude e latitude), vinculados a um sistema de coordenadas específico. Não apresentam informações relacionadas à topografia. Normalmente apresentam informações adicionais referentes aos limites da área de interesse, cursos d'água, rodovias, *grid* com coordenadas, etc. São os mapas mais utilizados nos levantamentos aéreos nos EUA, onde as cartas são de muita qualidade, a exemplo das cartas náuticas. Naquele país a escala de 1:100.000 é considerada ótima. Exemplos:

- Cartografia Digital planimétrica para o Aeroporto de Manaus, na escala 1:2.000;
- Carta planimétrica do Projeto RADAM na escala 1:250.000, de 1976;
- Carta planimétrica produzida pelo Exército Brasileiro, escala de 1:25.000 no sistema de projeção UTM. Folha SH. 22-V-C-IV-1-MI-2965/1 Santa Maria-SGE.

As Figs. 3, 4 e 5 apresentam informações referentes à mesma área, de um trecho do Rio Iguaçu, no Estado do Paraná. A Fig. 3 é uma representação planimétrica da área.

Mapas planialtimétricos: A carta planialtimétrica (ou topográfica) é semelhante à planimétrica, porém apresenta as altitudes do terreno através de pontos cotados e curvas de nível, com equidistância definida, representando sua topografia. É comum encontrar-se cartas com equidistância de 10 m ou 20 m. É um mapa mais completo que o mapa planimétrico, pois através dele é possível a identificação de planícies e montanhas ou qualquer outro tipo de feição do relevo. Se for possível identificar as formas do relevo, será possível, também, obter a declividade do terreno, o que é bastante útil para estudos envolvendo bacias hidrográficas e áreas irregulares de ocupação humana em encostas.

Nos vôos já realizados no Brasil pela missão *Embrapa Florestas/USDA Forest Service*, ainda não se utilizou este recurso, embora, como já foi mencionado, seja muito utilizado nas campanhas nos EUA. Os planejadores das campanhas aéreas locais têm procurado incorporar aos mapas as informações realmente necessárias, evitando-se, desta forma, a disponibilização de um produto tão “poluído” visualmente que venha a confundir o observador aéreo ao invés de ajudá-lo. Entretanto, em determinadas situações como aquelas em que a área é muito acidentada, a informação de altitude pode vir a ser importante elemento na composição local. Com o *Aerial Sketchmapping* digital, parece que este tipo de mapa e aqueles produzidos via modelos matemáticos simulando as elevações (modelo digital de elevação - MDE) poderão vir a ser incorporados ao processo, uma vez que será possível selecionar mapas diferentes no monitor que estará a bordo da aeronave.

A Fig. 4 apresenta exemplo de mapa que incorpora a informação referente à altitude.

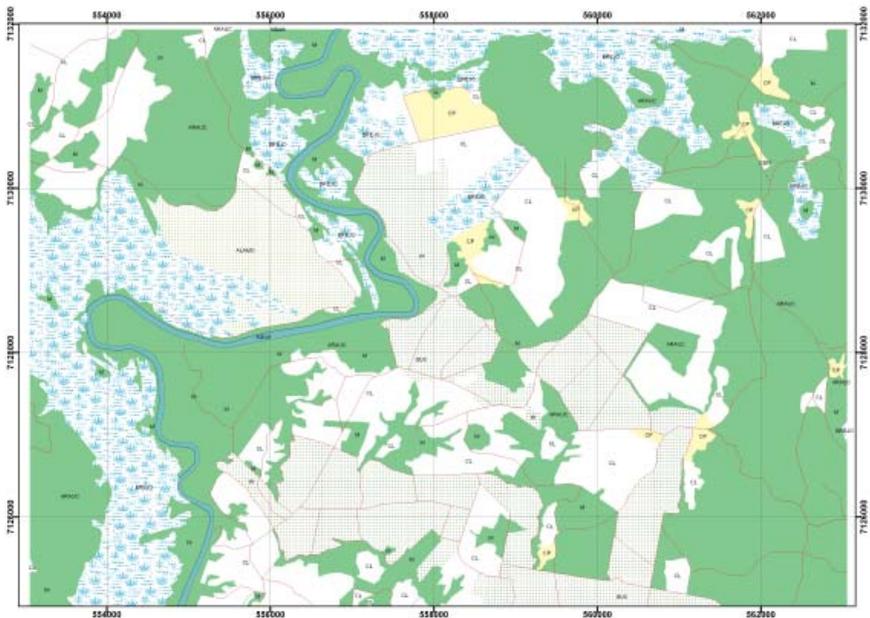


Fig. 3. Carta planimétrica de um trecho do Rio Iguaçu, Estado do Paraná.

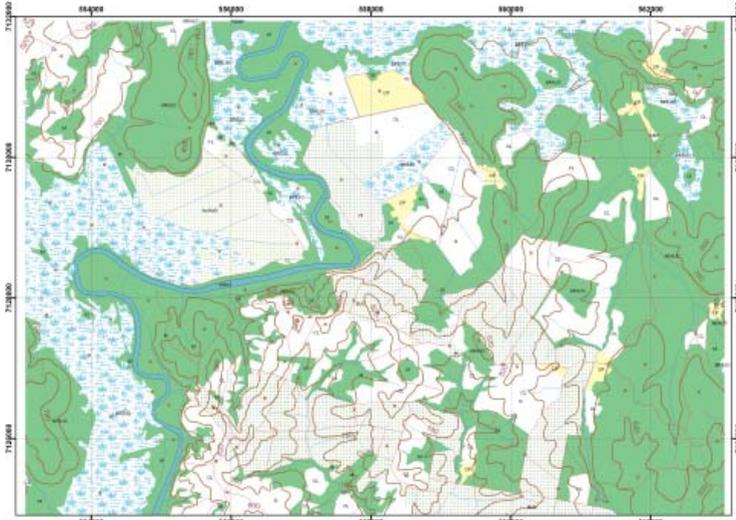


Fig. 4. Carta planialtimétrica de um trecho do Rio Iguaçu, Estado do Paraná

Mapas Especiais – Possuem tal denominação quando se destinam a determinadas pessoas ou grupo, isto é, são mapas mais específicos ou técnicos e geralmente impressos em escala grande. Entre eles, enquadram-se os mapas políticos, econômicos, científicos, cartas náuticas, aéreas e cadastrais. No caso do LAE, podem-se citar as **Cartas-imagem**, muito utilizadas nas campanhas brasileiras. As cartas-imagem são composições coloridas de imagens satélite, às quais se sobrepõem informações referentes aos limites da área de interesse, cursos d'água, rodovias, *grid* com coordenadas, etc. As cartas-imagem têm sido muito usadas pela *Embrapa Florestas* e *USDA Forest Service* nos projetos realizados visando ao mapeamento da ocorrência da vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*) e detecção de danos provocados pelo macaco-prego. A Fig. 5 apresenta exemplo de carta-imagem, da mesma área representada nas Figs. 3 e 4.

Outro exemplo de Cartas Especiais são aquelas que incorporam informações advindas da geração do que se convencionou denominar Modelo Numérico de Terreno (MNT), que é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. Para obter esta representação, é necessário fazer a

digitalização de linhas e pontos, que constituirão as amostras para posteriormente gerar interpolações (grades) e obter produtos, tais como mapa de declividade, mapa hipsométrico e perfis de terreno. A Fig. 6 apresenta uma carta que incorpora o MNT para a mesma área das figuras anteriores. Este tipo de carta ainda não foi usado nas campanhas envolvendo o LAE no Brasil, mas certamente será muito útil quando o sistema digital já for operacional.

Mapas temáticos: Um dado temático é uma simples informação adicional - referente a um tema específico - representada no mapa. Dados temáticos para mapeamento devem ser dispostos de tal forma que sejam visíveis do ar. Um bom mapa para estudos aéreos deve apresentar apenas aqueles dados temáticos específicos da campanha em questão. Exemplos de dados temáticos úteis: a classificação prévia do uso do solo, sob a forma de polígonos vazados circundando a área de interesse. Entretanto, a existência de muitos dados temáticos pode dificultar o uso do mapa. Nas campanhas já realizadas no Brasil, este tipo de informação, quando disponível, tem sido incorporada à carta-imagem (Fig. 7).

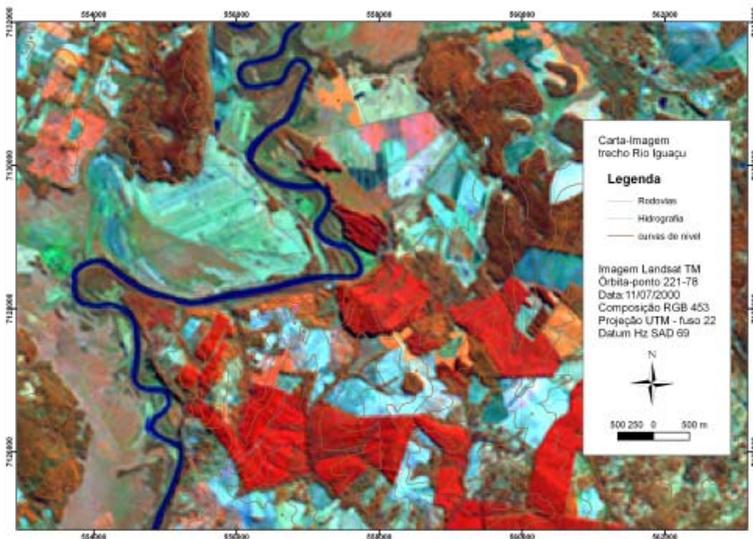


Fig. 5. Carta-imagem de um trecho do Rio Iguaçu, Estado do Paraná.

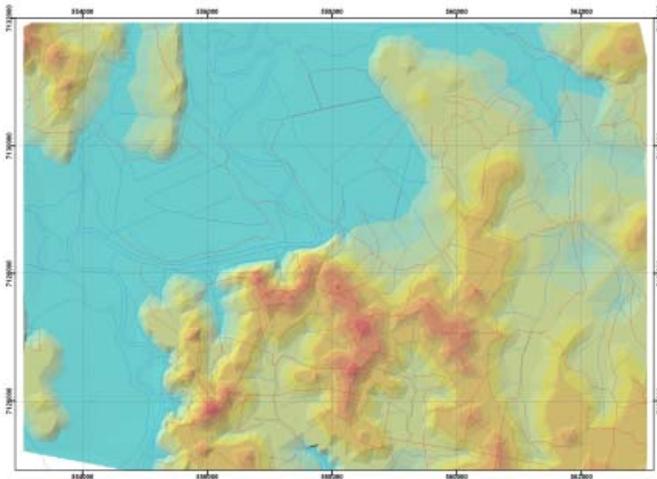


Fig. 6. Modelo Numérico do Terreno de um trecho do Rio Iguazu, Estado do Paraná.

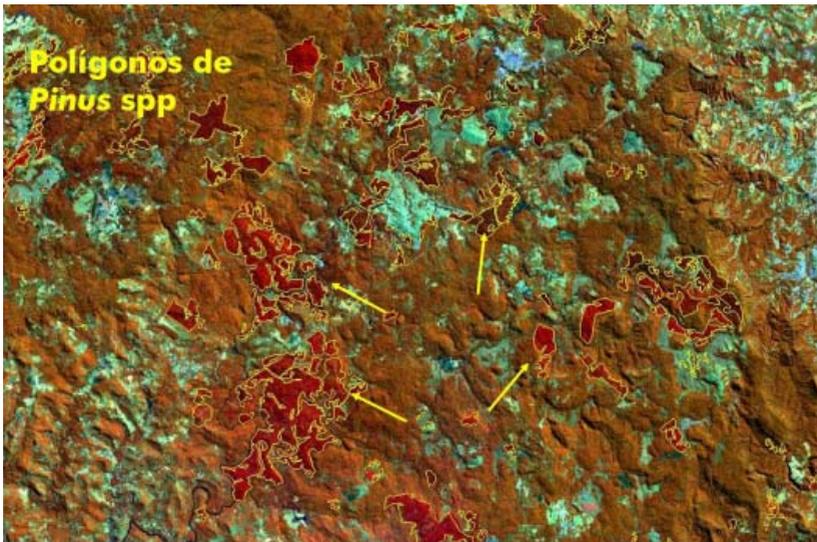


Fig. 7. Carta-imagem da Região de Pitanga, PR, com feições de interesse circundadas por polígonos vazados.

Considerações sobre escala

A escala de um mapa é a representação das distâncias no mapa relacionadas às distâncias no solo. A escala de uma carta (Fig. 8) deve ser cuidadosamente planejada para que a maior quantidade de informações

disponíveis e desejáveis possa ser inserida, sem comprometer sua qualidade visual. Desta forma, um pequeno território representado numa escala grande poderá requerer mais de uma folha quando impresso, por exemplo. Em IBGE (1993), são mostrados exemplos em que a decisão da escala a ser adotada é um compromisso entre detalhes (as informações necessárias) e tamanho da área no terreno. A Carta Internacional do Mundo (CIM) é publicada na escala 1:1.000.000. Territórios como a Bélgica (30.500 km²), serão cobertos por apenas uma folha da CIM; já o Brasil necessitará de 46 folhas para cobrir todo seu território. Escalas de mapas podem ser representadas de três maneiras:

- **Escala de engenheiro:** (Exemplo: 1 centímetro = 200 metros);
- **Fração representativa:** (Exemplo: 1/24.000) ou
- **Razão:** (Exemplo: 1:24.000)

Quando se aborda o tema “tamanho escalar relativo” em mapas, quanto maior o “número cardinal”, menor a escala e menor a resolução espacial, ou seja, a quantidade de dados que pode ser armazenada no menor elemento espacial do mapa. Exemplo: as características que podem ser incorporadas em um mapa na escala 1:100.000 são menos detalhadas que as correspondentes em um mapa na escala 1:25.000. Como curiosidade, pode-se mencionar as escalas comuns para mapeamento aéreo nos Estados Unidos:

- em estudos de reconhecimento, a escala varia entre 1:62.500 e 1:126.500;
- em estudos especiais, a escala varia entre 1:24.000 e 1:50.000.

As cartas-imagem têm sido preferidas às cartas topográficas, durante as campanhas realizadas no Brasil. Desta forma, a escala a ser utilizada no mapa é altamente dependente do sensor usado quando da aquisição da imagem satelitária. A maior experiência está concentrada no uso de imagens LANDSAT 7 ETM. Desta forma, verificou-se que para a detecção de danos florestais em extensões muito grandes, uma escala 1:100.000 seria aceitável, embora a escala 1:50.000 tenha se mostrado mais adequada, principalmente porque facilita as anotações nos polígonos

desenhados. Entretanto, deve-se lembrar que neste exemplo (escala 1:50.000), a área em papel (ou meio digital) para representar a mesma área (embora eventualmente com informações mais detalhadas) é quatro vezes maior que aquela requerida para a representação de uma área na escala 1:100.000. A possibilidade atual de se utilizar imagens SPOT 5 ou até imagens do sensor Ikonos pode levar a equipe de planejamento dos vôos a analisar qual o limite de detalhamento que torna o uso do mapa ainda operacional. Deve-se usar escalas menores para áreas extensas de forma que o tamanho do mapa permita o seu manuseio no “cockpit” da aeronave. Missões especiais, como é o caso de observações a respeito da ecologia da paisagem florestal em florestas naturais, poderão requerer escala em torno de 1:25.000. Deve-se usar uma escala maior para pequenas áreas para que o mapeamento apresente um maior grau de informação.

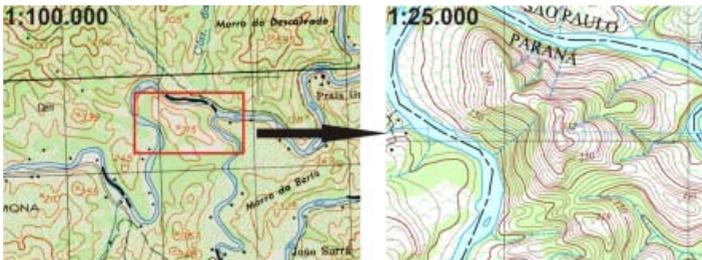


Fig. 8. Exemplos que demonstram a quantidade de informações por unidade de área em diferentes escalas.

Considerações sobre “assinaturas do dano” ou “assinatura da feição”

Uma das condições fundamentais para a correta detecção do evento ou variável que se deseja monitorar ou da intensidade do dano e seu respectivo agente causal é a definição das “assinaturas de feições” ou “assinaturas de danos”, respectivamente. Essas assinaturas podem ser descritas como sendo uma combinação de características que permitem ao observador aéreo identificar determinados aspectos da variável de interesse ou dos sintomas associados a agentes específicos, causadores de danos florestais, na forma como aparecem a partir de uma perspectiva aérea. Segundo Ciesla (2000), algumas das características que determinam a assinatura de um objeto (planta) observado à distância e que permitem que ele seja identificado são:

- Cor ou coloração;
- Forma;
- Brilho;
- Textura;
- Posição espacial.

A realização de missões continuadas para o monitoramento de um mesmo conjunto de variáveis ou eventos permite que os observadores passem a construir e a elaborar padrões para as “assinaturas” necessárias a determinado objetivo.

Considerações sobre segurança

O fator risco sempre está presente em vôos operacionais. As áreas sobrevoadas podem ser remotas, longe do acesso por estradas e os vôos são realizados a baixas alturas. Entretanto, está provado que quando os procedimentos de prevenção são tomados e a legislação atendida, acidentes são muito raros.

O piloto deve fazer parte da equipe técnica de levantamento aéreo. Quanto mais experiência é adquirida em trabalhos conjuntos, maior a chance de sucesso. Algumas instruções gerais valem tanto para o piloto quanto para os passageiros. Ações básicas, esperadas da equipe de planejamento e do navegador aéreo (líder da missão e principal observador aéreo), são:

- explicar o objetivo do vôo e a área específica a ser voada;
- fornecer aos demais tripulantes o tempo de vôo estimado;
- instruir o piloto quanto à velocidade e altura do vôo esperadas;
- dar livre arbítrio a qualquer pessoa na aeronave para tomar a decisão de interromper o vôo se não se sentir confortável durante o levantamento aéreo.

Procedimentos esperados dos observadores aéreos

O piloto deve certificar-se de que os observadores aéreos adotem os seguintes procedimentos de segurança:

- usar os cintos de segurança;

- conhecer a localização das saídas da aeronave e como acioná-las em caso de emergência;
- saber a localização do transmissor do localizador de emergência (ELT) e como operacionalizá-lo;
- saber a localização do kit de primeiros socorros, ou do kit de sobrevivência;
- saber a localização do extintor de incêndio;
- saber manejar o sistema de oxigênio;
- nunca fumar a bordo.

Procedimentos esperados da equipe de planejamento, em terra

A atuação da equipe de planejamento em terra é fundamental para apoiar o levantamento e aumentar a segurança dos vôos. Recomenda-se a adoção dos seguintes procedimentos de rotina:

- durante o período que antecede o vôo, a equipe deve estar atualizada com relação à previsão do tempo e em permanente contato com o piloto. Tal sistema de comunicação evitará deslocamentos desnecessários da equipe em momentos desfavoráveis, em termos de clima. O piloto é o contato maior entre a estrutura dos aeroportos envolvidos no processo e a equipe de levantamento aéreo;
- ter conhecimento sobre a localização da área a ser sobrevoada;
- preferentemente, percorrer previamente trechos da área a ser sobrevoada de carro ou a pé;
- conhecer detalhadamente o plano de vôo e os horários envolvidos com relação à decolagem e retorno da equipe técnica.

Acessórios especiais

Os seguintes acessórios podem ser úteis durante as campanhas do LAE:

Óculos de sol: quando necessária a correção ocular com lentes, o ideal é o uso de lentes do tipo *transitions*.

Binóculos: iniciantes na atividade devem evitar o uso de binóculos, já que podem proporcionar desconforto.

Câmeras: ideais para registro das assinaturas das informações buscadas. Entretanto, lentes de longo alcance terão o mesmo efeito que binóculos. Recomenda-se:

- o uso de câmeras de acionamento mais rápido, de preferência digital;
- a inclusão de uma marca conhecida na cena para ser usada como referência de escala;
- posicionar a câmera próxima à janela para minimizar o efeito de reflexo.

Planejamento e condução do Levantamento Aéreo Expedito

Uma listagem dos principais passos necessários para um bom planejamento de vôo é apresentada na seqüência:

- **Objetivo(s):** a primeira etapa no planejamento é a definição clara e concisa do(s) objetivo(s) do levantamento aéreo. Todos os envolvidos, independentemente da hierarquia que ocupem na(s) instituição(ões) envolvida(s), deverão estar cientes do que será possível obter como resultados, evitando frustrações posteriores;
- **Equipe:** Como segundo passo, deve-se definir quem estará à disposição da campanha, seja como piloto, navegador aéreo, observador aéreo, equipe de campo e equipe de laboratório;
- **Melhor época do ano para a campanha:** Deve-se planejar a época de vôo em consonância com a melhor época do ano para a observação da(s) feições(s) ou evento(s) em consideração. Por exemplo, para a detecção do *Sirex*, a melhor época parece ser entre abril e maio, na Região Sul do Brasil;
- **Condições climáticas:** deve-se verificar se existe uma época do ano quando se tem uma maior probabilidade de chuvas ou tempestades, visando minimizar situações de visibilidade reduzida. Também se deve analisar se na região em estudo existe um período do dia em se observe maior turbulência ou tempestades. É fato conhecido que, geralmente no período da manhã, observam-se melhores condições climáticas, na maioria dos lugares no mundo.
- **Plano de vôo:** o planejamento é um passo da maior importância na técnica de levantamento aéreo expedito. O plano de vôo é fundamental para

descrever as metas da campanha, seus objetivos e as atividades que serão realizadas. O plano de voo permite que qualquer pessoa, mesmo iniciante no assunto, possa captar rapidamente seus objetivos, compreender as suas intenções e conhecer a realidade do programa. São componentes do plano de voo:

- listagem de objetivos da campanha;
 - mapas e GPS de navegação aérea;
 - listagem do pessoal envolvido e suas respectivas responsabilidades;
 - normas e procedimentos documentados e regulamentados.
- **Escolha do Tipo de Voo:** Existem dois tipos de vôos recomendados (Fig. 9), de acordo com as características do terreno (relevo) e do que se deseja mapear:
- o voo em *grid*, orientado segundo o sistema de coordenadas UTM da carta-imagem ou carta topográfica, sendo as faixas de voo definidas como múltiplos do *grid*. Ideal para áreas mais extensas e com relevo menos acidentado;
 - o voo em *contour*, que acompanha o relevo, orientado perpendicularmente às curvas de nível. Indicado para relevo muito movimentado e áreas menores.

Preparo da carta-imagem: No caso brasileiro, pode-se optar por usar as cartas topográficas da DSG/Exército, disponíveis na Região Sul apenas nas escalas 1:50.000 ou 1:100.000 ou cartas-imagem, especialmente preparadas para cada campanha. Neste segundo caso, pode-se sobrepor à imagem de satélite outras *layers* com informações sobre a localização de cursos d'água, estradas, linhas de transmissão, plantações, etc.

Estas informações facilitam em muito a localização do observador aéreo, ou seja, a posição de um determinado ponto no mapa em relação ao mesmo ponto em solo. A aeronave estará sobrevoando a área em linhas pré-traçadas, que constarão na carta. Conforme já mencionado, pode-se também acrescentar uma interpretação prévia das áreas de interesse.

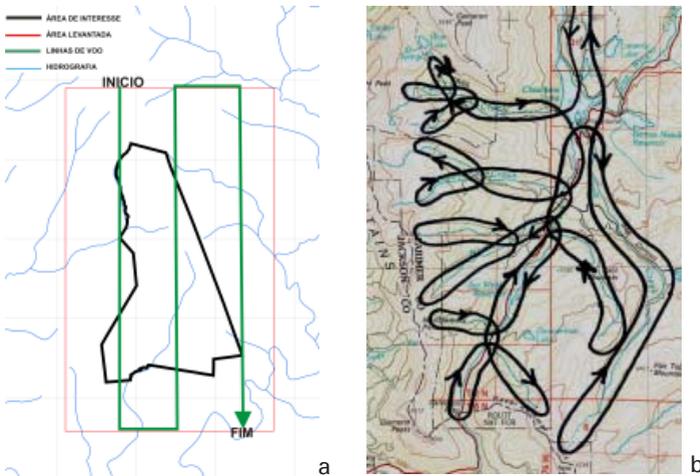


Fig. 9. Planejamento do voo em (a) *grid* ou (b) do tipo "contour".

Fonte: McConnell et al. (2000), citados por Ciesla (2000).

Na carta-imagem, deve-se incluir um *grid* em coordenadas UTM com intervalos de 4 km em 4 km (Fig. 10) e sobre ele, na carta impressa, traçar as linhas de voo a caneta. A cada mudança de ângulo, ou na metade de uma linha, insere-se um número, correspondente à direção de voo e "seqüência do levantamento", que por sua vez determina o rumo do levantamento. Tais algarismos seqüenciais em um determinado rumo são muito úteis para a localização dos observadores, à sua posição em relação ao terreno, já que tal seqüência é também transferida para o GPS que estará a bordo da aeronave.

Assim, as coordenadas dos vértices das linhas de voo são armazenadas em GPS de navegação aérea (ex: modelo Garmin GPSMAP 295) para, posteriormente, auxiliarem a orientação do piloto da aeronave quanto à rota a seguir e dos observadores aéreos quanto à localização das feições na carta-imagem.

No caso de levantamentos de mata ciliares, por exemplo, o voo do tipo "contour" é aconselhado, sendo que o planejamento prévio com os pontos de GPS, ao longo dos rios, é realizado também em laboratório.

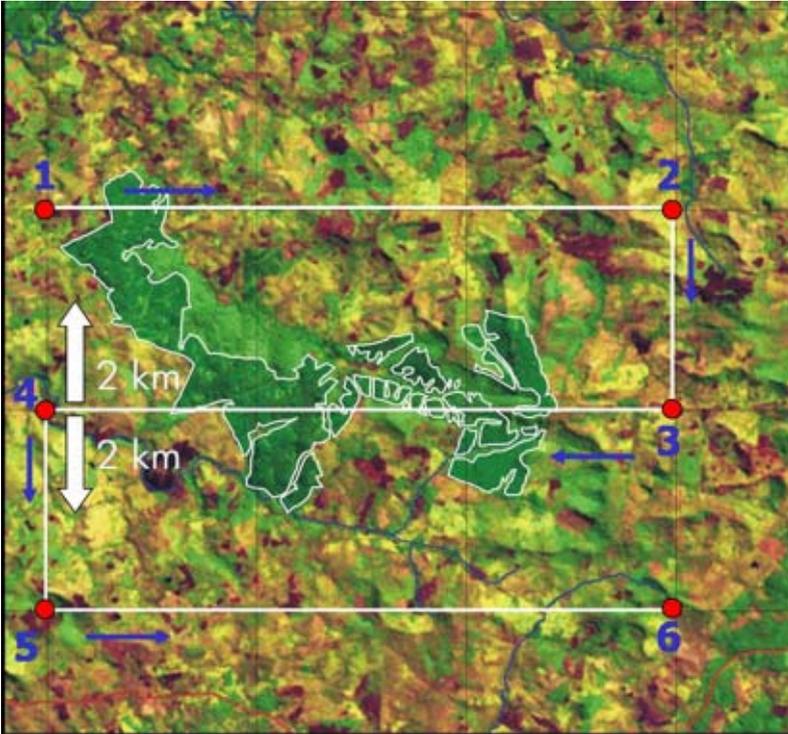


Fig. 10. Recorte de carta-imagem da região de Pitanga, PR, com indicação das linhas de vôo usadas no LAE.

Transporte dos dados referentes às linhas de vôo (Fig. 11) para o computador, via *software* MapSource: os vértices das linhas de vôo anotados sobre a carta-imagem são convertidos para formato digital utilizando um *software* denominado MapSource, através da inserção do número seqüencial e das respectivas coordenadas de cada vértice conforme indicado na janela do programa.

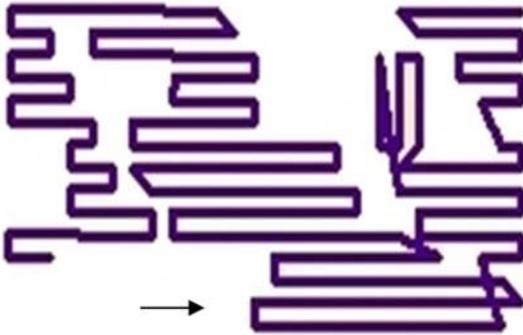


Fig. 11. Rota de vôo na campanha de 2002 abrangendo a região de Palmas e União da Vitória.

Transporte da rota de vôo para o GPS de navegação aérea: cabos conectores seriais permitem transferir as coordenadas da rota de vôo armazenadas em computador para o GPS de navegação aérea (Fig. 12). Este equipamento orientará o piloto durante o vôo, para que a rota possa ser mantida, corrigindo-a de acordo com as indicações na tela do GPS.

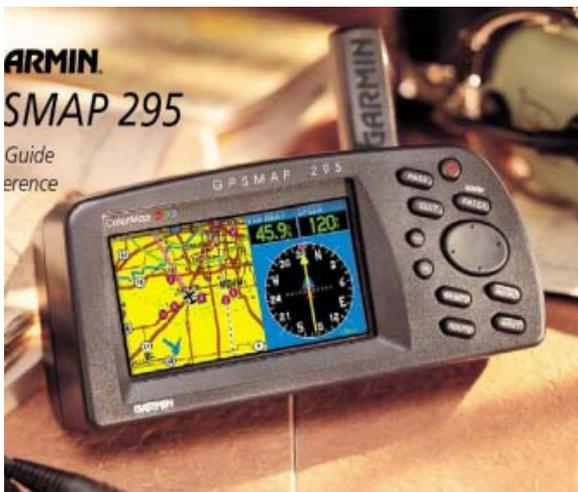


Fig. 12: Receptor GPS Garmin GPSMAP 295 usado no LAE.

Vôo propriamente dito: O avião a ser utilizado deve possuir asa alta. A tripulação é constituída, normalmente, por quatro pessoas (Fig. 13): a) o piloto; b) um instrutor que faz o papel de navegador aéreo e senta-se ao lado do piloto. Este observador encarrega-se do levantamento das informações do lado direito da aeronave; c) um observador aéreo, sentado do lado esquerdo do avião, atrás do piloto, encarrega-se da observação das feições presentes no lado esquerdo da aeronave; d) um treinando, que senta-se atrás do navegador aéreo e que passa a receber instruções de ambos os observadores aéreos, via sistema de comunicação interno do avião, com fones de ouvido. Cada um dos observadores fica responsável pela observação de faixas de 2 km a partir da linha de vôo, anotando e desenhando as informações a caneta sobre a própria carta-imagem.

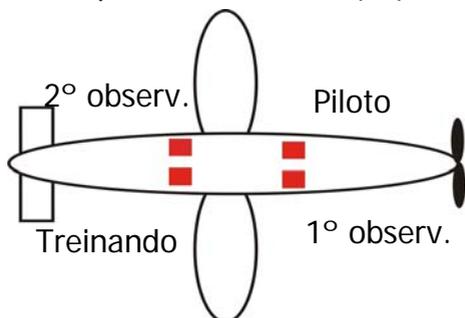


Fig. 13. Diagrama esquemático da distribuição da equipe no avião.

Transporte das informações anotadas para o "mylar": De volta ao laboratório, as anotações devem ser transferidas para o *mylar* (Fig. 14). Trata-se de um acetato transparente, com as mesmas dimensões da carta-imagem, que é sobreposto à mesma, em mesa de desenho. Os pontos de cruzamento do *grid* em coordenadas UTM são transpostos da carta-imagem para o acetato, via cópia sobre a transparência (com caneta apropriada), assim como as linhas de vôo e os polígonos ou pontos (e códigos correspondentes), com as anotações realizadas durante o vôo.

Fotos: Maria Augusta
Doetzer Rosot



Fig. 14. Transferência das informações da carta-imagem para o *mylar*.

Escaneização e digitalização do *mylar*: o *mylar*, então, é convertido para meio digital via escaneização, a 600 dpi e gravação em formato TIFF, em *bureau* de serviços do tipo copiadora. Em seguida, utilizando *software* do tipo ArcView X.X, é atribuído um sistema de coordenadas conhecido (p.e. UTM) à imagem escaneizada por meio de operações de georreferenciamento. Para tanto, são utilizados os pontos anotados nos vértices das linhas de vôo e suas respectivas coordenadas. Em seguida, utilizando a imagem georreferenciada do *mylar* ao fundo, os pontos e polígonos são vetorizados por digitalização em tela (Fig. 15).

Inclusão dos dados no Sistema de Informações Geográficas (SIG): os pontos e polígonos representam feições previamente acordadas como sendo de interesse da campanha aérea. Assim, a tabela de atributos de cada feição é preenchida durante a vetorização (Fig. 15), sendo que cada diferente “uso do solo”, recebe um código, por exemplo:

- plantios agrícolas – A;
- reflorestamentos – R;
- estágio sucessional inicial – EI;
- estágio sucessional avançado – EA.

Dessa forma, as informações passam a fazer parte do Banco de Dados do SIG (Fig. 16).

O banco pode, também, conter informações adicionais, tais como a data do levantamento, equipe, particularidades de determinada feição e outros

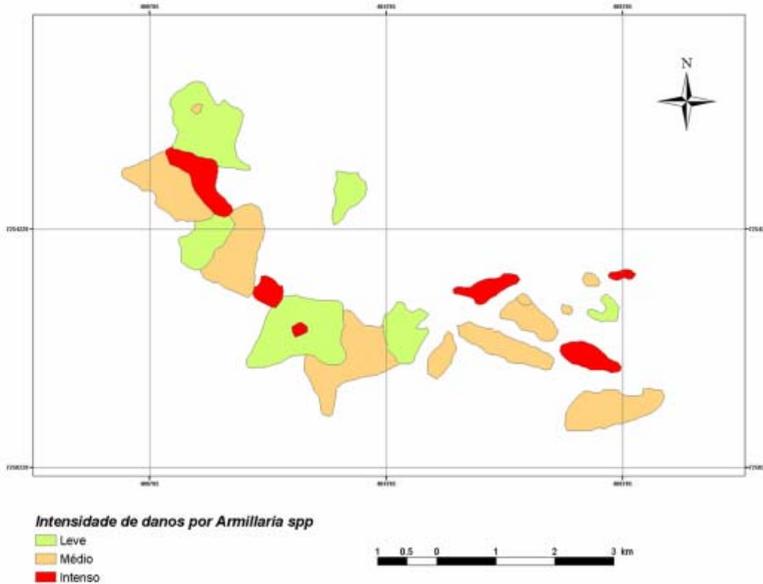


Fig. 17. Mapa de intensidade de danos causados por *Armillaria* sp. em área de reflorestamento.

Resultados obtidos nas campanhas brasileiras

Levantamentos para a detecção de danos florestais e para a avaliação da acuracidade temática

Ciesla et al. (2002) descreveram diversas assinaturas de danos detectadas e mapeadas nas campanhas de LAE de 2002:

- Mortalidade em árvores esparsas em povoamentos de *Pinus* spp que sugeriam infestação por *Sirex noctilio*;
- Ponteiros mortos tanto em povoamentos de *Pinus* spp como de *Araucaria angustifolia*, sugestivos de danos causados por *Cebus nigritus* (macaco-prego), uma praga relativamente nova em reflorestamentos;
- Amarelecimento ou clorose em plantações de *Pinus* spp que pode estar associada a deficiências nutricionais e/ou podridão da raiz causada por uma espécie do fungo *Armillaria* sp.;

- Morte de pequenos grupos de 5 a 20 árvores em plantações de *Pinus* spp, similares às infestações por *Dendroctonus* sp (besouro-da-casca) nos Estados Unidos.

Foi desenvolvido um sistema de códigos provisório para os principais tipos de danos observados no Brasil, incluindo o hospedeiro, o tipo e a intensidade de dano. Esse sistema foi ligeiramente modificado durante os levantamentos de 2003, em função da maior experiência adquirida pelos observadores aéreos e de sua maior familiaridade com os tipos de danos observados do ar (Tabela 2). Futuras modificações podem vir a incluir um novo código para *Glycaspis brimblecombei* (piolho-do-eucalipto).

Terminado o levantamento aéreo, a etapa seguinte incluiu a transferência dos polígonos de danos para transparências plásticas (*mylar*) que foram escanizados, georreferenciados e vetorizados visando a sua inserção em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A informação referente às assinaturas de danos foi incluída na tabela de atributos associada às feições espaciais.

Tabela 2. Sistema de código para assinatura de danos visíveis do ar no Sul do Brasil.

Hospedeiro/código	Tipo de dano/código	Intensidade de dano (% de árvores afetadas no povoamento ou polígono) /código
<i>Araucaria angustifolia</i> /Au	Macaco/2	Leve (< 5 %)/L
		Intenso(≥ 5 %)/H
<i>Pinus</i> spp/Pi	Vespa-da-madeira/1	Idem
	Macaco/2	Idem
	<i>Armillaria</i> spp/3	Idem
	<i>Cinara</i> spp/4	Idem
	Defolhação/5	Idem
	Clorose ou amarelecimento/6	Idem
<i>Eucalyptus</i> spp/Eu	Clorose ou amarelecimento /6	Leve (< 5 %)/L
		Intenso (≥ 5 %)/H

Os resultados do LAE relativos a danos florestais foram verificados através de levantamentos de campo. A Tabela 3 mostra os erros de omissão e comissão encontrados para os vôos realizados na região de União da Vitória e Pitanga, PR. A acurácia geral para o levantamento foi de 91,43 %. Cerca de 40 % dos povoamentos danificados por macaco-prego não puderam ser detectados no LAE. O mesmo ocorreu para povoamentos atacados simultaneamente por macaco e vespa, com omissão de 50 %. Todos os povoamentos infestados por vespa foram discriminados, enquanto 10,71 % dos polígonos identificados como sendo atacados por vespa, pertenciam, na verdade, a outras classes de danos (erro de comissão).

Tabela 3. Erros de omissão e comissão relativos ao agente causal obtidos no LAE.

Agente causal	Erro de omissão (%)	Erro de comissão (%)
Vespa-da-madeira	0	10,71
Macaco	40	0
Vespa/macaco	50	0
Clorose	0	0

A Fig. 18 mostra o mapa final de danos florestais obtido para a região de União da Vitória, PR. O ambiente de SIG permite a visualização seletiva de todas as informações coletadas durante o vôo. Com a realização de novos levantamentos, novas informações podem ser acrescentadas à base de dados. Análises espaciais podem auxiliar no desenvolvimento de padrões de distribuição espacial para determinados tipos de pragas florestais, bem como na geração de mapas de risco.

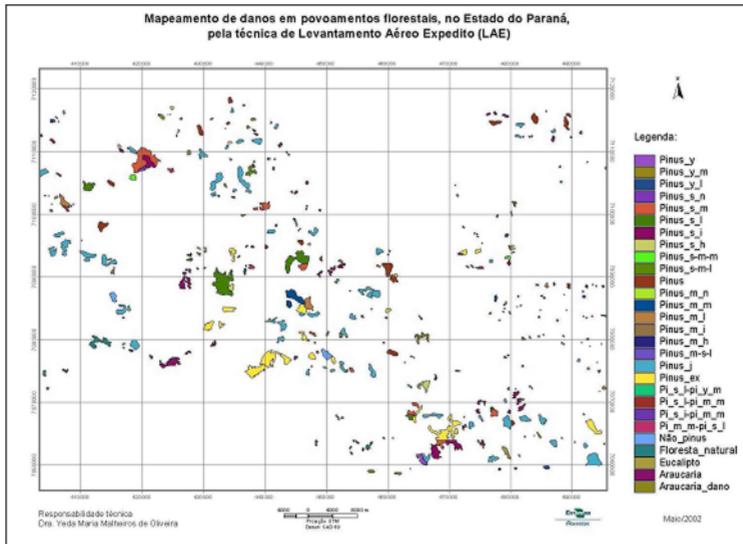


Fig. 18. Mapa de danos florestais resultante de LAE na região de União da Vitória, PR.

Apesar de a interpretação visual de imagens de satélite ter sido considerada como o meio mais eficiente de se mapear plantios de *Pinus* spp no Sul do Brasil (ROSOT et al., 2003), a avaliação da acuracidade demandou recursos financeiros significativos, devidos, principalmente, à necessidade de inúmeras idas a campo para a tomada de pontos de controle confiáveis nas plantações florestais. Quando a equipe da Embrapa optou por produzir cartas-imagem como base para o LAE, constatou-se que os vãos poderiam servir como meio de verificação da acuracidade temática de mapeamentos já existentes, elaborados por meio de outras técnicas. Assim, procedeu-se à verificação da acuracidade temática do mapeamento de plantios de *Pinus* spp efetuado para o Estado do Paraná por meio da interpretação visual de imagens Landsat 7. Dessa forma, o observador aéreo passou a ser responsável tanto pela anotação dos danos como pela verificação da tipologia florestal, tarefa esta que não apresentou maiores dificuldades. Os erros mais freqüentes encontrados para a classificação temática foram:

- erros de omissão: não-classificação de plantios jovens, com menos de 8 anos de idade; não-classificação de *Pinus* spp jovem (1 a 5 anos de idade);
- erros de comissão: florestas e plantações de *Araucaria angustifolia*; plantios de *Eucalyptus* sp.

A avaliação da acuracidade foi executada em ambiente de SIG, tomando por base os polígonos, i.e., os centróides dos polígonos que representavam a “verdade-de-campo” (obtidos pelo LAE) foram considerados como pontos de controle. Para a região de Abapã, no nordeste paranaense, constatou-se que o mapeamento por imagem de satélite omitiu cerca de 10,74 % dos plantios de *Pinus* spp existentes. Por outro lado, 2,4 % dos polígonos atribuídos à classe “Pinus” pertenciam, na verdade, a outras classes de vegetação no terreno. Para este local, estimou-se uma acurácia geral equivalente a 87,46 %, que pode ser considerada bastante boa quando comparada a acurácias médias de 80 % em classificações automáticas de imagens Landsat (COLEMAN et al., 1990; CAMPBELL, 1996).

Levantamentos para a discriminação de diferentes fases sucessionais em remanescentes de Floresta de Araucária

No ano 2000, o Governo do Estado do Paraná mapeou todos os remanescentes de Floresta de Araucária presentes no estado (Projeto PROBIO) usando classificação automática de imagens Landsat TM. Os resultados da classificação, incluindo cinco tipologias florestais, foram refinados por verificações de campo e dados auxiliares. Em 2003, no âmbito do programa de levantamento aéreo expedito desenvolvido pela Embrapa e pelo Serviço Florestal Americano, foi efetuado um voo sobre uma área-piloto contendo remanescentes de Floresta de Araucária com dois objetivos principais:

- Desenvolver uma assinatura aérea para as classes consideradas no mapeamento anterior;
- Atualizar a classificação efetuada no ano 2000.

Para este tipo de levantamento, sobrepôs-se às cartas-imagem um *grid* UTM com intervalo de 4 km x 4 km, a rede viária, a rede de drenagem e os polígonos delimitados na classificação final do Projeto PROBIO. Antes do voo operacional propriamente dito, a equipe do Governo estadual responsável pela classificação do ano 2000 participou de um voo de treinamento juntamente com a equipe da *Embrapa Florestas/Serviço Florestal*, com o objetivo de orientar os observadores aéreos quanto aos critérios considerados na classificação dos diferentes estágios sucessionais da vegetação.

Logo após a realização do voo operacional, a primeira questão ressaltada foi a riqueza de detalhes proporcionada por um voo a 300 m de altura. Puderam ser mapeados não apenas os remanescentes florestais, mas, também, diferentes classes de cobertura do solo, tais como solo exposto e culturas agrícolas (Fig. 19). Dependendo da escala do mapa-base (nesse caso, 1:25.000), até mesmo a presença ou ausência de mata ciliar pôde ser anotada.

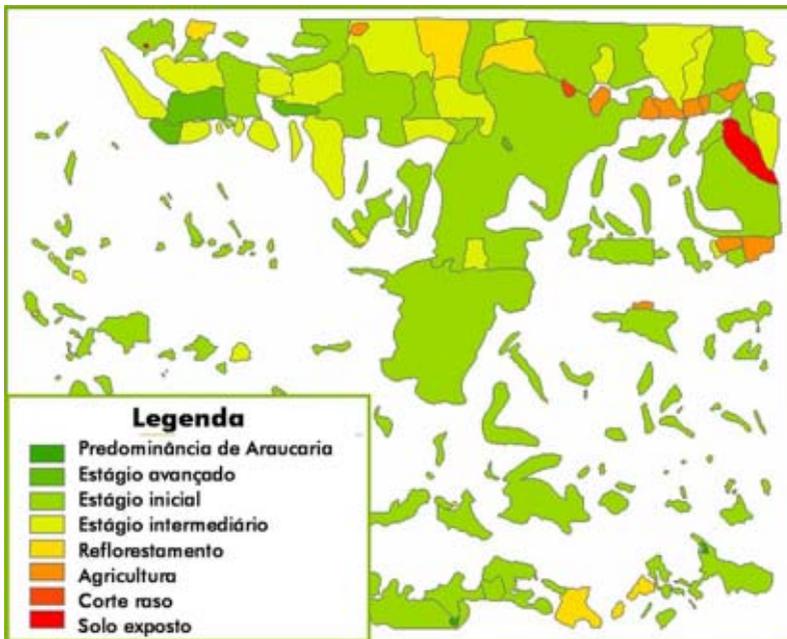


Fig. 19. Resultados do LAE para a região de Rio dos Touros, PR, mostrando classes de uso do solo e tipologia florestal.

Os observadores aéreos discutiram, também, as vantagens e desvantagens da sobreposição da classificação prévia sobre a carta-imagem. Devido à dinâmica do uso do solo e também à subjetividade na definição das tipologias florestais, considerou-se como recomendável não incluir os polígonos da classificação na carta-imagem. As classes consideradas para a classificação digital representavam três diferentes fases sucessionais de florestas nativas secundárias, além de uma classe com predominância de *Araucaria angustifolia* (80 % ou mais). Excetuando-se a classe de plantações florestais, as quatro outras eram bastante similares, o que compromete os resultados passíveis de serem obtidos em classificações automáticas. Muitas diferenças relativas tanto à localização como quanto à classificação foram encontradas entre os dois levantamentos (PROBIO e LAE). Ao se considerar apenas as classes “floresta nativa” e “não-floresta nativa”, o percentual de concordância entre os dois levantamentos atingiu 49 % de toda a área sobrevoada.

O LAE da Reserva Indígena de Mangueirinha (Fig. 20) apresentou resultados similares ao do PROBIO apenas para as classe “estágio intermediário” e “predominância de araucaria”, com uma diferença de áreas em torno de 30 %. As principais diferenças entre as duas abordagens foram relativas à classe “estágio inicial”, cuja extensão, segundo o LAE, é significativamente maior do que a obtida no PROBIO. Muitas das áreas reconhecidas (a partir do voo) como “estágio inicial” foram erroneamente classificadas como “predominância de araucária”. Também na classe “estágio avançado” foram constatadas diferenças de áreas de até 90 % entre os resultados do PROBIO e do LAE.

O levantamento aéreo expedito também considerou outras classes de interesse, tais como “taquara”, que ocorre freqüentemente em remanescentes de Floresta de Araucária e tem sido considerada como um fator inibidor da regeneração natural do pinheiro.

A Reserva Florestal de Caçador, no Estado de Santa Catarina, também foi sobrevoada durante a campanha de 2002. O objetivo principal era classificar remanescentes de Floresta de Araucária dentro e fora da

Reserva em três classes de cobertura, que podem ser observadas na Fig. 21. A legenda "Au1" representa fragmentos com mais de 80 % de cobertura de araucária, enquanto "Au2" representa classes entre 80 % e 20 % de cobertura e, "Au3", menos que 20 %. Também foram mapeados plantios de *Pinus* spp (*Pi*) e *Eucalyptus* spp (*Eu*) e áreas exploradas (*Ex*). Esses resultados forneceram a base para pesquisas posteriores envolvendo abordagens de análise de paisagem e interpretação visual de imagens de satélite de alta resolução.

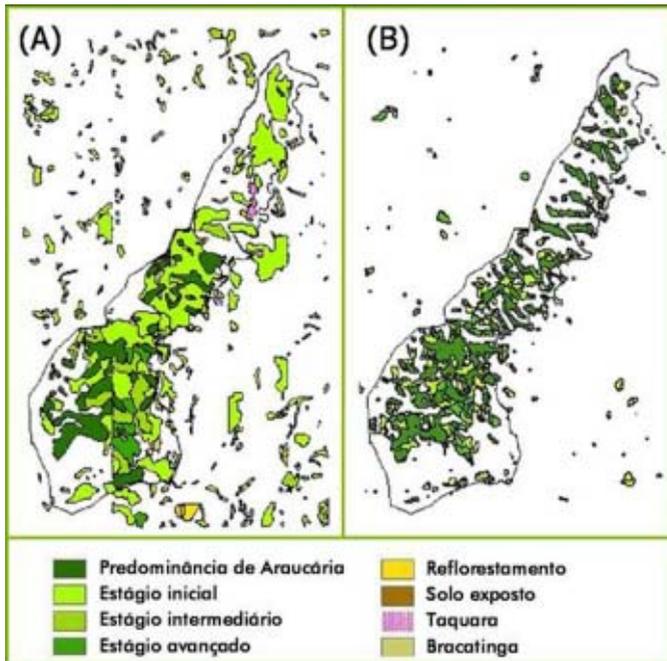


Fig. 20. Resultados do LAE (a) e PROBIO (b) para a Reserva Indígena de Mangueirinha, PR.

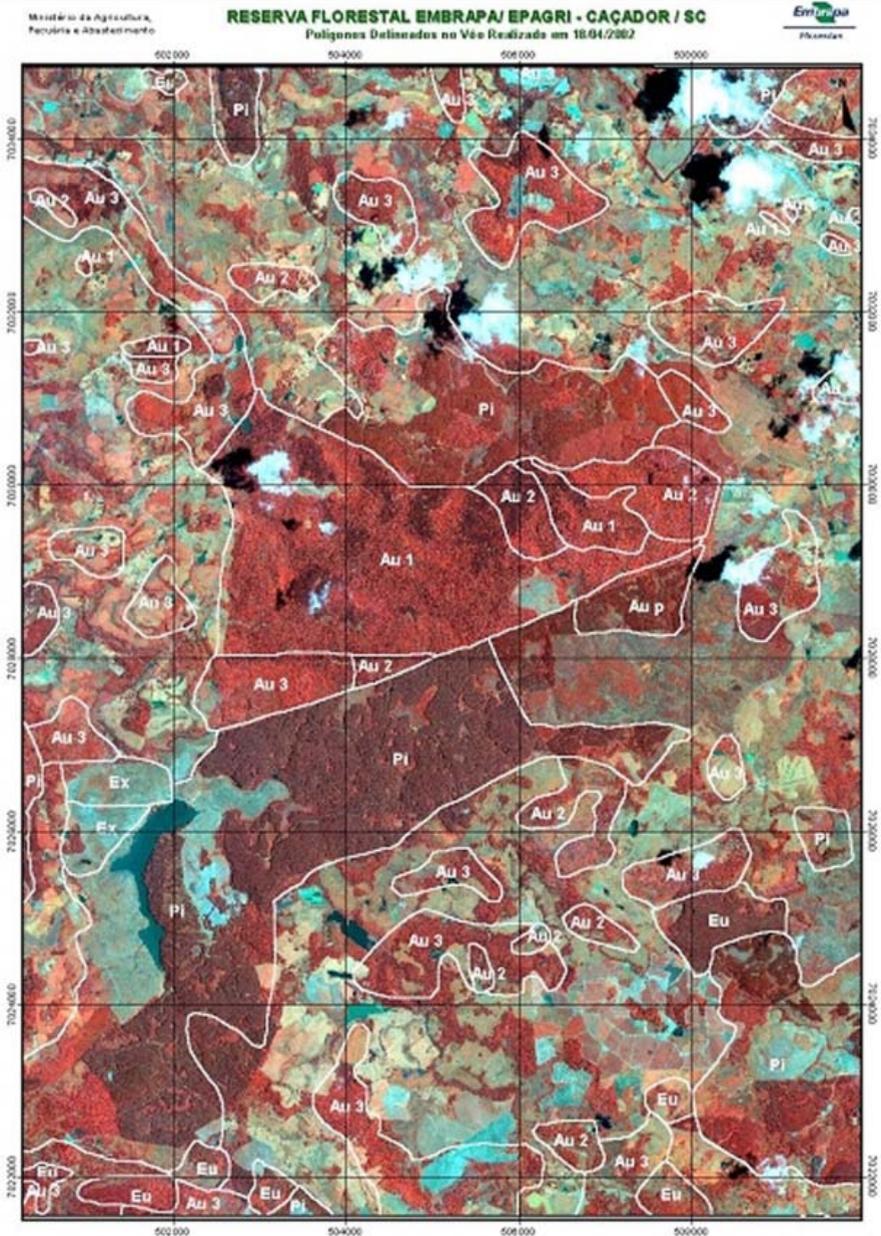


Fig. 21. Resultados do LAE para a Reserva Florestal Embrapa/Epagri em Caçador, SC, sobreposta a uma composição colorida IKONOS (NIR-G-B).

Levantamentos para monitorar desmatamentos ilegais em remanescentes de Floresta de Araucária

Uma das campanhas de vôo mais recentes, realizada pela *Embrapa Florestas*, foi um levantamento requisitado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), para monitorar desmatamentos ocorridos em remanescentes de Floresta de Araucária em duas áreas do Estado do Paraná.

O vôo a baixa altitude possibilitou o mapeamento de 48 pontos de intensidades diversas de desmatamento, incluindo áreas em que o processo era recente (“vestígios de desmatamento”) e outras onde já estava consolidado (Fig. 22). Os observadores utilizaram o mesmo vôo para verificação da acuracidade temática do mapeamento do *Pinus* spp no Paraná e também para a verificação de danos causados pela vespa-da-madeira, caracterizando uma campanha de objetivos múltiplos (Fig. 23).

Perspectivas futuras

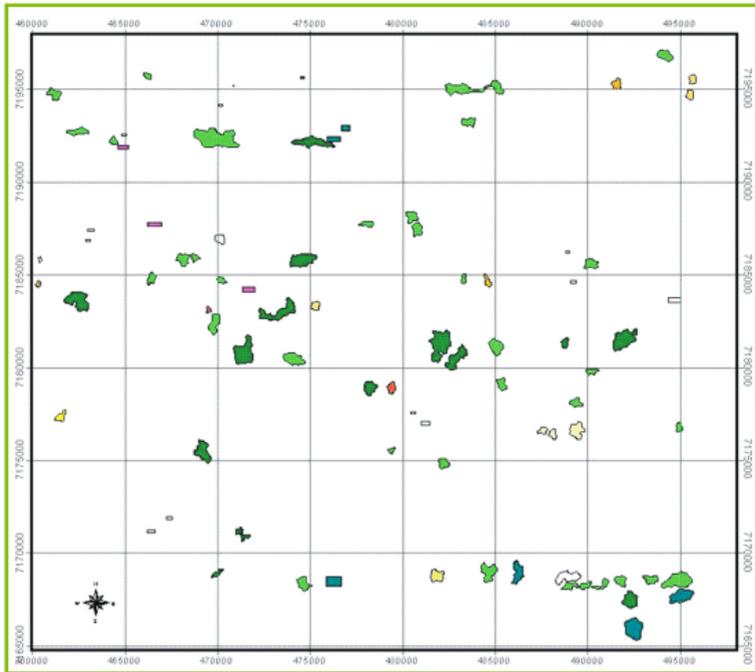
À medida que novas campanhas anuais vão sendo realizadas, o time de observadores aéreos da Embrapa se torna mais e mais proficiente na identificação de danos florestais típicos do Sul do Brasil, possibilitando, então, a expansão do sistema de codificação provisório estabelecido nos primeiros anos do programa.

Os pesquisadores ligados à área de fitossanidade têm se preocupado com infestações de *Glycaspis brimblecombei* (piolho-do-eucalipto) observadas nos estados do Paraná e São Paulo. A detecção e mapeamento dos danos florestais causados por este inseto constitui, agora, o novo desafio para os levantamentos aéreos expeditos.

Foto: Nelson Carlos Rosot



Fig. 22. Foto de desmatamento na região sul do Estado do Paraná obtida durante campanha do LAE.



Legenda:

Plantios florestais

- Eucalyptus
- Não-pinus
- Pinus
- Pinus explorado
- Pinus jovem

Danos florestais

- Vespa-da-madeira

Desmatamento

- Intensidade alta
- Intensidade alta - em curso
- Intensidade alta em bracinga
- Intensidade média
- Área queimada
- Índícios de desmatamento

Fig. 23. Resultados parciais do LAE efetuado para o monitoramento de áreas desmatadas em remanescentes de Floresta de Araucária (Região de Guarapuava, PR).

Outro aspecto importante da implementação da técnica em larga escala é a imediata verificação de campo das áreas cujos danos foram detectados a partir do ar. Nesse sentido, a *Embrapa Florestas* pretende desenvolver parcerias com proprietários florestais que podem vir a fornecer apoio de campo e também informações relacionadas a tratamentos culturais e silviculturais aplicados aos povoamentos para os quais foram observados danos.

Uma questão interessante que surgiu após a campanha de 2003 sobre as regiões ocupadas por Floresta de Araucária foi a possibilidade de se adquirir algum tipo de imagem durante o voo. Ao analisar os resultados do levantamento, os observadores aéreos e os técnicos do Governo estadual constataram que seria bastante útil possuir imagens de vídeo ou fotografias aéreas para ajudá-los a desenvolver as assinaturas aéreas das feições, classes de vegetação ou fenômenos sendo estudados. Este tópico foi discutido durante o *Workshop* realizado em Curitiba em Novembro de 2003 e a equipe de LAE decidiu que seria apropriado testar diferentes métodos de aquisição de imagens em futuras etapas do programa de levantamento aéreo expedito.

Nos Estados Unidos e Canadá, os avanços significativos da tecnologia computacional, GPS e SIG, possibilitaram o desenvolvimento de um sistema digital para o registro – durante o voo – dos danos observados diretamente na tela de um *laptop* (CIESLA, 2006). A equipe *Embrapa Florestas/Serviço Florestal* pretende, agora, introduzir o sistema de LAE digital no Brasil. Estudos prévios de viabilidade permitiram concluir que não haverá dificuldades técnicas visto que os mapas-base já estão em formato digital e que os componentes de *hardware* e *software* necessários à implementação do sistema serão fornecidos pela equipe do setor de fitossanidade do Serviço Florestal Americano. Pretende-se testar o sistema LAE digital nas futuras campanhas de voo.

Levantamento Aéreo Expedito Digital (LAED)

Até o momento, as principais aplicações da técnica de LAE no Sul do Brasil referem-se:

- à detecção e mapeamento de danos florestais, voltados principalmente – mas não de forma exclusiva – às plantações florestais;
- à avaliação da acuracidade temática de outras técnicas de sensoriamento remoto, tais como, por exemplo, a classificação digital e a interpretação visual de imagens satelitárias;
- à atualização de mapas florestais;
- ao mapeamento e classificação de remanescentes florestais e outras feições ambientalmente relevantes, tais como florestas ripárias, várzeas, etc.

Está prevista a migração do sistema atual, baseado em anotações manuais para um sistema digital, denominado "*Digital aerial sketchmapping*" (Fig. 24a), atualmente em fase já operacional nos EUA e Canadá.

O sistema digital trabalha acoplado a um computador do tipo *laptop* que possui uma tela "*touch screen*" especialmente desenhada para o ambiente dentro do avião, ou seja, com muita luz solar incidente. O monitor atua como o instrumento de entrada de informações através de botões e ícones padrão Windows. Feições como linhas, pontos e polígonos podem ser desenhados com uma caneta ótica especial (Fig. 24b), e códigos pré-estabelecidos são acionados pelo operador, como, por exemplo, intensidade do dano ou tipo do problema identificado. Mapas podem ser acionados e trocados, como por exemplo, uma carta topográfica e uma carta-imagem, e atuam como pano-de-fundo na tela (Fig. 24c). A posição do avião também é mostrada na tela, já que a rota foi previamente incluída no sistema, além de ser inserida no GPS. Isto facilita sobremaneira a identificação, por parte dos observadores aéreos, da posição do "alvo" no terreno e no mapa. Os resultados do vôo são facilmente exportados para "*shapes*" do sistema ArcView.

Integração com outras tecnologias

A integração do LAE e do LAED com o uso de câmaras digitais devidamente acopladas à parte externa do avião reveste-se de grande importância, principalmente nas campanhas em que a documentação é necessária, como naquelas que envolvem a fiscalização de desmatamentos, por exemplo. O uso de videografia digital também está sendo considerado, para atuar como ferramenta associada ao Levantamento Aéreo Expedito.

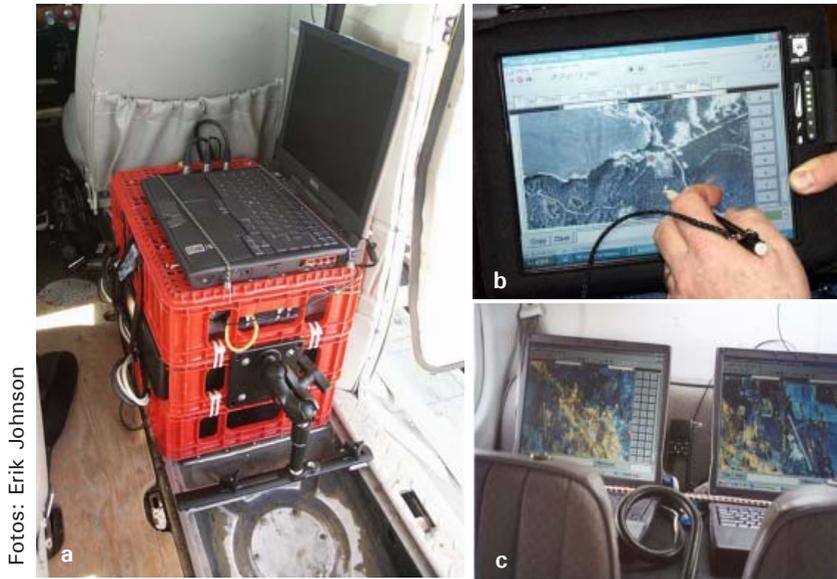


Fig. 24. (a) Baterias para os equipamentos do LAED; (b) tela *touch screen* e caneta óptica para anotações de voo; (c) tela do *laptop* com imagem ao fundo.

Conclusões

O programa de levantamento aéreo expedito está em pleno desenvolvimento no Brasil e alguns dos fatores que contribuíram para o sucesso de sua implementação foram:

- o constante suporte da equipe de fitossanidade do Serviço Florestal Americano que introduziu o LAE no Brasil e que sempre esteve disposta a adaptar a técnica às condições brasileiras;
- as grandes extensões de florestas (naturais ou plantadas) presentes no Sul do Brasil e a dinâmica de uso do solo, que demandam novos métodos de monitoramento florestal;
- o interesse de proprietários florestais e de instituições públicas em aplicar a nova técnica para múltiplas finalidades;
- o interesse da Embrapa – sendo uma instituição pública de pesquisa – em desenvolver e adaptar técnicas que contribuem para o uso sustentável dos recursos florestais.

As campanhas de vôo no Brasil demonstraram que desmatamentos, alterações no uso do solo e outras atividades antrópicas em regiões fitoecológicas inseridas no domínio da Mata Atlântica podem ser detectados e classificados a partir do ar. A técnica de LAE representa, portanto, uma alternativa eficiente, rápida e de baixo custo para ações de fiscalização, proteção, mapeamento e monitoramento visando à conservação deste importante e ameaçado bioma.

Referências

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. 2nd. ed. New York: The Guilford Press, 1996. 622 p.

CIESLA, W. M. **Aerial signatures of forest insect and disease damage in the western United States**. USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, 2006. 94 p. (Fort Collins, CO, Report FHTET-01-06).

CIESLA, W. M., DISPERATI, A.A.; MENDES, C. J.; MENDES, C; Mapeamento aéreo expedito para a classificação da mortalidade de árvores causadas pela vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*) em plantações brasileiras de pinus. **FatorGis**, 1999. Disponível em: <[http:// www.fatorgis.com.br/artigos/florest/vespa/vespa.htm](http://www.fatorgis.com.br/artigos/florest/vespa/vespa.htm)>. Acesso em: 24 ago 2008.

CIESLA, W. M.; JOHNSON E. W.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; ELLENWOOD, J.; PENTEADO JÚNIOR, J. F. Development of an aerial sketchmap program for detection and mapping of forest damage in Brazil. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5., 2002. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 2002. p. 31-38.

CIESLA, W. M. Remote sensing for mapping and assessment of forest damage: past accomplishments and future challenges. In: SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS A ENGENHARIA FLORESTAL, 3., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1998. p. 117-126.

CIESLA, W. M. **Remote sensing in forest health protection**. Salt Lake City: USDA, Forest Service, Remote Sensing Applications Center; Fort Collins: USDA, Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, 2000. 266 p. (FHTET Rep., 00-03).

COLEMAN, T. L.; GUDAPATI, L.; DERRINGTON, J. Monitoring forest plantations using LANDSAT thematic mapper data. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, p. 211-221, 1990.

ESTRAVIZ-RODRIGUEZ, L. C. Monitoramento florestal: iniciativas, definições e recomendações. **Serie Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 9-21, abr. 1998. Memória do 2º Workshop sobre Monitoramento Ambiental em Áreas Florestadas, 1997, Piracicaba.

GILLESPIE, A. J. R. Methods for monitoring sustainability. In: AGUIRRE-BRAVO, C.; ESKEW, L.; (Ed.). **Partnerships for sustainable forest ecosystem management**. Fort Collins: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Station, 1995. p. 24-32. (USDA. For. Serv. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-266). Proceedings of Fifth Mexico/U.S. Biennial Symposium Held October 17-20, 1994, Guadalajara, Mexico.

IBGE. **Manual de normas, especificações e procedimentos técnicos para a Carta Internacional do Mundo, ao Milionésimo - CIM**. Rio de Janeiro, 1993. 63 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 2).

JOHNSON, E.; ROSS, J. **USDA Forest Service Rocky Mountain Region forest health aerial survey accuracy assessment 2005: a pilot project**. Lakewood: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Region, 2006. 13 p. (USDA. For. Serv. Tech. Rep. R2-06-08). Disponível em: <http://gis.fs.fed.us/r2/resources/fhm/aerialsurvey/download/docs/AAreport_2005_final.pdf>. Acesso em: out. 2007.

MCCONNELL, T., JOHNSON, E., BURNS, B. **A guide to conducting aerial sketchmapping surveys**. USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, 2000, 88 p. (Fort Collins, CO, Report FHTET-00-01).

OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROSOT, M. A. D.; CIESLA, W. M.; JOHNSON, E.; RHEA, R.; PENTEADO JÚNIOR, J.; LUZ, N. B. da. O mapeamento aéreo expedito para o monitoramento florestal no sul do Brasil. In: DISPERATI, A. A.; SANTOS, J. R. dos (Ed.). **Aplicações de geotecnologias na engenharia florestal**. Curitiba: Copiadora Gabardo, 2004. p. 12-24.

ROSOT, M. A. D., OLIVEIRA, Y. M. M. de, AUER, C. G. Mapeamento de focos de armilariose em plantações florestais na Região Sul do Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE ARMILARIOSE E CINARA spp, 1., 2003, Colombo-PR, Brasil. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1 CD-ROM.

SCHRADER-PATTON, C. **Digital aerial sketchmapping**. USDA Forest Service, Remote Sensing Applications Center, Salt Lake City, UT and Forest Health Technology Enterprise Team, 2003, 17 p. (Fort Collins, CO, Report RSAC 1202-RPT2).

WEAR, J. F; BUCKHORN, W. J. **Organization and conduct of forest insect aerial surveys in Oregon and Washington**. Portland, Oregon: USDA Forest Service, 1955. 41 p.