Base digital com imagens SPOT 5 e RapidEye, subsídio para o Cadastramento e Licenciamento Ambiental Rural no estado do Pará

Cíntia Pedrina Palheta Balieiro[1]
Lucyana Pereira Barros[1]
Giovanni Malmann[1]

[1]The Nature Conservancy
66035-170 – Belem – PA, Brasil
cbaleiro@tnc.org, lbarros@tnc.org, gmallmann@tnc.org

Abstract. This article proposes a method for optimizing and standardizing georreferenced digital bases for registering rural properties for environmental licensing in the state of Pará. The study produced a digital base map of forest cover and land use in the scale 1: 25.000 for the city of Santana do Araguaia. After geometrical evaluation and validation of SPOT 5 images, the digital data base was built using visual interpretation edited in the scale 1:10.000 showing villages, transport network, rivers, permanent protection areas (APP) and city limits, and presenting them in the scale 1:25.000 for guaranteeing mapping quality. Forest cover map was based on RapiEye images from 2011, with 5 m spatial resolution, and was registered based on SPOT 5 through supervised classification. Noises were corrected with spatial filters and matricial edition. The final product was validated through aerial survey. Santana do Araguaia had lost 52% of forest cover by 2011and degraded lands represented 5% of its area. APPs were present in 6% of the city and 41% of them were degraded in 2011. This study has demonstrated more efficient methods for producing more precise digital data base to be used by municipal public managers.

Palavras-chave: digital bases, land use, images, spatial resolution, classification, bases digitais, cobertura do solo, imagens, resolução espacial, classificação.

1. Introdução

O acervo espacial de um banco de dados estadual ou municipal deve conter representações capazes de fornecer subsídios à tomada de decisão. A ausência de dados espaciais capazes de gerar informações confiáveis para gestão ambiental nos municípios do estado do Pará acarreta no uso de informações com qualidades duvidosas, gerando desperdício de recursos para contonar problemas ambientais. Com isso, torna-se necessária a elaboração de uma base digital georreferenciada de alta precisão geométrica, que, atrelada ao sensoriamento remoto, transforma-se em uma ferramenta essencial na gestão pública. Métodos de mapeamento da cobertura do solo na Amazônia obtiveram resultados satisfatórios para reduzir o tempo de processamento de dados de extensas regiões. Roberts et al. (2002) mapearam as mudanças de cobertura do solo com árvore de decisão; TNC (2011) elaborou base digital georreferenciada e mapeamento da cobertura e uso do solo com imagens de alta resolução espacial para dois municípios do sudeste do Pará.

Atualmente a base cartográfica disponível no Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental (SIMLAM) da Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA-PA) contempla um banco de dados em diferentes escalas de mapeamento, tais como hidrografia (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército - DSG e Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR, escala de 1:100.000), sistema viário do IBGE (escala de 1:250.000), limite municipal do IBGE (1:250.000), desmatamento do PRODES (1:250.000). No entanto, tais informações estão desatualizadas, não refletindo a realidade de campo, principalmente para elaboração de projetos de recuperação de áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente (APP), que requerem informações espaciais de alta precisão geográfica. Além disso, para se alcançar um monitoramento ambiental eficaz das propriedades cadastradas, é extremamente necessário precisão, adequação, unificação e padronização das bases cartográficas existentes na SEMA.

Parte das ações desenvolvidas pela TNC e parceiros está diretamente relacionada aos processos que envolvem a regularização das reservas legais (RL) e APP dos municípios de Santana do Araguaia, localizado no estado do Pará. Além do processo de regularização ambiental das propriedades rurais, busca-se garantir a conservação em terras privadas, integrando ações de articulação com setor agropecuário e estímulo à produção por meio de boas práticas agrícolas e do desenvolvimento de um planejamento estratégico da propriedade.

A TNC busca, deste modo, ampliar a capacidade de inserir um maior número de propriedades rurais, através do Cadastro Ambiental Rural (CAR), na base de dados espaciais utilizada pelo órgão licenciador das propriedades rurais, bem como o aperfeiçoamento da base de dados por meio da melhoria da escala de trabalho dos mapeamentos utilizados. Com isso, este estudo visa apresentar metodologias para elaborar uma base de dados georreferenciados com imagens de alta resolução espacial e qualidade geométrica precisa que atenda às ações idealizadas pela SEMA-PA no âmbito da regularização ambiental do estado, principalmente os procedimentos de análises técnicas do CAR, Licenciamento Ambiental Rural (LAR) e do ordenamento ambiental para recuperação/recomposição florestal.

2. Metodologia de Trabalho

O escopo deste projeto foi a elaboração de base digital georreferenciada e mapa de cobertura vegetal e uso do solo na escala 1:25.000, abrangendo uma área de 1.156.166 ha, compreendendo o município de Santana do Araguaia, no estado do Pará (Figura 1). A cobertura vegetal compõe-se, principalmente, por uma tipologia de transição floresta/cerrado, onde predomina a floresta aberta mista tipo (cocal). Os campos cerrados apresentam a gama completa do tipo savana, incluindo o cerradão, o campo cerrado e os parques (que são campos com arbustos isolados). A floresta densa equatorial aparece, em maior escala, em trechos isolados (Veloso et al.,1991). As metodologias utilizadas neste estudo encontram-se resumidas nas próximas sessões.

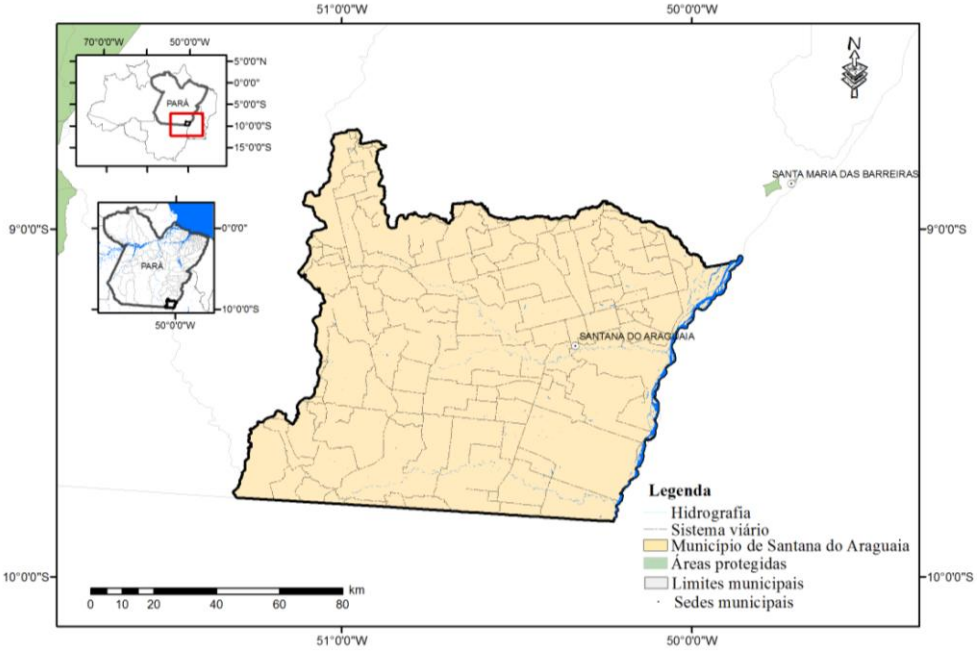

Figura 1. Localização geográfica do município de Santana do Araguaia, no estado do Pará.

2.1 Processamento digital de imagens

2.1.1 **Imagens SPOT**

Para elaboração da base digital georreferenciada foram utilizadas 10 cenas do satélite SPOT 5. Estas cenas passaram pelo processo de validação da qualidade geométrica por meio de um levantamento de pontos de checagem em campo com o uso de dois (02) aparelhos GPS geodésicos de dupla frequência, L1/L2, e o tempo mínimo de ocupação dos pontos foi entre 20 e 40 minutos. No período de 07/07/11 a 25/07/11 foram levantados 46 pontos distribuídos em diferentes áreas e altimetria, de acordo com a disponibilidade de vias de acesso terrestre. Para validação das cenas compararam-se as coordenadas coletadas na imagem com as coordenadas coletadas em campo com uso do GPS. O procedimento adotado aferiu a precisão da imagem em sua escala conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para atender a escala de 1: 25.000 e obter uma exatidão Classe A, com erro planimétrico máximo de 12,5 metros, conforme determinação do CONCAR.

2.1.2 **Imagens RapidEye**

Para elaboração do mapa de cobertura vegetal e uso do solo utilizaram-se 4 imagens de satélite RapidEye do ano de 2011. Primeiramente, foram registradas as imagens Spot 5 para atender à qualidade geométrica na escala 1:25.000. Em seguida, aplicaram-se os procedimentos de realce e equalização, assim como uma análise detalhada do histograma de frequências em todas as bandas do visível, infravermelho e red-edge (banda específica para estudos de vegetação), a fim de aperfeiçoar o contraste de cores entre os principais alvos terrestres, utitilizando o software ERDAS (9.3).

2.2 Elaboração da base digital georreferenciada

A partir do procedimento de avaliação e validação geométrica das imagens SPOT 5, foi iniciado o processo de confecção do banco de dados digital, através do método de interpretação visual, editado na escala 1:10.000 para apresentação na escala de 1:25.000, com as seguintes feições: localidades, sistema de transporte, hidrografia, limite municipal e limites de APP TNC (2011). As etapas de elaboração são mostradas na Figura 2. O software utilizado foi ArcGis (10).

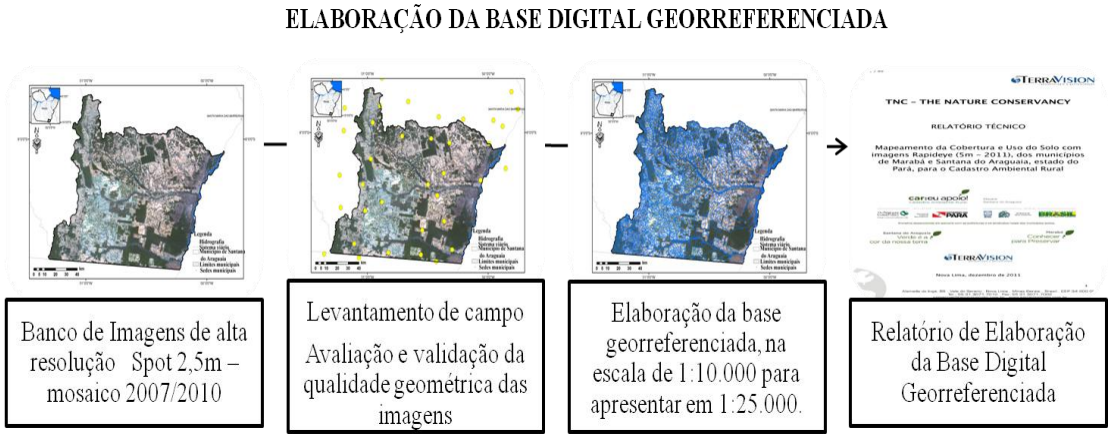

Figura 2. Etapas de elaboração da base digital georreferenciada.

2.3 Mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo

Os mapas de cobertura vegetal e uso do solo referem-se ao mapeamento com imagens RapidEye com 5 metros de resolução espacial, usando o método de classificação supervisionada, com o algoritmo de máxima verossimilhança ou vizinho mais próximo, onde os pixels que não casam com a classe definida são direcionados a uma classe vizinha. Na etapa de amostragem procurou-se abranger os pixels com padrão espectral referente à classe final a ser apresentada no mapa. No entanto, erros de classificação automática foram

detectados neste método, com pixels identificados em classes com assinaturas espectrais semelhantes (por exemplo, floresta VS. regeneração, savana VS. agropecuária). Estes erros foram corrigidos com filtros espaciais de mediana e edição matricial dos objetos com o uso de ENVI 4.8 (Figura 3). A terminologia oficial utilizada pelo IBGE (2006) foi adaptada para atender aos critérios do CAR e LAR.

Figura 3. (a) imagem utilizada para classificação; (b) imagem classificada, e identificação de erros de classificação (ruídos de regeneração VS. floresta); (c) imagem classificada com aplicação do filtro espacial, que em seguida foi submetida à edição matricial.

Na etapa de classificação automática elaborou-se o mapa de cobertura do solo para atender às exigências do CAR, priorizando as classes de floresta nativa (ARF), área desmatada (AD), formações não-florestais (FNF), afloramento rochoso (FNF), área edificada (URB), massa d'água (MA) e nuvem e sombra (NI). A partir deste resultado, iniciou-se a elaboração do mapa de uso do solo para atender às exigências do LAR, com o método de interpretação visual das classes de floresta degradada antiga (FDA), floresta degradada recente (FDR) e regeneração (REG). Com isso, obteve-se o mapa detalhado de cobertura e uso do solo para atender ao CAR e ao LAR. O produto final foi validado com um sobrevoo das áreas de interesse. Neste procedimento foram levantados os pontos geográficos (GPS de navegação) e fotografias com a descrição das classes de estudo. A legenda de mapeamento foi pactuada entre SEMA-PA e parceiros. Foi adotada uma área mínima de 1 (um) ha para o mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo; para isso foram considerados os critérios de elegibilidade (capacidade de representar as características essenciais do terreno e atender à escala 1:25.000) e a relação entre os custos operacionais e o fornecimento da informação da cobertura terrestre. O resumo do método está apresentado na Figura 4.

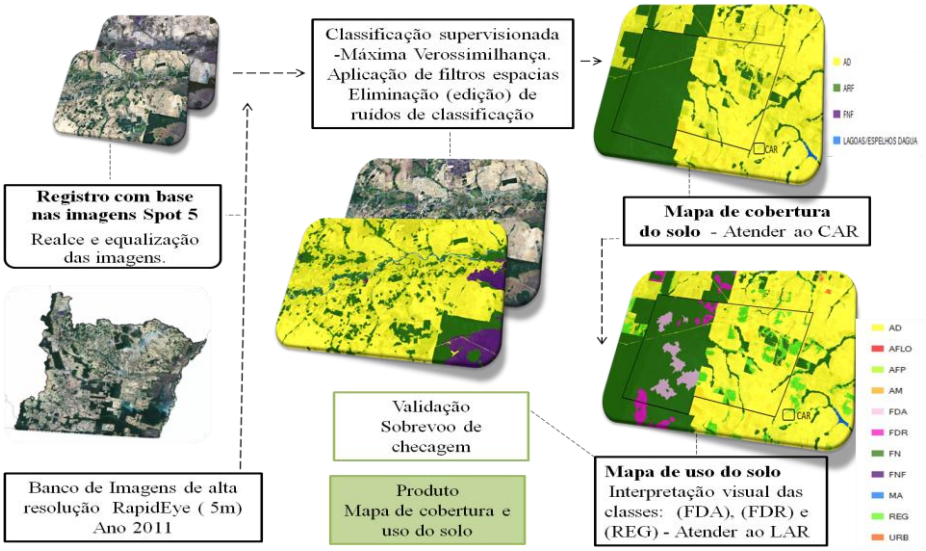

Figura 4. Resumo metodológico do mapeamento da cobertura e uso do solo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Resultados do processamento digital das imagens

As imagens SPOT, apesar de já estarem ortorretificadas, também foram validadas quanto à sua qualidade geométrica por meio de levantamento de campo. Neste procedimento, interferências no acesso às informações e limitações na ocorrência de feições notáveis limitaram, em média, a 4,52 pontos de checagem por cena, dos sete pontos pré-definidos. As discrepâncias entre as coordenadas planimétricas dos pontos GPS e das imagens atenderam ao erro padrão da classe A, com escala de 1:25.000, e distância de 7,5 m no terreno. Em seguida elaborou-se o mosaico de imagens 2007-2010, priorizando cenas mais recentes às antigas, e com preferência aquelas com menor cobertura de nuvem. Enquanto que, nas imagens RapidEye, além dos procedimentos de realce e equalização, realizou-se uma análise detalhada do histograma de frequências para executar as classificações com maior nitidez. Mesmo com as dificuldades de correlação de algumas classes devido ao padrão de sazonalidade e nuvens, a perda da qualidade visual causada pela heterogeneidade espectral entre as cenas foi considerada aceitável durante o processo de interpretação e classificação do mapeamento. Em seguida, foi elaborado o mosaico de imagens para o ano de 2011.

3.2 Resultados de interpretação das imagens de satélite

O produto de elaboração da base digital georreferenciada refere-se ao produto resultante das vetorizações executadas sobre as imagens SPOT 5. As feições abaixo citadas atenderam a uma escala de edição de 1:10.000 para serem apresentadas na escala de 1:25.000. Realizaram-se todas as operações topológicas para resolução de problemas de descontinuidade, deslocamento de elementos, sobreposição de linhas, pseudo-nós etc. Todos os procedimentos seguiram os padrões aceitos pelo CONCAR e DSG e estão detalhados na Figura 5.

3.2.1 Limite municipal

No detalhamento do limite municipal utilizaram-se cartas topográficas em escala 1:100.000 e 1:250.000 para a extração dos limites “secos” (divisores d’água, principalmente). A base do limite municipal do IBGE serviu de referência para edição da feição. A base do IBGE apresentou uma extensão de 1.166.864 ha, na escala de 1:250.000. O resultado do mapeamento, na escala de 1:25.000, resultou em uma área de 1.156.166 ha.

3.2.2 Localidades

Para identificação das localidades interpretaram-se padrões espaciais que definem os tipos e áreas de ocupação humana, codificou-se o nome da localidade, núcleo principal, vila, distrito, povoado, de acordo com a denominação da localidade. Foram totalizadas cinco localidades na região.

3.2.3 Sistema de transporte

Para a elaboração deste tema foram vetorizadas as vias principais e secundárias. Os limites do CAR serviram como referência de localização dos imóveis. Nos dados do IBGE, na escala de 1:250.000, havia 755 km de estradas. O resultado do mapeamento, na escala de 1:25.000, apontou 2.471 km.

3.2.4 Hidrografia e áreas de preservação permanente (APP)

Para a elaboração deste tema foram digitalizados os rios, córregos e barragens de todo o município. A base de drenagem do DSG atualizada em 2009, na escala de 1:100.000 e o modelo digital de terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, NASA 2000) serviram de referência para edição desta feição. Foram inseridos como atributo os nomes das

drenagens, suas tipologias, como no caso dos corpos d'água, diferenciados entre naturais e artificiais, além do atributo referente ao valor da APP. O DSG mapeou 8.527 km de hidrografia, na escala de 1:100.000. No mapeamento na escala de 1:25.000, este número saltou para 10.883 km, e as áreas com massa d'água representaram 11.133 ha. A indisponibilidade da massa d'água (base contínua) pela SEMA-PA impossibilitou a comparação dos dados. Vale ressaltar algumas dificuldades encontradas para o mapeamento, tais como: dados incompletos e inconsistentes da linha de base (rios levantados com a mesma nomenclatura em interflúvios diferentes, escala menor do que a adotada como padrão neste trabalho) e vetorização em área de floresta nativa.

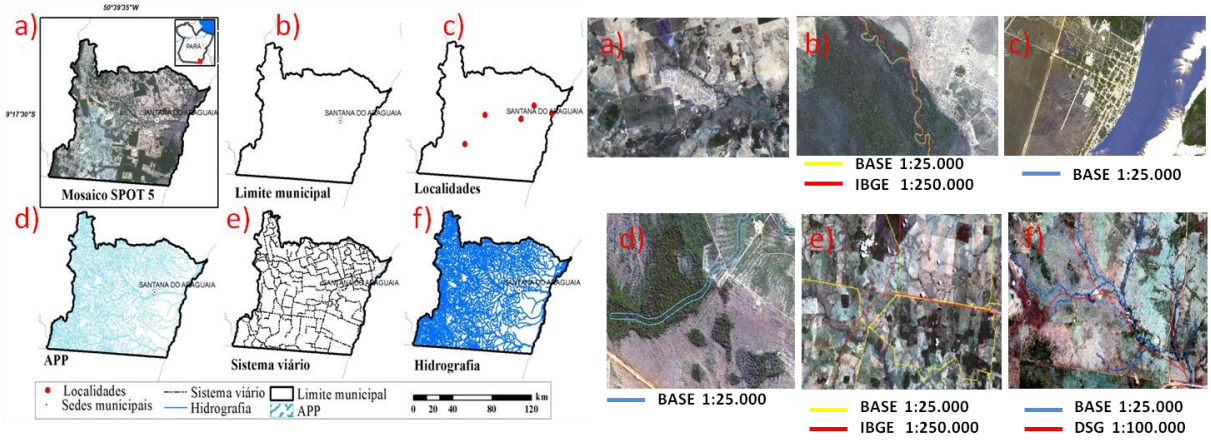

Figura 5. (a) Resultados obtidos a partir da base de imagens SPOT 5 para os anos de 2007-2010; (b) limite municipal atualizado vs limite do IBGE; (c) localidades atualizadas na imagem e validadas em campo; (d) APP atualizada; (e) sistema viário atualizado VS. sistema viário do IBGE; (f) hidrografia atualizada VS. hidrografia DSG.

3.3 Mapa da cobertura vegetal e uso do solo

O município apresentou 605.725 ha (52,4% de sua área total) de áreas sem remanescentes florestais, caracterizados por atividades de agropecuária e de agricultura. As áreas com remanescente florestal abrangeram 539.308 ha (46,6% da área municipal); deste total, 5% englobaram regiões com indícios de degradação florestal, 4% estavam cobertos por regeneração e 5% apresentaram formação não florestal (savana). Essa detecção de áreas de savana tem implicações importantes em termos de cumprimento da legislação, já que o Código Florestal estabelece que a reserva legal deve corresponder a 35% da área dos imóveis rurais inseridos nesta categoria, ao passo que em imóveis rurais localizados no bioma Amazônia a área de reserva legal corresponde a 80% (Lei n° 12.651).

As APPs representam 66.839 ha (6%) do município. Deste total, 39.475 ha (59%) estavam com remanescentes florestais, dos quais 4% apresentavam indícios de degradação florestal (exploração madeireira, queimadas, etc.) e 6% encontravam-se em estágio de regeneração (sucessão secundária, com mais de 10 anos, em áreas previamente desmatadas e/ou presença de dossel em estágio inicial e estrutura similar à floresta). Este resultado apontou que, praticamente, 41% das APPs no município de Santana do Araguaia estavam alteradas até 2011, conforme Tabela 1, Figura 6.

A validação das classes de uso e cobertura foi realizada através de um sobrevoo do local do mapeamento e do posicionamento em campo. Os pontos de amostragem foram coletados com aparelhos GPS (navegação) e câmeras fotográficas de alta resolução, o que proporcionou a formação de um acervo fotográfico georreferenciado de acordo com a real localização em campo e a imagem de satélite.

Tabela 1. Cobertura vegetal e uso do solo no ano de 2011, subsídio para CAR e LAR.

Classes da cobertura e uso do solo	SIGLA		MUNICÍPIO		APP	
	LAR	CAR	ha	%	ha	%
Floresta degradada antiga (a)	FDA	ARF	1.157	0,10	38,1	0,06
Floresta degradada recente (b)	FDR		51.489	4,45	2.849	4,26
Regeneração (c)	REG		47.729	4,13	4.030	6,03
Floresta nativa (d)	ARF		377.061	32,6	29.273	43,8
Formações não florestais - Savana (e)	FNF	FNF	59.194	5,12	3.253	4,87
Formações não florestais - Afloramentos rochosos (f)	AFLO		2.677	0,23	30,7	0,05
Área com remanescente florestal (g=a+b+c+d+e+f)			**539.308**	**46,6**	**39.475**	59,1
Desmatamento (h)	AD	AD	603.155	52,2	27.283	40,8
Reflorestamento (i)	AR		1.036	0,09	4,06	0,0
Área urbanizada (j)	URB		1.507	0,13	76,61	0,1
Áreas de mineração (l)	AM		26,6	0,00	-	-
Área sem remanescente florestal (m=h+i+j+l)			**605.725**	**52,4**	**27.364**	40,9
Massa d'água (n)	MA	LAGOAS ESPELHO D'ÁGUA	11.133	1,0	-	
Total (o=g+m+n)			**1.156.166**	**100**	**66.839**	**100**

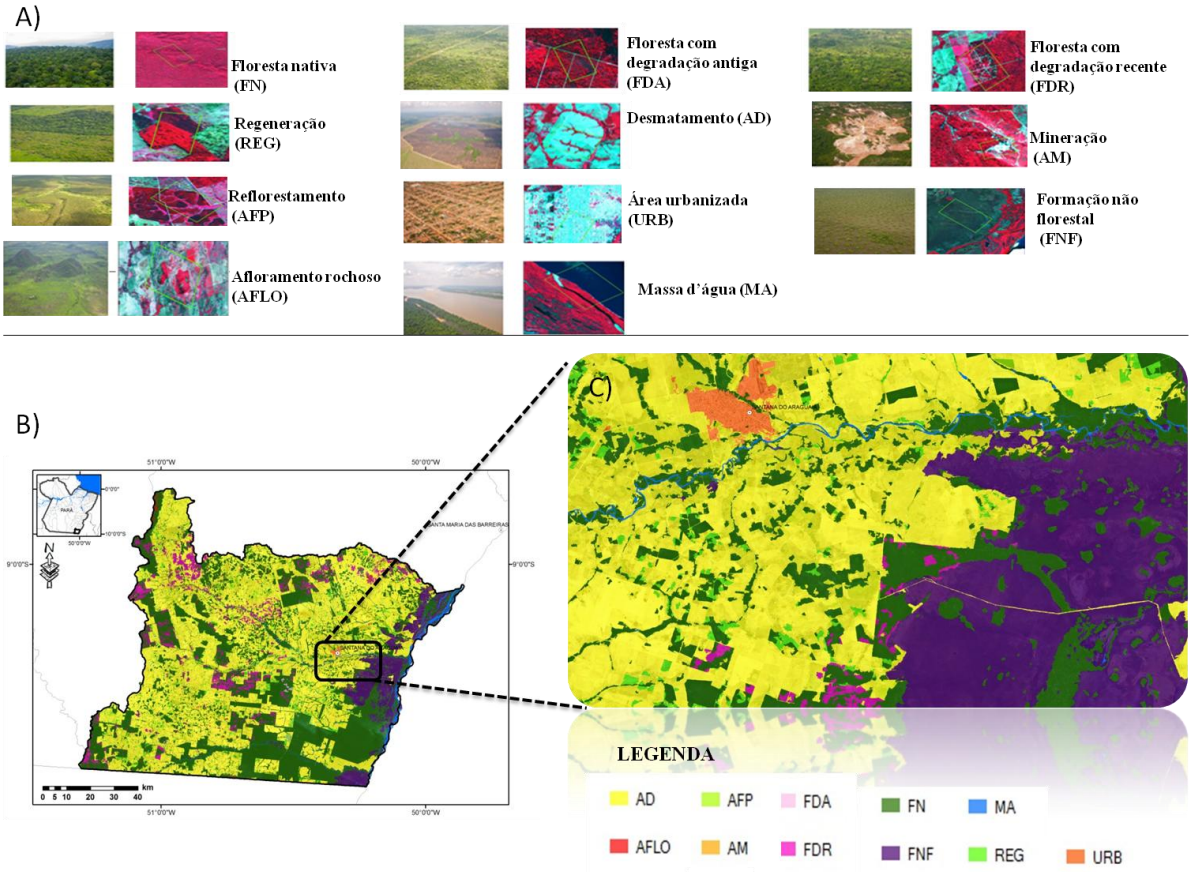

Figura 6. Acervo fotográfico das classes definidas no mapeamento, de acordo com a real localização em campo e a imagem de satélite RapidEye utilizada no mapeamento (A); mapa de cobertura vegetal e uso do solo para subsídio do CAR e LAR (B,C).

4. Conclusões

Este estudo contempla metodologias essenciais para o mapeamento de uma base digital georreferenciada de alta precisão geométrica que, atrelada a imagens de alta resolução e sensoriamento remoto, torna-se uma ferramenta essencial na gestão pública, dando suporte ao CAR e LAR em municípios do estado do Pará. A base digital foi elaborada com a precisão e qualidade técnica para a identificação e quantificação dos remanescentes florestais e das APP existentes nesta região. A validação dos produtos de cobertura e uso do solo com sobrevoo garantiu a checagem em grandes áreas com difícil acesso terrestre e otimizou o tempo e custo de execução desta atividade. O resultado do mapeamento destacou que, até o ano de 2011, 47% do município estavam preservados; deste total, 33% com padrão de formação florestal nativa, região intocada ou com alterações não significativas na sua composição original, e para as áreas de APP o desmatamento chegou a 3% do total desmatado desta região. Do total de APP presentes no município, 59% apresentavam remanescente florestal; no entanto, 10% encontravam-se em diferentes estágios de degradação florestal e regeneração, e quase metade (41%) estavam desmatadas. Estes resultados propõem ações de restauração, orientando o planejamento e a localização real das áreas de reserva legal, garantindo a conectividade destas áreas de preservação com os remanescentes florestais, assim como a consolidação dos cenários regionais de conservação e a funcionalidade dos ecossistemas.

Agradecimentos

Agradeço ao apoio da equipe da The Nature Conservancy; a Edenise Garcia, coordenadora de Ciências, e a Roselis Mazurek, especialista em projetos indígenas, pela orientação na produção deste trabalho e, em especial, à Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará pelo insumo disponibilizado e ao Ministério do Meio Ambiente – MMA pelo financiamento deste projeto.

Referências Bibliográficas

Brasil. **Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012**. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Disponível em:<http://saema.com.br/files/Novo%20Codigo%20Florestal.pdf> . Acesso em: 28 set.2012.

CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia. Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV). (2007). Rio de Janeiro.

IBGE. (2006). **Manual Técnico de Uso da Terra 2º edição**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – Rio de Janeiro: IBGE.

NASA. **Shuttle Radar Topoggraphy Mission - SRTM Project**; Disponível em: http://www.jpl.nasa.gov/srtm/. acesso em 2010.

Roberts, D. A.; Numata, I.; Homes, K.; Batista, G.; Krug, T.; Monteiro, A. L.; Powell, B. and Chadwick, O. A. (2002). **Large area mapping of land-cover change in Rondônia using multitemporal spectral mixture analysis and decision tree classifiers**. Journal of Geophysical Research 107 (20): 40-1 a 40-18.

TNC-The Nature Conservancy. (2011). **Relatório técnico: Mapeamento da Cobertura e Uso do solo com imagens Rapideye (5m-2011)**, dos municípios de Marabá e Santana do Araguaia, Estado do Pará, para o cadastramento ambiental rural. Terravision. Belém.

Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. (1991). **Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**. Rio de janeiro: IBGE.