

# AVALIAÇÃO DAS CLAREIRAS ABERTAS NA ÁREA FLORESTAL DO MUNICÍPIO DE COARI/AM, UTILIZADAS NO APOIO ÀS TAREFAS DE PROSPECÇÃO SÍSMICA DE PETRÓLEO.

Wagner Santos de Almeida - Dr.Sc.<sup>1</sup>  
Newton Moreira de Souza – Dr.Sc.<sup>2</sup>

1 - Agência Espacial Brasileira – AEB  
SPO - Área 5 – Quadra 3 – Bloco A – CEP 70610-200 email: wagner@aeb.gov.br

2- Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental  
email: nmsouza@unb.br

## ABSTRACT

*The economic exploitation of hydrocarbons at the Urucu Petroliferous Province, located at 280 kilometers from the center of Coari municipal district, occurs inside an area with the greatest environmental concern to the Earth, the Amazon forest. The municipal district of Coari in Amazon state, due to this economic exploration in its territory, is experimenting significant transformations in the use of its soil. The objective of this paper is to diagnose the open glades in the Coari's forest area, used, possibly, in the support to the activities of the seismic prospection phase in the survey of hydrocarbons fields localized in Coari. The methodology applied geoprocessing techniques and orbital remote sensing images processing, that embraces of 16-years period of TM-LANDSAT imaging the study area, since it started in 1987 up to 2003. The achieved results allowed identifying and measuring those glades, to define the direction of their alignments and they can still subsidize in the localization of explosives discharged that were not used in the seismic prospection phase.*

Palavras chaves: remote sensing, image processing, sísmica de prospecção, sensoriamento remoto, processamento de imagens, desmatamento.

## 1. INTRODUÇÃO

A exploração econômica dos hidrocarbonetos na Província Petrolífera de Urucu (PPU), um verdadeiro enclave no meio da floresta com cerca de 120 quilômetros quadrados, no município de Coari/AM, é uma realidade. Acontece em uma das regiões de maior sensibilidade ambiental do planeta, a floresta amazônica. A produção diária da PPU está em torno 130 mil barris/dia de petróleo, o equivalente a 5,5% da produção nacional. A sua produção de gás liquefeito de petróleo (GLP), por exemplo, abastece os estados da Amazônia e mais os estados do Maranhão, Piauí e parte do Ceará, com concessão de exploração até 2024.

No que tange aos métodos de sísmica de reflexão, utilizados pela Petrobrás na fase de prospecção de petróleo, na bacia hidrográfica do rio Solimões, Rezende *et alli* (2004) afirmam que, em 1999, durante a fase de elaboração da regulamentação sobre poços abandonados, a Agência Nacional de Petróleo (ANP) foi alertada por especialistas sobre a existência de um passivo de cargas de explosivos, não detonadas durante às operações sísmicas e abandonadas, desde o início da indústria do petróleo no Brasil. Os explosivos utilizados nessas operações de prospecção sísmica poderiam manter sua composição química original por vários anos e, segundo Rezende *et alli* (2004), existem o risco de dessas cargas apresentarem detonação espontânea, principalmente, nos locais onde teria havido expansões urbanas (com escavações para fundações, tubulações, edificações etc), ou sob expansão rural, com ocupação antrópica.

Segundo Rezende *et alli* (2004), ao final de 2001, a ANP patrocinou a elaboração de mapeamento de áreas de risco, juntamente com campanhas de alerta às populações locais quanto aos riscos associados a esses explosivos. Assim, baseado em critérios para a análise do potencial de risco associado, em função de: fatores ambientais, tipo de explosivo,

profundidade dos furos, ação antrópica, histórico de acidentes e morfologia do terreno, entre outros, foi feita uma classificação do risco potencial em cinco níveis, associados às áreas prospectadas, em que a área rural do município de Coari se enquadra em todos os níveis de risco definidos.

A localização geográfica das clareiras utilizadas para apoio à prospecção sísmica (CAS), abertas na floresta coariense, pela Petrobrás, durante a fase de prospecção sísmica, poderia servir como subsídio à localização das linhas de tiro e, conseqüentemente, contribuir, também, para a localização das cargas de explosivos não detonados naquela fase de exploração petrolífera.

## 2.0 – OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é localizar, identificar e mensurar clareiras abertas na área florestal do município de Coari/AM, utilizadas pela Petrobrás para apoio às tarefas relacionadas com a prospecção sísmica (CAS), durante a exploração petrolífera na Província Petrolífera de Urucu (PPU), em um período de tempo compreendido entre os anos de 1987 e 2003.

## 3.0 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida nos limites do município de Coari, no estado do Amazonas, representada na **Figura 1**. A **Figura 1** contém um trecho de uma imagem do sensor remoto orbital TM/Landsat de 1987, bem como os limites do município e a delimitação aproximada da Província Petrolífera de Urucu (PPU), localizada a cerca de 270 km da sede municipal.



**Figura 1:** Limites da área de estudo (município de Coari/AM) e a localização da PPU.

## 4.0 – MATERIAIS E METODOLOGIA

### 4.1 - Dados de campo

A coleta de dados foi feita no município de Coari, com o objetivo de se fazer medição de coordenadas geográficas de pontos, utilizando rastreadores portáteis do sistema GPS (*Global Positioning System*). Essas coordenadas geográficas foram utilizadas para completar e verificar as informações cartográficas disponíveis, bem como no processo de registro das imagens digitais de sensores remotos, em ambiente computacional do sistema de informações geográficas (SIG) e, também, na identificação de feições presentes nas imagens TM/Landsat.

Foi feita também uma entrevista com o gerente de SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde) da Unidade de Exploração da Bacia do Solimões (UN-BSOL), Sr. Jorge Amorim,

unidade esta que executa à exploração petrolífera na PPU, pertencente à Petrobrás e localizada no município de Manaus/AM.

#### **4.2 - Documentos cartográficos**

Os documentos cartográficos utilizados na pesquisa em pauta foram, basicamente, mapas topográficos, confeccionados pelo IBGE, na escala de 1:100.000, em formato TIFF, com as seguintes características:

- Nomes das folhas: MI 635 Vila Fernandes; MI 702 Coari; MI 770 Rio Itanhauã; MI 771 Rio Coari Grande; MI 700 Aruã; e MI 7701 Rio Urucu. Todos na projeção cartográfica “Universal Transversa de Mercator (UTM)”, com meridiano central de 63° oeste e com datum horizontal SAD-69.

#### **4.3 - Imagens digitais de sensores remotos**

A seleção das imagens digitais utilizadas na pesquisa em pauta obedeceu a critérios do tipo: melhor resolução espacial disponível; menor cobertura de nuvens presente; maior período de tempo de cobertura; sazonalidade (meses da época de seca na região - junho a outubro); melhor resposta espectral da vegetação e de solo exposto, sendo que as imagens do sensor Thematic Mapper (TM), da série de satélites Landsat, foram as que preencheram esses requisitos.

Devido às consideráveis dimensões do município de Coari, são necessárias sete (7) cenas TM/Landsat para cobrir a sua extensão, nas seguintes órbitas-pontos: 001/62; 233/62; 001/63 (abrange a PPU e parte do poliduto Urucu - Coari); 233/63 (abrange a parte central do município, sua área urbana, a outra parte do poliduto Urucu - Coari e o Terminal Petrolífero do Solimões); 232/63; 001/64; 233/64 e 232/64. As imagens digitais utilizadas, produzidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), estavam no formato GEOTIFF, na projeção cartográfica UTM e datum SAD-69. Foram selecionadas as seguintes imagens, obtidas nas datas assinaladas:

- **001/62:** 11/08/1987; 14/10/1999; 21/01/2004 (não havia imagens TM/Landsat de 2002 e 2003 disponíveis, nos meses da época de seca, com baixa cobertura de nuvens);
- **233/62:** 11/08/1987; 15/12/1998; 08/09/2003 (não havia imagens TM/Landsat de 1999 nos meses da época de seca, com baixa cobertura de nuvens);
- **001/63:** 17/07/1987; 02/08/1987; 14/10/1999; 30/08/2003 (as duas imagens TM/Landsat de 1987 contribuíram no processamento das áreas cobertas por nuvens distintas);
- **233/63:** 11/08/1987; 09/08/1998; 19/07/1999; 08/09/2003 (as imagens TM/Landsat de 1998 e de 1999 contribuíram no processamento das áreas cobertas por nuvens distintas);
- **232/63:** 03/07/1987; 06/09/1999; 13/06/2003; **001/64:** 17/07/1987; 03/08/1999; 30/08/2003; e **233/64:** 11/08/1987; 19/07/1999; 08/09/2003.

Utilizaram-se também um trecho de uma imagem do satélite Ikonos, datada de setembro de 2000, com um (01) metro de resolução espacial, que abrange uma parte da área da PPU.

#### **4.4 - Software utilizado na pesquisa**

O *software* utilizado na pesquisa em pauta trata-se do sistema de informações geográficas (SIG), tipo *freeware*, desenvolvido pelo INPE, denominado Sistema para Processamento de

Informações Georeferenciadas (SPRING), versão 4.1, cujos princípios de funcionamento dos seus algoritmos constam em seu manual (INPE, 2004) e em Schowengerdt (1983)

#### **4.5 - Metodologia**

As ações da Petrobrás na exploração petrolífera no município de Coari trouxeram modificações significativas na cobertura florestal na área da Província Petrolífera de Urucu (PPU). O artigo em questão limita-se ao estudo de duas feições presentes nas imagens TM/Landsat: as CAS e os helipontos.

A metodologia empregou técnicas de geoprocessamento e utilizou o material descrito no item 4.1 a 4.3, inserido e manipulado em ambiente do sistema de informações geográficas, o SPRING 4.1, nas seguintes etapas:

- a) Definição do projeto no SPRING; com indicação do retângulo envolvente e sistema de projeção;
- b) Processamento das imagens TM/Landsat: selecionadas por critérios de menor cobertura de nuvens e sazonalidade, utilizando as bandas espectrais 4, 5 e 7, pois as mesmas forneceram a melhor separação entre solo desmatado e floresta. Essas imagens foram georeferenciadas (registro), utilizando-se os pontos de controle obtidos dos mapas topográficos e das coordenadas GPS medidas em campo, com um polinômio de primeiro grau nas imagens de 1987; as imagens dos anos subsequentes foram registradas em relação às deste ano. As imagens registradas foram submetidas a um realce de contraste linear, e em seguida submetidas à filtragem espacial do tipo linear, denominada “Filtragem de realce de imagens TM/Landsat”.
- c) Estruturação do modelo de dados no SIG: Para inserir os dados e mapas no SPRING foi necessário definir as categorias e seus correspondentes modelos para compor o banco de dados. Em seguida deu-se a digitalização de feições, em que foram produzidos planos de informação (PI) que continham os mapas temáticos, com as informações qualitativas das classes de CAS e de helipontos, representados em dezessete (17) planos de informações (PI). Em seguida, os mapas temáticos foram submetidos a um processo de edição, para correção de possíveis erros e a eliminação de polígonos espúrios, seguida da associação das classes CAS e helipontos aos seus respectivos temas. Cada mapa temático, por meio de seu relatório de medidas de classes, apresentou os valores de área das classes CAS e helipontos; e,
- d) Análise espacial: A partir dos PI no formato matricial, utilizando-se a linguagem LEGAL, foram gerados novos PI representando as transformações ocorridas, para cada classe digitalizada. Com o objetivo de se buscar a direção geográfica em que as CAS foram abertas no terreno, utilizou-se o algoritmo “Estimador de densidade Kernel”, do módulo de análise estatística espacial do SPRING.

#### **5.0 - RESULTADOS OBTIDOS**

As feições digitalizadas e constantes dos PI representam as clareiras abertas para apoio de prospecção sísmica (CAS) e helipontos. Constatou-se a não existência das CAS e dos helipontos nas imagens das cenas TM/Landsat 001/62, 232/63 e 233/62, o que pode indicar que a prospecção sísmica não se estendeu a todo território do município de Coari, concentrando-se, principalmente, nas áreas das cenas TM/Landsat 01/63 e 233/63.

A **Tabela 1** apresenta os valores de áreas de cada classe, obtidos com o algoritmo “Medidas de classes” do SPRING, para os PI abrangidos pelas cenas TM/Landsat, em um período compreendido entre 1987 e 2003. Com relação ao ano de 1999, para a cena 233/63,

foram utilizadas as imagens de 09/08/1998 e 06/09/1999, de forma complementar, sendo que a imagem de 1998 foi utilizada apenas nas áreas cobertas por nuvens em 1999.

Os resultados constantes da **Tabela 1** apontam para o fato de que o desmatamento foi crescente, passando o número de CAS abertas de 2309, em 1987, e para 5882, em 2003, em todas as cenas TM/Landsat. Todavia, observa-se que o incremento das feições, tanto das CAS como dos helipontos, foi maior entre 1987 e 1999, o que, segundo Almeida (2005), corresponde a parte do período de construção do poliduto Urucu-Coari e do Terminal Petrolífero do Solimões (TESOL).

**Tabela 1** - Áreas desmatadas para apoio às atividades de prospecção sísmica, no município de Coari, entre os anos de 1987 e 2003.

Ano	Órbita Ponto	Quantidades de feições digitalizadas		Área da feição (km <sup>2</sup> )	
		CAS	Helipontos	CAS	Helipontos
1987	233/64	212	0	2,57	0
1999	233/64	595	0	7,93	0
2003	233/64	654	0	8,89	0
1987	01/64	323	0	2,79	0
1999	01/64	560	1	5,03	0,26
2003	01/64	726	1	6,37	0,26
1987	01/63	1027	3	9,30	0,49
1999	01/63	2361	30	23,06	3,14
2003	01/63	2721	30	27,65	3,14
1987	233/63	747	2	10,81	0,25
1998/1999	233/63	1990	6	32,87	0,89
2003	233/63	1781	6	29,25	0,89
<b>Total em 1987:</b>		<b>2309</b>	<b>5</b>	<b>25,47</b>	<b>0,74</b>
<b>Total em 1999:</b>		<b>5506</b>	<b>37</b>	<b>68,89</b>	<b>4,29</b>
<b>Total em 2003:</b>		<b>5882</b>	<b>37</b>	<b>72,16</b>	<b>4,29</b>

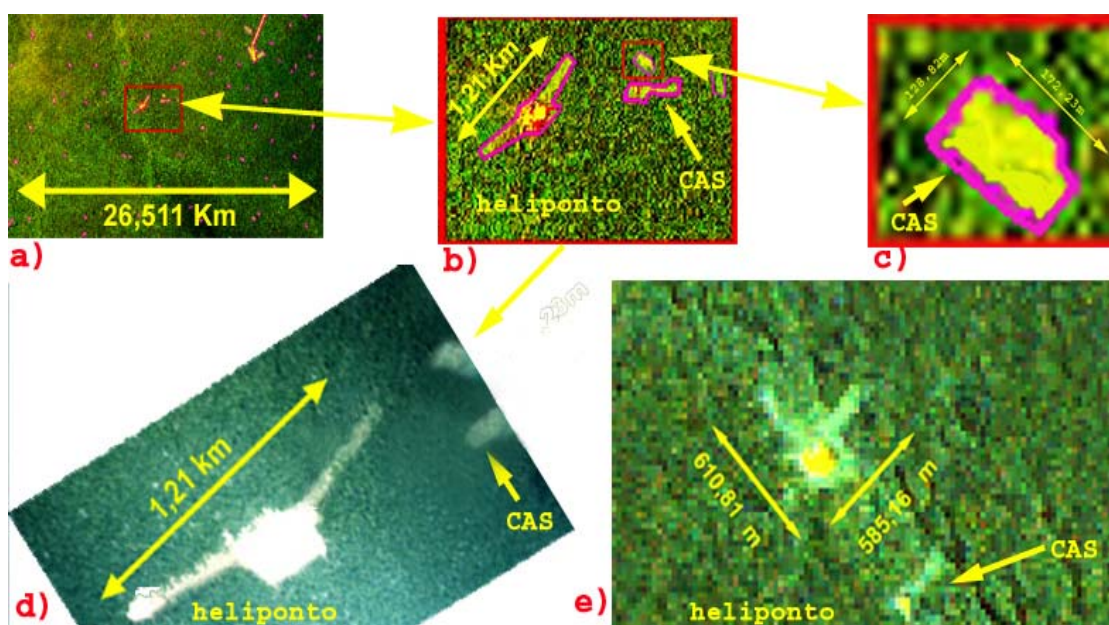
A área da cena TM/Landsat 01/63, que abrange a PPU e parte do poliduto Urucu – Coari é a que apresenta maior número de helipontos e CAS. Pelos valores apresentados na **Tabela 1**, em 1987, já era considerável o seu número, com 1.027 CAS, com 9,30 km<sup>2</sup> de desmatamento. Em 1999, este número mais do que duplica, tanto no número de clareiras como em área desmatada, atingindo 2.361 CAS com 23,06 km<sup>2</sup> de desmatamento. Estes números continuaram a crescer até 2003, atingindo valores de 2.721 CAS com 27,65 km<sup>2</sup> de desmatamento.

No que tange ao número de helipontos apresentados na **Tabela 1**, na área da cena TM/Landsat 01/63, o seu crescimento foi acentuado, entre 1987 e 1999, atingindo-se o número de 30 feições, com 3,14 km<sup>2</sup> de desmatamento, estabilizando-se esse número em 2003. A área abrangida pela cena TM/Landsat 233/63, que compreende a quase totalidade do poliduto Urucu-Coari, o Terminal Petrolífero do Solimões (TESOL) e a área urbana de Coari, foi a que apresentou o segundo maior número de feições. O exemplo do que aconteceu na cena 1/63, no período de 1987 a 1999, foi o incremento mais acentuado dessas feições. No caso dos helipontos, na área da cena TM/Landsat 233/63, o seu número estabilizou-se em seis (06), a partir de 1999.

A **Figura 2** apresenta exemplos das feições heliponto e da clareira aberta na floresta utilizada no apoio à prospecção sísmica (CAS), obtidas a partir da imagem TM/Landsat 01/63, de 02/08/1987 e de uma fotografia aérea obtida no local. Observam-se na sua parte

superior esquerda (letra a), diversos pontos em vermelho, que são as CAS, e a feição heliponto, emoldurada por um retângulo vermelho. Na sua parte central (letra b), observa-se uma ampliação da região do retângulo vermelho. Na sua parte superior direita (letra c), observa-se uma ampliação de uma CAS, com dimensões da ordem de 130m x 170m que, pelo exame visual das imagens TM/Landsat, pode ser considerado como dimensões médias das CAS abertas no município de Coari.

Ainda na **Figura 2**, em sua parte inferior esquerda, trata-se de uma fotografia aérea do mesmo heliponto (Petrobrás (a), 1989), com comprimento aproximado de 1,21 km, obtido com o algoritmo “Medições de feições digitalizadas” do SPRING. Na parte inferior direita da **Figura 2**, obtida da imagem TM/Landsat 01/63 de 19/07/2003, observa-se uma outra feição heliponto, localizada nas proximidades da PPU. É possível observar nesta feição duas colorações: um amarelo intenso, que corresponde a solo completamente exposto por ações de desmatamento e, a outra coloração, em um tom de verde mais claro, que indica certa cobertura de vegetação no solo. Com relação a essa vegetação na feição, na entrevista com o Gerente de SMS da UN-BSol, o Eng<sup>o</sup>. Jorge Amorim (Petrobrás, 2004 (b)), o mesmo declarou que a vegetação era deixada para uma posterior “regeneração” da cobertura florestal, em um procedimento similar para as clareiras de apoio à prospecção sísmica (CAS).



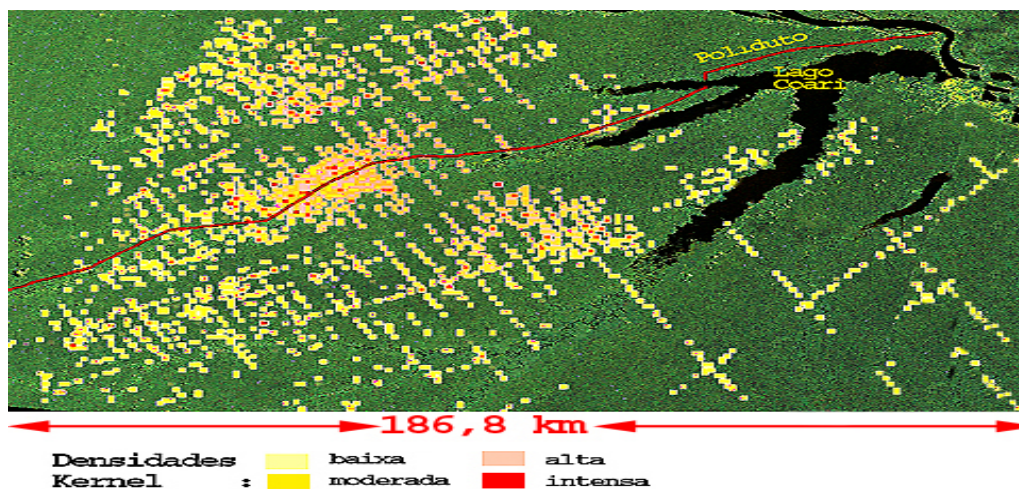
**Figura 2** – Ampliações das feições heliponto, estrada e CAS, sobre a imagem TM/Landsat.

O emprego do “Estimador de densidade Kernel” foi para determinar a direção do alinhamento das CAS. A partir do PI que continha as feições digitalizadas que representavam as CAS em 2003, na área da cena TM/Landsat 233/63, utilizando-se parâmetros do algoritmo, tais como: tamanho do *pixel* da grade a ser gerada, largura da banda (distância aproximada entre duas CAS), entre outros, obteve-se um novo PI, com quatro classes de densidade “Kernel”, classificadas como: baixa, moderada, alta e intensa. A classe de densidade intensa é aquela com maior concentração de CAS, decrescendo essa concentração para a classe alta, moderada e baixa, respectivamente.

A **Figura 3** apresenta o resultado obtido com os alinhamentos das CAS, com provável similaridade em relação às linhas de prospecção sísmica. Observa-se que a maior



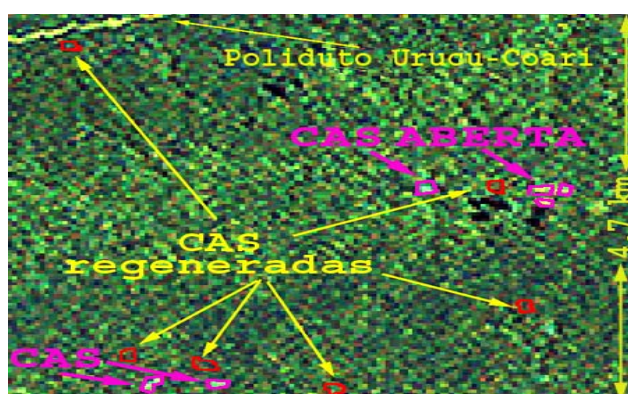
concentração de CAS acontece na área próxima a maior curvatura do traçado do poliduto Uruçu - Coari.



**Figura 3** – Alinhamentos das CAS obtidas com o “Estimador de densidade Kernel”.

Pelos dados apresentados na **Tabela 1**, no período compreendido entre 1999 e 2003, a área abrangida pela cena TM/Landsat 233/63 foi a que apresentou uma redução no número de CAS, passando em 1990 para 1781 feições, e a área desmatada também diminuiu, de 31,68 km<sup>2</sup> para 29,25 km<sup>2</sup>, uma redução de 2,43 km<sup>2</sup> em quatro (04) anos. A existência das CAS na imagem de 1999 e sua não-existência na imagem de 2003 apontam para duas possibilidades: regeneração de parte da cobertura vegetal ou presença de cobertura de nuvens na imagem TM/Landsat de 2003. As linhas de comando do programa LEGAL utilizado podem ser encontradas em Almeida (2005).

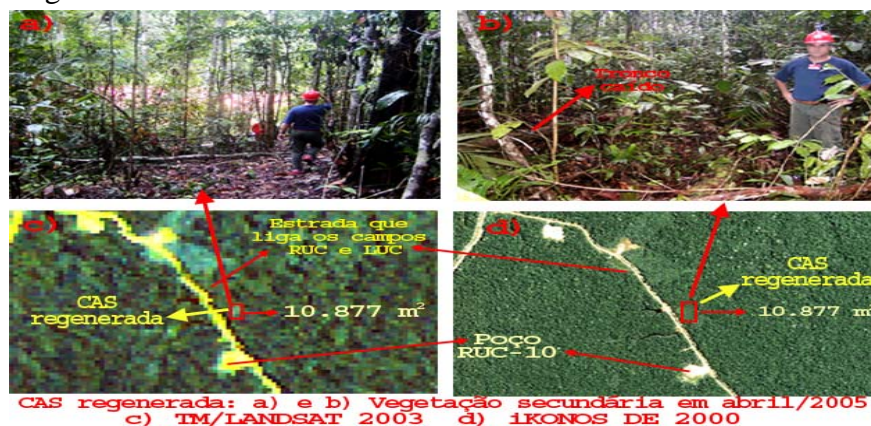
A **Figura 4** apresenta um exemplo dos resultados obtidos com a “Álgebra de mapas”, com a localização de algumas CAS sobre a imagem TM/Landsat 233/63 de 08/09/2003. Observa-se que as CAS apresentam uma resposta espectral similar à cobertura florestal ao redor, o que pode apontar para uma regeneração parcial de sua vegetação.



**Figura 4** – Resultado da álgebra de mapas: CAS que apresentaram regeneração da área desmatada, entre 1999 e 2003.

Durante o trabalho de campo realizado na PPU em abril de 2005, visitou-se uma das primeiras CAS abertas na região, provavelmente em 1985, que possui uma área de cerca de 1090 m<sup>2</sup>, centrada nas coordenadas geográficas de latitude = 04° 53' 33",14 sul e longitude = 65° 18' 02",35 oeste (medidas no campo por rastreamento GPS). A **Figura 5** apresenta em sua parte superior duas fotografias obtidas no local, em que é possível se observar a vegetação

secundária que surgiu no local, caracterizada por troncos mais finos. Na parte inferior da **Figura 5** localiza-se esta CAS, à esquerda, com a imagem TM/Landsat 01/63 de 30/08/2003 e à direita, com a imagem Ikonos de 2000.



**Figura 5** – CAS aberta em 1985 e parcialmente regenerada, com vegetação secundária.

## 6.0 – CONCLUSÕES

Os valores apresentados sobre a retirada da cobertura florestal para abertura das clareiras utilizadas no apoio à prospecção sísmica (CAS), no município de Coari, com emprego de metodologia de geoprocessamento, permitiram a sua identificação e localização, bem como mensurar a área desmatada, ao longo do período estudado.

Os resultados obtidos forneceram subsídios sobre a estratégia de como se desenvolveu, em termos de localização geográfica, a fase de prospecção sísmica relativa à exploração petrolífera em Coari, no período de tempo compreendido entre os anos de 1987 e 2003. Podem, também, fornecer subsídios à ANP e à Petrobrás, que facilitem à localização das cargas de explosivos não detonados durante aquela fase, contribuindo, assim, para se diminuir os possíveis riscos de acidente para a população rural coariense.

## AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem a Agência Espacial Brasileira e a Petrobrás pelo apoio prestado durante os trabalhos de campo e ao INPE pelo fornecimento das imagens de satélite.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Almeida, W.S. **Coari: Petróleo e Sustentabilidade**. Tese de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília, 2005, 320 p.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manual do SRING 4.1**. Departamento de Processamento de Imagens, São José dos Campos, 2004.

PETROBRÁS (a) Aproveitamento dos hidrocarbonetos do Estado do Amazonas – Região do Urucu. **Estudo de impacto ambiental**. Rio de Janeiro. 1989, 212 p.

PETROBRÁS (b) **Entrevista gravada** com o gerente de SMS UN-BSOL-Petrobrás, Engenheiro Jorge Amorim Pereira Filho. Manaus, abril de 2004.

Rezende, M.A.; Gomes, J.B.; Pombo, E.R. Eliminação do passivo de explosivos no Brasil. In: **Conjuntura & Informação**, N°24, Agência Nacional de Petróleo, Rio de Janeiro, Jan 2004.

Schowengerdt, R.A. **Techniques for image processing and classification in Remote Sensing**. Academic Press, Orlando, US, 1983, 248 p.