ASSINATURAS ESPECTRAIS DIFERENCIANDO ETAPAS DE SUCESSAO SECUNDARIA NO LESTE AMAZONICO*

Emilio F. Moran [1] & Eduardo Brondizio [2]
Paul Mausel & Ying Hong Li [3]

1 Indiana University, Anthropological Center for Training and Research on Global Environmental Change, Bloomington, IN 47405 USA fax 812-855-3000 tel 812-855-2555, Moran@ucs.Indiana
2 Indiana University, PhD Program, School of Public and Environmental Affairs, and Anthropological Center for Training and Research on Global Environmental Change, Ebrondiz@ucs.Indiana
3 Remote Sensing Laboratory, Dept. of Geography and Geology Indiana State University, Terre Haute, IN 47809 tel 812-237-2254

Abstract. Two Landsat TM scenes, for 1985 and 1991 are analyzed, covering the 60 km west of Altamira, Para, along the Transamazon highway. The unsupervised classification in ERDAS (ver.7.5) followed by detailed ground-truth that included botanical and soil sampling, permitted the development of a supervised classification and spectral signatures capable of distinguishing between secondary growth of 0-5, 6-10, 11-15 years from adjacent forest.
* O texto nao contem acentuacao por limitacoes do processador de textos.

I. INTRODUCAO

O monitoramento do desmatamento na regiao amazonica tem servido o importante papel de criar uma alerta a escala da devastacao dessa floresta rica em diversidade (Booth 1989; Fearnside 1982, 1985; Shukla, Nobre & Sellers 1990). O papel do INPE , em particular, foi fundamental em mudar os incentivos fiscais responsaveis pela maior parte do desmatamento no periodo de 71-85. As taxas de desmatamento mostram uma queda significativa no periodo desde 1988 ate' o presente. O papel de monitorar as ocorrencias de fogo nao deixa de ser uma importante tarefa facilitada pelo sensoriamento remoto via satelite.

Um aspecto negligenciado nesta tarefa inclui as dinamicas de formacoes vegetais subsequente ao desmatamento (i.e. regeneracao). A experiencia de campo mostra claramente que logo depois do desmatamento, inicia-se o processo de sucessao secundaria (Buschbacher et al. 1988; Uhl and Buschbacher 1985). Em um estudo de 12 fazendas, 11 delas tinham sido colonizadas por especies arboreas. De acordo com os autores, se a area nao e' extensa demais, de forma que o banco de sementes exista em uma area proxima, e se a area nao e' queimada inumeras vezes, regeneracao e' comum (Buschbacher 1986; Buschbacher et al. 1988). Os fatores implicados na taxa de regeneracao tem incluido o numero de anos que a area tem sido abandonada, o uso da terra durante o periodo de manejo, a frequencia no uso do fogo e a fertilidade inicial da terra. As taxas de regeneracao tem variado entre 7.25 e 12.6 toneladas de biomassa por hectare anualmente (Uhl et al. 1982; Uhl 1987; Galvao et al. 1989). As chamadas pastagens degradadas sao simplesmente areas cheias de invasoras iniciando o processo de recolonizacao por especies nativas.

O estudo de areas em regeneracao atraves de inventarios botanicos nao e' simples, assim como tem sido a tarefa de relaciona-los a bases geo-referenciadas como e' o caso das imagens de satelites. Ate' o momento, poucos resultados efetivos tem sido alcancados (Woodwell et al. 1987). O uso de AVHRR nao permite o monitoreamento de tais dinamicas na cobertura vegetal. O sensor MSS tampouco tem sido capaz de diferenciar entre floresta virgem e floresta secundaria (Ibid.). Somente com a chegada do TM e SPOT este tipo de analise comecou a ser considerada.

O estudo da sucessao secundaria via plataformas orbitais, tem a importancia nao somente de facilitar a amostragem no campo, mas principalmente monitorar os processos de mudancas na cobertura vegetal. Tal estudo insere-se nos debates sobre o aquecimento do planeta e a acumulacao de dioxido de carbono por causa do desmatamento (Shukla, Nobre & Sellers 1990; Molion 1991). O crescimento de uma floresta, mesmo que seja secundaria, implica a absorcao de carbono para o crescimento vegetal e portanto uma diminuicao em tal acumulacao. Nao sabemos no momento quanto carbono e absorbido por ano na Amazonia em funcao da sucessao secundaria--mas tal tarefa e' parte da nossa pesquisa e pretendemos chegar a tais estimacoes num futuro proximo. Tais estimativas so serao possiveis pelo uso apropriado de imagens de satelite calibradas ao

trabalho de campo de forma a permitir delineacao precisa de tais mudancas na dinamica vegetal.

O Brasil e' o maior contribuidor em emissoes de carbono proveniente do desmatamento florestal com 336 toneladas anuais de carbono (Goldemberg 1988: 49). Esta e' uma situacao muito recente. Salati and Vose observaram em 1984 que a Bacia Amazonica era um sistema em equilibrio, mas ja apresentando sinais devido a alteracoes antropicas causadas pelo desmatamento. Neste trabalho apresentamos resultados preliminares de nosso estudo sobre a mudanca no uso da terra e na cobertura vegetal entre 1985 e 1991 numa area ao longo da rodovia Transamazonica, perto da cidade de Altamira, Para.

2. AREA DE ESTUDO

A area de estudo esta localizada no municipio de Altamira, Para, na terra firme do leste amazonico. A vegetacao dominante e' mata de cipo', com mata densa de floresta pluvial. A estrada Transamazonica chegou a Altamira em 1971 e cortou uma area de solos diferenciados que incluiram terra roxa estruturada eutrofica, igualmente que solos latosolos. podzolico vermelho amarelo, e latosolo vermelho amarelo eutrofico e distrofico. Antes da chegada da colonizacao oficial em 1971, os primeiros 18 km ao oeste de Altamira ja haviam sido colonizados pelo municipio nos anos 50. A colonizacao oficial seguiu o padrao conhecido como "espinha de peixe," dominado pela estrada principal e as vicinais aproximadamente a 10 km de distancia de uma para outra. O autor principal estudou a chegada dos primeiros colonos entre 1972 e 1974 (cf. Moran 1976, 1981, 1990). Agora, com a vantagem da tecnologia de satelite, e a colaboracao de uma grande diversidade de especialistas, tem sido possivel comecar a compreender as dinamicas no uso da terra ao longo do tempo. Nesta tarefa seguimos a sugestao de Malingreau e Tucker (1988) em tentar quantificar via satelite os processos de regeneracao durante a etapa conhecida como de "pastagem degradada".

3. MATERIAIS E METODOS

Antropologos, geografos, ecologistas, agronomos, e botanicos tem colaborado ate o momento neste projeto que inclui varias instituicoes brasileiras e estrangeiras. A pesquisa comecou em 1991 com o processamento de imagens Landsat TM adquiridas no INPE. Neste periodo, a area incluida no estudo abrangia os limites urbanos da cidade de Altamira ate o quilometro 160 ao oeste. Neste trabalho nos concentramos em discutir os 60 km para o oeste de Altamira. Comecou-se com analise nao supervisionado em ERDAS 7.5 e suplementado com MULTISPEC versao de Junho de 1992. Estas analises deram informacao sobre a covertura vegetal, em termos gerais. Deu-se valor particular as diferencas em biomassa e na arquitetura da cobertura vegetal.

Duas imagens Landsat TM sao utilizadas neste trabalho. Uma de 1985 e a outra de 1991. As imagens foram registradas pixel-a-pixel para compor uma imagem multi-temporal de 12 canais. Esta imagem possibilita uma analise multi-temporal baseada em padroes espectrais. A imagem de 1991 sofreu correcao atmosferica baseada nos valores na imagem de 1985. Para isso foi escolhida uma area de floresta de terra firme onde nao ocorreram mudancas entre os dois anos e portanto permaneceu como floresta madura.

A imagem multi-temporal foi submetida a geocorrecao atraves de uma mapa base 1:100,000 com projecao UTM. Esta geocorrecao foi suplementada com pontos coletados no campo em 1992 com uso de um GPS que permitiu localizacao exata no campo de pontos de controle para geocorrecao. Em laboratorio foram desenvolvidas classificacoes nao supervisionadas de alta dimensao (40-60 classes) em areas de menos de 15,000 pixels. As classes sao analisados atravez de seus valores estatisticos (media, variancia, co-variancia) para serem relacionadas as informacoes de vegetacao e historia de uso da terra levantadas em campo.

Antes de uma classificacao supervisionada ser iniciada a imagem foi submetida a uma analise de separacao de bandas para determinar a combinacao mais apropriada. Foram selecionados os canais 2, 3, 4 e 5. As classes seleccionadas de acordo com as estatisticas espectrais foram submetidas a uma classificador Gaussian para ambas as imagens.

Os padroes espectrais produziram um modelo espectral aplicavel em toda a area de Altamira. Tabela 1 sumariza a assinatura espectral de classes espectrais em valores digitais medios. Tais padroes foram testados no campo e melhorados depois da pesquisa de campo, apresentando uma alta correlacao com os tipos de coberturas observadas. Este modelo espectral desenvolvido em laboratorio e verificado no campo serviu para construir uma chave de classificacao coerente com as classes de uso da terra e formacoes vegetais da regiao. Um modelo espectral considera tanto as caracteristicas fisicas e biologicas das classes de interesse em relacao a reflectancia e absorcao de energia electromagnetica, quanto fatores antropicos envolvidos no manejo da vegetacao, tais como a tecnologia agropecuaria. Modelagem espectral envolve de maneira geral caracteristicas como: absorcao de clorofila nos canais "visiveis",

reflectancia do mesofilo no "infra-vermelho proximo", absorcao de agua e umidade no "infra-vermelho medio." No entanto, outros parametros precisam ser incorporados para melhor explicar diferencas sutis entre vegetacoes similares. Fatores como a percentagem de cobertura do solo, estrutura e densidade da vegetacao derivados de um inventario da vegetacao in loco permitem incorporar elementos como sombreamento e taxa de regeneracao que sao fundamentais para um melhor entendimento da reflectancia e absorcao de energia no "infra-vermelho proximo." Nas areas de floresta, o sombreamento cria uma "armadilha" de energia do "infra-vermelho proximo." Este fator (ver canal 4) aliado a altura do dossel e' fundamental para a diferenciacao da floresta de areas em manejo geralmente com menos sombreamento interno (ver canal 2,3 e 5). O mesmo raciocinio pode ser utilizado na diferenciacao de diferentes estagios de sucessao secundaria e floresta de terra firme (ver figuras 1 e 2).

Intenso trabalho de campo foi conduzido entre maio, junho e julho de 1992 na area de estudo. Areas representativas de cada formacao vegetal presente na classificacao nao supervisionada foram amostradas e em alguns casos modificadas no campo para incluir consideracoes tais como diferencas em tipo de solo, na historia de uso da terra, e no tamanho da area desmatada e manejada. Foram inventoriadas um total de 22 areas--composicao floristica, frequencia, densidade, dominancia (area basal), porcentagem de cobertura do solo, altura do primeiro galho, altura total. Em areas de cobertura florestal, todas os individuos com diametro de acima de 10 cm foram inventoriados, alem de especies nao arboreas presentes no sub-bosque. Em areas de capoeria, todos os individuos, arboreo ou nao, foram inventariados. Em paralelo, dados historicos foram coletados sobre o uso da terra, tempo desde o abandono, tecnologia aplicada, e tipo de manejo. Estas informacoes foram incorporadas a um banco de dados em Quatro Pro.

4. RESULTADOS

As classificacoes tematicas das imagens de 1985 e 1991 sao apresentadas nas figuras 3 & 4, e as estatisticas na Tabela 2. A area apresentada neste trabalho inclui 267,783 hectares nos primeiros 60 km ao oeste de Altamira. Nesta area, entre 1985 e 1991 uma area de 13.19% ou 35,267 hectares mudou de solo exposto para varios tipos de cobertura vegetal. A floresta diminui em 7% durante os 6 anos, ou um pouco acima de 1% por ano--uma taxa compativel com as taxas na Amazonia em geral. A surpreendente area de solo exposto e' explicada pela seca sentida nessa ano na regiao, na qual muitas das pastagens murcharam. As areas cultivadas e em pasto geralmente sao areas desmatadas antes de 1985 e nao representam areas significativas de novo desmatamento. A surpresa da analise e confirmada por observacao no campo, e a dominancia das capoeiras em areas desmatadas. As areas em cultivo sao relativamente pequenas (4-6%), as areas em pastagem chegam ate 10%, enquanto que as areas em varias etapas de sucessao secundaria chegam a ultrapassar 20%. O principal fase de desmatamento ocorreu na primeira decada e meia de colonizacao oficial. Muitas dessas areas desmatadas hoje estao em etapas avancadas de sucessao secundaria e ja comecam a ter uma estrutura e biomassa aproximada a da floresta de cipo dominante. Enquanto a area desmatada nesse periodo foi de 19,000 hectares, a area em sucessao secundaria totalizou 32,000 hectares (ver tabela 2). Algumas dessas areas com certeza voltarao ao cultivo ou pastagem, mais muitas outras continuarao o processo de regeracao florestal.

Para representar com maior clareza a analise, duas sub-areas dentro da imagem foram selecionadas: uma no km 23 e a outra no km 46 ou Brasil Novo. As duas areas tem sido ocupadas desde 1971 e representam areas com 20 anos de ocupacao constante. Nestas areas, aproximadamente 57% da regiao foram desmatados ate 1991. Atualmente muitas destas areas estao em varias etapas de sucessao secundaria.

A regiao perto de Agropolis-Brasil Novo, no km 46, representa uma area de 9.0 x 7.5 km, enquanto que a area delineada perto de km 23 representa uma area de 6.0 x 12 km. Os resultados da classificacao foram excelentes com mais de 95 porcento de correspondencia com observacoes no campo. Tabela 3 sumariza as classes descritas no trabalho. As duas areas mostram padroes com bastante similaridade. Floresta madura e' a classe dominante da area, enquanto pastagem antiga-invadida e' a classe principal entre areas desmatadas. Tais pastagens sao uma mistura de gramineas e varias plantas invasoras de porte herbaceo, arbustivo e arboreo. A terceira categoria de maior importancia na cobertura vegetal sao capoeiras (inicial, intermediaria e avancada). Outras classes de importancia foram as pastagens recem formadas, e as areas cultivadas. Rocas e pastagens em geral estao em varias etapas de invasao pela vegetacao nativa.

A area de km 23 direcao Altamira-Itaituba tem menos floresta intacta (44.8%) que a area perto do km 46, Brasil Novo (56.75%), devido a mais antiga colonizacao da area proxima a Altamira e o efeito sofrido pela proximidade ao maior nucleo populacional da regiao (proprietarios com mais

TABELA 1

ASSINATURAS ESPECTRAIS EM ALTAMIRA

TM	1	2	3	4	5	7
Agua	70	32	31	34	22	4
Wetland	72	31	31	38	31	9
Solo exposto	78	38	46	67	102	39
Cultivo	70	33	30	99	76	15
Pasto limpo	73	34	35	71	85	23
SS Inicial	72	32	31	89	81	19
SS Interm.	71	32	30	83	73	16
SS Avancada	71	31	28	85	61	12
Floresta	69	29	27	70	52	10

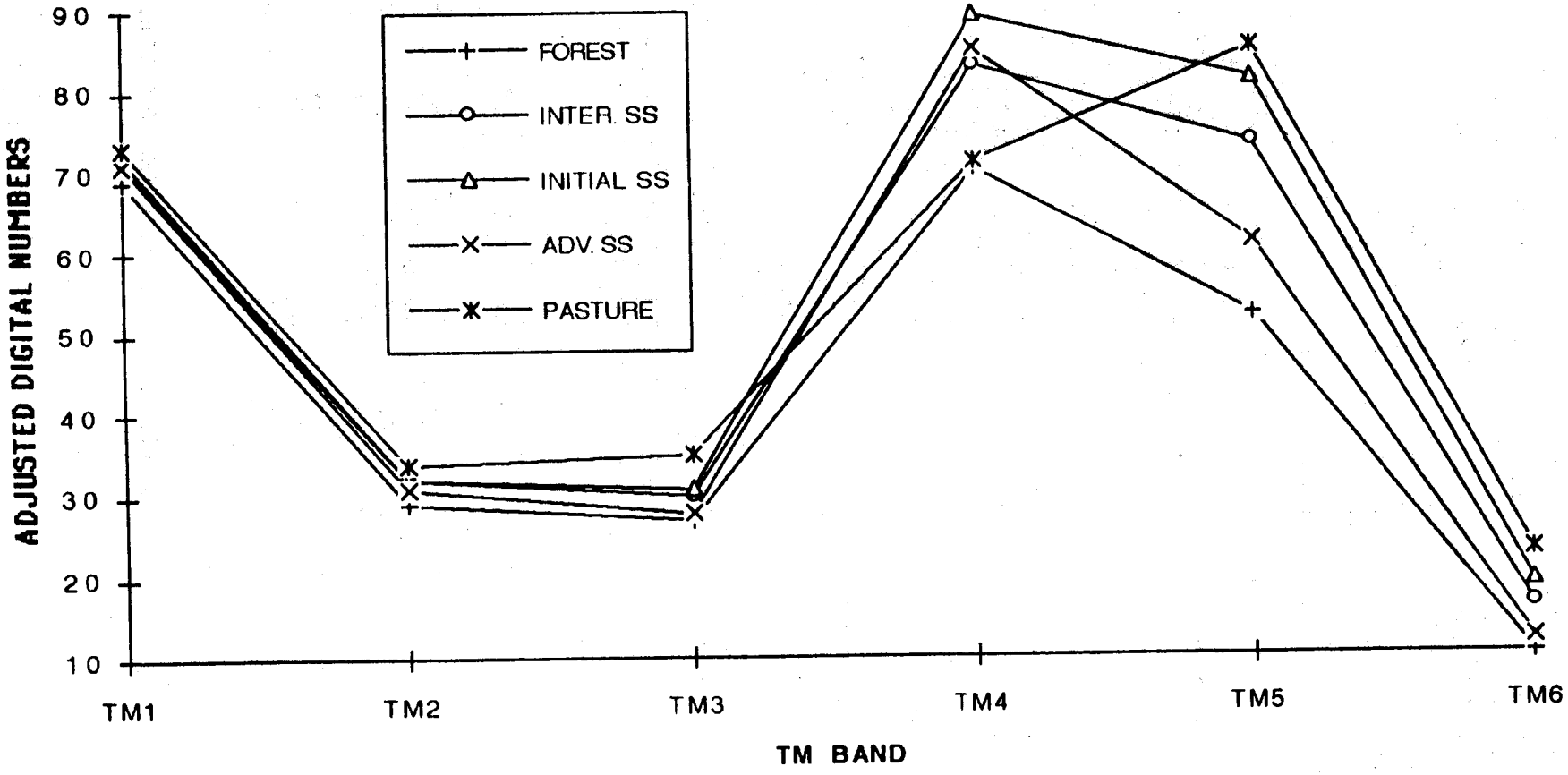
TABELA 2
MUDANCAS EM ALTAMIRA, 1985-1991

	1985		1991	
	%	HA	%	HA
Agua	5,23	13.984	5,27	14.091
Wetland	0,16	428	0,17	455
Solo exposto	13,19	35.267	1,38	3.689
Cultivo	2,02	5.401	4,26	11.390
Pastagem	1,24	3.316	7,03	18.797
SS Inicial	7,35	19.652	8,45	22.593
SS Intermed.	5,26	14.064	11,84	31.658
SS Avancada	1,29	3.316	4,50	12.032
Floresta	64,26	171.817	57,10	152.673

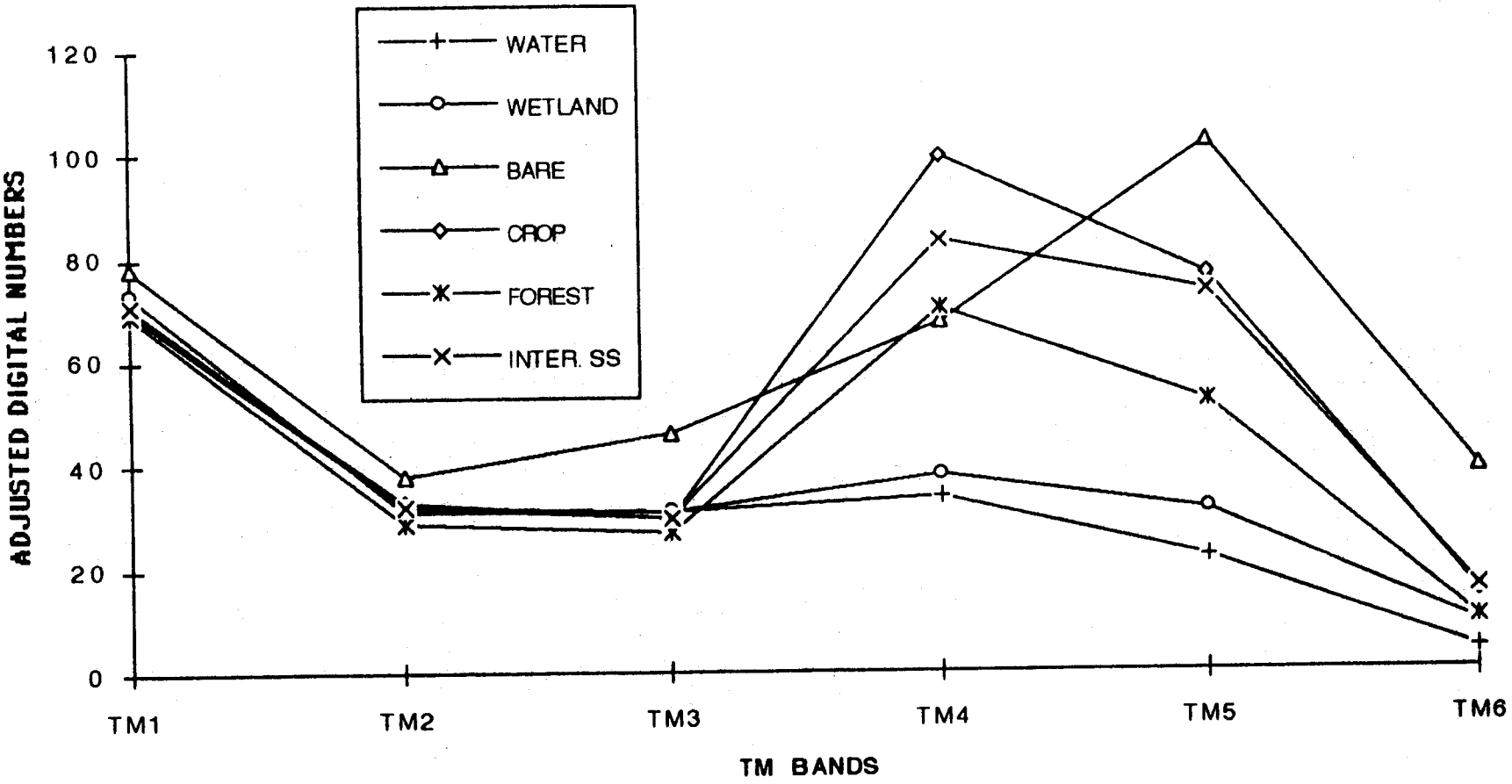
TABELA 3
MUDANCAS NA SUBREGIAO,

	KM 23 ALTAMIRA				KM 46 ALTAMIRA			
	1985		1991		1985		1991	
	%	HA	%	HA	%	HA	%	HA
Agua	1,79	129	1,49	108	0.02	1	0.06	6
Wetland	0,15	10	0,09	6	0,01	1	<.01	1
Solo exp.	24,99	1.813	1,68	122	18,88	2.307	2,35	287
Cultivo	3,60	261	6,53	474	3,20	391	4,17	510
Pastagem	2,18	158	8,52	618	1,54	189	7,93	968
SS Inicial	12,18	884	12,69	921	10,54	1.288	11,42	1.395
SS Inter.	8,72	633	20,19	1.465	7,27	888	14,51	1.773
SS Avan.	1,59	115	6,38	463	1,78	218	4,95	605
Floresta	44,80	3.251	42,41	3.007	56,75	6.936	54,61	6.674

SPECTRAL CURVES OF VEGETATION IN ALTAMIRA 1991



SPECTRAL CURVES OF FEATURES IN ALTAMIRA 1991



recursos para desmatar e formar pasto). Brasil Novo tambem e um centro urbano, com varios servicos para a area rural. O numero de donos que nao moram no lote e' maior no km 46, alem disto, a pobreza dos solos nesse trecho, explica em grande parte a maior frequencia de pastagens nessa area. Estes dois fatores tambem explicam a menor percentagem da area em lavoura branca (feijao, arroz, milho) (4.17%) comparado com km 23 (6.53%).

Um dos principais interesses deste trabalho e'o de indicar as distincoes obtidas na sucessao secundaria. A classe sucessao secundaria inicial, descrebe uma area de menos de 6 anos. Tais pastos degradados tem sido invadidos por numerosas especies de arbustos e arvores. Diferencia-se de areas de pasto limpo pelo maior sombreamento presente. O baixo valor nos canais visiveis e alta resposta espectral no infra-vermelho proximo e caracteristico de varias coberturas vegetais na regiao. Os canais infravermelhos sao muito mais baixos do que nas areas de floresta. Com o tempo tais areas evoluem para outra etapa de regeneracao que chamamos de sucessao secundaria intermedia,ou de 6-10 anos. Caracteriza-se pelo maior numero de especies arboreas e menor numero de arbustivas. A principal distincao desta classe e' a menor resposta espectral no infra-vermelho medio, comparando-a com a etapa inicial de regeneracao. A outra etapa que tem sido possivel distinguir e' a que descreve sucessao secundaria entre 11-15 anos. Em tal etapa a biomassa e a resposta espectral aproxima-se a assinatura da floresta intacta, mais ainda diferencia-se pela maior resposta espectral nos canais infra-vermelhos quando comparado com a floresta. Possivelmente esta diferenciacao seja a principal contribuicao deste trabalho. Quando comecamos a pesquisa muitos colegas na botanica mostraram grandes duvidas que seria possivel chegar a tal diferenciacao. A area de estudo inclui alguns dos solos mais ferteis da Amazonia. Em tais areas, a regeneracao e bem mais rapida do que em areas caracterizadas por solos pobres. Na etapa seguinte da pesquisa pretendemos quantificar as taxas de regeneracao em areas mais pobre e conduzir uma comparacao meticulosa das diferencas provenientes das variacoes no solo, e provenientes de mudancas no padrao de uso da terra e no uso do fogo. Em areas pauperrimas dentro desta area eutrofica, observamos que regeneracao de 15 anos apenas tinha chegado a altura e densidade de areas de regeneracao de 2 anos em areas eutroficas. Portanto, os resultados deste estudo terao que calibrar o numero de anos de cada etapa em funcao destes fatores por tras das taxas de regeneracao observaveis.

5. CONCLUSOES

O aumento em area de sucessao secundaria quando comparada com a menor area desmatada no periodo 1985 a 1991 nao indica uma maior concientizacao ecologica, mais o impacto da queda em incentivos fiscais e a crise economica do pais. No passado, os incentivos fiscais estao claramente ligados as taxas exponenciais no desmatamento, e especialmente a preferencia no credito pelas aplicacoes que favorecem areas de pastagem. Muitos colonos indicaram na pesquisa de campo que foram mal informados no comeco da colonizacao. Alguns indicaram que nao tinham a menor ideia do vigor da sucessao secundaria em area de floresta umida e do custo em lavoura necessario para manter controle das invasoras. Muitos deles estao deixando algumas areas previamente desmatadas voltarem para floresta devido a falta de capital para manter areas grandes limpas de invasoras.

O uso de imagens de satelite junto ao trabalho de campo tem permitido sobrepassar um obstaculo importante ao mais cuidadoso monitoreamento da Amazonia. Com o desenvolvimento das assinaturas espectrais para areas de sucessao secundaria na regiao de Altamira, e na area de Marajo no esturario amazonico (ver os dois trabalhos apresentados neste simposio por Brondizio et al.), temos chegado a o ponto de monitorear nao so o desmatamento, mais o impacto do manejo sobre os tipos de cobertura vegetal, e as taxas de regeneracao. Tal conhecimento permitira em breve uma base cientifica ao melhor acoplamento do homem ao ambiente amazonico, de forma a reduzir a probabilidade de impactos negativos, e gerar um subsidio que possa reduzir o custo economico de alguns tipos de manejo.

6. AGRADECIMENTOS

Os trabalhos apresentados foram possiveis pelo apoio da National Science Foundation grants SES 91-00526 e BNS 91-04305 ao Investigador principal, E.F. Moran. Li e Brondizio colaboraram no projeto como assistentes de pesquisa e como parte de seus estudos de doutorado. Os autores agradecem a colaboracao de Italo Claudio Falesi, Terezinha Bastos, e Adilson Serrao da EMBRAPA/CPATU-Belem pelo apoio a pesquisa; de Lucival Marinho e Jair da Costa da EMBRAPA/CPATU-Belem e de Mario Dantas da EMBRAPA/CPAF-Acre pelo valioso trabalho junto aos levantamentos botanicos efetuados na area em 1992. A responsabilidade das opinioes expressadas neste trabalho e' somente dos autores e nao das fontes financiadoras.

7. REFERENCIAS CITADAS

Booth, William. 1989. "Monitoring the Fate of the Forests from Space." Science 243:1428-1429.

Buschbacher, R. 1986. "Tropical Deforestation and Pasture Development". Bioscience 26: 22-28.

Buschbacher, R. et al. 1988. "Abandoned Pastures in Eastern Amazonia: II. Nutrient Stocks in the Soil and Vegetation". Journal of Ecology 76: 682-699.

Fearnside, Philip. 1982. "Deforestation in the Brazilian Amazon: How Fast is it Occurring?" Interciencia. 7 (2):82-88.

Fearnside, Philip, 1985. "Explosive Deforestation in Rondonia, Brazil". Environmental Conservation 12(4):355-356.

Galvao, A.P.M. 1989. "Fitomassa Aerea da Producao Natural de uma Floresta Tropical Umida Amazonica submetida a Corte Raso." Brasilia DF: EMBRAPA, manuscrito.

Goldemberg, J. 1989. Introduction. Amazonia: Facts, Problems and Solutions. Sao Paulo: Fundacao da Univ. de Sao Paulo and INPE.

Malingreau, J. and C.J. Tucker. 1988. "Large-Scale Deforestation in the Southeastern Amazon Basin of Brazil" Ambio 17: 49-55.

Molion, L,C.B. 1991. "Amazonia: Burning and Global Climate Impacts". Em Global Biomass BUrning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications. Cambridge: MIT Press. Po. 457-462.

Moran, Emilio. 1990. A Ecologia Humana das Populacoes da Amazonia. Petropolis (Brazil): Editora Vozes.

Moran, Emilio . 1981. Developing the Amazon. Bloomington: Indiana University Press.

Moran, Emilio . 1976. Agricultural Development along the Transamazon Highway. Bloomington: Center for Latin American Studies Monograph Series.

Salati, Eneas and P.B. Vose. 1984. "Amazon Basin: A System in Equilibrium". Science 225:129-138.

Shukla, J. C. Nobre, and P. Sellers. 1990. "Amazon Deforestation and Climate Change". Science 247:1322-1325.

Uhl, Chris and I.C.G. Vieira. 1989. "Ecological Impacts of Selective Logging in the Brazilian Amazon: A Case Study from the Paragominas Region in the State of Para." Biotropica 21:98-106.

Uhl,C. 1987. "Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia". Journal of Ecology 75:377-407.

Uhl, C. and R. Buschbacher 1985. "A Disturbing Synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the eastern amazon." Biotropica 17: 265-268.

Uhl, C. et al. 1982. "Successional Patterns associated with slash-and-burn agriculture in the upper Rio Negro region of the Amazon Basin" Biotropica 14: 249-254.

Woodwell, G.M. et al. 1987. "Deforestation in the Tropics: New Measurements in the Amazon Basin using Landsat and NOAA AVHRR imagery" Journal of Geophysical Research 92: 2157-2163.