

O USO DE SISTEMA GEOGRÁFICO DE INFORMAÇÃO E DE SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NA ESTÁÇÃO ECOLÓGICA DA UHE SAMUEL, RONDÔNIA BRASIL

A. A. MOZETO, T. A. STONE, I. F. BROWN e D. L. SKOLE

Entre as alternativas adotadas para a viabilização do problema energético do país, o Brasil optou pela construção de usinas hidrelétricas (UHE) em função das grandes bacias hidrográficas existentes em quase todo o país.

Como discutido por Barrow (1988), o Brasil apresenta um desencontro entre o centro gerador e o consumidor de energia. A região Sudeste, altamente industrializada, praticamente já explorou o seu potencial de energia

hidrelétrica. Em contrapartida, nas regiões Norte e Nordeste do país, menos industrializadas, o potencial hidrelétrico a ser explorado é significativo.

Na região Amazônica brasileira, até o presente, já foram concluídas cinco usinas hidrelétricas. A área total inundada é ligeiramente superior a 5.000 Km². Prevê-se para o ano 2000, que uma área total de 9.000 Km² será inundada na Amazônia (C. V. Batista, com. pess. 1988). Essa área deverá ser consideravelmente expandida até o ano

2020. O Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010 (Ministério das Minas e Energia Eletrobrás, 1987) prevê um aumento de 80% na potência instalada de energia hidrelétrica no Brasil no período do ano 2000 (93 Gigawatts) a 2020 (170 Gigawatts). Sabe-se que uma fração significativa deste aumento pode ser atribuída à construção de UHS's na região norte.

Poucos são os trabalhos que discutem o impacto ambiental causado direta e indiretamente por estes

/ PALAVRAS CLAVE / *Sensoriamento remoto* / *Ecologia* / *Impacto ambiental* /

Antônio A. Mozeto obteve seu Ph.D. na Universidade de Waterloo, Waterloo, Ontário, Canadá em Ciências da Terra. Atualmente é professor adjunto no Departamento de Química/Universidade Federal de São Carlos e realiza pesquisa sobre a biogeoquímica de ecossistemas de rios de planície de inundação e sobre isótopos ambientais na datação de árvores da Amazônia e na paleoclimatologia desta região. Endereço: UFSCar/DQ, Caixa Postal 676-13560, São Carlos, SP, Brasil.

Thomas A. Stone é um Pesquisador Associado no Centro de Pesquisas de Woods Hole. É geólogo ambiental com M.A. em geologia no Dartmouth College, NH, USA e estuda o uso de sensoriamento remoto no mapeamento de vegetação e na determinação de taxas de mudanças do uso do solo, com ênfase no desmatamento nos trópicos, especialmente na Amazônia brasileira. Endereço: The Woods Hole Research Center, P.O. Box 296, Woods Hole, MA 02543, USA.

Irving Foster Brown obteve o seu Ph.D. na Northwestern University, Ill., USA em gequímica ambiental. Atualmente é Cientista Associado do Centro de Pesquisas de Woods Hole, em afastamento de suas funções de professor adjunto na Universidade Federal Fluminense/Niteroi, RJ, Brasil. Atualmente, pesquisa o desmatamento, qualidade da água e usos do solo no estado de Rondônia, AM, com especial ênfase no impacto de usinas hidrelétricas nas florestas marginais. Endereço: The Woods Hole Research Center, P.O. Box 296, Woods Hole, MA 02543, USA.

David L. Skole é um pesquisador no Instituto de Estudos da Terra, Oceanos, e Espaço na Universidade de New Hampshire. É também membro de programa de cooperação de sensoriamento remoto entre esta universidade e o Dartmouth College. Possui o grau de mestre em ciências ambientais pela Indiana University. Sua pesquisa atual se concentra na aplicação de GIS e modelos ecológicos em estudos de desmatamento e o ciclo do carbono. Endereço: University of New Hampshire, Complex Systems Center, Durham, NH 03824, USA.

reservatórios hidrelétricos na Amazônia (Goodland, 1978 e 1980; Aspelin e dos Santos, 1981; Barrow, 1988; Tundisi e Hino, 1989).

Este trabalho reporta os resultados da aplicação de um sistema geográfico de informações à Estação Ecológica da UHE Samuel, Rondônia, Brasil. O mesmo foi desenvolvido com a finalidade de contribuir para a avaliação do impacto ambiental causado por usinas hidrelétricas na região Amazônica. Foram usados dados de altimetria combinados com imagens de satélite (SPOT-1) com o intuito de se estimarem as áreas de inundação na Estação Ecológica para diferentes elevações e o quanto da mesma poderá ser preservado. Uma classificação estatística dos níveis de cinza das diferentes bandas da imagem de satélite foi empregada para realizar-se um estudo das diversas classes de cobertura vegetal encontradas na Estação Ecológica e o quanto de cada uma seria perdido diretamente pela inundação.

A técnica empregada permite, em comparação com metodologias tradicionais, a interpretação de dados com maior precisão, versatilidade e rapidez, aliada a um custo relativamente baixo (Brown and Stone, 1989).

Área de Estudos

A UHE Samuel situa-se no Estado de Rondônia, Brasil, coordenadas $8^{\circ} 45' S$ e $63^{\circ} 15' W$, a cerca de 50 Km a Leste de Porto Velho, capital do Estado. A Eletronorte —Centrais Elétricas do Norte S.A.— é a companhia responsável pela construção e operação das usinas hidrelétricas do Norte do Brasil.

O processo de enchimento do reservatório iniciou-se em novembro de 1988, tendo-se atingido a cota máxima de operação de 87 m no início de maio de 1989, aproximadamente. A área total a ser inundada é, para esta cota, de 540 Km². A cota mínima de inundação esperada é de 80 m, com uma área de inundação de 140 Km² (F. Pereira, com. pessoal). Observa-se portanto que uma área de 400 Km², ou seja, 70% da área total, ficará sujeita a um processo sazonal de inundação.

O relevo da região da UHE Samuel é caracterizado como plano e suavemente ondulado. A parte Norte do Estado de Rondônia é uma continuidade da Planície Amazônica com terras baixas aplainadas, sendo em geral

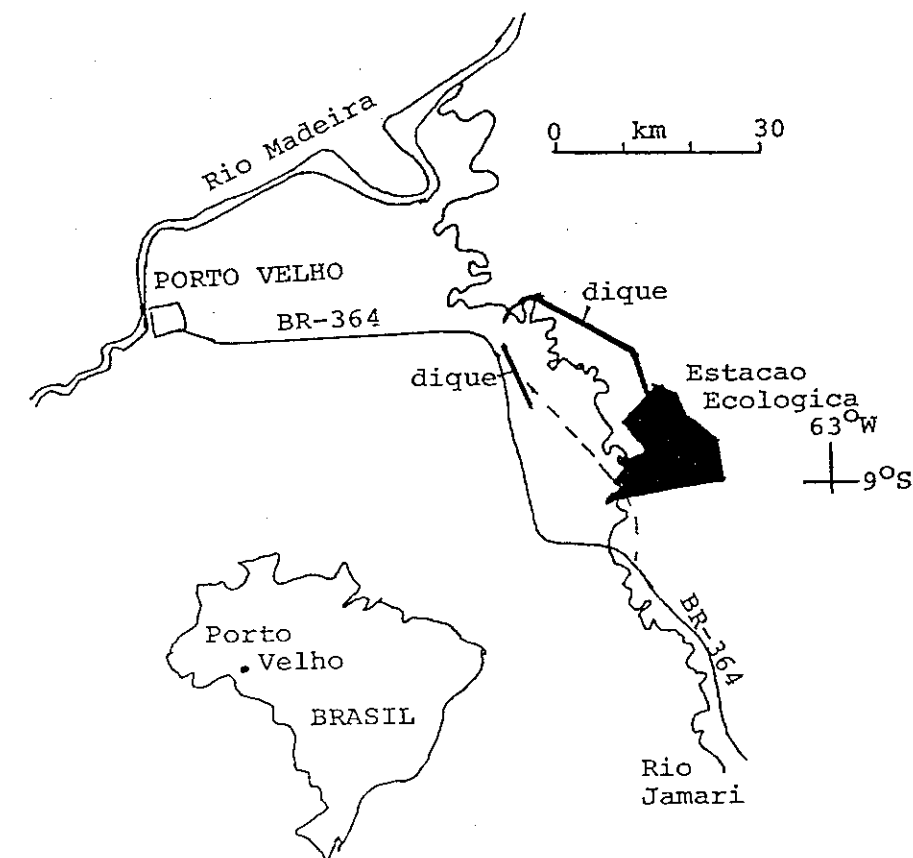


Figura 1. Mapa de localização da UHE Samuel no Estado de Rondônia, Brasil.

alagadiças (Projeto RADAMBRASIL, 1978). Nestas áreas pode-se observar variações na elevação da ordem de 1 metro para cada 1000 metros de distância. Não é comum na área restrita a UHE Samuel a existência de florestas inundadas, como várzeas e igapós (F. Pereira, com. pessoal).

A cobertura vegetal predominante na região é a chamada Floresta Tropical Amazônica de Matas Altas onde se distinguem diversas formações como a floresta aberta e densa (Projeto RADAMBRASIL 1978). Na Estação Ecológica, as florestas têm uma copa fechada e podem ser consideradas florestas densas (W. W. Thomas, com. pessoal).

A criação de uma Estação Ecológica junto UHE Samuel tem por objetivo a preservação e a proteção da flora e da fauna locais, e o desenvolvimento de estudos ambientais. Esta UHE é também tida como uma usina modelo para as regiões planas da Amazônia. Possui cerca de 55 Km de diques construídos com o objetivo de restringir a área de inundação devido ao represamento do rio Jamari.

Metodologia

A imagem apresentada nas figuras deste trabalho foi processada no Laboratório de Sensoriamento Remoto do Centro de Pesquisas de Woods Hole (The Woods Hole Research Center), Woods Hole, MA (USA). Este sistema consiste em um *software* de processamento de imagens e sistema geográfico de informações chamado ERDAS-PC. O sistema de *hardware* é composto por um computador Compaq 386/20 com um disco rígido de 314 Mb, um *drive* para fitas 1600 BPI, uma mesa digitalizadora, uma impressora de linha e outra a cores e um monitor a cores e outro monocromático.

A imagem estudada neste trabalho foi obtida pelo SPOT-1 (*Système Probatoire d'Observation de la Terre*) do Programa Francês Espacial que foi lançado em 27/02/1986 e que possui 2 sensores HRV (*High Resolution Visible*). O HRV-1 funciona no modo pancromático e o HRV-2 no modo multiespectral (Greegor, 1986). Esta cena HRV-2, corresponde a passagem do dia 23/08/1986, sua hora do centro da cena é 14:36:42, e o nível do produto é 1A.

Uma imagem digital é uma função $f(x,y)$ representada por valores inteiros, podendo também ser considerada como uma matriz, cujos índices de linhas e colunas identificam pontos no espaço, cujos valores correspondem aos seus níveis de cinza (Dias et al., 1988). Os elementos desta matriz são chamados de *pixels* (do inglês *picture elements*), e correspondem a resolução da imagem. A cena do SPOT - empregada corresponde a uma área aproximada de 60 por 60 Km ou 3.600 Km², ou ainda 3.000 por 3.000 *pixels*, uma vez que cada um tem uma área de 400 m² (resolução linear de 20 m). Após retificação da parte de interesse, a imagem usada corresponde a cerca de 2.000 por 2.000 *pixels* ou 40 por 40 Km.

As características do sistema sensor do SPOT-1 (o HRV-2, antes referido) em termos do comprimento de onda das bandas espectrais são as seguintes (Jensen, 1986):

bandas	comprimento de ondas (μm)
1	0.50-0.59 (verde)
2	0.61-0.68 (vermelho)
3	0.79-0.89 (infravermelho)

O processamento da imagem inclui inicialmente a sua retificação para o sistema de coordenadas UTM (do inglês: *Universal Transverse Mercator*). Com o intuito da aplicação do SGI, os passos seguintes compreendem a digitalização dos mapas propriamente ditos e a superposição dos mesmos à imagem retificada. No presente caso, como o interesse era a área de proteção ambiental e não toda a área coberta pela imagem, procedeu-se, inicialmente, a digitalização dos limites da mesma. Superpondo-se então tais limites à imagem integral, isolou-se a Estação Ecológica do resto da imagem. Similarmente, foram digitalizados vários níveis de informação obtidos de mapas da área confeccionados pela Eletronorte, tais como bases altimétricas e planimétricas, que compõem os limites da área do futuro reservatório e da Estação Ecológica.

Para cada tipo de contorno foi criado um arquivo em separado, sendo que a digitalização é feita utilizando-se dois programas do pacote ERDAS que constroem polígonos e vetores (limites). O uso dos arquivos em separado apresenta vantagens como a superposição individual, combinação de arquivos com a imagem de satélite, combinação de arquivo com fotografia e outras. As figuras mostradas adiante

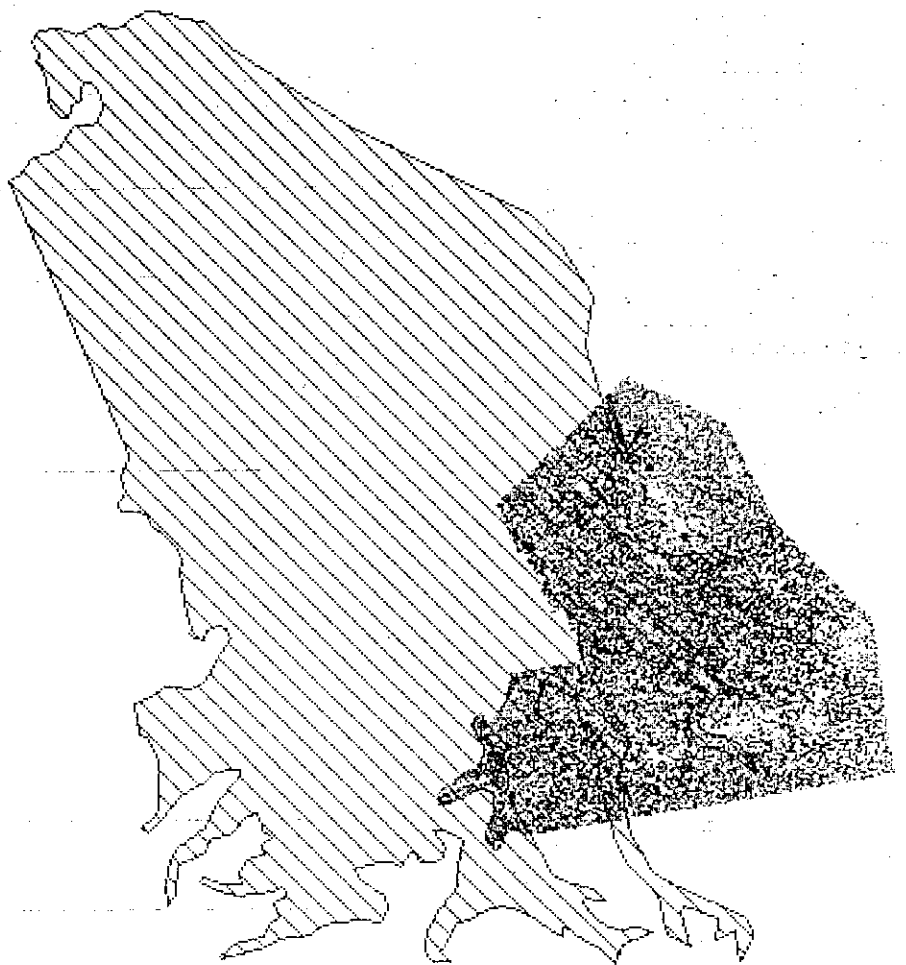


Figura. 2. Área total de inundação da UHE Samuel, Rondônia, Brasil e sua Estação Ecológica mostrada em superposição à imagem do SPOT-1 usada neste trabalho.

foram montadas de acordo com esta técnica.

Os cálculos das áreas correspondentes à Estação Ecológica e aos diferentes contornos para elevações 87, 88, 89 e 90 m acima do nível do mar e ao futuro reservatório, foram feitos diretamente através da multiplicação do número total de *pixels* de cada parte da imagem do SPOT-1 pela área de um *pixel* (20 x 20 m = 400 m²) e usando o programa planímetro. Ambos os meios proporcionam resultados muito similares.

Um estudo das comunidades vegetais e outras classes de cobertura do solo também foi feito trabalhando-se exclusivamente com a imagem satélite para cada contorno. Neste caso, aplica-se um programa de estatística de agrupamento (do inglês: *clustering statistics*) que faz uma classificação não supervisionada da imagem (ver adiante). Os resultados destas análises estão tabulados na seção seguinte onde especificam-se os significados de cada parâmetro.

De posse destes arquivos é possível também fazerem-se superposições, ou seja, registros das diferentes classificações para os diferentes contornos de elevações, apresentando resultados da classificação para a Estação Ecológica como um todo. É possível, então, fazerem-se inferências sobre as classes inundadas em toda área versus as existentes na Estação Ecológica, através do uso do algoritmo, índice diferencial de vegetação normalizado (do inglês, *Normalized Difference Vegetation Index* ou NDVI) ver adiante).

Resultados e Discussão
Área inundada na UHE Samuel

A Figura 2 mostra os limites da área total a ser inundada na UHE Samuel para a cota 87 m, e os limites da Estação Ecológica, superpostos à imagem de SPOT-1 usada neste trabalho. A previsão da Eletronorte é de uma área total de inundação de 540 Km² pa-

ra a cota de 87 m (F. Pereira, com. pessoal). Eventualmente a cota poderia atingir 88 m em casos excepcionais. Deve-se registrar que tanto estes como os cálculos das áreas inundadas apresentados em seguida são afetados por um erro relativamente grande nos mapas topográficos.

A Tabela I mostra os valores das áreas inundadas para a Estação Ecológica da UHE Samuel, para diferentes níveis de elevação da água no reservatório. Assumindo-se que a água atingiria um máximo de 87 m, pode-se avaliar que cerca de 20% da área total da Estação Ecológica, que é 209 Km², será inundada. Incorporação de uma parte desta inundação foi planejada por EletroNorte para impedir invasões da Estação por colonos. Se a cota de operação subir excepcionalmente para 88 m, o percentual de inundação poderá atingir 34%, ou seja 1/3 da área.

A inundação na UHE Samuel em cotas superiores a 87 m acima do nível do mar, deve no entanto, no entender da Eletronorte, ser encarada como um evento relativamente raro e de curta duração. A cota máxima de 88 m poderá ocorrer somente em enchentes decamilenares, e é entendida como um evento não prejudicial à vegetação inundada acima de 87 m, pois teria duração de apenas alguns dias e a coluna d'água formada seria de pouca profundidade (F. Pereira, com. pessoal).

Deve-se também levar em consideração que o impacto ambiental esperado na Estação Ecológica não se restringirá somente ao limite da área inundada. Além da grande oscilação na área inundada devido à topografia plana e à sazonalidade das chuvas reinantes na região (ver item área de estudos), a área impactada poderá se estender por várias centenas de metros ou mesmo até quilômetros dentro da floresta não inundada em função da elevação do nível do lençol freático.

As águas subterrâneas do aquífero local na Estação Ecológica são relativamente não profundas, mesmo durante períodos de estiagens (cerca de 7 m a uma cota de 92 m em setembro/1988; CENA, 1988). Em consequência disto, a elevação do nível freático devido à presença do lago da UHE Samuel provavelmente causará, pelo menos nos primeiros metros de elevação acima da cota de 87 m uma condição de anoxia na região das raízes das árvores. Fenômeno equivalente tem sido reportado para as regiões de várzea da Amazônia (Worbes, 1985). Se os efeitos da elevação do lençol freático estende-

TABELA I

ÁREAS (Km² E % DO TOTAL INUNDADAS E NÃO ATINGIDAS PELA INUNDAÇÃO PARA DIFERENTES ELEVAÇÕES NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DA UHE DE SAMUEL. ÁREA TOTAL DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA É DE 209 Km²

Elevação (m)	Área Inundada Km ²	%	Área Abaixo da Cota mais alta %
<87	41	20	20
87-88	29	14	34
88-89 *	47	22	56
89-90 *	22	11	67

* A estas elevações correspondem áreas que não serão atingidas pelas águas de inundação mas possivelmente sofrerão efeitos da elevação do nível do lençol freático.

TABELA II

VALORES MÉDIOS DA REFLETÂNCIA (UM NÚMERO RELATIVO) DAS DIFERENTES BANDAS DO SPOT-1 E OS CORRESPONDENTES ÍNDICES NDVI. SOMENTE SÃO MOSTRADOS OS VALORES PARA AS CLASSES OU GRUPOS QUE JUNTAS CORRESPONDEM A CERCA DE 98% DA ÁREA TOTAL DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA QUE É 209 KM²

Classes ou Grupos Espectrais	Área Km ²	Bandas			NDVI *
		1	2	3	
1	161	32	17	75	0,63
2	34	31	17	65	0,59
3	9	33	17	93	0,69
4	1	30	16	56	0,56

* Ver texto para definição.

TABELA III

ÁREAS (KM²) DE INUNDAÇÃO PARA AS DIFERENTES CLASSES ESPECTRAIS EM RELAÇÃO A ESTAÇÃO ECOLÓGICA COMO UM TODO E PARA OS CONTORNOS DE ELEVAÇÃO (COTA) DENTRO DA MESMA. AS ELAVAÇÕES 88, 89 E 90 CONTÊM ÁREAS QUE POTENCIALMENTE SOFRERÃO O IMPACTO DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO

Classes ou Grupos Espectrais *	Estação Ecológica total	Elevação (m)			
		<87	<88	<89	<90
1	161	31	51	88	106
2	30	7	12	20	24
3	9	2	2	4	5
4	1	<1	1	1	1

* Ver texto para as descrições das coberturas vegetais associadas a cada uma das classes espectrais.

rem-se entre as cotas 87 e 89 m, a área total impactada elevar-se-á de um adicional de 76 Km², equivalente a mais do que um terço da Estação (ver Tabela I).

Os efeitos resultantes do fenômeno descrito acima, como o de vários outros devido à construção de UHE's na Amazônia são, no entanto, ainda virtualmente desconhecidos. Estudos em andamento na Estação de Samuel (CENA, 1988) deverão apresentar os seus primeiros resultados práticos na avaliação deste tipo de impacto dentro de no mínimo 2 ou 3 anos.

O resultado principal da aplicação do SGI neste trabalho pode ser apreciado na Figura 3 onde aparecem as áreas de inundação para diferentes elevações na Estação Ecológica. Esta figura torna mais real o significado dos números apresentados pela Tabela I. Tornam-se também, aparentemente mais significativas, as perdas de comunidades vegetais na área destinada à proteção ambiental para diferentes elevações.

Classes de Cobertura Vegetal

As Tabelas II e III mostram os resultados da aplicação do programa de estatística de agrupamentos à área da Estação Ecológica como um todo e aos contornos de elevação. Nelas estão listadas apenas as classes dominantes das 25 originalmente planejadas. Esta aplicação foi feita com o objetivo de se estabelecer um grau de discriminação entre as diferentes classes de coberturas do solo (florestais ou não) da região de estudo.

O programa utilizado cria classes ou grupos espectrais (i.é., grupos de pixels com níveis de cinza similares nas diferentes bandas do SPOT-1), que correspondem a diferentes coberturas do solo (quer seja vegetação, solo nu, ou outro tipo qualquer de cobertura), através de um algoritmo de agrupamentos. O número de classes é previamente estabelecido pelo usuário, que o define baseado na expectativa do número de classes gerado a partir de seu conhecimento global da área estudada.

O índice de vegetação diferencial normalizado (NDVI, antes referido) que aparece na Tabela II é determinado subtraindo-se da refletância obtida na banda infravermelho próximo (IVP; banda 3) aquela obtida na banda visível vermelho (V; banda 2) e é normalizado dividindo-se pela soma das duas, isto é:

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V).$$



Figura 3. Áreas de inundação dentro da Estação Ecológica para diferentes elevações mostradas em superposição à imagem SPOT-1 (banda 3, infravermelho próximo) usada neste trabalho. A área de cor cinza sólida é de elevações <87 m (20% da área total). A área de cor cinza listrada e de elevações entre 87 e 89 m (36% da área total). Uma pequena ilha que será formada na parte norte desta área não é mostrada na figura. A largura máxima da Estação Ecológica é aproximadamente 17 km.

Este índice correlaciona-se, segundo Tucker *et al.* (1980) e Holden *et al.* (1980), com a biomassa e a área das folhas verdes. Esta relação positiva com a biomassa verde existe porque à medida que a vegetação cresce, ela absorve mais radiação na região do vermelho visível e reflete mais na região do infravermelho próximo. Isso aumenta a diferença entre as duas bandas, aumentando o valor do NDVI.

Um valor típico deste índice para florestas é aquele encontrado para o norte de Mato Grosso e Paragominas respectivamente 0,55 (Stone e Woodwell, 1988) e 0,51-0,53 (Santos *et al.*, 1979). A água superficial exposta assume, por exemplo, valores negativos. Outros tipos de cobertura de solo assumem valores intermediários entre o máximo obtido para vegetação com crescimento vigoroso e água, que seria o mínimo. Embora tais estudos tenham

sido realizados com base em imagens geradas por outros satélites como a LANDSAT-5 e o NOAA-9, que têm diferentes sensores (TM ou MSS e AVHRR, respectivamente, Greegor, 1986), seus resultados são em termos práticos compatíveis entre si (Gallo e Daughtry, 1987) e, portanto, com os deste estudo.

As quatro classes espectrais que aparecem na Tabela II compõem 98% da área estudada e estariam associadas com tipos de comunidades vegetais da seguinte forma:

Classe 1. Esta classe espectral representaria a floresta tropical de copa fechada, típica da região Amazônica. A característica espectral desta classe encontra-se distribuída mais ou menos homogeneamente através da área ou como um todo, exceto nas partes de alto relevo. Apresenta alto valor para o índice NDVI, daí a sua associação com

este tipo de floresta. Da descrição fisiológico-ecológica do Projeto RADAM-BRASIL (1978) consta que este tipo de floresta ocorre em áreas de planície aluvial periodicamente inundadas, sendo composta por árvores de porte alto (árvores emergentes), por palmeiras e por cipós.

Classe 2. Constitui o segundo tipo de vegetação em importância na área, e junto com a primeira totaliza 93% da área. Fisionomicamente, deve enquadrar-se nos mesmos tipos antes citados, mas não tem índice de vegetação tão alto. Como praticamente preenche os pixels deixados em aberto pela classe 1, conclui-se que é parte da mesma. Está, no entanto também associada à vegetação de relevo baixo, o que, neste aspecto, a diferencia da classe anterior. Como a refletância desta classe está visivelmente ligada à vegetação que vigorosamente cresce nas bordas recém desmatadas do dique e das estradas do dique, este mesmo tipo de crescimento pode estar ocorrendo dentro da floresta de copa fechada. Neste caso poder-se-ia invocar o fenômeno da regeneração da floresta devido à queda das árvores (crescimento secundário em clareiras), para explicar esta observação.

Classe 3. Esta classe associa-se à vegetação das áreas topograficamente mais altas (acima da cota de 90 m). Devido ao alto valor do NDVI, pode-se dizer que esta vegetação corresponde a vigoroso crescimento natural da floresta de terras altas. Tem, também, característica espectral similar à vegetação que cresce ao longo das bordas das áreas desmatadas e a que cresce ao longo do curso do igarapé Japiim.

Classe 4. Esta classe representa crescimento de vegetação ao longo do dique e sua estrada, bem como ao longo das áreas desmatadas (crescimento secundário). Apresenta também NDVI alto.

O conhecimento atual da distribuição na região dos tipos de floresta existentes não permite fazer-se uma associação mais precisa das classes espectrais interpretadas na imagem estudada do SPOT-1. Dados de campo adquiridos recentemente e a serem levantados no ano em curso dentro do projeto antes mencionado, deverão fornecer subsídios mais esclarecedores sobre esta questão.

As demais classes, estão associadas à presença de água ou a algum tipo de distrúrbio antrópico dos

ecossistemas. Apresentam NDVI baixos e estão associados, por exemplo, à pedreira existente na área, ao solo exposto do dique a sua estrada, ou às áreas desmatadas que ainda não apresentam cobertura vegetal. Duas dessas classes apresentam NDVI negativos e estão associadas ao Rio Jamari e à água represada ao leste do dique da margem direita do rio Jamari (norte da imagem).

Conclusões

A aplicação de sistema geográfico de informação associado a interpretações de imagens de satélite e dados topográficos na região da UHE Samuel permitiu a determinação da área inundada global na UHE bem como dentro de Estação Ecológica para diferentes cotas altimétricas. Foi possível também, associarem-se os principais tipos de coberturas vegetais às características espectrais da imagem do SPOT-1 e o quanto dos mesmos será perdido com a inundação.

Pode-se observar através da Tabela I que a inundação da Estação Ecológica promoverá a perda de cerca de 20% de sua área, assumindo-se que a cota máxima de operação da UHE será de 87 m. Pela Tabela III, pode-se antever como as possíveis variações no nível de inundação promoverão a perda de áreas substanciais das diferentes comunidades da floresta que domina a Estação Ecológica da UHE de Samuel. Cerca de 31 Km² dos 161 Km² da floresta de copa fechada será inundada se o nível das águas atingir 87 m. As florestas que seriam afetadas por uma subida do lençol freático na Estação Ecológica provavelmente ficariam entre as cotas 87 e 89 m que corresponde a 36% da área da Estação. Caso isto venha a ser verificado no futuro, um total de mais da metade da área para proteção ambiental da UHE Samuel estaria inundada ou perturbada. A extensão de uma zona de perturbação na floresta não inundada devido a incêndios ou outros efeitos oriundos de novos assentamentos vizinhos, poderia levar a um decréscimo ainda maior da área não perturbada.

A análise de custos e benefícios de futuras usinas hidrelétricas a serem construídas na Amazônia deveriam levar em conta os custos ambientais. Por exemplo, a perda total ou de parcelas significativas de comunidades vegetais específicas na região de Rondônia deve contribuir para o decréscimo da alta diversidade de espécies de árvores da região, talvez uma das

mais ricas da Amazônia (mais do que 200 espécies de árvores/ha, CENA, 1988).

Os dados deste trabalho mostram que a área de preservação dos ecossistemas da Estação Ecológica da UHE Samuel poderá ser reduzida significativamente em função do impacto ambiental causado direta e indiretamente pela inundação. Do ponto de vista de conservação e manejo de ecossistemas, esta área poderia ser insuficiente para a sobrevivência de algumas espécies, o que deve ser levado em conta pelos órgãos responsáveis pelo planejamento das futuras áreas de proteção ambiental das usinas hidrelétricas da Amazônia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a contribuição dos pesquisadores Luiz Antonio Martinelli e Reynaldo Luiz Victoria (Centro de Energia Nuclear na Agricultura/ Universidade de São Paulo) e Ivan de Oliveira Pires (Depto. de Cartografia, Universidade Federal Fluminense) Francisco Pereira (CPA Samuel, Eletronorte) e Alex Krusche (Universidade Federal de São Carlos) pela revisão em detalhe do manuscrito deste trabalho, na sua forma e conteúdo. Agradece-se ao CNPq (Brasil) pela bolsa de pós-doutoramento concedida a A. A. M. e a Eletronorte pela concessão do uso dos mapas da área da UHE Samuel. Agradece-se também, o apoio financeiro concedido pelo Woods Hole Research Center (WHRC), World Wildlife Fund, General Services Foundation, Joyce Mertz-Gilmore Foundation e pela NASA Nº NAGW 980 (EUA). Esse trabalho foi elaborado durante afastamento de AAM da Universidade Federal de São Carlos e em colaboração com o WHRC, Woods Hole, MA.

REFERÊNCIAS

- Aspelin, P. L. e dos Santos, S. C. (1981): Indian areas threatened by hydroelectric projects in Brazil. *IWGIA Document 44*, International Workgroup for Indigenous Affairs, Copenhagen, Denmark. 201 páginas.
- Barrow, C. (1988): The impact of hydroelectric development on the Amazonian environment: with particular reference to the Tucuruí Project. *Journal of Biogeography*, 15: 67-78.
- Brown, F. e Stone, T. (1989): Using satellite photography for grassroots development in Amazonia. *Cultural Survival Quarterly*, 13(1): 35-38.
- CENA (1988): Implantação de parcelas para monitoramento de dinâmica florestal na área de proteção ambiental, UHE Samuel, Rondônia. *Relatório Preliminar de Pesquisa a Eletronorte*. CENA/USP, Piracicaba, SP 73 páginas.
- Dias, L. A. V., Neto, G. C., Barrera, J. e Souza, R. C. M. (1987): Imagens e computadores: O olho que tudo vê. *Ciência Hoje*, 7(37): 35-44.

Gallo, K. P. e Daughtry, C. S. T. (1987): Differences in vegetation indices for simulated Landsat-5 MSS, and TM NOAA-9 AVHRR, and SPOT-1 sensor systems. *Remote Sensing of Environment*, 23: 439-452.

Goodland, R. J. A. (1978): Environmental assessment of the Tucuruí Hydroelectric Project Rio Tocantins, Amazônia. *Survival International Review*, 3(2): 11-14.

Goodland, R. J. A. (1980): Environmental ranking of Amazonian development projects in Brazil. *Environmental Conservation*, 7(1): 9-26.

Gregor, D. H. (1986): Ecology from space. *BioScience*, 36(7): 429-432.

Holben, B. N., Tucker, C. J. e Fan, C. J. (1980): Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46: 651-656.

Jensen, J. R. (1986): *Introductory digital image processing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs. 379 paginas.

Ministerio das Minas e Energia/Eletronbras (1987): Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010. *Plano 2010. Relatório Geral*. MME/Eletronbras, Rio de Janeiro, Brasil 269 páginas.

Projeto RADAMBRASIL (1978): *Folha SC-20 Porto Velho*. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, Levantamento de Recursos Naturais, 16. 668 páginas.

Santos, A. P., Novo, E. V. e Duarte, V. (1979): Relatório final do projeto INPE/SUDAM. INPE-1610-RPE/085, *Instituto de Pesquisas Espaciais*, São José dos Campos, Brasil. 148 páginas.

Stone, T. A. e Woodwell, G. M. (1988): Shuttle imaging radar: A analysis of land use in Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*, 9(1): 95-105.

Tucker, C. J., Holben, B. N., Elgin, J. H. e McMurtrey, J. E. (1980): Relationship of spectral data to grain yield variation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46: 657-666.

Tundisi, J. G. e Hino, K. (1989): Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: R. A. Vollenweider and S. E. Jorgensen (Eds.). *Guidelines for Lake Management*. ILEC 15 páginas. NO PRELO.

Worbes, M. (1985): Structural and other adaptations to long-term flooding by trees in Central Amazonia. *Amazoniana*, 9: 459-484.

HAVE YOU RENEWED YOUR SUBSCRIPTION FOR 1990?

IF YOU HAVE NOT, PLEASE DO SO NOW BY FILLING THE SUBSCRIPTION FORM, MAKE YOUR CHECK OUT TO INTERCIENCIA AND MAIL TO THE FOLLOWING ADDRESS:

INTERCIENCIA
Apartado 51842
Caracas 1050A, Venezuela