

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL	
data	____/____/____
cod	10300127

SUCESSÃO SECUNDÁRIA
E CICLAGEM DE CARBONO
EM ECOSISTEMAS EUTRÓFICOS E OLIGOTRÓFICOS
DA AMAZÔNIA

Diretor do Projeto

Emilio F. Moran
Indiana University
School of Public and Environmental Affairs
Bloomington, IN 47405
Tel (812) 855-6181
Fax (812) 855-3000

RESUMO

Neste projeto está sendo desenvolvida uma análise comparativa da sucessão secundária na Amazônia Brasileira e o papel destes processos no ciclo global de carbono. Duas áreas oligotróficas (Zona Bragantina e Alto Rio Negro) serão estudadas, e contrastadas com duas áreas eutróficas (uma no Baixo Xingu e outra na Ilha de Marajó) estudadas entre 1991 e 1993. Para cada área de estudo, os seguintes dados serão coletados: (1) histórico do uso de terra; (2) estrutura da vegetação para estimar biomassa; (3) conteúdo de carbono e caracterização de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) de plantas, solos; e (4) determinação do pH do solo, capacidade de troca catiônica, e textura. Estes dados de campo serão integrados com imagens de satélite destas regiões usando sistema de informação geográfica (SIG) baseado em padrão vetorial e de varredura. Um importante componente desta análise está relacionado ao emprego de imagens digitais multitemporais de mapeador temático (TM) LANDSAT para proporcionar uma avaliação da dinâmica sucessional numa escala regional. A modelagem de balanço de carbono, baseado no modelo CENTURY, será desenvolvido usando dados de campo georreferenciados para áreas específicas através de SIG. O uso da terra e a modelagem de balanço de carbono serão utilizados para comparar taxas de desmatamento e sucessão ecológica em ecossistemas de florestas eutróficas e oligotróficas. Em seguida, estes dados serão utilizados para investigar o papel do desmatamento e reflorestamento (sucessão) de florestas tropicais da Bacia Amazônica no ciclo global de carbono. Estimativas atuais tendem a negligenciar a variabilidade das taxas de recobertura, bem como da taxa de liberação e reaproveitamento diferencial de carbono nas florestas tropicais úmidas. O presente projeto é baseado numa pesquisa anterior realizada numa área eutrófica onde foram observadas diferenças de até 7 vezes na taxa de recobertura vegetal como uma função de diferença na fertilidade do solo, uso da terra, e tamanho de área aberta. A metodologia apresentada neste projeto tem se mostrado viável em duas áreas eutróficas. Áreas eutróficas representam 10% da Bacia, uma área significativa de 500.000 Km². Áreas oligotróficas representam uma área proporcionalmente ainda maior da Bacia. É necessário ampliar o conhecimento obtido através do estudo de áreas eutróficas para áreas pobres em nutrientes, mais comuns na Amazônia, se estamos interessados em entender a contribuição da Amazônia no ciclo global de carbono.

I. DESCRIÇÃO DO PROJETO

Introdução

O desmatamento da Bacia Amazônica tem se tornado um tópico de grande interesse internacional. As estimativas sobre a natureza e extensão do desmatamento são variáveis (Dickinson 1987; Malingreau & Tucker 1988; Skole & Tucker 1993). Entretanto, tanto Booth (1989) como Setzer & Pereira (1991) registraram que em 1987, ano de maior pico, 8 milhões de hectares de floresta foram queimadas. As preocupações têm se centrado no efeito do desmatamento sobre a diversidade biológica (Wilson 1988), mudanças climáticas (Dickinson 1987; Shukla et al. 1990; Aber & Melillo 1991), e gases marcadores atmosféricos (Dickinson 1987; Andreae & Schimel 1989; Crutzen & Andreae 1990; Dale et al. 1991). Embora cubram apenas aproximadamente 11% da superfície terrestre do planeta, se estima que as florestas tropicais úmidas contêm 41% da biomassa terrestre do planeta e mais de 50% das espécies do globo. A Amazônia Brasileira contém 26,5% da floresta úmida do globo (Whittaker & Likens 1975; Prance & Lovejoy 1985; Silver 1990). A sua área continental, combinada às altas taxas de evapotranspiração, faz da Bacia Amazônica um sistema de notável influência sobre o clima global (Salati 1985). Por isso, se acredita que a remoção da vegetação amazônica em larga escala possa desencadear mudanças suficientemente grandes no ciclo hidrológico e clima da região a ponto da floresta não ser capaz de se reestabelecer (Shukla et al. 1990).

As atividades de construção de estradas, agricultura, criação de gado e exploração madeireira tem sido devastadores para as florestas tropicais da Amazônia (Fearnside 1983, 1987; Browder 1988; Mahar 1988; Uhl & Vieira 1989). Antes de 1970, pouco desmatamento havia ocorrido na Amazônia brasileira. Até 1975, 30.000 km² (aproximadamente 0,6%) da Amazônia tinha sido aberta, com maior concentração na região sudeste. A cobertura vegetal menos densa desta área difere das demais partes da Bacia Amazônica por apresentar um padrão sazonal ao invés de uma cobertura perene. Entre 1975 e 1987, a taxa de desmatamento acelerou, quadruplicando para 125.000 km² até 1980, e mais de vinte vezes para 800.000 km² até 1987 (Mahar 1988).

Existem cada vez mais evidências de que populações indígenas da Amazônia manejam a vegetação de capoeira de forma que possa

ser descrita como sucessão ecológica manejada direcionada de tal maneira que a floresta continua a produzir produtos úteis por até 10 anos (Denevan & Padoch 1988). Browder (1988) estima que pequenos agricultores são responsáveis por menos de 4% do total desmatado na Amazônia brasileira no final da década de 70. A contribuição de pequenos agricultores é provavelmente maior em Rondônia, estado na Amazônia que apresenta a maior taxa de desmatamento (24%). O Estado do Pará é outra área de grande desmatamento, onde estão localizadas três das quatro áreas deste estudo. A quarta área é uma área indígena do Alto rio Negro.

O monitoramento da taxa de desmatamento tem geralmente focado a escala de desmatamento e a necessidade de diminuir ou cessar o desmatamento. Enquanto a completa detenção do desmatamento na Amazônia tem sido a única norma de gerenciamento proposta, um resultado positivo é improvável. Outras estratégias para reduzir a taxa de desmatamento na Amazônia brasileira são necessárias, em termos tanto ecológico como econômico. Relativamente pouca atenção tem sido dada para a questão sobre o que acontece com as áreas depois que são abertas.

II. OBJETIVOS

O estudo proposto apresenta uma abordagem distinta para a estimativa de desmatamento. A taxa diferencial de sucessão ecológica da floresta é enfocada através do acúmulo e liberação de carbono. A maioria das simulações desenvolvidas na Amazônia até o momento consideram somente a remoção da floresta ou, no máximo, a sua substituição por pastagem. Entretanto, em diversas partes da Amazônia, tal processo envolve uma sucessão secundária extremamente rápida e vigorosa, onde a floresta apresenta uma alta taxa de recuperação de biomassa em poucos anos. Então, a que nível a sucessão ecológica pode reverter o caminho do carbono liberado pelo desmatamento? A taxa de sucessão pode ser acelerada em áreas degradadas a fim de reverter as taxas atuais de carbono liberado na atmosfera?

Diversos estudos têm demonstrado que áreas de florestas tropicais úmidas que foram abertas e queimadas podem se restabelecer, mesmo depois de serem utilizadas como área de pastagem extensiva (Uhl et al. 1982; Uhl & Jordan 1984; Uhl & Bushbacher 1985; Bushbacher et al. 1988; Uhl et al. 1988). Mesmo

em áreas relativamente deficientes em nutrientes, a floresta se restabelece devido a presença de muitas espécies de árvores tolerantes aos solos pobres encontrados na Amazônia. (Embora os termos "oligotrófico" e "eutrófico" tenham conotações limnológicas, nós seguiremos a convenção estabelecida por Jordan (1985, 1987), com referência a áreas pobres em nutrientes como "oligotrófico" e áreas ricas em nutrientes como "eutrófico"). A Amazônia oriental é de especial interesse porque nesta área tem ocorrido o mais intenso impacto humano sobre a floresta devido as atividades agropecuárias. Sucessão ocorre em diferentes taxas na Bacia Amazônica, dependendo da intensidade da queimada, do tamanho da área aberta, da viabilidade do banco de sementes do solo, do teor de nutrientes do solo, do grau de inclinação da área, além de outras variáveis que constituem condições crescentes para uma gama de espécies florestais.

Os objetivos específicos do presente projeto são:

- (1) Estudar quatro áreas na Amazônia Brasileira para desenvolver uma análise comparativa de produtividade primária, sucessão ecológica da floresta, e balanço de carbono em ecossistemas de floresta tropical úmida.
- (2) Obter dados de campo sobre biomassa e produtividade vegetal, carbono, nível de nutriente do solo, e padrão de mudança de uso da terra nas quatro áreas.
- (3) Combinar dados de imagem digital de satélite (Mapeador Temático (TM) LANDSAT) com nossos dados de campo através do emprego da técnica de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para o desenvolvimento, implementação e refinamento dos modelos de ciclagem de carbono e mudança do padrão de uso da terra.
- (4) Estimar as taxas de acúmulo e liberação de carbono nas áreas de florestas oligotróficas e eutróficas da Amazônia Brasileira.
- (5) Obter um melhor entendimento do significado do desmatamento e sucessão ecológica da floresta da Amazônia no ciclo global de carbono, incluindo o papel de diferentes tipos de intervenção humana que podem acelerar ou impedir tais processos.

III - ESTÁGIO ATUAL DA PESQUISA

Abordagem Metodológica: O presente projeto é baseado numa pesquisa anterior realizada entre 1991 e 1993 em duas áreas eutróficas que representam a base para a abordagem que estamos utilizando. Os resultados até o momento têm comprovado o valor metodológico da combinação de dados de sensoriamento remoto com dados de campo para monitorar taxas de crescimento secundário, além da capacidade de desenvolver assinaturas espectrais para diferentes estágios de crescimento secundário (Moran 1993; Moran et al. 1994; Mausel et al. 1993; Brondizio et al. 1994).

O principal objetivo para o primeiro ano de pesquisa foi desenvolver uma classificação preliminar dos tipos de vegetação e tipos de aberturas, usando classificação não-supervisionada de imagem digital TM LANDSAT. Um segundo objetivo foi acompanhar áreas abertas através do tempo para que a taxa de sucessão pudesse ser estabelecida sob diferentes solos, padrões de uso da terra, duração de tempo em que a área aberta foi mantida para o uso agrícola/pecuária, período de tempo antes de atingir diferentes limites de recuperação de biomassa. Finalmente, um terceiro objetivo foi checar a classificação não-supervisionada da vegetação diretamente no campo. Tais estudos de campo foram desenvolvidos por um dos coordenadores da pesquisa (Moran) e por um estudante de doutorado brasileiro que trabalhou como assistente de pesquisa na área de estudo, utilizando um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) e realizando observações sobre a vegetação em áreas representadas por diferentes categorias na classificação desenvolvida. Os três objetivos indicados acima para o primeiro ano foram atingidos até 30/06/92.

Uma tarefa inicial foi identificar e avaliar o máximo de características vegetais possíveis no campo. Três imagens de TM LANDSAT foram obtidas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no Brasil, de 1985, 1987 e 1988. Cada banda foi agrupada para formar um arquivo de seis bandas para cada data (a banda termal foi excluída da análise). As três imagens foram registradas entre si numa imagem base. Para desenvolver a sensibilidade para os padrões espectrais desta região, quatro subcenas foram selecionadas (500 x 500 pixels, aproximadamente) para um exame e análise estatística mais detalhados. Tais subcenas incluíram: uma área dominada por desenvolvimento agrícola; uma área onde havia sido parcialmente abandonada após

ter sido utilizada para agricultura; uma área onde a fronteira agrícola cessou abruptamente, possivelmente devido a alguma limitação física; e uma área supostamente livre de qualquer atividade humana. Estas subcenas foram utilizadas para o desenvolvimento de classificação não-supervisionada (análise de agrupamento) e interpretação de imagem multiespectral.

Durante o segundo ano da pesquisa, os seguintes procedimentos foram implantados para atingir os objetivos do projeto: 1) desenvolvimento de produtos multitemporais de imagens TM, 2) expandir o horizonte temporal, incorporando informação de mais uma imagem TM de 1992 coincidente com o período de trabalho de campo e 3) incorporar dados de campo e GPS (Sistema de Posicionamento Global) em uma classificação supervisionada e não-supervisionada mais compreensiva e integrada. Estes três elementos tem amplamente expandido a abrangência e precisão das informações obtidas para desenvolver assinaturas acuradas para cada classe.

Dados de campo detalhados, quando combinados com as várias classificações espectrais, reduziram os padrões ambíguos espectrais encontrados. Entre maio e julho de 1992 foram realizadas coletas de amostra de solo, transectos para inventários florestais, bem como entrevistas com proprietários de terra para entender os padrões de mudança de uso de terra. Foram estudados um total de 22 quadrats de 1 hectare, representando diferentes tipos de uso de terra e condições de fertilidade. Para cada quadrat foram tomadas amostras de solo de 1 metro de profundidade. Todas as plantas vasculares presentes na área amostrada foram identificadas até o nível de espécie e medidas (se maior do que 10 cm DAP ou 2 m de altura). A história de cada área foi obtida através das pessoas que ocupam a propriedade.

A classificação supervisionada e assinaturas espectrais desenvolvidas têm sido extrapoladas para a imagem TM inteira, a fim de desenvolver uma melhor estatística numa escala regional, para que os processos de padrão de mudança de uso da terra sejam entendidos numa escala mais realista. As assinaturas obtidas diferenciaram nove classes de ambientes com sucesso. Estes resultados foram apresentados em 1992 na reunião anual da Sociedade Ecológica da América. Este trabalho, submetido para a revista científica Bioscience, foi publicado em 1994. Outros trabalhos foram apresentados na reunião anual da Associação

RL97 - Acervo
-A-15A

Antropológica Americana (AAA) em dezembro de 1992, na reunião anual da Associação dos Geógrafos da América (AGA), em abril de 1993, na VII Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto, em Curitiba em maio de 1993, no Congresso Internacional de Ecologia Humana, no México em julho de 1993 e na reunião anual da Associação Antropológica Americana (AAA), em novembro de 1993. Os trabalhos de cada um destes encontros científicos têm sido revisados e submetidos para publicação. O trabalho da reunião da AGA foi aceito pela Geocarto International e publicado em 1993; o trabalho da sessão de 1992 da AAA foi submetido para Human Ecology e publicado em 1994; os três trabalhos apresentados no VII Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto foram publicados nos Anais do Congresso. O trabalho apresentado no México será publicado nos Anais do Congresso.

Desenvolvimento da Pesquisa Atual (01/07/93 a 30/06/94):

O trabalho está progredindo dentro do cronograma proposto. Nos primeiros cinco meses, desde início deste financiamento, em Julho de 1993, os dados adicionais de campo coletados durante o verão de 1993 em duas áreas eutróficas foram integrados com os dados de campo coletados em 1992 e com a análise espectral de dados digitais TM LANDSAT. Além disso, foi organizado um banco de dados que inclui os 26 quadrats de 1 hectare de diferentes estágios sucessionais, 130 amostras de solo associadas com tais quadrats coletados em 1993, bem como os questionários envolvendo informações sobre o histórico de uso da terra destes quadrats.

Foram identificadas e adquiridas duas imagens ("trajeto/linha" 223/61) de 27/07/84, e 13/06/91, os quais estavam entre as poucas imagens que apresentavam um valor menor do que 30% de cobertura de nuvem nas áreas de estudo. Além disso, foram obtidos mapas de escala 1:100.000 e realizada o georreferenciamento das imagens de satélite em base cartográfica UTM.

Embora o projeto tenha previsto a análise comparativa entre áreas eutróficas e oligotróficas principalmente durante os segundo e terceiro anos do estudo, os dados da área eutrófica foram organizados durante os primeiros 5 meses do primeiro ano para o desenvolvimento preliminar da modelagem de carbono durante os 7 meses restantes deste primeiro ano. Este teste preliminar permitirá examinar a adequação dos dados coletados nas áreas

eutróficas para a modelagem de carbono e auxiliará na identificação de lacunas tanto nos dados como na literatura existente. Isto nos permitira estruturar o trabalho de campo planejado para o final deste ano do projeto de forma a preencher tais lacunas. O modelo utilizado é baseado em uma modificação do submodelo de ecossistema florestal derivado do modelo CENTURY (Riebsame, Parton et al. no prelo).

O modelo CENTURY (Parton et al. 1987) é diferenciado por suas considerações compreensivas de mudança nos nutrientes do solo, incluindo nível de carbono, de nitrogênio, de fósforo e de enxofre. Como um modelo geral para ecossistema florestal, o modelo CENTURY tem sido usado para representar a dinâmica de carbono e nutrientes para diferentes ecossistemas, principalmente em pastagens e florestas. Este modelo está sendo adaptado e modificado usando dados específicos das áreas eutróficas durante este ano.

Uma classificação não-supervisionada das áreas oligotróficas foi realizada entre janeiro e maio de 1994. As duas imagens de TM LANDSAT de 1984, e 1991 adquiridas serão organizadas da seguinte forma. Cada banda será registrada entre si para formar o arquivo de seis bandas para cada data (a banda termal será excluída da análise). Posteriormente, as duas imagens serão registradas entre si para uma imagem base. Para desenvolver a sensibilidade aos padrões espectrais desta região, serão selecionadas subcenas (de aproximadamente 500 por 500 pixels) para um exame mais detalhado e análise estatística. Tais subcenas serão sujeitas a uma classificação não-supervisionada e a interpretação da imagem multispectral.

Durante maio e junho de 1994 a equipe de pesquisa obteve informações na região Bragantina do Estado do Pará em área de areias quartzosas, informações sobre o uso da terra, as capoeiras existentes, e os solos associados com tais tipos de vegetação. As taxas de crescimento obtidas foram impressionante mesmo em áreas impactadas por mais de 50 anos de ocupação agrícola.

Durante junho e julho de 1995 será realizada a segunda fase de trabalho de campo nas áreas oligotróficas. Em 1995, quatro estudantes brasileiros a nível de doutorado viajarão para o Brasil, para a região do Alto Rio Negro. Especificamente visitarão as vizinhanças de Ipanoré e Iauareté, áreas marcadas

pela presença de grandes extensões de areia branca ou areias podzólicas de características oligotróficas.

Os seguintes dados serão coletados nas áreas oligotróficas:

(1) *Inventário da vegetação*: será realizado um inventário de espécies presentes para estimar a biomassa. Os métodos para esta análise seguirão os procedimentos básicos (e.g. Bonham 1989) com modificações sugeridas por ecólogos tropicais (Dantas 1988). O objetivo não é fazer uma descrição florística detalhada, mas fazer o necessário para obter medidas de densidade, frequência e dominância da vegetação para caracterizar a sucessão, bem como chegar a estimativas razoavelmente precisas de biomassa. Estimativas da biomassa de floresta serão feitas usando técnicas alométricas e outras regressões (Bonham 1989; Jordan 1989; Jordan & Uhl 1978).

(2) *Amostras de solos*: o objetivo é estabelecer o nível de nutrientes presente em cada área, não realizar um estudo completo de ciclagem de nutrientes tal como realizado por Jordan (1982, 1985, 1987, 1989). Serão coletadas em cada área amostras de perfil do solo de 1 metro de profundidade. As amostras de solo serão analisadas na EMBRAPA, em Belém, onde existe um laboratório de solo bem reconhecido.

(3) *Uso da Terra*: em cada área amostrada, os pesquisadores realizarão entrevistas enfocando as formas de uso da terra após o desmatamento, tais como intensidade e tempo de cultivo.

IV. MÉTODOS

Cronograma e Procedimento para o terceiro ano:

Análises de imagens de satélite, análises químicas e desenvolvimento do modelo: Durante este período serão efetuadas análises químicas dos dados coletados no ano de 1994 para desenvolver o modelo, incorporando refinamento nas técnicas e novas amostras de dados do segundo período de coleta. Os estudos de campo de 1994 e 1995 permitirão o delineamento acurado de classes de interesse, estimativas da área basal, biomassa, conteúdo de carbono e fluxo de carbono na área de estudo. O estudo de campo nos permitirá desenvolver a classificação da imagem digital completa, integrando as imagens de diferentes datas da área de Bragantina e do Alto Rio Negro, bem como a estatística da mudança na cobertura da área durante a década de 1984-1994. O produto final será um modelo refinado do fluxo de

Acervo
ISA

carbono para a Amazônia levando em consideração o histórico do uso da terra, gradiente de fertilidade e tamanho das áreas em sucessão secundária.

Área de Estudo

Os solos oligotróficos estão distribuídos em forma de manchas por toda a Bacia, incluindo uma grande área na Amazônia, aproximadamente de 10 a 12% da área da Bacia. As áreas oligotróficas e eutróficas juntas somam um quarto da Amazônia. Dois locais da Amazônia serão estudados neste projeto de três anos. Um dos dois sítios está localizado na Zona Bragantina onde o impacto do desmatamento causado pela atividade agrícola tem sido sentido de forma mais severa (e.g. Igarapé-açu). A outra área está localizada numa região do Alto Rio Negro, onde o impacto da ocupação humana tem sido menos severo, seguindo até hoje padrões tradicionais de corte-e-queima em pequenas roças de subsistência dominadas pela mandioca. Nos dois sítios selecionados são encontrados tanto áreas desmatadas como áreas em processo de sucessão secundária, sobre as quais pode ser obtido o histórico do uso da terra.

Em cada local de estudo será amostrado no mínimo 5 tipos de vegetação: pastagem, capoeira jovem, capoeira intermediária, capoeira madura e floresta primária. Na áreas eutróficas nós conseguimos estabelecer a idade da vegetação secundária: capoeira jovem representa as áreas de 1 a 5 anos de abandono, capoeira intermediária representa de 6-10 anos de abandono, e capoeira madura representa as áreas de 11-15 anos de abandono. Nós observamos que depois de 15 anos, a vegetação secundária nas áreas eutróficas estava com aproximadamente 90% da biomassa da floresta primária vizinha, e o dossel apresentava uma estrutura tão complexa quanto as florestas primárias próximas destas áreas. Nós esperamos que o tempo de cada estágio sucessional nas áreas oligotróficas seja maior do que nas áreas eutróficas.

Análises de Laboratório

Os colaboradores brasileiros analisarão o pH, análise de textura e capacidade de troca catiônica (CEC) para todas as amostras de solo. As amostras de solo serão analisadas no Brasil no laboratório de solos da EMBRAPA, onde se utiliza o padrão internacional para os solos tropicais.

Análise de Sensoriamento Remoto

O uso de imagens digitais de satélite tem tornado-se uma ferramenta indispensável em manejo de recursos e avaliações ambientais (Lillesand & Kiefer 1979; Lindgren 1985; Estes & Cosention 1988; Aber & Melillo 1991). A viabilidade do uso desta técnica para mapear e manejar recursos florestais tropicais tem sido demonstrado em vários estudos (p.ex. Baltaxe 1980; Grainger 1983; Green 1983; Danjoy 1984; Eden & Parry 1986; Green & Sussman 1990). Sensoriamento Remoto é particularmente viável para pesquisas em áreas inacessíveis da Bacia Amazônica, onde a descrição da vegetação e do solo são urgentes e difíceis de serem realizados somente através de estudos de campo. Malingreau & Tucker (1988) recomendaram análises de satélites mais detalhadas para melhor quantificar "pastagens degradadas" (p.ex., sucessão) que não tem recebido a mesma atenção que a transformação de floresta-pastagem. Estudos recentes têm demonstrado a utilidade da análise de imagens de satélite para inventariar recursos florestais, determinar padrão de assentamento humano, monitorar taxas de desmatamento e taxas de sucessão (para revisão ver Conant 1990; Aber & Melillo 1991; Moran et al. 1992; Skole & Tucker 1993). Tucker et al. (1986) e Stone & Woodwell (1988) têm notado que o contraste entre floresta primária e secundária é pequeno, e que a diferença na reflectância tem sido difícil de reconhecer usando tanto os dados do AVHRR (NOAA) quanto de MSS LANDSAT.

O monitoramento do desmatamento e da mudança sucessional serão realizados usando dados multi-temporal Landsat TM. Os dados do Landsat TM para os locais de coleta na região eutrófica foram adquiridos com o suporte financeiro da NSF. Para os dois locais de estudo na área eutrófica foram obtidas imagens TM de 1985, 1987, 1988, e 1991 com a mínima cobertura de nuvens. As imagens TM para as áreas oligotróficas foram recentemente obtidas para 1984, 1988 e 1991. Será obtido também a imagem de 1994, período que coincide com o trabalho de campo. Considerando a grande quantidade de dados a serem analisados, técnicas de redução de dados serão utilizadas. PCA (Análise de Componentes Principais) será aplicado nas imagens TM de cada data para reduzir o volume de dados. Tem-se conhecimento de que dados multispectrais de Landsat TM apresentam uma estrutura primeiramente tri-dimensional (Cris & Cicone 1984). Os dados das 7 bandas TM serão reduzidos em 3 componentes principais. A técnica de detecção de mudança será

usada para identificar inicialmente as áreas de desmatamento entres as duas imagens de cada período de um ano. Assim, em cada área desmatada, a sucessão secundária será continuamente monitorada através das imagens consecutivas. Uma transformação em NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) será empregada em cada imagem para monitorar as taxas de regeneração da vegetação tropical. O NDVI tem sido um bom indicador espectral das condições da vegetação p.ex. biomassa, produtividade primária líquida, porcentagem da cobertura vegetal, etc., em muitos estudos (Goward et al. 1987, Tucker et al. 1985). Uma classificação não-supervisionada também será usada para gerar dados preliminares do uso e da cobertura da área para cada local de estudo antes do trabalho de campo. As informações geradas sobre a vegetação e o uso da terra serão estocadas e integradas com outras informações de cada local de estudo em um sistema de informação geográfica (SGI). Os mesmos dados serão posteriormente usados na modelagem do balanço de carbono que é o principal objetivo deste estudo. Uma versão modificada do sub-modelo floresta do modelo CENTURY está sendo testada para ser usado nos dados destes dois anos de estudo.

Modelagem e Sistema de Informação Geografica (SIG)

As informações obtidas nas várias partes deste estudo serão integradas num modelo de compartimento de balanço de carbono que apresenta georreferência dos locais de estudo e a distribuição regional dos tipos de vegetação usando um sistema geográfico de informações. Vários mapas temáticos (layers) serão criados no SIG. Estes dados serão obtidos, ou gerados, das coletas de campo, das análises de imagens de satélites e de vários mapas temáticos. Cada conjunto de dados será digitalizado em ARC/INFO, que será o programa padrão para SIG neste projeto. Dados de solo e da topografia serão integrados aos de vegetação e aos outros coletados em campo dentro do SIG. Em função da capacidade analítica do SIG, novas informações serão geradas, como por exemplo a determinação da proximidade das vias de transporte.

Um modelo do balanço de carbono será desenvolvido baseado nas relações entre algumas variáveis tais como as taxas de acúmulo e perda de carbono, taxas de mudança do uso da terra e da sucessão ecológica, climáticas, dados abióticos e sócio-econômicos modificados dos resultados obtidos pelo modelo CENTURY (Riebsame et al. no prelo). O modelo Century é um dos mais

compreensíveis e viáveis para modelagem das relação solo-planta em florestas e pastagens (Parton et al. 1987). Este modelo será modificado e refinado, usando os dados das nossas quatro áreas específicas de estudo. O sub-modelo de mudança do uso da terra será acrescentado ao CENTURY para simular mudanças no estoque de carbono em resposta ao desmatamento e posterior recobertura. Testes de validação no modelo de balanço de carbono para as áreas de estudo serão conduzidos com os dados dos locais de estudo não previamente usados para adaptar e modificar o modelo. Os dados ambientais no SIG serão classificados em várias classes, indicando as condições da vegetação. O modelo que será desenvolvido ampliará o entendimento dos efeitos diretos das mudanças ecológicas sobre os ciclos biogeoquímicos. O modelo baseado em taxas de mudanças estabelecidas e em tendências permitirá um melhor entendimento do significado do desmatamento e da sucessão da Amazônia no ciclo global de carbono, além de permitir predições sobre as futuras condições da ciclagem do carbono relacionadas ao desmatamento na Bacia.

V. IMPORTÂNCIA

Existem muitos fatores importantes associados as consequências globais do dematamento na Amazônia. Este estudo propõe enfocar um conjunto destes fatores: as taxas em que o carbono é acumulado durante a sucessão ecológica para entender que taxa de desmatamento poderia ser consistentemente compensada pelas taxas naturais de sucessão florestal e reflorestamento manejado na Amazônia. Isto proporcionaria um melhor entendimento dos processos através dos quais a conservação e recuperação do ecossistema pode ser manipulada e as limitações do esforço de recuperação que pode ser empreendido. Manejo florestal, reflorestamento e manejo de capoeira têm um papel potencialmente importante em reduzir o de dióxido de carbono atmosférico. Cessar totalmente o desmatamento seria a maior contribuição para estabilizar a atmosfera num curto período de tempo; entretanto, isto seria impraticável e insensível, em função da demanda de terra em países tropicas, devido o crescimento populacional. Para obter estabilidade semelhante na concentração de dióxido de carbono na atmosfera, seria necessário diminuir as taxas anuais de queimadas, mas estas taxas são ainda desconhecidas. Determinar estas taxas seria muito útil para ajudar no manejo de áreas de florestas em sucessão que acumulam carbono e de outras áreas que

estão sendo abertas.

Uma estratégia que combine a redução das taxas de desmatamento (metade das atuais taxas) com políticas de manejo de capoeiras e recuperação de áreas abandonadas poderia diminuir a velocidade do acúmulo de carbono e conseguir um tempo considerável para implementar tecnologias para reduzir as emissões e encontrar alternativas de combustíveis. As florestas não proporcionam uma solução permanente na captura de gás carbônico porque a biomassa vegetal não pode aumentar indefinidamente. O empreendimento do equilíbrio em grandes países como o Brasil, junto com políticas de reflorestamento e controle das emissões industriais, pode ser uma longa jornada que venha garantir a sustentabilidade dos seres vivos deste planeta.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Aber, J.D. and J.M. Melillo. 1991. *Terrestrial Ecosystems*. Saunders Publishing. Philadelphia.
- Allen, S.E. 1989. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Second ed. Blackwell. London.
- Andreae, M.O. and D.S. Schimel (eds.) 1989. *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. Wiley-Interscience. New York.
- Baltaxe, R. 1980. *The Application of Landsat Data to Tropical Forest Surveys*. FAO, Rome.
- Bazzaz, F.A. and W.E. Williams. 1990. The response of natural ecosystems to the rising global CO₂ levels. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21:167-196.
- Bazzaz, F.A. 1991. Atmospheric CO₂ concentrations within a mixed forest: implications for seedling growth. *Ecology* 72:12-16.
- Bolin, B. (ed.) 1981. *Carbon Cycle Modelling*. SCOPE Publication No. 16. Wiley. New York.

- RE 97 - Acervo
ISA
- Bonham, C.D. 1989. *Measurements for Terrestrial Vegetation*. Wiley. New York.
- Booth, W. 1989. Monitoring the fate of forests from space. *Science* 243: 1428-1429.
- Browder, J. 1988. Public policy and deforestation in the Brazilian Amazon. In *Public Policies and the Misuse of Forest Resources*. R. Repetto and M. Gillis (eds.). World Resources Institute, Washington, D.C.
- Brown, S. and A.E. Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 19:161-187.
- Brown, S. and A.E. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223:1290-1293.
- Bushbacher, R., C. Uhl and E.A.S. Serrão. 1986. Tropical deforestation and pasture development. *Bioscience* 26:22-28.
- Bushbacher, R. C. Uhl and E.A.S. Serrão. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia: II. Nutrient stocks in the soil and vegetation. *Journal of Ecology* 76:682-699.
- Committee on Earth and Environmental Sciences. 1990. *Our Changing Planet: The FY 1991 Research Plan for U.S. Global Change Research Programs*. Office of Science and Technology Policy. Office of the President. Washington, D.C.
- Conant, F.P. 1990. 1990 and beyond: satellite remote sensing and ecological anthropology. *The Ecosystem Approach in Anthropology: From Concept to Practice*. E. F. Moran (ed.). University of Michigan Press. Ann Arbor.
- Crist, Eric P., and Richard C. Cicone. 1984. Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 50(3):343-352.
- Crutzen, P.J. and M.O. Andrae: 1990. Biomass burning in the tropics: impacts on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* 250:1669-1678.

- 2007 Acervo
ISA
- Dale, V.H., R.A. Houghton and C.A.S. Hall. 1991. Estimating the effects of land-use change on global atmospheric CO₂ concentrations. *Canadian Journal of Forestry Research* 21:87-90.
- Danjoy, W.A. 1984. Use of remote sensing for monitoring and control of deforestation in the high jungle of Peru. *Proceedings of the 18th International Symposium on Remote Sensing of the Environment*. Environmental Research Institute of Michigan. Ann Arbor.
- Dantas, M. 1988. *Studies on Succession in Cleared Areas of Amazonian Rain Forest*. Ph.D. thesis, Oxford University.
- Denevan, W. and C. Padoch (eds.) 1988. *Swidden Fallow Agroforestry in Amazonia*. Monographs in Economic Botany. New York Botanical Garden. New York.
- Detwiler, R.P. and C.A.S. Hall. 1988. Tropical forests and the global carbon cycle. *Science* 239:42-47.
- Dickinson, R.E. (ed.) 1987. *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*. Wiley. New York.
- Eden, M.J. and J.T. Parry (eds.) 1986. *Remote Sensing and Tropical Land Management*. Wiley. New York.
- Emanuel, W.R., G.R. Killough, W.M. Post and H.H. Shugart, 1984. Modeling terrestrial ecosystems in the global carbon cycle with shifts in carbon storage capacity by land-use change. *Ecology* 65:970-983.
- Estes, J. and M.J. Cosention 1988. Remote sensing of vegetation. Pp.75-111 in *Global Ecology: Towards a Science of the Biosphere*. M.B. Ramble, L. Margulis, and R. Fester (eds.) Academic Press. New York.
- Fahnenstock, G.R. 1979. Carbon input to the atmosphere from forest fires. *Science* 204: 209-210.
- Falesi, I.C. 1972. *Os Solos da Rodovia Transamazonica*. Belem: IPEAN.

- Fearnside, P.M. 1983. Land-use trends in the Brazilian Amazon region as factors in accelerating deforestation. *Environmental Conservation* 19:141-148.
- Fearnside, P.M. 1985. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. *Interiencia* 10: 179-186.
- Fearnside, P.M. 1987. Causes of deforestation in the Brazilian Amazon. Pp. 37-57 in *The Geophysiology of Amazonia*. R.E. Dickinson (ed.). Wiley. New York.
- Fearnside, P.M. 1989. A prescription for slowing deforestation in Amazonia. *Environment* 31: 17-20, 39-40.
- Gibbs, R.J. 1972. Water chemistry of the Amazon River. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 36:1061-1066.
- Goldemberg, J. 1989. Introduction. *Amazonia: Facts, Problems and Solutions*. Fundacao da Universitie de Sao Paulo and INPE. Sao Paulo.
- Goward, Samuel N., Dennis Dye, Arlene Kerber, and Virginia Kalb. 1987. Comparison of North and South American Biomes from AVHRR Observations, *Geocarto International* (1):27-39.
- Graham, R.L., M.G. Turner and V.H. Dale. 1990. Increasing atmospheric CO₂ and climate change: effect on forests. *BioScience* 40:575-587.
- Grainger, A. 1983. Improving the monitoring of deforestation in the humid tropics. Pp. 387-395 in *Tropical Rain Forests: Ecology and Management*. S. Sutton, T.C. Whitmore, and A. Chadwick (eds.) Blackwell. Oxford.
- Green, K.M. 1983. Using Landsat to monitor tropical forest ecosystems: realistic expectations of digital processing technology. Pp. 397-409 in *Tropical Rain Forests: Ecology and Management*. S. Sutton, T.C. Whitmore, and A. Chadwick (eds.) Blackwell. Oxford.
- Green, S.M. and R. Sussman 1990. Deforestation history of the eastern rain forests of Madagascar from satellite images. *Science* 248: 212-215.

- Hall, C.A.S. and J. Uhlig. 1991. Refining estimates of carbon released from tropical land-use change. *Canadian Journal of Forest Research* 21:118-131.
- Hall, F.G., D.B. Botkin, D.E. Strebel, K.D. Woods and S.J. Goetz. 1991. Large-scale patterns of forest succession as determined by remote sensing. *Ecology* 72:628-640.
- Hames, R. and W. Vickers (eds.) 1983. *Adaptive Responses of Native Amazonians*. Academic Press. New York.
- Harmon, M.E., W.K. Ferrall and J.F. Franklin. 1990. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. *Science* 247:699-702.
- Hecht, S. 1983. Cattle raising in the eastern Amazon: environmental and soil implications. Pp. 155-188 in *The Dilemma of Amazonian Development*. E. Moran (ed.) Westview Press. Boulder.
- Hecht, S. et al. 1988. The economics of cattle ranching in eastern Amazonia. *Interciencia* 13:233-240.
- Helfert, M.R. and K.P. Julla. 1990. Mapping continental-scale biomass burning and smoke palls over the Amazon Basin as observed from the space shuttle. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56:1367-1373.
- Hoffer, R., M. Lozano-Garcia, D.F. Gillespie, P.W. Mueller and M. Ruzek 1986. Analysis of multiple incidence Angle SIR-B data for determining forest stand characteristics. Pp. 159-164 in *Second Spaceborne Imaging Radar Symposium*. Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, CA.
- Houghton, R.A., J.E. Hobbie, J.M. Melillo, B. Moore, B.J. Peterson, G.R. Shaver and G.M. Woodwell. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecological Monographs* 53:235-262.

- Houghton, R.A., R.D. Boone, J.M. Melillo, C.A. Palm, G.M. Woodwell, N. Myers, B. Moore and D.L. Skole. 1985. Net flux of CO₂ from tropical forests in 1980. *Nature* 316:617-620.
- Houghton, R.A., R.D. Boone, J.R. Fruci, J.E. Hobbie, J.M. Melillo, C.A. Palm, B.J. Peterson, G.R. Shaver, G.M. Woodwell, B. Boore, D.L. Skole and N. Myers. 1987. The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux. *Tellus* 39B:122-139.
- Houghton, R.A. 1991. Releases of carbon to the atmosphere from degradation of forests in tropical Asia. *Canadian Journal of Forest Research* 21:132-142.
- Janzen, D.H. 1988. CO₂ reduction and reforestation. *Science* 242:1493.
- Jarvis, P.G. 1989. Atmospheric carbon dioxide and forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* B324:369-392.
- Jordan, C.F. and R. Herrera. 1981. Tropical rain forests: are nutrients really critical? *American Naturalist* 117:167-180.
- Jordan, C.F. and C. Uhl. 1978. Biomass of a "terra firme" forest of the Amazon Basin. *Oecologia Plantarum* 13:387-400.
- Jordan, C.F. 1982. The nutrient balance of an Amazonian rain forest. *Ecology* 63:647-654.
- Jordan, C.F. 1985. *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems*. Wiley. New York.
- Jordan, C.F. (ed.). 1987. *Amazonian Rain Forests*. Springer-Verlag. New York.
- Jordan, C.F. (ed.). 1989. *An Amazonian Rain Forest*. UNESCO Man and the Biosphere Series Vol. 2. Parthenon Publishing. Casterton Hall, England.

- RL77 - Acervo
ISA
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1979. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley. New York.
- Lindgren, D.T. 1985. *Land Use Planning and Remote Sensing*. Nijhoff. Dordrecht.
- Mahar, D. 1988. *Government Policies and Deforestation in Brazil's Amazon Region*. World Bank. Washington, D.C.
- Malingreau, J. and C.J. Tucker. 1988. Large scale deforestation in the southeastern Amazon basin of Brazil. *Ambio* 17:49-55.
- Markham, B.L., and J.L. Barker. 1986. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and satellite temperatures, *EOSAT Technical Notes*, 1:3-8.
- Mausel, P. et al. in press. Spectral Identification of Successional Stages following Deforestation in the Amazon. Geocarto International, in press.
- Moore, B., R.D. Boone, J.E. Hobbie, R.A. Houghton, J.M. Mellillo, B.J. Peterson, G.R. Shaver, C.J. Vorosmarty and G.M. Woodwell. 1981. A simple model for analysis of the role of terrestrial ecosystems in the global carbon budget. In *Carbon Cycle Modeling*. B. Bolin (ed.) SCOPE 16. Wiley. New York.
- Moran, E.F. 1976. *Agricultural Development Along the Transamazon Highway*. Center for Latin American Studies Monograph Series. Indiana University, Bloomington.
- Moran, E.F. 1979. *Human Adaptability: An Introduction to Ecological Anthropology*. Duxbury Press.
- Moran, E.F. 1981. *Developing the Amazon*. Indiana University Press. Bloomington.
- Moran, E.F. 1982. Ecological, anthropological and agronomic research in the Amazon basin. *Latin American Research Review*. 17:3-40.

- Moran, E.F. 1987. Socio-economic considerations in acid tropical soils research. In *Management of Acid Tropical Soils for Sustainable Agriculture*. P. Sanchez, E. Pushparajah and E. Stoner (eds.). International Board for Soil Research and Management. Bangkok.
- Moran, E.F. 1989. Models of native and folk adaptation in the Amazon. *Advances in Economic Botany* 7:22-29.
- Moran, E.F. 1990a. *A Ecologia Humana das Populacoes da Amazonia*. Editora Vozes. Petropolis, Brazil.
- Moran, E.F. 1990b. *The Ecosystem Approach in Anthropology: From Concept to Practice*. University of Michigan Press. Ann Arbor.
- Moran, E.F. 1991. Human adaptive strategies in Amazonian blackwater ecosystems. *American Anthropologist* 93:361-382.
- Moran, E.F. et al. 1992. Amazonian Deforestation and Land Use Change. *Bioscience*, in press.
- Moran, E.F. 1993. Deforestation and Land Use in the Brazilian Amazon. *Human Ecology* 21: 1-21.
- Myers, B.J. and M.L. Benson. 1981. Rainforest species on large-scale color photos. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 47:505-513.
- Myers, W.L. and R.L. Shelton. 1980. *Survey Methods for Ecosystem Management*. Wiley. New York.
- Nelson, R. and B. Holben. 1986. Identifying deforestation in Brazil using multi-resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 7:429-448.
- Pastor, J. and M.W. Post. 1986. Influence of climate, soil moisture and incision on forest carbon and nitrogen cycles. *Biogeochemistry* 2:3-27.

- Pires, J.M. and G.T. Prance. 1985. The vegetation types of the Brazilian Amazon. Pp. 109-145 in *Key Environments: Amazonia*. G.T. Prance and T.E. Lovejoy (eds.) Pergamon Press. Oxford.
- Prance, G.T. and T.E. Lovejoy (eds.) 1985. *Key Environments: Amazonia*. Pergamon Press. Oxford.
- Randolph, J.C. and F.M. Rau. 1977. An automatic gas analysis system for continuous monitoring of oxygen and carbon dioxide exchanges in terrestrial ecosystems. Oak Ridge National Laboratory Technical Report TM-5004. 118 pp.
- Randolph, J.C., G.N. Cameron, and J.A. Wrazen. 1991. Dietary choice of a generalist grassland herbivore (*Sigmodon hispidus*). *Journal of Mammalogy* 72:145-176.
- Riebsame, W.E., W. Parton, K. Galvin, I. Burke, L. Bohren, R. Young and E. Kknop. 1992. Integrated Modeling of Land Use and Land Cover Change in the Great Plains. Paper presented at 1992 meeting of Ecological Society of America. *BioScience*, in press.
- Richey, J.E., R.H. Meade, E. Salati, A. Devol, C.F. Nordin, Jr. and U. dos Santos. 1986. Water discharge and suspended sediments in the Amazon River. *Water Resources Research* 22:756-764.
- Running, S.W. 1990. Estimating terrestrial primary productivity by combining remote sensing and ecosystem simulation. Pp. 65-86 in *Remote Sensing of Biosphere Functioning*. R.J. Hobbs and H.A. Mooney (eds.) Springer-Verlag. New York.
- Sader, S.A., T.A. Stone, and A.T. Joyce. 1990. Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using non-photographic sensors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56:1343-1351.
- Sader, S.A et al. 1989. Tropical Forest biomass and Successional Age Class relationships to a vegetation index derived from Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment* 28:143-156.

- Salati, E. 1985. The climatology and hydrology of Amazonia. Pp. 18-48 in *Key Environments: Amazonia*. G. Prance and T. Lovejoy (eds.). Pergamon Press. London.
- Salati, E. and P.B. Vose. 1984. Amazon basin: a system in equilibrium. *Science* 225:129-138.
- Sanchez, P. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Wiley-Intersciencia. New York.
- Schlesinger, W.H. 1991. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Academic Press. New York.
- Seiler, W. and P.J. Crutzen. 1980. Estimates of the gross and net flux of carbon between the biosphere and atmosphere from biomass burning. *Climatic Change* 2:207-274.
- Setzer, A.W. and M.C. Pereira. 1991. Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. *Ambio* 20:19-22.
- Shukla, J., C. Nobre and P. Sellers. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science* 247:1322-1325.
- Silver, C.S. 1990. *One Earth, One Future: Our Changing Global Environment*. National Academy of Sciences. National Academy Press. Washington, D.C.
- Skole, D. and C J Tucker. 1993. Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988. *Science* 260: 1905-1910.
- Tucker, C.J., J.R.G. Townshend, T.G. Goff and B.N. Holben. 1986. Continental and global scale remote sensing of land cover. Pp. 221-241 in *The Changing Carbon Cycle: A Global Analysis*. J.R. Trabalka and D.E. Reichle (eds.). Springer-Verlag. New York.
- Uhl, C., H. Clark, K. Clark and P. Maquirino. 1982. Successional patterns associated with slash-and-burn agriculture in the upper Rio Negro region of the Amazon basin. *Biotropica* 14:249-254.

- Uhl, C. and C.F. Jordan. 1984. Succession and nutrient dynamics following forest cutting and burning. *Ecology* 65:1476-1490.
- Uhl, C. and R. Bushbacher. 1985. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the eastern Amazon. *Biotropica* 17:265-268.
- Uhl, C. 1987. Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. *Journal of Ecology* 75:377-407.
- Uhl, C., R. Bushbacher and E.A.S. Serrão. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology* 75:663-681.
- Uhl, C. 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.
- Vanclay, J.K. and R.A. Preston. 1990. Utility of Landsat Thematic Mapper for mapping site productivity in tropical moist forests. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56:1383-1388.
- Vitousek, P.M. 1991. Can planted forests counteract increasing atmospheric carbon dioxide? *Journal of Environmental Quality* 20:348-354.
- Whittaker, R.H. and G.E. Likens. 1975. The biosphere and man. Pp. 305-328 in *Primary Productivity of the Biosphere*. H. Leith and R.H. Whittaker (eds.) Springer-Verlag. Berlin.
- Whittaker, R.H. and P.L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. Pp. 55-118 in *Primary Productivity of the Biosphere*. H. Leith and R.H. Whittaker (eds.) Springer-Verlag. Berlin.
- Wilson, E.O. (ed.). 1988. *Biodiversity*. National Academy Press. Washington, D.C.

Wofsy, S.C., R.C. Harriss and W.R. Kaplan. 1988. Carbon dioxide in the atmosphere over the Amazon Basin. *Journal of Geophysical Research* 93:1377-1387.

Woodwell, G.M., R.H. Whittaker, W.A. Reiners, G.E. Likens, C.C. Delwiche and D.B. Botkin. 1978. The biota and the world carbon budget. *Science* 222:1081-1086.

Woodwell, G.M., R.A. Houghton, J.E. Hobbie, J.M. Melillo, B. Moore, B.J. Peterson, and G.R. Schaver. 1983. Global deforestation: contribution to atmospheric CO₂. *Science* 222:1081-1086.

Woodwell, G.M., R.A. Houghton, T.A. Stone and A.B. Park. 1986. Changes in the areas of forests in Rondonia, Amazon Basin, measured by satellite imagery. Pp. 242-257 in *The Changing Carbon Cycle: A Global Analysis*. J.R. Trabalka and D.E. Reichle (eds.) Springer-Verlag. New York.

Woodwell, G.M., R.A. Houghton, T.A. Stone, R.F. Nelson and W. Kovalick. 1987. Deforestation in the tropics: new measurements in the Amazon basin using Landsat and NOAA advanced very high resolution radiometer imagery. *Journal of Geophysical Research* 92:2157-2163.

Woodwell, G.M. 1988. CO₂ reduction and reforestation. *Science* 242:1493.