

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DOS BIOMAS AMAZÔNIA E CERRADO À SECA UTILIZANDO TIPOS FUNCIONAIS DE PLANTAS (TFPs)

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)

Jéssica de Paula Gonçalves Rosa (FATEA, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: jessica.rosa@inpe.br

Dr. Gilvan Sampaio de Oliveira (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: gilvan.sampaio@inpe.br

COLABORADORES

Emily Ane Dionizio da Silva (CCST/INPE)
Suzana Maria Inácio de Carvalho (CCST/INPE)

Julho de 2013

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DOS BIOMAS AMAZÔNIA E CERRADO À SECA UTILIZANDO TIPOS FUNCIONAIS DE PLANTAS (TFPs)

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)

Jéssica de Paula Gonçalves Rosa (FATEA, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: jessica.rosa@inpe.br

Dr. Gilvan Sampaio de Oliveira (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: gilvan.sampaio@inpe.br

COLABORADORES

Emily Ane Dionizio da Silva (CCST/INPE)
Suzana Maria Inácio de Carvalho (CCST/INPE)

Julho de 2013

RESUMO

Modelos de biosfera terrestre são os componentes dos modelos climáticos que simulam a interação entre a biosfera e superfície dos continentes e a atmosfera. O objetivo geral deste trabalho é avaliar a sensibilidade dos biomas Amazônia e Cerrado à seca, através de simulações com a versão pontual do modelo de biosfera terrestre InLand/IBIS, o qual representa um modelo de quarta geração e integra a maioria dos processos superficiais relevantes para o sistema climático, contribuindo com informações sobre como a vegetação tropical utiliza e dimensiona as trocas de carbono em condições de seca no sistema solo-planta-atmosfera.

Foram realizadas simulações na Amazônia, com as condições da torre do sítio experimental k83 (0303'01"S, 5456'W), localizado na Floresta Nacional do Tapajós. Simulações no Cerrado não foram possíveis de serem realizadas nesta etapa, devido à ausência de dados observacionais de entrada para o modelo. As simulações com o modelo InLand foram realizadas de forma que a simulação (1) utilizou a configuração default, ou seja, condição inicial do modelo, a simulação (2) alterando os parâmetros de distribuição de raízes (B2), simulação (3) alterando a capacidade máxima da enzima RuBisCo ($V_{m\acute{a}x}$) e simulação (4) alterando a concentração de CO_2 . Vale ressaltar que as simulações foram realizadas considerando a vegetação dinâmica, no qual o índice de área foliar, altura dos tipos funcionais de plantas e outras características fenológicas da vegetação são determinadas dinamicamente em resposta às forçantes ambientais.

Os resultados demonstram que a taxa do aumento do valor de $V_{m\acute{a}x}$ de $60 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para $120 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, influenciou diretamente os valores de produtividade aumentando a fixação de carbono pelas plantas ao longo de todo período simulado, mesmo em meses de menor precipitação. Assim, é possível concluir que o modelo consegue aplicar um estresse à planta quando alterado o valor de $V_{m\acute{a}x}$, e que este estresse pode ser manipulado através dos valores de $V_{m\acute{a}x}$ utilizado nas simulações. Também foi possível analisar que a produtividade primária bruta (GPP) e produtividade primária líquida (NPP) foram maiores quando se considerou uma atmosfera enriquecida com CO_2 . Desta forma, a representação da troca líquida (NEE) entre a atmosfera e as plantas apresentou-se como um sumidouro de carbono quando considerada $CO_2 = 700\text{ppm}$ e uma fonte de carbono para atmosfera quando considerada $CO_2 = 300\text{ppm}$. Em relação à alteração das raízes, quando considerada uma distribuição mais uniforme da raiz ($B2=0.980$), o estresse hídrico é maior em relação utilização ($B2=0.999$). Isto ocorre, pois quando utilizado $B2=0.999$, a maior parte das raízes está alocada nas camadas mais profundas, as quais justamente possuem maior quantidade de água, e contribuem para a manutenção da produtividade durante o período de menor precipitação. Desta forma, é possível concluir nesta primeira etapa que o parâmetro B2 é um dos parâmetros capazes de melhorar a representação dos fluxos de carbono na Amazônia.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estrutura básica do modelo IBIS com as características dos processos do modelo de ecossistema terrestre.....	03
Figura 2 Tipologia de Florestas (Amazônia).....	05
Figura 3 Degraus da Amazônia, sua cobertura vegetal.....	06
Figura 4 Bacias hidrográficas da Amazônia.....	07
Figura 5 Processo da Fotossíntese.....	10
Figura 6 O ciclo do carbono.....	13
Figura 7 Alguns exemplos de formas que permitem às plantas sobreviverem à seca. a) Árvores de folha caduca que armazenam água nos troncos; b) suculentas que armazenam água no caule; c) suculentas que armazenam água nas folhas; d) árvores e arbustos de folha persistente e raiz principal profunda; e) arbustos de folha caduca frequentemente espinhosos; f) arbustos de caules clorofilinos; g) tufo de ervas com gemas de renovo protegidas pelas bainhas das folhas e sistema radicular extenso; h) plantas de hábito em roseta; i) geófitas com raízes de armazenamento; j) geófitas com bolbos ou tubérculos; k) pluvioterófitas (plantas anuais); l) plantas tolerantes à dessecação do tipo poiquilohídricas.....	16
Figura 8 Ilustração dos biomas brasileiros em estudo.....	18
Figura 9 Mapa de orientação da Amazônia Legal representando a localização do sítio micrometeorológico utilizado neste trabalho.....	19
Figura 10 Localização do sítio experimental LBA K34, em Cuieiras – AM e foto da torre micrometeorológica – K34.....	20

Figura 11 Esquema modular do InLand/IBIS.....	21
Figura 12 Variabilidade sazonal da produtividade primária líquida (NPP), respiração heterotrófica (Rh) e troca líquida do ecossistema (NEE), para o período de 2002 a 2004 para o sítio experimental k83 em Santarém, considerando diferentes valores para capacidade de carboxilação dos PFTs (Vmáx).....	24
Figura 13 Variabilidade sazonal da produtividade primária bruta (GPP), produtividade primária líquida (NPP), troca líquida do ecossistema (NEE), respiração heterotrófica (Rh) e respiração autotrófica (Ra) para o período de 2001-2003 para o sítio experimental k83 em Santarém, alterando a concentração de CO ₂ (CO ₂ init = 370 ppm e CO ₂ init = 700 ppm) . A estação seca em cada figura é representada por uma coluna amarela.....	25
Figura 14 Variabilidade sazonal da troca líquida do ecossistema (NEE), respiração autotrófica (Ra), Respiração heterotrófica, produtividade primária bruta (GPP) e produtividade primária líquida (NPP). As figuras do lado esquerdo são simulações que consideraram CO ₂ init = 700ppm, e a coluna da direita CO ₂ init = 300ppm, ambas considerando $\beta_2 = 0,999$, $\beta_2 = 0,997$ e $\beta_2 = 0,980$	27
Figura 15 Variabilidade sazonal da produtividade primária bruta (GPP), produtividade primária líquida (NPP) e troca líquida de ecossistema (NEE), para o período de 2002-2005 para o sítio experimental k34 em Cuieiras, alterando a concentração de CO ₂ (CO ₂ init = 370 ppm e CO ₂ init = 700 ppm) e considerando diferentes valores para capacidade de carboxilação dos PFTs (Vmáx). A estação seca em cada figura é representada por uma coluna amarela.....	28
Figura 16 Variabilidade sazonal da produtividade primária bruta (GPP), e troca líquida de ecossistema (NEE) e produtividade primária líquida (NPP), para o período de 2002-2005 para o sítio experimental k34 em Cuieiras, alterando a concentração de CO ₂ (CO ₂ init = 370 ppm e CO ₂ init = 700 ppm). A estação seca em cada figura é representada por uma coluna amarela.....	29

Figura 17 Variabilidade sazonal da produtividade primária bruta (GPP), troca líquida de ecossistema (NEE) e produtividade primária líquida (NPP), para o período de 2002-2005 para o sítio experimental k34 em Cuieiras, alterando a concentração de CO₂ (CO₂ init = 370 ppm e CO₂ init = 700 ppm), $\beta_2 = 0,999$ e $\beta_2 = 0,997$. A estação seca em cada figura é representada por uma coluna amarela.....30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 4 simulações com o modelo InLand/IBIS Single_Point na Amazônia.....	23
--	----

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	01-02
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	02
2.1 IBIS.....	02-03
2.2 A Amazônia Brasileira.....	03-07
2.3 Tipos Funcionais de Planta.....	08-09
2.4 Fotossíntese.....	09-11
2.5 O Ciclo do Carbono.....	11-13
2.6 Principais fatores que influenciam a produtividade.....	13-14
2.7 A Seca.....	14-17
3- MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Área de Estudo.....	18
3.2 Descrição dos Sítios Experimentais da Amazônia.....	19-20
3.3 Metodologia.....	20
3.3.1 Descrição do Modelo InLand/IBIS.....	20-21
3.3.2 Banco de Dados Observados.....	21-22
3.3.3 Testes com o modelo InLand/IBIS.....	22-23
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5- CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas brasileiros como a Amazônia e o Cerrado, exercem um papel importante na regulação do ciclo de carbono e água, influenciando o clima regional e global. As trocas de carbono entre o ecossistema e a atmosfera, água e energia são medidas chave da integração da estrutura e função do ecossistema, assim como dos meios pelos quais os ecossistemas são acoplados aos processos atmosféricos e clima (Moorcroft, 2003).

A Amazônia, floresta tropical úmida, é grande fornecedora de vapor de água (calor latente) para a atmosfera, e ao mesmo tempo, importante sequestradora do excesso de gás carbônico atmosférico (Aguilar et al., 2006).

O Cerrado, caracterizado por um mosaico de fitofisionomias que vai desde formações florestais a formações savânicas também desempenha papel fundamental no processo de distribuição dos recursos hídricos, uma vez que a região é um local de origem das grandes bacias hidrográficas brasileiras e do continente sul americano (Lima & Silva, 2008).

Os fluxos de carbono e água estão intimamente ligados em ecossistemas vegetais, uma vez que a fixação de carbono através da fotossíntese e a transpiração são muitas vezes limitadas pela condutância estomática vegetal.

Modelos de interação biosfera-atmosfera de última geração, como o modelo integrado de processos da superfície continental (INLAND), possui capacidade de simular a dinâmica da fenologia da vegetação, tornando possível detectar as mudanças ocorridas na composição e estrutura da vegetação em resposta às condições ambientais. Assim, é possível realizar simulações detectando os efeitos das mudanças no balanço de carbono terrestre e da concentração de CO₂ atmosférica no clima.

Mudanças na estrutura e dinâmica das florestas podem afetar de forma substancial a concentração de CO₂ na atmosfera, e um parâmetro fundamental capaz de determinar este efeito é a sensibilidade da floresta tropical à seca (Phillips et al., 2009).

O objetivo geral do trabalho inicialmente proposta era avaliar a sensibilidade do bioma Amazônia à seca, através de simulações com a versão pontual do modelo de biosfera terrestre INLAND, contribuindo com informações sobre como a vegetação tropical utiliza e dimensiona as trocas de carbono em condições de seca, no sistema solo-planta-atmosfera.

Entretanto, não foi avaliada a sensibilidade dos biomas Amazônia e Cerrado à seca, pois levou-se muito tempo para estudar o modelo INLAND e organizar os bancos de dados para a realização das simulações numéricas. Assim, no presente estudo foram realizadas simulações em dois sítios experimentais da Amazônia onde foram analisadas de forma quantitativa o grau de impacto de algumas variáveis, como concentração atmosférica de CO₂, distribuição de raízes B2 e a capacidade de carboxilação da enzima Rubisco (V_{máx}), diretamente relacionadas à resposta fisiológica das plantas à seca no balanço de carbono.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IBIS

O modelo IBIS (Integrated Biosphere Simulator) foi desenvolvido por cientistas no SAGE (Center for Sustainability and the Global Environment) com o objetivo de descrever explicitamente processos de superfície terrestre e hidrológicos, ciclos biogeoquímicos terrestres e dinâmica da vegetação em uma única estrutura computacional fisicamente consistente (Kucharik et al. 2003).

Segue uma hierarquia conceitual e inclui submodelos (ou módulos) organizados de acordo com a escala temporal: processos de superfície (transferência de energia, água, carbono e momentum), biogeoquímica do solo (ciclo do nitrogênio e do carbono), dinâmica da vegetação (competição das plantas por luz, água e nutrientes), fenologia (baseada no desenvolvimento medido por graus-dia) (Costa, 2009), sua estrutura está representada na Figura 1.

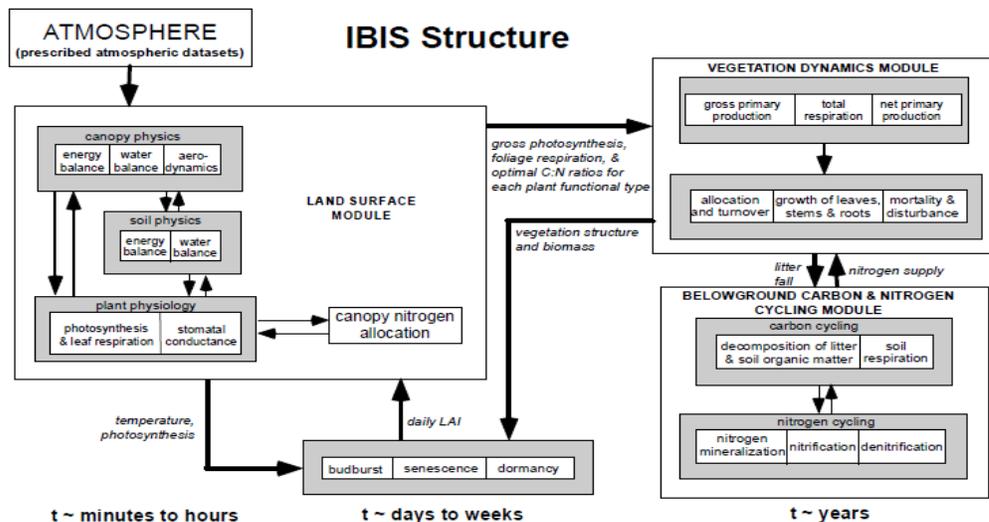


Figura 1: Estrutura básica do modelo IBIS com as características dos processos do modelo de ecossistema terrestre. **Fonte:** Foley, (1996).

Por considerar mudanças transientes na composição e estrutura da vegetação em resposta a mudanças no meio ambiente é, portanto, classificado como um Modelo de Vegetação Global Dinâmica (DGVM, Dynamic Global Vegetation Model) (Steffen et al., 1992; Cramer et al., 2001).

2.2 A Amazônia Brasileira

A região Amazônica compreende a maior floresta tropical úmida de todo o globo terrestre, possuindo uma grande importância como fonte de calor e vapor d'água para a circulação geral da atmosfera (Oliveira, 2000). A Amazônia possui cerca de 6,3 milhões de Km², sendo que 60% está em território brasileiro, e tem um terço da biodiversidade global, diversidade que engloba várias espécies de vertebrados, invertebrados e flora de múltiplos grupos taxonômicos. Estima-se que só a comunidade de plantas vasculares tenha cerca de quarenta mil espécies, das quais trinta mil são endêmicas (Mittermeier et al., 2003).

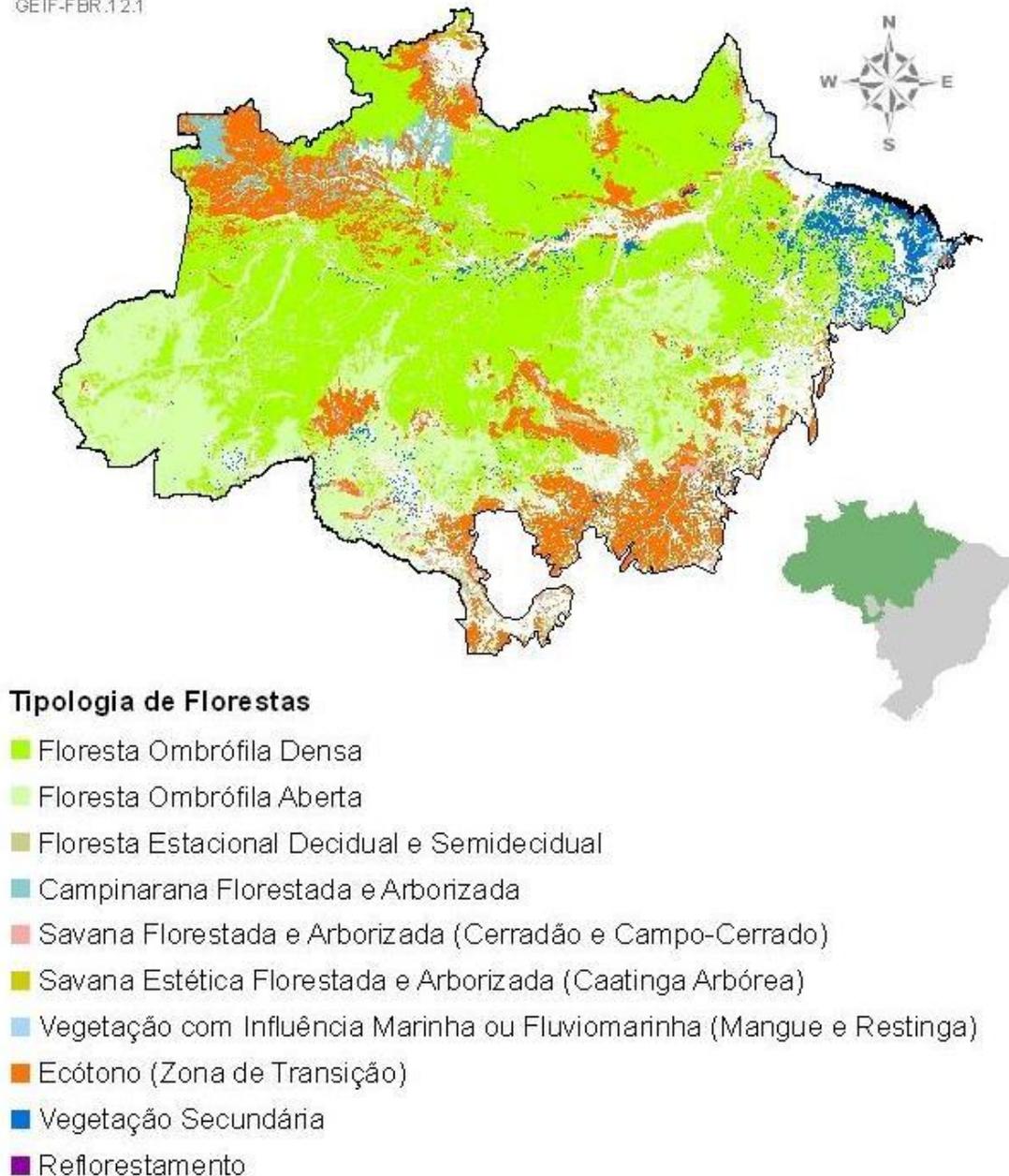
Possui uma grande variedade de tipos de vegetação, tais como Floresta Tropical de Terra Firme nas modalidades alta e baixa, Floresta de Várzea, Floresta de Igapó, Campos

naturais, Campinas de areia branca, vegetação de áreas costeiras como Restinga e Manguezal (Lisboa et al., 1991; Silva & Silva 1998).

Porém as questões de como as espécies de plantas estão distribuídas na floresta Amazônica ainda continuam com poucas respostas (Pitman et al., 1999), pois os processos relacionados à geração e manutenção da diversidade de espécies são complexos, variados e pouco estudados (Maurer & McGill, 2005).

O conhecimento da variação de riqueza e composição de espécies de plantas em diferentes escalas espaciais é importante para se levantar discussões e hipóteses que expliquem porque em florestas tropicais o número de espécies é elevado e a maioria das espécies de plantas é rara localmente (Mazacourt, 2001). A variação na composição de espécies no espaço (diversidade beta) em regiões tropicais tem sido atribuída a diversos fatores como tipos de solo, relevo, disponibilidade de energia, variação na precipitação, temperatura, altitude e distância geográfica (Wright et al., 1993).

A alta riqueza encontrada nas florestas tropicais, particularmente na Amazônia tem sido documentada, contudo diferenças de clima, solo, limitação de dispersão, especiação, competição interespecífica e efeitos históricos que influenciam na riqueza, diversidade e composição de espécies têm sido pouco estudados (Condit et al., 2002).



Fonte dos dados: MMA (2007).

Figura 2: Tipologia de Florestas. **Fonte:** MMA (2007)

O clima da região Amazônica segundo a classificação de Köppen apresenta alternância de uma longa estação úmida entre dezembro e maio, e uma estação seca que

ocorre entre agosto e novembro (Radam, 1978). O clima é caracterizado como quente e úmido, com temperatura média anual oscilando entre 25,6° C e 27,6° C, precipitação anual entre 1.355 e 2.839mm e umidade relativa do ar variando de 84 a 90%, ao longo do ano (Oliveira e Amaral, 2004). Entre os meses março e abril a precipitação média mensal pode exceder 300 mm.

A topografia do terreno consiste basicamente de planos suaves com declives moderados, dissecados pela rede hidrográfica, ligados por vertentes convexas aos vales planos periodicamente alagados na estação chuvosa. Os planaltos da região podem atingir uma altitude entre 90 e 120m, enquanto a altitude dos baixios varia entre 45 e 55m. A largura dos planaltos da região é relativamente pequena, variando entre 500 e 1000m (Chauvel, 1982).

Foi constatado que os solos da Amazônia apresentam boa fertilidade em apenas 14% da área ocupada, sendo que o restante (86%) é constituído por solos de baixa fertilidade, caracterizando uma reduzida quantidade de nutrientes para as plantas. Para ser possível existir esta floresta exuberante é necessário que ocorra equilíbrio solo-floresta-solo, onde as plantas vivem da ciclagem de nutrientes, este ciclo de nutrientes entre floresta e solo é quase fechado e contínuo com a maior parte dos nutrientes localizados na própria biomassa. É importante considerar, ainda, que fatores como intensa radiação solar e água em abundância, favorecem a fotossíntese, o que contribui para a formação e manutenção da floresta (Lima, 2007).

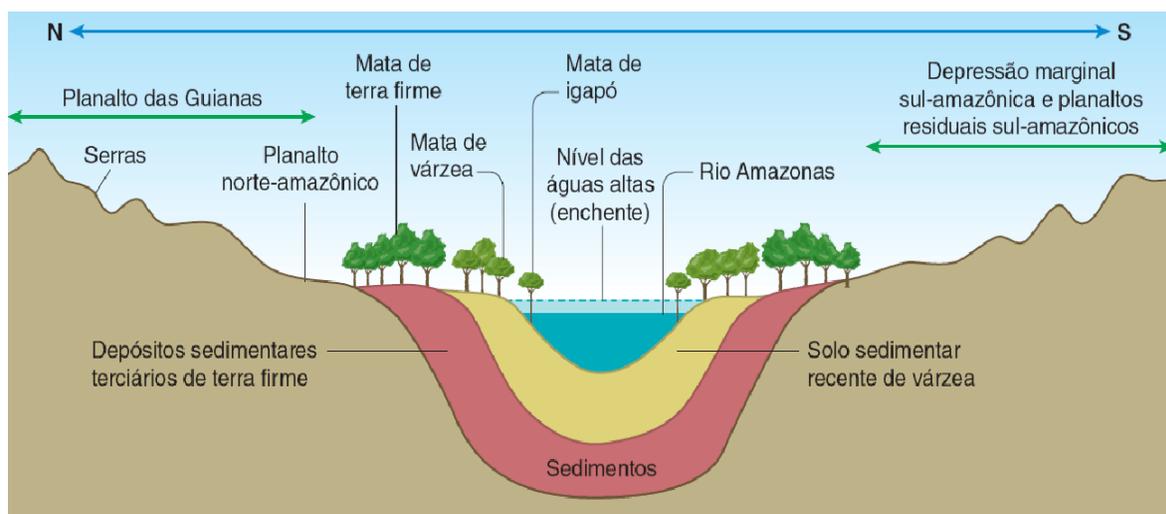


Figura 3: Degraus da Amazônia, sua cobertura vegetal. **Fonte:** GEOBRASIL.

A conservação da matéria orgânica nesses solos é fator essencial para manutenção da fertilidade dos solos. Os solos são considerados distróficos, pois a disponibilidade de nutrientes para as plantas é baixa. As maiores concentrações dos micronutrientes Fe, Mn e Cu estão nos solos dos platôs, o que pode ser associado à textura argilosa desses solos. A oferta de Fe e Zn para as plantas nos solos arenosos é provavelmente reduzida, devido ao teor desses nutrientes estarem abaixo da zona de enraizamento das plantas (Ferraz et al., 1998).

A manutenção da alta diversidade biológica da Amazônia depende fundamentalmente da dimensão de sua bacia hidrográfica e de sua grande heterogeneidade ambiental. A área de drenagem do rio Amazonas, somada à área do rio Tocantins, totaliza 6.869.000 km². A descarga amazônica atinge valores acima de 6.700km³ (Cobraphi & Capobianco, 2001).

Dos nove países que compõem a floresta amazônica seis deles são drenados pelos rios Amazonas-Tocantins. As bacias desses rios estão assim distribuídas: 68% estão em território brasileiro, 11% em território peruano, 10% em território boliviano, 6% em território colombiano, 2% em território equatoriano, e os demais 3% se encontram na Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa. A Bacia Amazônica ocupa mais da metade dos territórios do Brasil, Peru e Bolívia (Capobianco, 2001).

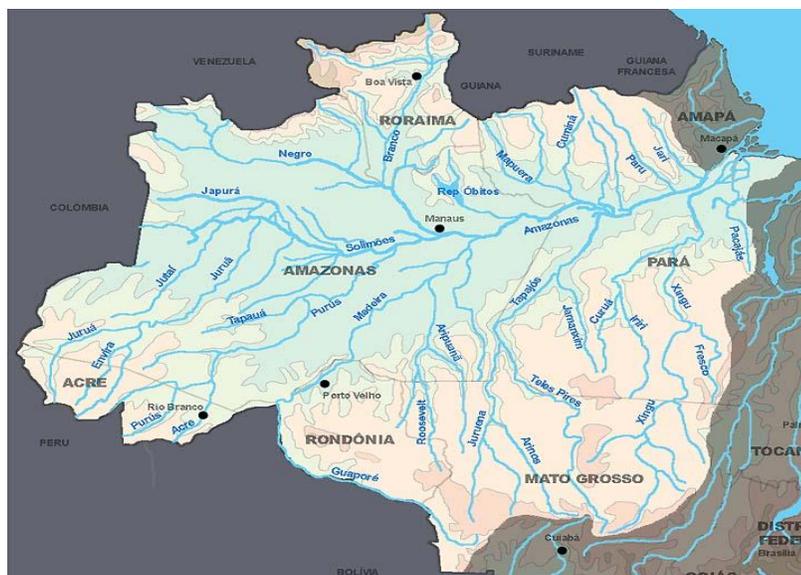


Figura 4: Bacias hidrográficas da Amazônia. **Fonte:** IBGE, 2003.

2.3 Tipos Funcionais de Plantas

O estudo ecológico sobre a classificação de Tipos Funcionais de Plantas (TFPs) tem sido impulsionado pela necessidade de desenvolver uma capacidade de prever e de compreender como os ecossistemas respondem aos impactos antrópicos, bem como a previsão de mudanças na composição da comunidade e a dinâmica dos ecossistemas, de acordo com as características estruturais, fisiológicas e fenológicas da vegetação (CHAPIN et al., 1997).

Os TFPs são descritos como uma espécie e/ou um conjunto de espécies que respondem de forma semelhante a fatores ambientais específicos, como resultados de características biológicas compartilhadas (Lavorel et al., 1997; McIntyre; Lavorel, 2001). Wang (2003) define que, são associações de grupos ou tipos de espécies que compartilhem atributos morfológicos e/ou fisiológicos e possuem um papel semelhante no ecossistema. Esses grupos de plantas têm a vantagem de demonstrar de forma mais clara a associação entre a vegetação e o meio ambiente (Pillar, 1999), pois esse tipo de classificação tem como princípio caracterizar as espécies por meio do seu comportamento funcional através dos seus atributos (Box, 1996).

Os pesquisadores costumam descrever as composições das comunidades vegetais por espécies e, através da análise dos dados revelam padrões de composição, no tempo ou no espaço, conectando-os com variáveis ambientais, no entanto, a validade dessas conclusões é restrita a limites fitogeográficos (Pillar; Sosinski, 2003). A reunião de fatores ambientais pode ser vista como um processo de eliminação, onde o meio ambiente age como uma peneira, através da qual, as espécies são ordenadas de acordo com as características (adaptações) que possuem (Nygaard; Ejrnaes, 2004). Dessa maneira, apenas espécies com características funcionais que correspondem a um determinado conjunto de condições ambientais irão moldar um determinado habitat.

Recentemente o sistema de unidade funcional de classificação vem recebendo muita atenção (Gondard et al., 2003). Principalmente porque prever o efeito das mudanças antropogênicas no clima, na composição atmosférica e uso da terra em padrões de vegetação, tem sido uma preocupação central de recentes pesquisas ecológicas (Dzwonko;

Loster, 2007; Liira et al., 2008). Isso aponta a necessidade de buscar esquemas de classificação que possam ser utilizados para agrupar espécies de plantas de acordo com suas respostas a fatores ambientais específicos, adotando uma classificação hierárquica, onde diferentes características são examinadas.

Essas devem considerar o nível de interpretação com classificações funcionais bem específicas e explícitas (Lavorel et al., 1997). Assim, a ajuda fundamental da ecologia vegetal através de um enfoque funcional é permitir uma leitura simplificada da vegetação (Theau et al., 2004), onde cada grupo corresponda a um conjunto de espécies, que não estão necessariamente aparentadas taxonomicamente, mas cumpram a mesma função no ecossistema da pastagem, compartilhando valores comuns de atributos biológicos (Albaladejo; Bustos Cara, 2004).

A descrição de comunidades vegetais, relacionando formas com o ambiente, baseia-se na observação de que fatores físicos e biológicos do meio são determinantes da fisionomia da vegetação (Sosinski; Pillar, 2004).

A classificação funcional, por possuir uma característica de simplificação das espécies em grupos funcionais, se torna especialmente atraente para os modelos de predição das respostas da vegetação às mudanças introduzidas pelo homem no meio ambiente (Nygaard; Ejrnaes, 2004). Melhora a compreensão dos processos de sucessão e fornece a base para estudos experimentais, aprofundando o conhecimento sobre os mecanismos envolvidos (Kahmen; Poschlod, 2004).

2.4 Fotossíntese

O termo fotossíntese, literalmente, “síntese usando a luz”. Os organismos fotossintéticos captam e utilizam a energia solar para oxidar H₂O, liberando O₂, e para reduzir CO₂, produzindo compostos orgânicos, primariamente açúcares. Esta energia estocada nas moléculas orgânicas é utilizada nos processos celulares da planta e serve como fonte de energia para todas as formas de vida.

Ainda que a eficiência de transformação de energia solar em biomassa através da fotossíntese seja cerca de 6% (Miymoto, 1997), este constitui um dos mecanismos mais eficientes de produção de energia do planeta.

Estima-se que 40% da massa seca de uma planta consistem em carbono fixado na fotossíntese (Lambers, 2006). O estudo da fotossíntese e consequente biossíntese e degradação de carboidratos tornam-se, portanto, um elemento chave para o entendimento das respostas de plantas ao aumento de CO₂ atmosférico e o desenvolvimento de sistemas de sequestro de carbono mais eficientes.

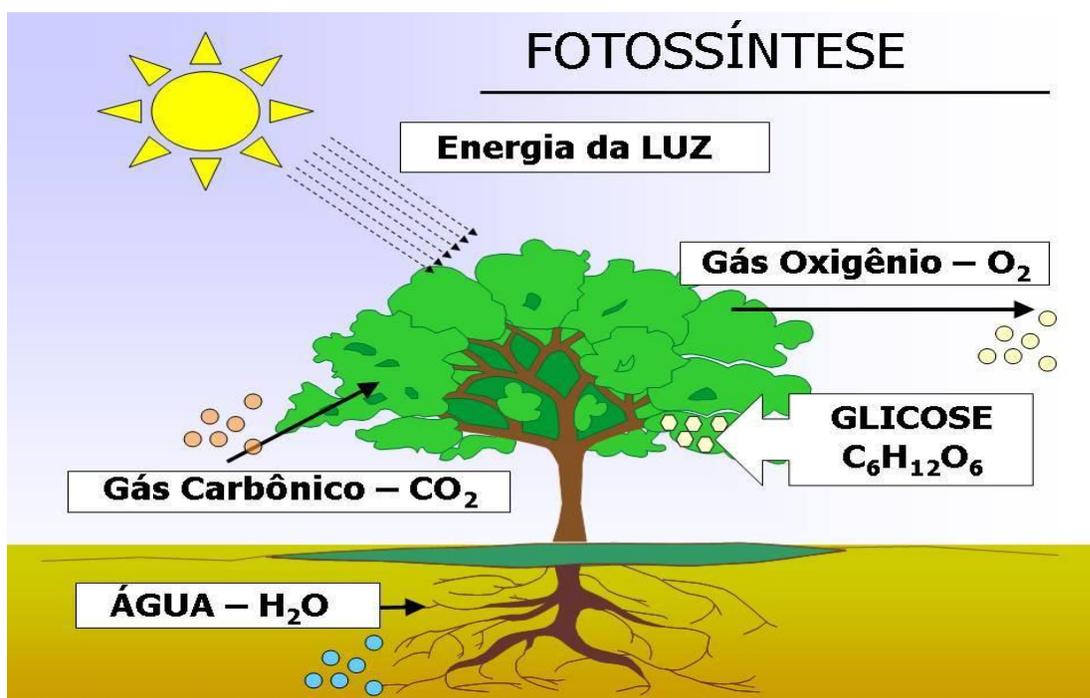


Figura 5: Processo da Fotossíntese. **Fonte:** Pliessnig, A.F 2008.

A fotossíntese consiste em dois processos acoplados. Um deles é de caráter fotoquímico e compreende a absorção de luz e o transporte de elétrons; o outro é o bioquímico, com a captação do gás carbônico e a formação de compostos que encadeiam os átomos de carbono e retêm a energia absorvida a partir da luz nas ligações químicas das moléculas formadas (Buckeridge, 2008). Assim, para a realização da fotossíntese, as plantas necessitam de três recursos essencialmente básicos, a energia solar, o dióxido de carbono e a água.

Pode ser representada pela equação:



(Essa equação mostra que, na presença de luz e clorofila, o gás carbônico e a água são convertidos em uma hexose – neste exemplo, a glicose - havendo liberação de oxigênio).

2.5 O Ciclo do Carbono

Em termos globais, o ciclo do carbono ocorre entre todos os principais reservatórios de carbono da Terra: a atmosfera, a terra e os oceanos. Este ciclo é caracterizado por um pequeno reservatório atmosférico, porém muito ativo, sendo vulnerável às perturbações antropogênicas. Em virtude do aumento da carga de CO₂ na atmosfera, decorrente das atividades dos seres humanos, o ciclo do carbono tornou-se, recentemente um tema de interesse renovado.

O ciclo global do carbono é formado por dois ciclos que acontecem em diferentes velocidades: o ciclo biogeoquímico e o ciclo biológico. O ciclo biológico envolve as atividades tanto de microrganismos como de organismos macroscópicos, e está intimamente relacionado com o ciclo do oxigênio, já que a fotossíntese oxigênica tanto remove o CO₂ como produz O₂, enquanto o processo respiratório produz CO₂ e remove O₂.

O ciclo biogeoquímico regula a transferência do carbono entre a atmosfera e a litosfera (oceanos, rios e solos). O CO₂ que é solúvel em água, é trocado entre a atmosfera e a hidrosfera pelo processo de difusão, esta troca é contínua até o estabelecimento de um equilíbrio entre a quantidade de CO₂ na atmosfera acima da água e a quantidade de CO₂ na água.

O ciclo biológico do carbono em meio terrestre se dá pela remoção do CO₂ da atmosfera principalmente pela fotossíntese das plantas terrestres, sendo devolvido à atmosfera por meio da respiração de plantas, animais e microrganismos. Os animais realizam apenas a respiração, liberando o CO₂ na atmosfera, e obtêm o carbono de que

precisam de forma direta se herbívoros, ou de forma indireta se forem carnívoros. Depois de mortos, tanto animais quanto vegetais, sofrem a ação dos decompositores. Se a decomposição de sua matéria orgânica for total, há liberação de gás carbônico, gás metano e água, e se for parcial, há transformação em material combustível (petróleo e carvão). A matéria combustível, quando queimada, devolve o carbono à atmosfera na forma de CO₂.

As florestas do mundo não são apenas os principais consumidores de dióxido de carbono em terra, mas também representam o principal reservatório de carbono fixado biologicamente (formação de biomassa). As florestas contêm entre 400 e 500 bilhões de toneladas de carbono, ou aproximadamente, dois terços da quantidade presente como dióxido de carbono na atmosfera (700 bilhões de toneladas). O ciclo do carbono revela dados e quantidades verdadeiramente surpreendentes. Está provado que uma determinada molécula de CO₂ da atmosfera entra em uma certa estrutura vegetal uma vez a cada 200 anos e que todo o oxigênio do ar é renovado pelos vegetais de 2000 em 2000 anos. Em épocas recentes, as atividades humanas, como o desmatamento e a utilização de combustíveis fósseis, têm contribuído significativamente para a alteração do reservatório de CO₂ atmosférico, por exemplo, nos últimos 40 anos, os níveis de CO₂ elevaram-se em 12% (Em : <<http://www.ib.usp.br/~delitti/projeto/rhavena/Index.htm>> Acesso em: julho de 2009).

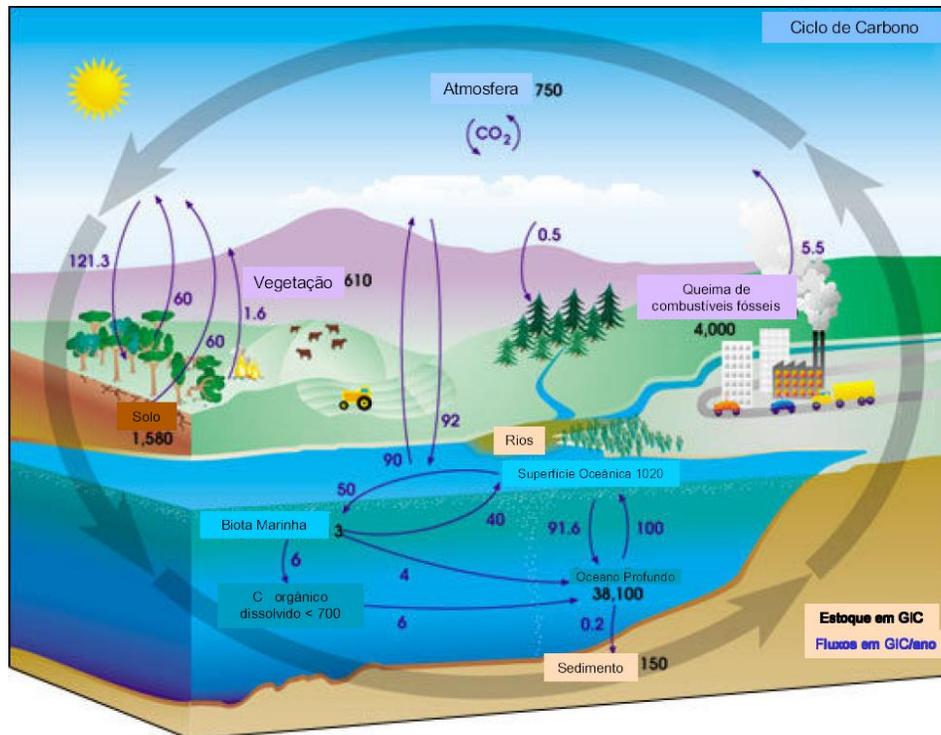


Figura 6: O ciclo do carbono. **Fonte:** pt.wikipedia.org, 2013.

2.6 Principais fatores que influenciam a produtividade

Os processos biológicos e ecológicos determinam a produtividade da vegetação, dependendo do clima e dos solos.

A produtividade primária líquida do ambiente natural (não antropizado) é definida como a diferença entre a fotossíntese e a respiração autotrófica da vegetação natural, por unidade de tempo e espaço (Field et al., 1995; Sun et al., 2004; Feng et al., 2007). É também conceituada como a quantidade de energia solar, convertida pelas plantas, em matéria orgânica pela fotossíntese (Imhoff et al., 2004). Através do processo de fotossíntese as plantas assimilam carbono da atmosfera, inserindo-o na sua biomassa e liberam parte do mesmo para a atmosfera quando respiram. Assim, a fotossíntese e a respiração são os dois processos mais importantes no ciclo biogeoquímico do carbono (Cao et al., 2004) e do balanço entre ambos, deriva a produção dos vegetais e o fluxo de energia nos ecossistemas (Haberl & Geissler, 2000).

De acordo com Whiteman (1980), os principais fatores que afetam a fisiologia das plantas e influenciam a produtividade são:

- Fatores climáticos – luz, temperatura, fotoperíodo, umidade, ventos e precipitação;
- Fatores edáficos – fertilidade do solo, propriedades físicas do solo e topografia;
- Espécie forrageira – potencial genético para produção e valor nutritivo, adaptação ao ambiente, competição entre plantas, aceitabilidade para pastejo animal e persistência em longo prazo.

2.7 A Seca

O termo seca indica um período sem precipitação apreciável, durante o qual o conteúdo em água do solo é reduzido de tal modo que as plantas sofrem com a falta de água. Frequentemente, mas não invariavelmente a secura do solo está associada a uma forte evaporação causada pela secura do ar e elevados níveis de radiação (Larcher, 1995). A seca é a consequência da deficiência de precipitação durante o período prolongado de tempo que resulta em escassez de água para algumas atividade, grupo ou setor ambiental (NDMC, 2006).

A importância ecológica da água é resultado da sua importância fisiológica, pois, o único meio pelo qual um fator ambiental como a água pode afetar o crescimento de uma planta é influenciado as condições e processos fisiológicos (Koslowski & Pallardy, 1997). A seca é um dos principais fatores que leva ao déficit hídrico, estando relacionada, principalmente, com um período de falta de precipitação. Durante o período da seca ocorre uma diminuição do conteúdo de água no solo, submetendo as plantas ao déficit de água (Paiva & Oliveira, 2006). O regime hídrico influencia desde o crescimento e a produtividade dos indivíduos até a distribuição das populações e a biodiversidade dos ecossistemas (Passioura 2006).

Dentre as primeiras mudanças que ocorrem em plantas expostas a condições de seca está a redução da perda de água durante a transpiração, através da regulação da abertura dos

estômatos, sendo este um dos principais fatores que determinam a assimilação de CO₂ e o crescimento das plantas (Burgess, 2006). O desenvolvimento de plantas mais tolerantes a períodos de déficit hídrico, auxiliam as plantas a tolerar períodos prolongados de estiagem e serão essenciais na manutenção da produção. Tolerância das plantas à seca, claramente, não é uma característica simples, mas uma característica onde mecanismos trabalham isoladamente ou em conjunto para evitar ou tolerar períodos de déficit hídrico (Nepomuceno et al., 2001).

Plantas que mostram crescimento continuado ou melhorado sob condições hídricas limitadas são consideradas tolerantes à seca. Algumas espécies podem evitar a seca amadurecendo rapidamente antes que ela se inicie ou reproduzindo-se somente após a chuva (Alvim, 1985). A absorção de água pelas raízes ocorre devido a um gradiente de potencial hídrico entre solo e a raiz. Quando o solo seca e seu potencial hídrico declina, as plantas passam a apresentar dificuldade para extrair água do solo, rápido o suficiente para balancear as perdas por transpiração. Sob estas condições, as plantas perdem turgor e murcham. Eventualmente, um valor de potencial hídrico pode ser alcançado, aonde o conteúdo de água no solo é tão baixo, que a planta é incapaz de extrair água do solo e a perda de turgor é permanente (Paiva & Oliveira, 2006). Outras plantas toleram a desidratação, adiando-a através do desenvolvimento de raízes profundas ou fechando-se fortemente contra a transpiração ou acumulando grandes reservas de água em tecidos carnosos (Ingrouille, 1992). Ainda, outras espécies permitem a desidratação dos tecidos e toleram a falta de água, apresentando crescimento continuado mesmo quando desidratadas ou sobrevivendo a desidratações severas.

Durante períodos de déficit hídrico, muitas mudanças ocorrem na planta. Essas mudanças dependem da severidade e da duração do estresse, do genótipo, do estágio de desenvolvimento e da natureza do estresse (Kramer, 1983). A maioria dessas modificações visa a manter o crescimento, a produtividade e a reprodução da planta em ambientes com limitações na disponibilidade de água.

À medida que o conteúdo de água diminui, a célula encolhe cada vez mais e as paredes relaxam, os solutos ficam cada vez mais concentrados e a membrana plasmática torna-se mais espessa, uma vez que cobre uma área menor. Como a perda de turgidez é o primeiro efeito biofísico da carência hídrica, as atividades relacionadas com a turgidez são

as mais sensíveis ao déficit hídrico. O crescimento celular é um processo dependente da turgidez e conseqüentemente é extremamente sensível a deficiência hídrica. A carência hídrica limita apenas a dimensão das folhas individuais, mas também o número de folhas numa determinada planta, porque diminui o número e o crescimento de ramos (Taiz & Zeiger, 1998).

Como já citado, a seca submete a planta ao déficit hídrico e para que elas resistam ao déficit hídrico, as plantas adotam uma estratégia adaptativa que é a diminuição da área de transpiração, que é efetuada mediante um rápido e reversível enrolamento das folhas, redução da superfície de transpiração e abscisão foliar parcial ou completa, até que o período seco passe (Paiva & Oliveira, 2006). A expansão foliar é muito mais sensível que a fotossíntese a uma limitação da absorção em água. A inibição do desenvolvimento das folhas reduz o consumo de carbono e de energia e, assim, uma proporção maior dos fotoassimilados pode ser atribuída às raízes, permitindo-lhes continuar a crescer. Simultaneamente os ápices radiculares no solo seco começam a perder turgidez. Tudo isto leva a que o crescimento radicular se processe essencialmente para as zonas que permanecem úmidas. Assim, é frequente ver um sistema radicular essencialmente superficial quando todas as camadas estão úmidas e quando as camadas superficiais começam a secar uma proliferação de raízes mais profundas (Costa, 2001).

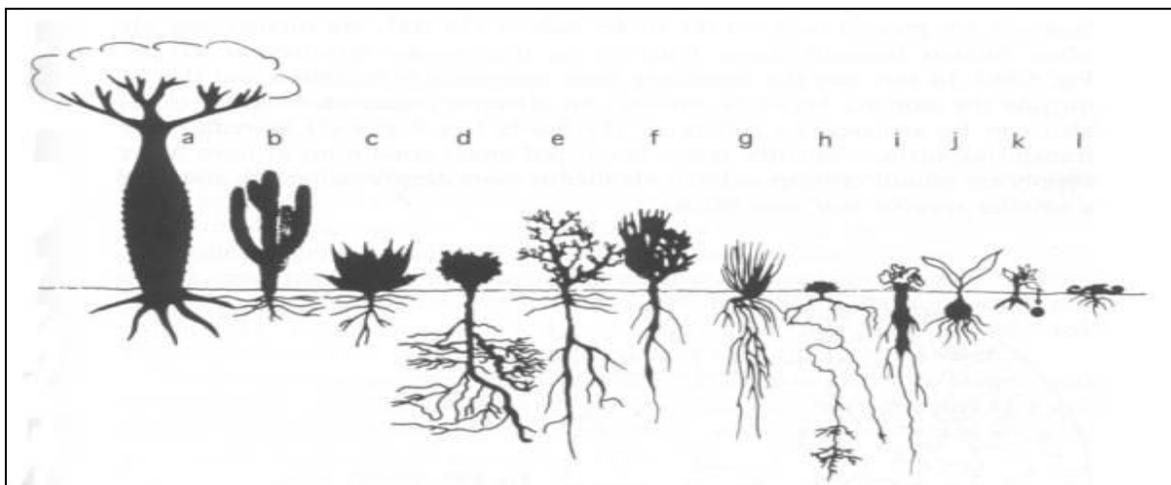


Figura 7: Alguns exemplos de formas que permitem às plantas sobreviverem à seca.
Fonte: Larcher, W. Ecofisiologia vegetal (2004).

As plantas que se desenvolvem em regiões mais secas melhoram a absorção de água desenvolvendo sistemas radiculares mais profundos, como é o caso de plantas lenhosas nativas dos cerrados. Suas raízes podem chegar a ser dez vezes mais longas do que a parte aérea, permitindo que a planta busque água em horizontes mais profundos do solo. Isto nem sempre é eficiente, pois a planta pode estar se desenvolvendo em solo raso, não havendo espaço suficiente para o desenvolvimento das raízes e, neste caso, as plantas que podem manejar as pequenas quantidades de água, estocadas em um volume limitado de solo, têm mais chance de resistir a períodos de seca (Paiva & Oliveira, 2006). O aumento do crescimento das raízes para as camadas úmidas, mais profundas, depende da distribuição de fotoassimilados para os ápices radiculares. Normalmente, os frutos predominam sobre as raízes em termos de preferência para a distribuição de fotoassimilados que assim são desviados das raízes. Esta competição entre frutos e raízes para os fotoassimilados permite explicar porque razão as plantas são mais sensíveis a um déficit hídrico na fase da reprodução que na fase vegetativa (Taiz & Zeiger, 1998).

A resistência à seca é um processo que envolve características complexas, que estão ligadas com a tentativa de adiar ao máximo um decréscimo no potencial hídrico do protoplasma, prevenindo assim, a dessecação. Quando mais o protoplasma puder desidratar sem sofrer danos irreversíveis, maior será a resistência à seca. Usando outra estratégia, algumas plantas nativas de regiões com períodos regulares de seca ou desertos, controlam seu crescimento e sua reprodução de modo a ocorrerem num breve período, no qual tenha água suficiente para completarem seu ciclo. (Paiva & Oliveira, 2006)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

As áreas de estudo inicialmente proposta compreendiam os biomas brasileiros Amazônia e Cerrado. Entretanto, o presente estudo analisou apenas o bioma Amazônia.



Figura 8: Ilustração dos biomas brasileiros Amazônia e Cerrado (em destaque).

A Amazônia apresenta uniformidade quanto à temperatura, as médias se situam entre 24° C e 26° C com pequenas variações de temperaturas, de 10 °C a 20°C, ao longo do ano. Em relação à chuva, as precipitações médias anuais variam de 1.500 até 3.800 mm. De acordo com a definição de Köppen, a região Amazônia apresenta apenas o clima do tipo Tropical, porém três subclimas podem ser identificados na região: o equatorial chuvoso, o tropical de monção e por fim o tropical seco e úmido.

3.2 Descrição dos sítios experimentais da Amazônia

As áreas de estudos compreendem aos sítios experimentais K83 e K34 do programa LBA (The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia).

O sítio experimental K83 está localizado na Floresta Nacional do Tapajós, no município de Santarém (02° 26' 34" S 54° 42' 28" O). A vegetação é de floresta tropical fechada e o clima é quente e úmido com uma precipitação anual média de 1.911 mm. A estação seca compreende tipicamente os meses de agosto a dezembro, a temperatura média varia de 24,2°C em julho a 25,7°C em outubro e a umidade relativa de 85% em novembro e 93% em maio (Bruno et al., 2006).

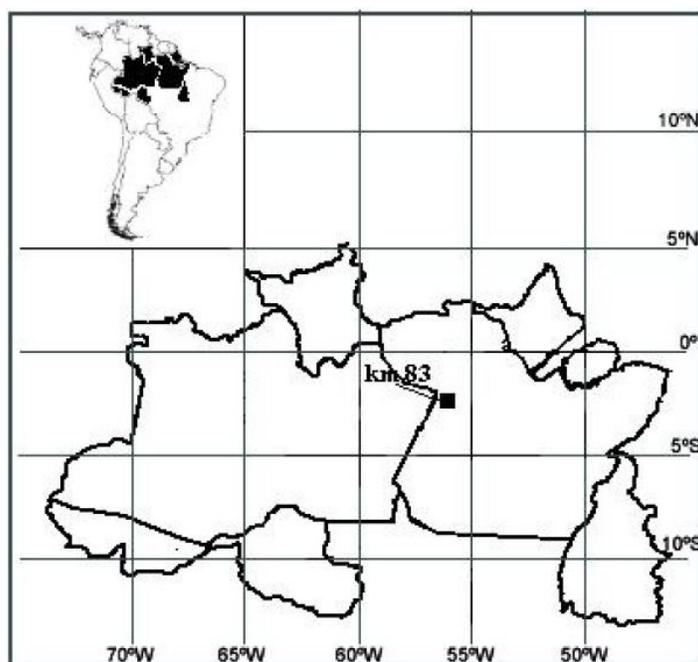


Figura 9: Mapa de orientação da Amazônia Legal representando a localização do sítio micrometeorológico utilizado neste trabalho. **Fonte:** Imbuzeiro, 2010.

O sítio experimental K34 está localizado na Reserva Florestal de Cuieiras, no município de Manaus – AM. O sítio encontra-se em uma área de platô, cerca de 60 m a noroeste de bastante diversificada no aspecto florístico, cujo dossel alcança uma altura entre 30-40 m, com a ocorrência de cerca de 324 espécies e 174 gêneros por ha (Jardim & Hosokawa, 1986/87).

O clima da região é do tipo Afí na classificação de Köppen, com temperatura média de 26° C (mínima 19° C e máxima 39°C). A condição de baixa variação de temperatura é consequência do vapor d'água sempre alto na atmosfera : a umidade relativa do ar varia de 77 a 88%, com média anual de 84% (Leopoldo ET AL., 1987). O relevo da região é constituído por diversos platôs intercalados por vales onde aparecem vários igarapés, compondo uma rica rede de escoamento; o solo é do tipo latossolo amarelo álico, de textura argilosa, com boa drenagem (Chauvel, 1982).

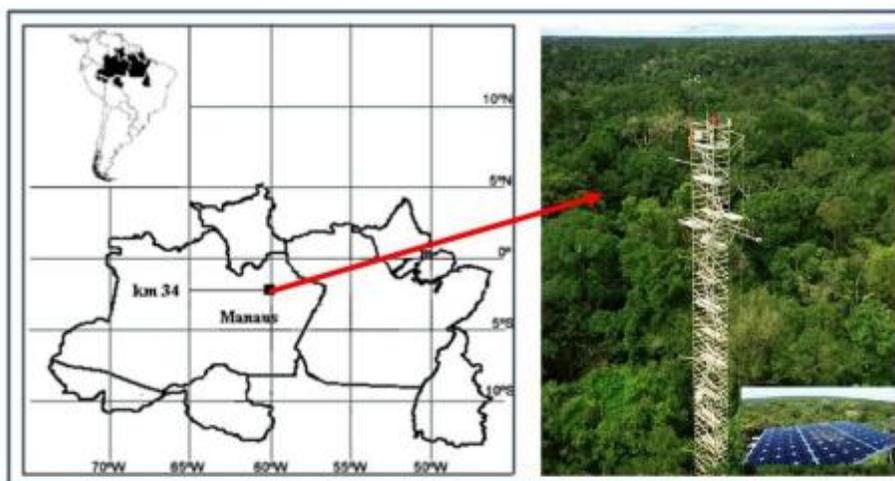


Figura 10: Localização do sítio experimental LBA K34, em Cuieiras – AM e foto da torre micrometeorológica – K34. **Fonte:** Adaptado Imbuzeiro (2005) e Programa LBA.

3.3 Metodologia

3.3.1 Descrição do modelo InLand/IBIS

O modelo InLand/IBIS foi obtido a partir da unificação do código de dois modelos: IBIS-SAGE (Foley et al., 1996 e Kucharik et al., 1999); e CCM3-IBIS (Delire et al., 2003).

O InLand/IBIS representa um modelo de quarta geração (Gochis et al., 2004) e integra a maioria dos processos superficiais relevantes para o sistema climático, abrangendo os processos da biosfera terrestre, tais como: i) Dinâmica da vegetação (índice de área foliar e biomassa para 12 TFPs); ii) Competição da vegetação (água e luz); iii) Efeitos fisiológicos do dossel (fotossíntese, condutância estomática, respiração); iv) Fenologia das

plantas (aparecimento e crescimento das folhas); v) Ciclo do carbono e nutrientes terrestre (produtividade primária líquida, respiração do solo e decomposição da matéria orgânica).

O InLand/IBIS tem capacidade de simular a dinâmica global da fenologia da vegetação, tornando possível detectar as mudanças ocorridas na composição e estrutura da vegetação em resposta às condições ambientais. Assim, é possível realizar simulações detectando os efeitos das mudanças no balanço de carbono terrestre e da concentração de CO₂ atmosférica no clima.

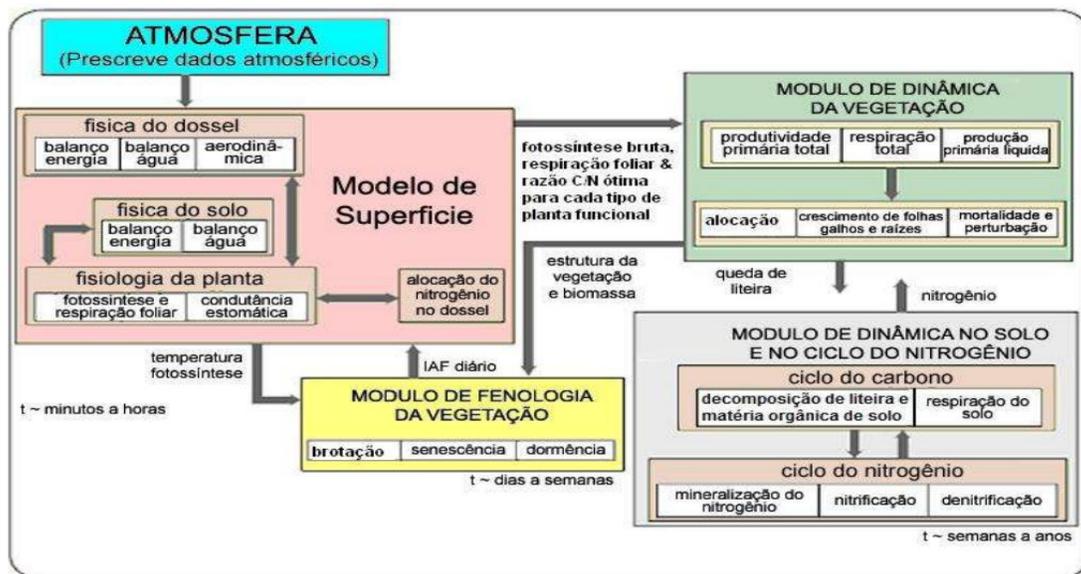


Figura 11: Esquema modular do InLand/IBIS. **Fonte:** Adaptada de Kucharik et al. (2000).

3.3.2 Banco de dados observados

Neste trabalho, para o ecossistema Amazônico, foram utilizados os dados coletados pela estação meteorológica do programa LBA, para o sítio experimental K83 e K34.

As variáveis: radiação solar incidente (S_{in}), radiação de onda longa incidente (L_{in}), temperatura do ar (T_a); velocidade do vento (u_a); precipitação (P) e umidade específica do ar (q_a) são utilizadas como dados de entrada (forçantes) para realizar a simulação com o modelo.

O período de dados disponíveis para o sítio experimental K83 é de 2001 a 2004, e para o K34 é de 2002 a 2005 o qual consistiu o tempo de análise do estudo em cada sítio.

A disponibilidade de dados de fluxo e micrometeorológicos para o bioma Cerrado é escasso. Esperava-se que na realização deste trabalho, como proposto no plano inicial de pesquisa, houvesse a disponibilização dos dados por instituições parceiras do INPE. No entanto, tendo em vista que não houve a disponibilização dos dados necessários para realizar a simulação com o modelo pontual (Single_Point) no Cerrado, as simulações se restringiram somente para dois sítios no bioma Amazônico.

3.3.3 Testes com o modelo InLand/IBIS

Foram realizadas 9 simulações com o modelo InLand/IBIS Single_Point para os dois sítios na Amazônia conforme ilustra a Tabela 1.

Simulações com InLand/IBIS			
Rodadas	Distribuição de raízes finas (β_2)	Máxima capacidade da enzima RuBisCo ($V_{m\acute{a}x}$)	Concentração de CO₂
Simulação 1 <i>“default”</i>	0,997	60 mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm
Simulação 2	0,997	120 μ mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm e 700 ppm
Simulação 3	0,997	240 mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm e 700 ppm
Simulação 4	0,980	60 mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm e 700 ppm
Simulação 5	0,980	120 μ mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm e 700 ppm
Simulação 6	0,980	240 mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm e 700 ppm
Simulação 7	0,999	60 mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm e 700 ppm
Simulação 8	0,999	120 μ mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm e 700 ppm
Simulação 9	0,999	240 mol m ⁻² s ⁻¹	370 ppm e 700 ppm

A enzima RuBisCo representa normalmente mais de 50% da proteína das folhas das plantas superiores, pelo menos quando nos referimos a plantas do tipo C3. A primeira atividade referida atribui à RuBisCo o papel principal no processo da fotossíntese, que é a capacidade de carboxilação, ou seja de fixar carbono. Desta forma, alterar os valores de $V_{máx}$ dentro do código, atribui ao local simulado uma capacidade maior ou menor de realizar fotossíntese.

Estas rodadas foram organizadas e analisadas com o objetivo de verificar a existência de representatividade destes parâmetros nos fluxos de carbono pelo modelo InLand/IBIS em períodos de seca na Amazônia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 12 a 14 mostram os resultados obtidos com a simulação do modelo InLand/IBIS para o sítio K83.

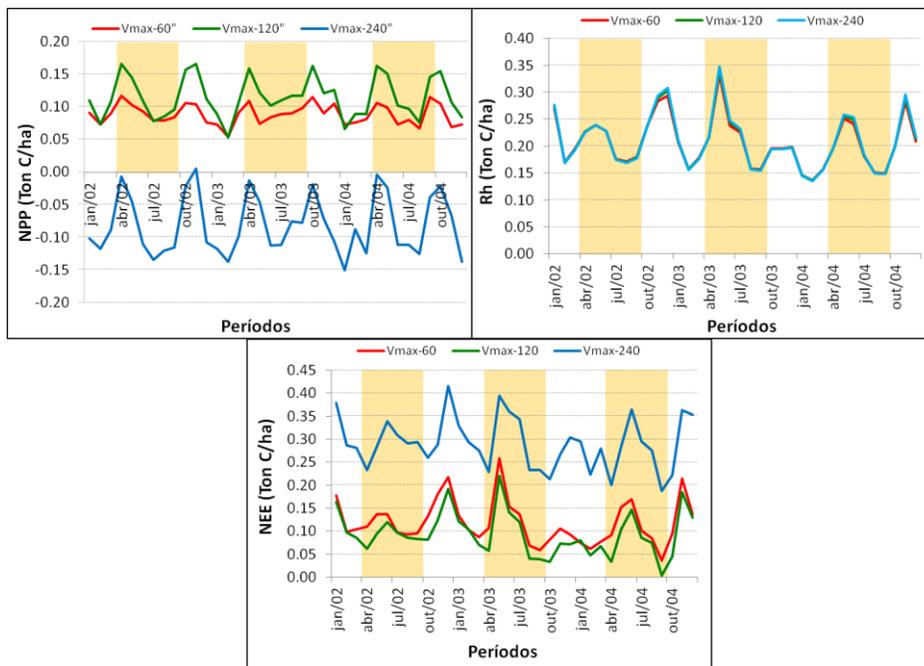


Figura 12: Variabilidade sazonal da produtividade primária líquida (NPP), respiração heterotrófica (Rh) e troca líquida do ecossistema (NEE), para o período de 2002 a 2004 para o sítio experimental k83 em Santarém, considerando diferentes valores para capacidade de carboxilação dos PFTs ($V_{máx}$).

Os resultados demonstram que a taxa o aumento do valor de $V_{m\acute{a}x}$ de $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para $120 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, influenciou diretamente os valores de produtividade aumentando a fixação de carbono pelas plantas ao longo de todo período simulado, mesmo em meses de menor precipitação. No entanto, observa-se que ao quadruplicar o valor de $V_{m\acute{a}x}$ para $240 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ocorre uma saturação na fotossíntese realizada pelas plantas e os valores de produtividade tornam-se negativos ao ponto de zerar a produtividade ao longo de todo o ano. Este comportamento já era esperado uma vez que, aumentar a capacidade fotossintética das plantas, mas manter as mesmas condições de clima e solo ocasiona um estresse à vegetação. Desta forma é possível observar que o modelo consegue aplicar um estresse à planta quando alterado o valor de $V_{m\acute{a}x}$, e que este estresse pode ser manipulado através dos valores de $V_{m\acute{a}x}$ utilizado nas simulações.

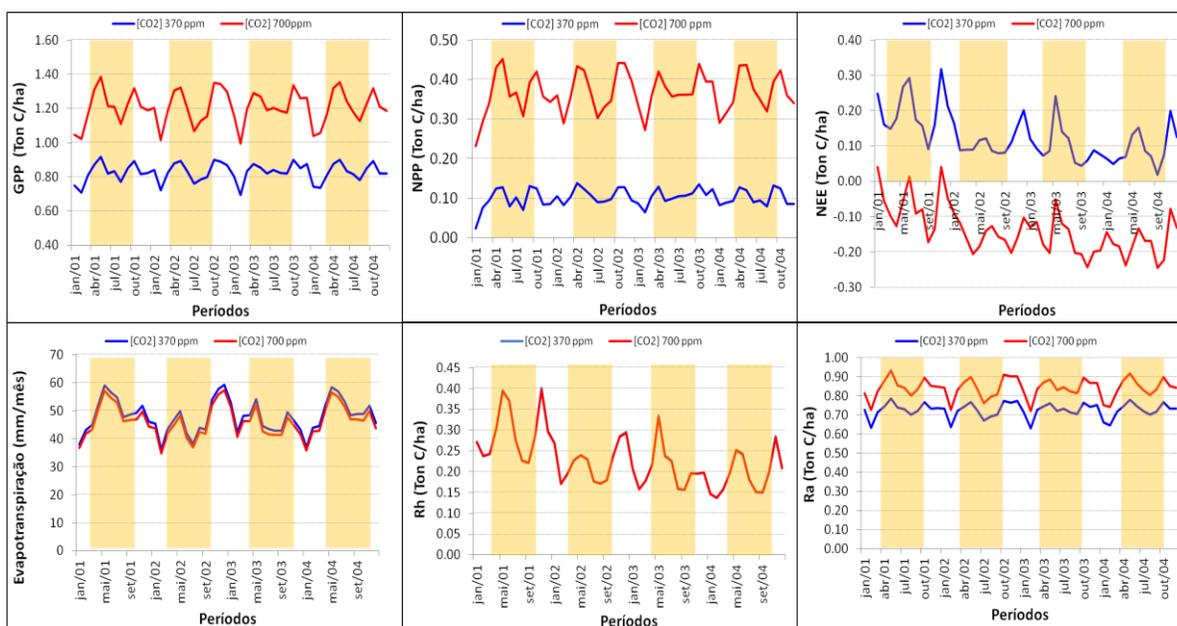


Figura 13: Variabilidade sazonal da produtividade primária bruta (GPP), produtividade primária líquida (NPP), troca líquida do ecossistema (NEE), respiração heterotrófica (Rh) e respiração autotrófica (Ra) para o período de 2001-2003 para o sítio experimental k83 em Santarém, alterando a concentração de CO_2 (CO_2 init = 370 ppm e CO_2 init = 700 ppm). A estação seca em cada figura é representada por uma coluna amarela.

A Figura 13 mostra as variações interanuais de GPP, NPP, NEE, Evapotranspiração, Rh e Ra. Nestas simulações observa-se que a produtividade primária bruta (GPP) e produtividade primária líquida (NPP) foram maiores quando se considerou uma atmosfera

enriquecida com CO₂. Desta forma, a representação da troca líquida (NEE) entre a atmosfera e as plantas apresentou-se como um sumidouro de carbono quando considerada CO₂ = 700ppm e uma fonte de carbono para atmosfera quando considerada CO₂= 300ppm.

A respiração heterotrófica não representou mudanças em relação à variação de CO₂ na atmosfera uma vez que esta variável está diretamente relacionada à atividade microbiana do solo. A taxa respiração autotrófica também ilustrou que quanto mais CO₂ assimilado pela planta, maior será o nível de respiração por ela realizada. A evapotranspiração por sua vez não apresentou grandes diferenças quando alterada a quantidade de carbono na atmosfera, isto possivelmente pode estar associado à disponibilidade hídrica no solo que foi suficiente para manter a abertura e fechamento dos estômatos, que são organelas foliares responsáveis pela troca de água entre a planta e atmosfera durante o processo de fotossíntese.

Quanto à avaliação do comportamento sazonal do modelo em representar as estações seca e chuvosa, pretende-se incorporar dados observados e correlacionar com as saídas do modelo. Porém, baseado nestas rodadas, pode-se afirmar que somente o aumento da concentração de CO₂ não pode ser apontado como responsável pelo aumento da produtividade.

Na Figura 14 temos a representação de três rodadas, onde se somou a alteração da concentração de CO₂ na atmosfera e alterações no parâmetro β_2 responsável pela distribuição das raízes ao longo das camadas do solo. O β_2 dentro do modelo varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior é a quantidade de raízes nas camadas mais profundas do modelo. As raízes conforme descrito na revisão bibliográfica possuem um papel fundamental na captação de água e na manutenção da fotossíntese da planta. Os principais resultados obtidos quando combinadas estas alterações podem ser observados nos fluxos de produtividade primária bruta (GPP) e produtividade primária líquida (NPP). Nestas figuras é possível observar que quando considerado uma distribuição mais uniforme da raiz ($\beta_2=0.980$), o estresse hídrico é maior em relação à utilização $\beta_2=0.999$. Isto ocorre, pois quando utilizado $\beta_2=0.999$, a maior parte das raízes está alocada nas camadas mais profundas, as quais justamente possuem maior quantidade de água, e contribuem para manutenção da produtividade durante o período de menor precipitação.

A troca líquida do ecossistema para refletiu claramente esta situação, apresentando um fluxo maior de carbono para atmosfera quando utilizado $\beta_2=0.980$. Quando utilizado $\beta_2=0.997$ obteve-se um resultado intermediário ilustrando alta sensibilidade das plantas a este parâmetro.

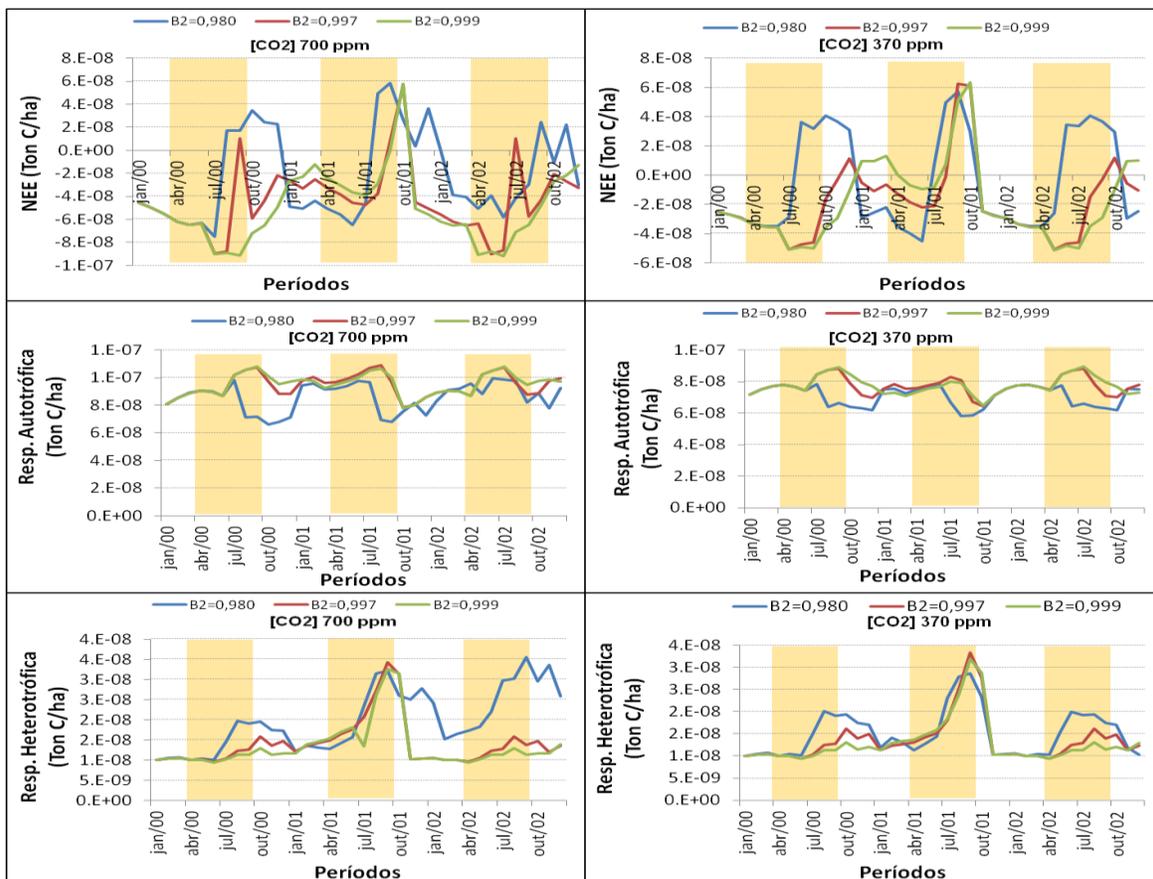


Figura 14: Variabilidade sazonal da troca líquida do ecossistema (NEE), respiração autotrófica (Ra), Respiração heterotrófica, produtividade primária bruta (GPP) e produtividade primária líquida (NPP). As figuras do lado esquerdo são simulações que consideraram CO₂ init = 700ppm, e a coluna da direita CO₂ init = 300ppm, ambas considerando $\beta_2 = 0,999$, $\beta_2 = 0,997$ e $\beta_2 = 0,980$.

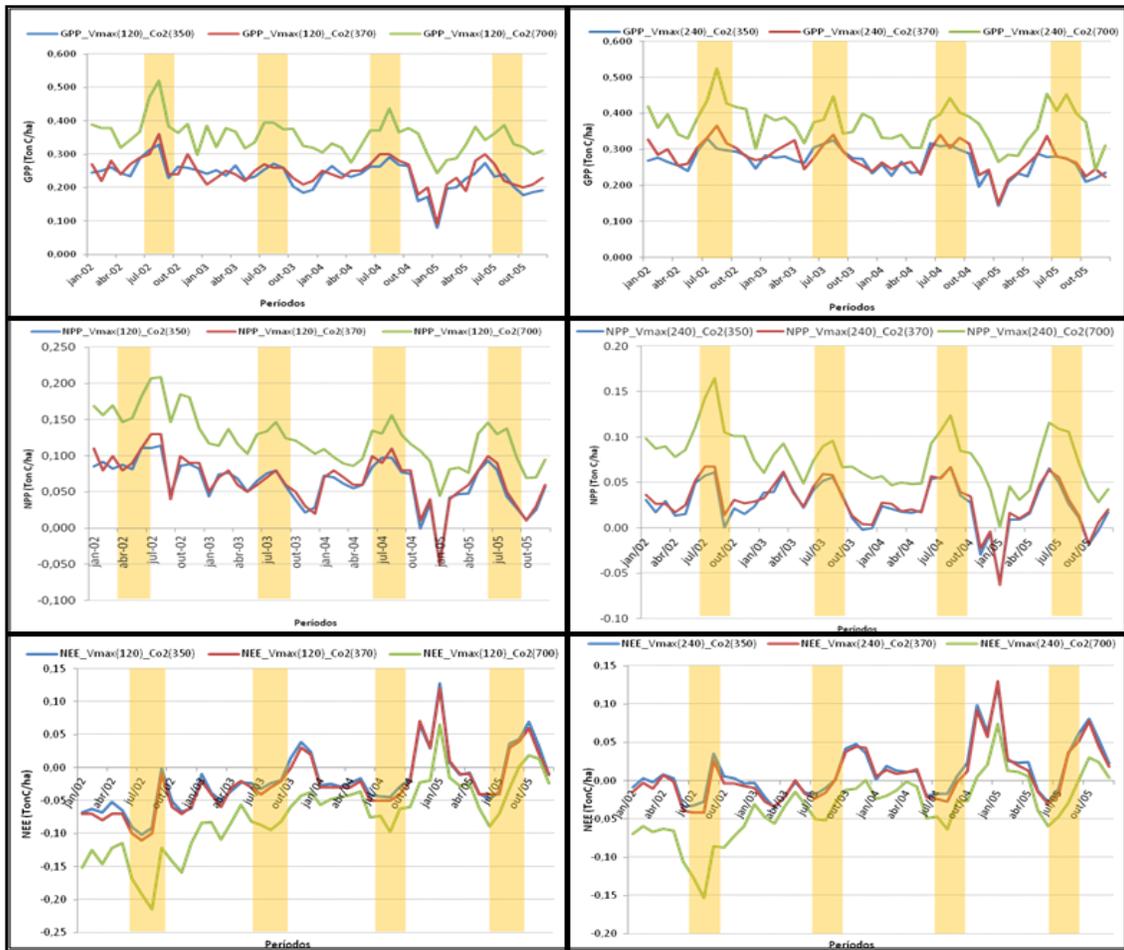


Figura 15: Variabilidade sazonal da produtividade primária bruta (GPP), produtividade primária líquida (NPP) e troca líquida de ecossistema (NEE), para o período de 2002-2005 para o sítio experimental k34 em Cuieiras, alterando a concentração de CO₂ (CO₂ init = 370 ppm e CO₂ init = 700 ppm) e considerando diferentes valores para capacidade de carboxilação dos PFTs (V_{máx}). A estação seca em cada figura é representada por uma coluna amarela.

As Figuras 15 a 17 demonstram os resultados obtidos das simulações com o modelo InLand/IBIS para o sítio K34.

Nestas simulações observa-se que a produtividade primária bruta (GPP) e produtividade primária líquida (NPP) foram maiores quando se considerou uma atmosfera enriquecida com CO₂. Desta forma, a representação da troca líquida (NEE) entre a atmosfera e as plantas neste sítio também apresentou-se como um sumidouro de carbono quando considerada CO₂ = 700ppm e uma fonte de carbono para atmosfera quando considerada CO₂= 300ppm. Contudo pode ser observado também uma queda de GPP e

NPP e um aumento de NEE em janeiro de 2005. Este fato pode estar relacionado ao evento de seca severa ocorrida em 2005 que afetou grande parte da Amazônia.

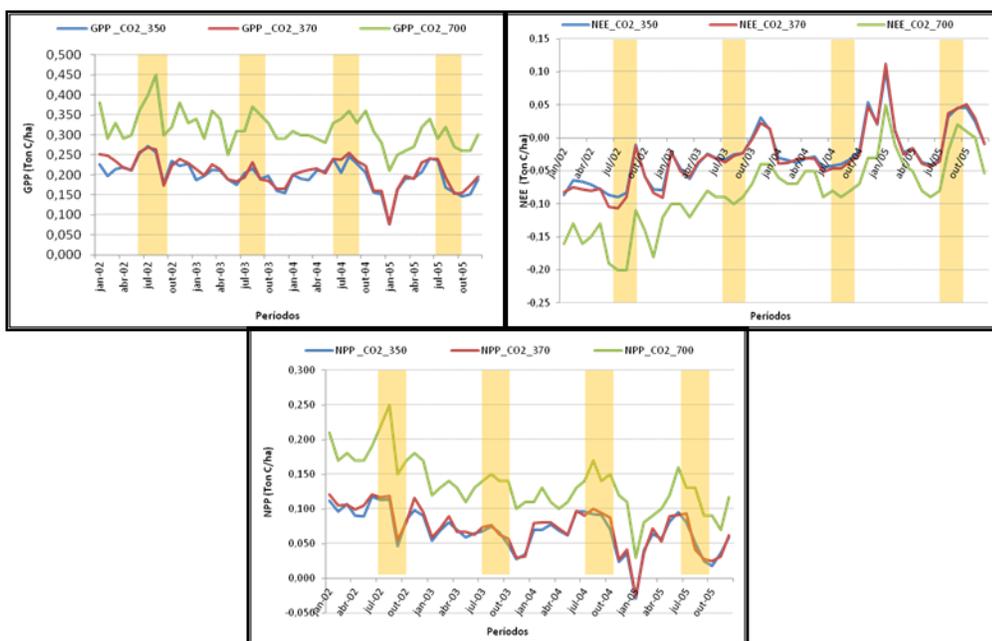


Figura 16: Variabilidade sazonal da produtividade primária bruta (GPP), e troca líquida de ecossistema (NEE) e produtividade primária líquida (NPP), para o período de 2002-2005 para o sítio experimental k34 em Cuieiras, alterando a concentração de CO₂ (CO₂ init = 370 ppm e CO₂ init = 700 ppm). A estação seca em cada figura é representada por uma coluna amarela.

Os resultados da Figura 16, que demonstra as variações dos fluxos em relação ao aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, revela uma tendência em diminuir GPP e NPP ao longo dos anos simulados, com uma queda acentuada em 2005. Pode ser observado também que tanto GPP como NPP, aumentaram no período seco, podendo revelar uma resposta fisiológica, onde as raízes são capazes de absorver e explorar maiores zonas do solo, podendo manter uma produtividade mesmo em período de seca.

É possível observar um aumento da assimilação de CO₂, expressos por valores negativos de NEE, no período chuvoso nos primeiros anos. Contudo, os valores de NEE também apresentaram uma tendência ao longo dos anos, tendo um pico no ano de 2005. Isso revela que a vegetação neste ano perdeu maior quantidade de CO₂ através da respiração para atmosfera, ao se comparar com os demais anos de estudo.

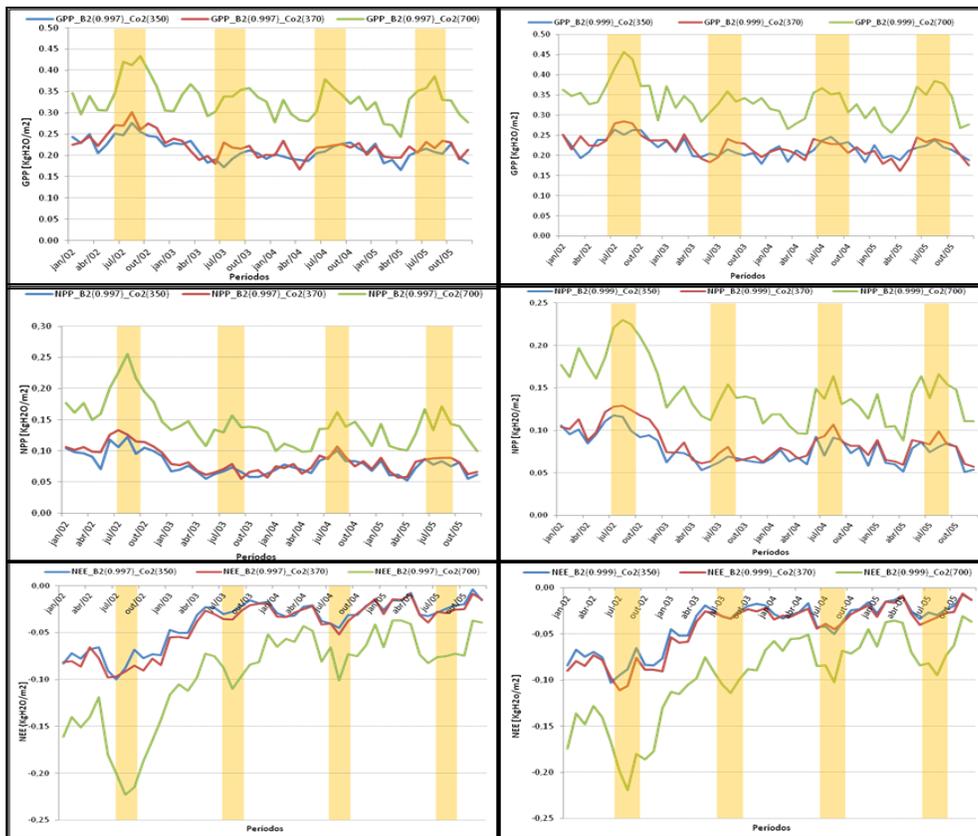


Figura 17: Variabilidade sazonal da produtividade primária bruta (GPP), troca líquida de ecossistema (NEE) e produtividade primária líquida (NPP), para o período de 2002-2005 para o sítio experimental k34 em Cuieiras, alterando a concentração de CO_2 (CO_2 init = 370 ppm e CO_2 init = 700 ppm), $\beta_2 = 0,999$ e $\beta_2 = 0,997$. A estação seca em cada figura é representada por uma coluna amarela.

A Figura 17 mostra os resultados demonstrando as alterações de β_2 e da concentração de CO_2 .

Os resultados revelam que a distribuição das raízes exerce um papel fundamental na interação entre a vegetação e atmosfera, onde pôde ser visto que quando há uma atmosfera enriquecida com CO_2 (700 ppm) e raízes mais distribuídas no solo, a vegetação é capaz de absorver o CO_2 através do processo fotossintético, e manter uma produtividade ao longo do tempo.

5. CONCLUSÕES

Foi possível concluir nesta pesquisa que o parâmetro β_2 (distribuição de raízes finas) é um dos parâmetros que ajudará a melhorar a representação dos fluxos de carbono na Amazônia, simulando corretamente a interação atmosfera-biosfera.

Na primeira e na segunda simulação com o parâmetro $V_{m\acute{a}x}$ e concentração de CO_2 , o modelo simulou normal, de acordo com as revisões bibliográficas, demonstrando resultados já esperados, sendo que o valor de $V_{m\acute{a}x}$ influencia diretamente a fixação de carbono pelas plantas mesmo em meses de precipitação e quando se duplica o valor de $V_{m\acute{a}x}$, pode ocorrer à saturação na fotossíntese, ocasionando numa taxa de produtividade negativa, isso ocorre devido às condições do clima e do solo e quanto maior for à taxa de CO_2 maior será a taxa de produtividade da planta e se ocorrer à absorção do CO_2 ela estará desenvolvendo papel de sumidouro de carbono e se a taxa de CO_2 indica fonte de carbono para a atmosfera.

Na terceira e na quarta simulação foi possível observar que o parâmetro β_2 resultou na interação da produtividade da planta, sendo que valores maiores de β_2 indicam que as raízes são mais uniformes, tendo melhor desempenho de captura por água e menor será o estresse hídrico e para valor menor de β_2 indica raízes menos uniformes, com desempenho menor por captura de água e maior será o estresse hídrico nas plantas.

Provavelmente é necessário compreender melhor o sistema radicular e como ele influencia na vegetação e nos demais parâmetros utilizados neste trabalho e outros possíveis que podem ser usados para obter o melhoramento na execução do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ADÁMOLI, J. ET AL. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J.
- AGUIAR, R.G. et al., 2005 Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, p.1 e p.248-257 , 2005.
- ALBALADEJO, C.; BUSTOS CARA, R. Desarrollo local y nuevas ruralidades en Argentina.
- ALBALADEJO, C.E.; CARA, R.B. (ed.). Desarrollo local y nuevas ruralidades en An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. Jonathan A. Foley, I. Colin Prentice, Navin Ramankutty, Samuel Levis, David Pollard, Steven Sitch, Alex Haxeltine and plant species loss in a Brazilian Amazon Colony. Agriculture, Argentina, Brasil y Francia. UNS, INRA-SAD, Médiations, IRD/UR 102 y Dynamiques Argentina. Bahía Blanca: INRA-SAD, 2004.
- BECERRA, J.B., Alvalá, R.C.S. Detection of Tropical Savannah (Cerrado) Physiognomies in the Legal Amazon by the Application of the Vegetation and Moisture Indices with MODIS Time Series Data. In: The 8th International Conference On Southern Hemisphere Meteorology And Oceanography, Foz de Iguaçu. Proceedings of ICSHMO, Brazil, v. 1, p. 861-868. 2006.
- BLANCO, F. F. Tolerância do tomateiro à salinidade sob fertirrigação e calibração de medidores de íons específicos para determinação de nutrientes na solução do solo e na planta. Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 115p. Tese Doutorado
- BOX, E.O. 1996. Plant functional types and climate at the global scale. *J. Veg. Sci.* 7: 309–320. (Box, 1996).
- CAPOBIANCO, J. P. R. (Org) Dossiê Mata Atlântica, 2001. Instituto socioambiental. São Paulo, 2001.
- CONDIT et al., R.P.; Pitman, N.; Leigh, E.G.; Chave, J.; Terbogh, J.; Foster, R.B.; Nunez, D.; Aguilar, S.; Valencio; R.B.; Villa,G.; Muller-Landau, H.C.; Loses, E.& Hubbell, S.P. 2002. Beta diversity in tropical forest trees. *Science*, 255:666-669.
- CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DÍAZ, S.; BUCHMANN, Coronel Pacheco, 1995. 54 p.
- COSTA, M.H., et al. Estado-da-arte da simulação da taxa de fixação de carbono de ecossistemas tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, 179-187, 2009.
- do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, n. 16, p. 1-18, 2002.
- COSTA, A. A; BORGES, V. C.. Os solos do Cerrado brasileiro em cores, textura e arte. In: ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA, 12., 2009, Montevideú. Anais... Montevideú, 2009.

DURIGAN, G. ; MELO, Antônio Carlos Galvão de ; MAX, J C M ; VILAS BOAS, O. ; CONTIERI, Wilson A ; RAMOS, Viviane Soares . Manual para recuperação da vegetação de cerrado - 3a. edição revista e atualizada. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2011 (Manual Técnico).

DZWONKO, Z.; LOSTER, S. A functional analysis of vegetation dynamics in abandoned and Ecosystems and Environment. v. 69, n. 1, p. 17-26, 1998.

Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. Botanical Review 38: 201-341. EMBRAPA/CPAC, 1986, p. 33-74.

FERRAZ, J.S.F.; Albuquerque, U.P. & Meunier, I.M.J. 2006. Use-value and phytosociology of woody plants on the banks of the Riacho do Navio stream, Floresta, Pernambuco State, Brazil. Acta Botanica Brasilica 20: 125-134. Field et al., 1995.

FROST, P.G.H.; Medina, E.; Menaut, J.C.; Solbrig, O.T.; Swift, M.; Walker, B.H. Responses of savanas to stress and disturbance. A proposal for a collaborative programme of reserch. Report of a meeting of a na IUBS Working Group. Biology Internacional, Special issue 10,1986.

FUJISAKA, S.; ASTILIA, C.; SCOBAR, G.; RODRIGUES, Furley, P. A. & J. A. Ratter, 1988. Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. J. Biogeog. 15: 96-108.

FURLEY, P.A. & Ratter, J.A. 1988. Soil resources and plant communities of central Brazilian cerrado and their development. Journal of Biogeography 15: 97-108.

GARDNER, A.L.; ALVIM, M.J. Manejo de pastagem. Documento 19, EMBRAPA, GARDNER, R.H.; MANKIN, J.B. Analysis of biomass allocation in forest ecosystems of the IBP. In: REICHLE, P.D. Dynamic properties of forest ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press. 1981. p.451-497.

GONDARD, H. et al. Plant functional types: a promising tool for management and restoration of degraded lands. Applied Vegetation Science, v. 6, n. 1, p. 223-234, Feb. 2003. Houghton, 1994).

HASHIMOTO et al, H.; 2010. Evaluating the impacts of climate and elevated carbon dioxide on tropical rainforests of the western Amazon basin using ecosystem models and satellite data. California State University, Monterey Bay, Seaside, CA 93955, USA, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA 94035, USA, Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University, Fukushima, Japan. Global Change Biology (2010) 16, 255–271, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01921.x.

HENRIQUES, R.P.B. 2005. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. In Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação (J.C. Souza Silva & J.M. Felfili, eds.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p.73-92.

INGROUILLE, M. 1992. Diversity and evolution of land plants. Chapman & Hall, London, UK. Journal of Botany,v. 51, p. 335-380, 2003.

- KAHMEN, S., Poschlod, P. & Schreiber, K.F. 2004. Conservation management of calcareous grasslands. Changes in plant species composition and response of functional traits during 25 years. *Biol. Conserv.* 104: 319–328.
- KRAMER, P.J. Water relations of plants. New York: Academic Press, 1983. cap.6, p.146-186: Development of root system.
- KUCHARIK, C. J., J. A. Foley, C. Delire, V. A. Fisher, M. T. Coe, J. D. Lenters, C. Young-Molling, N. Ramankutty, J. M. Norman, and S. T. Gower (2000), Testing the Performance of a Dynamic Global Ecosystem Model: Water Balance, Carbon Balance, and Vegetation Structure, *Global Biogeochemical Cycles*, 14 (3), 795–825.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. Ed. RIMA São Carlos, SP, 2000. Latrubesse, E. M.; Stevaux, J. C.; Sinha, R. Tropical rivers. *Geomorphology*, v. 70, n. 3-4, p. 187-206, 2005.
- LAVOREL, S.; McIntyre S, Landsberg J, Forbes D (1997) Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology and Evolution* 12:474–478
- LIIRA, J. et al. Plant functional group composition and large-scale species richness in
- LLORET, F.; MONTSERRAT, V. Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in Mediterranean woodlands. *Journal Vegetation Science*, v. 14, n. 3, p. 387-398, Jun. 2003.
- MARENGO, J. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual
- MAURER, B. A. & B. J. MCGILL, 2005. Neutral and non-neutral macroecology. *Basic and Applied Ecology* 5: 413-422.
- MAZANCOURT, C., Johnson, E. e Barraclough, T. G. 2008 Biodiversity inhibits species evolutionary responses to changing environments. *Ecol. Lett.* 11, 380–388.
- MCINTYRE, S.; Lavorel, S.; (2001). Livestock grazing in sub-tropical pastures: steps in the analysis of attribute response and plant functional types. *Journal of Ecology* 89:209–226
- MENDONÇA, R.C.; Felfili, J.M.; Walter, B.M.T.; Silva Júnior, M.C.; Rezende, A.V.; Filgueiras, T.S. & Nogueira, P.E. 1998. Flora vascular do cerrado. Pp. 287- 556. In: M.S. & S.P. Almeida (Eds.) *Cerrado: ambiente e flora*. Embrapa- CPAC. Planaltina, DF.
- MITTERMEIER, R.A., C.G. Mittermeier, T.M. Brooks, J.D. Pilgrim, W.R. Konstant, G.A.B. Fonseca & C. Kormos. 2003. Wilderness and biodiversity conservation. *Proceedings of the National Academy of Science* 100: 10309-10313.
- NABINGER, C. Manejo e Produtividade das Pastagens Nativas do Subtrópico Brasileiro. In: *SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL*, 1; 2006. Anais... Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006, p. 25-76. Quadros et al. (2006).
- NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, v. 23, p.12-18, 2001.
- NYGAARD, B.; EJRNAES, R. A new approach to functional interpretation of vegetation data. *Journal of Vegetation Science*, v. 15, n. 1, p. 49-56, Fev. 2004.

- OLIVEIRA, A.N.; Amaral, I.L. 2004. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 34:21-34. (Philips et al., 2003)
- PILLAR, V.D. & Sosinski Jr., E.E. 2003. An improved method for searching plant functional types by numerical analysis. *Journal of Vegetation Science* 14: 323-332. (Pitman et al., 1999),
- PILLAR, V.D. 1999. On the identification of optimal plant functional types. *Journal of vegetation Science* 10:631-640.
- PRANCE, G. T. 1996. Island in Amazonia. *Philos. Trans. Roy. Soc. B* 351: 823-833.
- QUADROS, F. L. F. de et al. Uso de tipos funcionais de gramíneas como alternativa de diagnóstico da dinâmica e do manejo de campos naturais. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 2006, João Pessoa. *Anais... Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 2006.
- RADAM, 1978. Programa de Integração Nacional. Levantamentos de Recursos Naturais. v.18 (Manaus) - Radam (projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Brasil. 626p.
- RODRIGUES, A.S.L.; et al. 2004. Effectiveness of the global protected-area network in representing species diversity. *Nature* 428: 640–643.
- RUOKOLAINEN, K. & H. TUOMISTO, 2002. Beta-Diversity in Tropical Trees. *Science* 297(5586): 1439 (Scariot et al., 2005).
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SILVA, E. A. D. Avaliação da Eficiência do Uso da Água em Diferentes Biomas Brasileiros. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica, 2010 FOLEY, J. A. et al. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontier Ecology Environmet*. v. 1 n. 1, p. 38-44, 2003.
- SOSINSKI Jr, E.E. Tipos funcionais em vegetação campestre: Efeitos de pastejo e adubação nitrogenada. 2000. 130f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000. (Sosinski, 2004)
- SOSINSKI Jr.; E.E.; PILLAR, V.D.P. Respostas de tipos funcionais de plantas à intensidade de pastejo em vegetação campestre. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.1, p.1-9, 2004.
- STEFFEN, W.L., B.H. Walker, J.S.I. Ingram and G.W. Koch. 1992. Global change and terrestrial ecosystems: the operational plan. *International Geosphere--Biosphere Program*, International Council of Scientific Unions, Stockholm, Sweden, 95 p.
- THEAU, J.P. et al. Evolución de herramientas de diagnóstico sobre a base del diálogo entre investigación y extensión. El ejemplo de las praderas naturales de los pirineos. In: ALBALADEJO, C.E.; CARA, R.B. (ed.). *Desarrollo local y nuevas ruralidades en Argentina*. Bahía Blanca: INRA-SAD, 2004.

THOMTHWAITE, W.O.; 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*. V38, p 55-94.

WANG, R.Z. Photosynthetic pathway and morfological functional types in the steppe vegetation from Inner Mongolia, North China. *Photosynthetica*, v.41, n.1, p.143-150,

WHITEMAN, P.C., 1980. *Tropical Pasture Science*. Oxford University Press, Oxford, 392 pp.

WRIGHT, J. F.; FURSE, M. T.; ARMITAGE, P. D. & MOSS, D., 1993. New procedures for identifying running-water sites subject to environmental stress and for evaluating sites for conservation, based on the macroinvertebrate fauna. *Archiv für Hydrobiologie*, 127:319-326.