



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CAMILA CAETANO DA CRUZ

**ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA PARA OS DIFERENTES
USOS DO SOLO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, RJ**

Prof.º Dr.º RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Junho - 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CAMILA CAETANO DA CRUZ

**ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA PARA OS DIFERENTES
USOS DO SOLO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, RJ**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof.º Dr.º RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Junho – 2014

**ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA PARA OS DIFERENTES
USOS DO SOLO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, RJ**

Comissão Examinadora

Monografia apresentada em 26 de junho de 2014.

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado
UFRRJ/IF/DCA
Orientador

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
UFRRJ/IF/DCA
Membro

MSc. Givanildo de Gois
UFRRJ/IF/DCA
Membro

DEDICATÓRIA

Tudo posso naquele que me fortalece

Filipenses 4:13

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, pois sem ele nada poderia ter feito. Seu amor e bondade me fortalecem a cada dia.

Aos meus pais, Susana e Nahum, pela dedicação, carinho e compreensão em todos os momentos de dificuldade. Suas sábias palavras me guiam no caminho da paz interior, da sabedoria e do amor.

Ao meu irmão, Felipe, que sempre iluminou o meu caminho com seu amor, bondade e companheirismo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela possibilidade de realização da graduação no curso de Engenharia Florestal, e à todos os docentes e técnicos que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Ao prof. Rafael Coll Delgado pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, pela orientação, dedicação, compreensão e principalmente pela paciência.

Ao prof. Heber dos Santos Abreu pela oportunidade de estagiar no Laboratório de Biotecnologia da Madeira e aos professores Gustavo Bastos Lyra, José Francisco de Oliveira júnior e Ednaldo Oliveira dos Santos pelos ensinamentos passados durante a graduação.

Ao Engenheiro Florestal Enéas da Silva Oliveira por todos os ensinamentos passados e principalmente por sua generosidade durante o período de estágio no Ministério Público Federal.

A turma 2009-I pelos momentos inesquecíveis que me proporcionaram nesta graduação e principalmente aos amigos Murillo, Carla, Maria Vanessa, Raíza e em especial a uma pessoa que foi fundamental e que sempre me apoio durante estes cinco anos de graduação, Allana.

A minha querida amiga e irmã, Mariana Elena que sempre esteve presente, me apoiando e me aconselhando em todos os momentos da minha graduação e de amizade.

As minhas grandes amigas, Nathália, Jéssica, Bruna e Mariana Gurgel pela paciência e o amor demonstrados durante tantos anos de amizade.

À todos os outros amigos que não foram citados aqui, mas que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

RESUMO

A Produtividade Primária Bruta (PPB) é uma etapa fundamental da fotossíntese que corresponde à capacidade carboxilativa total das folhas, sendo responsável pela retirada do carbono atmosférico e disponibilizando-o para os processos metabólicos ecofisiológicos. Os ecossistemas florestais existentes nas Florestas Tropicais são de suma importância para os estudos das mudanças climáticas e seus efeitos, pois representam grande influência sobre os ciclos hidrológicos e biogeoquímicos. Este trabalho tem por objetivo quantificar a PPB para os diferentes usos e coberturas do solo para o ano de 2009, dividindo-o por sazonalidade e fitofisionomia; e analisar a variabilidade espacial da PPB e sua correlação com a precipitação em todo o Estado do Rio de Janeiro, para o ano de 2009. As maiores taxas de crescimento da PPB, calculadas no Teste de Mann-Kendall foi a Floresta que apresentou crescimento significativo em todas as estações do ano, seguidas da agricultura e pastagem, tendo decréscimo significativo da PPB no manguezal, nas estações do inverno e da primavera. Analisando a variabilidade espacial da PPB, os menores valores foram encontrados durante o inverno e os maiores na transição entre primavera e verão, ou seja, na época mais seca e fria e mais quente e úmida, respectivamente. Os maiores valores de PPB estão distribuídos pelas regiões Metropolitana, Serrana, Costa Verde e Baixada Litorânea em decorrência das maiores porções de floresta que são encontradas nestas regiões. A pastagem e o manguezal apresentaram alta relação da PPB com a precipitação, que pode estar associado ao rápido crescimento dessas áreas em função da menor quantidade de área foliar.

Palavras chave: estoque de carbono, fotossíntese, fitofisionomia.

ABSTRACT

Gross Primary Production (GPP) is an important stage of photosynthesis that corresponds to carboxylative capacity of leaves, responsible for capture carbon dioxide from the atmosphere and makes it available to forest ecophysiological process. The existing forest ecosystems in Tropical Forest are important for climate change studies and your impacts, because represent major influence on the hydrological and biogeochemical cycles. This study aims to quantify the GPP to different uses and land cover for the year 2009, dividing for seasonality and phytophysiognomy; and analyze the spatial variability of GPP and its correlation with rainfall in entire stage of the Rio de Janeiro, in 2009. The highest growths rates of GPP, calculated in the Mann-Kendall test was the floret that showed significant growth in all seasons, followed by agriculture and pasture, with significant decrease of GPP in the mangrove, in the winter and spring seasons. Analyzing the spatial variability of GPP, the lowest values were found during winter and the highest values in the transition from spring and summer, in other words, the dry and cold period and muggy, respectively. The highest values of GPP are distributed by regions Metropolitan, Serrana, Green Coast, Baixada Litorânea in due to the larger forest patches in the region. The Pasture and mangrove showed high ratio of GPP with rainfall, associated with rapid growth these areas due to lower leaf area.

Keywords: carbon stock, photosynthesis, phytophysiognomy

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Classificação dos usos e coberturas do solo	3
2.1.1 Floresta remanescente	3
2.1.2. Agricultura	3
2.1.3. Manguezal	4
2.1.4. Pastagem	4
2.2. Produto MOD17A2	4
2.3 Vantagens do sensoriamento remoto em estudos ambientais.....	5
2.4. Emissões e sequestro de carbono	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1. Área de Estudo	7
3.2. Cálculo da Produtividade Primária Bruta	8
3.3. Análise estatística	10
3.4. Análise espacial dos dados de precipitação	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5. CONCLUSÕES.....	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representa a fotossíntese primária bruta. Fonte: HEINSCH et al. (2003)	5
Figura 2. Representação espacial do uso e cobertura do solo no Estado do Rio de Janeiro	8
Figura 3. Fluxograma do algoritmo de cálculo do produto MOD17A2. Fonte: HEINSCH et al. (2003)	9
Figura 4. Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) distribuídas espacialmente no Estado do Rio de Janeiro para o ano de 2009	13
Figura 5. Análise exploratória de todas as classes em cada sazonalidade do ano de 2009	15
Figura 6. Estimativa da Produtividade Primária Bruta no verão, em 2009	17
Figura 7. Estimativa da Produtividade Primária Bruta na primavera, em 2009	18
Figura 8. Estimativa da Produtividade Primária Bruta no outono, em 2009	19
Figura 9. Estimativa da Produtividade Primária Bruta no inverno, em 2009	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise estatística do teste de Mann-Kendall	16
Tabela 2. Análise da regressão múltipla entre PPB versus a Precipitação	21

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais estão entre os biomas mais relevantes devido aos fluxos anuais de energia, água e carbono. Segundo WILLIAMS et al. (1998), apesar da extensão das florestas tropicais ser de apenas 8% da superfície terrestre do globo ($\approx 12.106 \text{ km}^2$), elas contem aproximadamente 40 % da biomassa (240 Pg C) e cerca de 50 % da produção primária líquida da biosfera ($\approx 30 \text{ Pg C a}^{-1}$). Dentre as florestas tropicais, destaca-se a Floresta Atlântica caracterizando-se por acentuada biodiversidade, espécies endêmicas e propícias a elevados índices de precipitação fazendo com que seja um dos biomas mais importantes do mundo.

O Estado do Rio de Janeiro comporta uma área de 43.780, 172 km^2 que abrange 100 % do bioma Mata Atlântica, a qual é subdivida em ecossistemas como a floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta ombrófila mista, floresta estacional decidual, floresta estacional semidecidual, mangues e restingas (CONAMA (1992). As Florestas tropicais são importantes estoques de carbono e habitats para espécies animais e vegetais (WHITMORE 1990, FISHER e THOMAS 2004, FEARNSTIDE, 2005). No entanto, estão sob constante ameaça principalmente devido à dinâmica do uso do solo e sua ocupação.

No contexto das mudanças climáticas, o enfoque para a fixação de carbono pelos ecossistemas florestais é o alicerce para mitigar danos e consequências das mudanças/variações climáticas a nível regional e global. Estes ecossistemas influenciam diretamente os sistemas produtores de tempo e clima e nos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos regionais e globais sendo objeto de diversos estudos (SELLERS et al., 1992; WALLACE et al., 1994; SELLERS et al., 1997; VOURLITIS et al., 2001; AVISSAR & NOBRE, 2002).

A quantidade de carbono nos ecossistemas terrestres é diretamente influenciada pelo uso da terra e mudanças em sua cobertura, que podem ser causadas em decorrência da atividade humana, especialmente, pela conversão da vegetação natural, como florestas, em áreas agrícolas ou pastagens. Assim, mudanças no armazenamento de carbono na vegetação e/ou no solo podem ter implicações significativas para a concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, em função da queima e/ou decomposição oriunda da retirada da floresta (SCHUMAN et al., 2002) e, dessa forma, contribuem nas mudanças do clima regional e global.

Neste sentido, o conhecimento da PPB também é importante para os estudos das mudanças climáticas, por estar diretamente relacionada ao carbono efetivamente extraído da atmosfera pelos diferentes ecossistemas terrestres. Este é um fator indispensável no estudo das florestas tropicais, visto que estas estão entre os biomas mais importantes em relação às taxas anuais da ciclagem biogeoquímica do carbono (C) (McKANE et al., 1995, WILLIAMS et al., 1998). A biomassa, constituinte das florestas, é um importante meio de fixação e estoque de carbono. Sequestram o carbono atmosférico através do processo de fotossíntese, biossintetizando na forma de carboidratos, sendo por fim depositados na parede celular. As florestas tropicais devido ao crescimento mais acelerado tendem a absorver mais CO_2 (dióxido de carbono) do que as florestas temperadas.

Os 20% de remanescentes florestais (PROBIO/MMA, 2006) encontram-se altamente fragmentados e localizados, principalmente, em áreas de difícil acesso (geralmente onde o relevo é mais acidentado). Seus remanescentes regulam, portanto o fluxo dos mananciais hídricos, asseguram a fertilidade do solo, controlam o clima (regulando a temperatura), protegem escarpas e encostas das serras, além de preservar um patrimônio histórico e cultural imenso (MMA, 1998). Mesmo com toda a sua importância, atualmente a Mata Atlântica está reduzida a aproximadamente 8% de sua área original. É o segundo Bioma mais ameaçado de extinção do mundo, perdendo apenas para as quase extintas florestas da ilha de Madagascar,

na costa da África. Atualmente, restam apenas cerca de 18,6% da floresta original do bioma Mata Atlântica no Rio de Janeiro, a maioria em fragmentos distribuídos ao longo de toda a sua extensão (INPE, 2013). O desmatamento e as agressões à Mata Atlântica comprometem regiões nas quais se localizam centros de endemismo importantes, tais como o estado do Rio de Janeiro, que perdeu 305,79 km² entre 1985 e 1990, 1.403,72 km² entre 1990 e 1995 e 37,73km² entre 1995 e 2000, totalizando 1.747,24 km² nos últimos 15 anos (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2001).

Um fator indispensável no estudo das florestas tropicais é a Produtividade Primária Bruta (PPB). Pode ser considerada como a soma da fotossíntese realizada por todas as folhas em escala ecossistêmica. Resulta da integração em escala temporal de dias à ano, medida em unidades de massa por área por tempo (ex. g Cm⁻²ano⁻¹) (CHAPIN III et al., 2011). A PPB representa a fixação bruta de carbono pelos ecossistemas terrestres, constituindo o caminho inicial do ciclo biogeoquímico do carbono na biosfera (YUAN et al., 2010). A PPB na escala de ecossistema, normalmente, não é medida diretamente e sim, estimada por modelos ou pela soma da troca líquida do ecossistema e a respiração do ecossistema, ambas estimadas por torres de fluxo (HUTYRA et al., 2007).

No contexto das mudanças climáticas, o enfoque para a fixação de carbono pelos ecossistemas é o alicerce para mitigar os danos e consequências das mudanças/variações climáticas. As florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, pois armazenam em suas árvores e no solo mais carbono do que o existente atualmente na atmosfera. A projeção excessiva de gases de efeito estufa (GEEs), sobretudo do dióxido de carbono (CO₂), acarretam em uma elevação da temperatura média terrestre, haja vista quando há o desmatamento das florestas, pois a maior parte do carbono guardado/armazenado nas árvores será liberada para a atmosfera rapidamente por meio de queimadas ou, mais lentamente, via decomposição (HOUGHTON, 1994).

1.1. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo quantificar a Produtividade Primária Bruta (PPB) para os diferentes usos e coberturas do solo para o ano de 2009, dividindo-o por sazonalidade e fitofisionomia; e analisar a variabilidade espacial da PPB e sua correlação com a precipitação em todo o estado do Rio de Janeiro, para o ano de 2009.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Classificação dos usos e coberturas do solo

2.1.1 Floresta remanescente

Os 20% de remanescentes florestais (PROBIO/MMA, 2006) encontram-se altamente fragmentados e localizados, principalmente, em áreas de difícil acesso (geralmente onde o relevo é mais acidentado).

O relevo do Estado é caracterizado por dois grandes grupos: as terras altas e as baixadas. Fazem parte das terras altas o Planalto de Itatiaia e inúmeras serras, como a dos Órgãos e a da Bocaina, cujos pontos culminantes são Agulhas Negras com 2.791,55m, Pedra dos Três Picos com 2.310m e Pico do Macela com 1.840m, a Floresta da Tijuca, entre outros (CIDE, 2008). Encontram-se nas terras altas, sobretudo nas áreas de relevo mais acidentado, os mais expressivos remanescentes da Mata Atlântica, assim como as maiores evidências de regeneração natural desta floresta (GOMES, 2009).

As baixadas são representadas pelos Campos dos Goytacazes (ou Campista), Baixada dos Rios Macaé e São João, Baixada da Guanabara e Baixada de Sepetiba. A denominação Baixada Fluminense fica restrita à porção do território que abrange os Municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias, Japeri, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Queimados e São João de Meriti.

Dentre os remanescentes florestais primários, destacam-se (IBGE, 1992): Floresta Ombrófila Densa ou Floresta Pluvial Tropical, Floresta Ombrófila Mista ou Floresta Pluvial Subtropical, Floresta Estacional Semidecidual ou Floresta Estacional Pluvial Tropical. Considera-se matas secundárias aquelas formadas através do processo de regeneração natural e/ou reflorestamento com espécies nativas, correspondendo às fases de sucessão natural “capoeira”. A Mata Atlântica remanescente no Estado do Rio de Janeiro é, em boa parte, fruto de regeneração natural e reflorestamento com espécies nativas (PÁDUA, 2002).

2.1.2. Agricultura

A agricultura é uma das atividades com pouca expressão no Estado do Rio de Janeiro, tanto em termos de área quanto em valor da produção, representando apenas 1% do PIB fluminense (FURTADO, 1998). Esta atividade distribui-se desde áreas de relevo plano até ondulado, nas baixadas e encostas de menor declives, em solos das classes dos Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos. O principal produto agrícola cultivado é a cana-de-açúcar, representando, aproximadamente, 80% da produção agrícola do estado, seguido das olerícolas, com 15%, e, por último, as culturas do café, milho, feijão e fruticultura que, juntas, correspondem aos 5% restantes (SANTOS et al., 2003)

A baixada campista concentra a quase totalidade das áreas agrícolas no Estado do Rio de Janeiro, com o predomínio da cana-de-açúcar e, mais recentemente, com a fruticultura, devido aos incentivos e ao mercado existente para o agronegócio. A região serrana do entorno da cidade do Rio de Janeiro, principalmente nos trechos que ligam as cidades de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, sendo considerada como polo de produção agrícola do estado, destaca-se pelo cultivo de produtos hortigranjeiros e de fruticultura, como por exemplo, o caqui, que coloca o estado do Rio de Janeiro como segundo maior produtor nacional (OLIVEIRA et al., 1996).

2.1.3. Manguezal

O manguezal é um ecossistema, representado por um tipo de vegetação litorânea, mangue, que constitui um dos mais típicos ecossistemas tropicais de grande importância ecológica e geológica nas regiões estuarinas, restringindo-se aos meios salobros, em solos salinos e tiomórficos (Gleissolos predominantemente), caracterizando-se como ambiente de transição entre o meio aquático e o terrestre (RIZZINI et al., 1988; RIO DE JANEIRO, 2000b). Apresenta alta densidade de indivíduos com pouca diversidade de espécies vegetais, em comparação a outros sistemas, como as florestas tropicais. Isto se explica por dois fatores ambientais de adaptação, que limitam e especializam a vegetação dos mangues: o conteúdo de sal e a carência de oxigênio. As principais adaptações das plantas de mangue são as raízes - escoras do mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), as lenticelas (estruturas que permitem a entrada de oxigênio nas raízes), a viviparidade, a esclerofilia e as glândulas excretoras de sal (RIZZINI et al., 1988).

No Estado, predominam a *Rhizophora mangle*, a *Avicenniaschaueriana* e a *Laguncularia racemosa*, que ocorrem associadas às *Hibiscus pernambucensis* (hibisco-do-mangue), *Acrostichum aureum* (samambaia-do-brejo), *Spartina alterniflora* (capim-paraturá) e *Dalbergia ecastophylla* (RIO DE JANEIRO, 2000). Em contraste com a baixa diversidade florística, os manguezais são considerados um dos mais produtivos ecossistemas do mundo, devido à grande quantidade de matéria orgânica em suas águas, funcionando como início de diversas cadeias alimentares costeiras (RIO DE JANEIRO, 2000), além de abrigarem uma grande diversidade de fauna.

2.1.4. Pastagem

Atualmente, este tipo de uso ocupa grande parte da superfície do Estado (23.985,85 km²), ou seja, 54,78% da área total, ocorrendo, predominantemente, em solos das classes dos Latossolos, Argissolos e Cambissolos (SANTOS et al., 2003).

Este tipo de uso da terra corresponde a áreas que sofreram intervenção antrópica, transformando a vegetação natural e/ou áreas agrícolas e outras, em pastagem plantada com gramíneas (*Brachiaria*, capim colômbio e outros), em geral, com algum tipo de manejo simples. Muitas vezes, ocorre também que esses pastos foram implantados em áreas inaptas que, associadas a um manejo inadequado, formam os conhecidos “pastos degradados”, muito comuns em todo o Estado e, principalmente, nas regiões norte e noroeste (SANTOS et al., 2003). Predomina a espécie braquiária (*Brachiaria* spp), quase sempre de baixa qualidade, devido a práticas inadequadas de manejo e a baixa fertilidade natural dos solos, resultando numa produção de aproximadamente 3 kg de leite/vaca/dia.

2.2. Produto MOD17A2

Diversos sensores orbitais têm sido empregados na determinação da PPB, como o Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) (KITAMOTO et al., 2007), o TM/ETM+ da série Landsat (GITELSON et al., 2008) e o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (RUNNING et al., 2004; SAKAMOTO et al., 2011).

O produto MOD17A2, referente à produtividade primária bruta (PBB), é um composto cumulativo de valores de PBB, baseados no conceito de eficiência da utilização da radiação solar pela vegetação. A produtividade primária está linearmente relacionada com a radiação ativa absorvida pela fotossíntese (APAR). Essa radiação é interceptada e absorvida de acordo

com a capacidade de absorção e área foliar da vegetação (MONTIETH, 1972). Os dados são originados a partir de um mosaico de 8 dias com 1 km de resolução espacial.

Em qualquer dado pixel dentro do conjunto global de 1 km pixels, a estimativa da Produtividade Primária Bruta (PPB – Gross Primary Productivity (GPP)) será calculada. A Figura 1, ilustra como a fotossíntese primária bruta é calculada e quais as etapas.

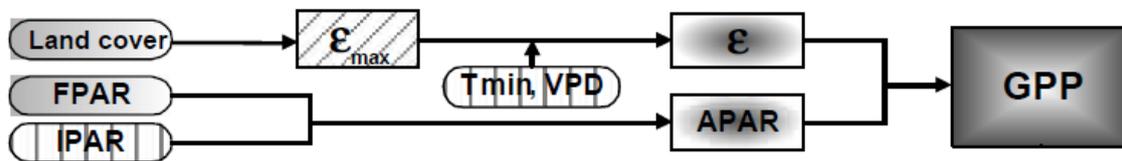


Figura 1. Representa a fotossíntese primária bruta. Fonte: HEINSCH et al. (2003).

O sensor MODIS fornece dados de alta qualidade para o monitoramento da vegetação terrestre, devido a sua maior resolução espectral em relação a outros sensores (36 bandas espectrais) (JUSTICE et al., 2002), sua alta resolução temporal (1-2 dias), sua calibração a bordo que garante a consistência da série temporal de reflectância (GUENTHER et al., 2002) e às manobras de órbita e altitude do satélite que fornecem precisão na geolocalização (WOLFE et al., 2002).

Lançado a bordo da plataforma Terra em 19 de dezembro de 1999, com uma varredura de 2.330 km, o sensor MODIS iniciou operacionalmente o fornecimento de produtos de produção primária (nomeados de MOD17) em 24 de fevereiro de 2000, em um intervalo de 8 dias, com uma resolução espacial de 1 km (ZHAO et al., 2005). Pela primeira vez na história, foi possível obter o status de crescimento da vegetação mundial, incluindo a produção primária, em tempo quase real (JUSTICE et al., 2002).

2.3 Vantagens do sensoriamento remoto em estudos ambientais

A tecnologia de geração de imagens obtidas por sensores remotos através dos satélites, foi essencial para o avanço em relação aos estudos ambientais, que são utilizados na obtenção de diversos dados haja vista os múltiplos usos das imagens de satélite, que proporcionam uma visão sinóptica (conjunto) e multitemporal (em diferentes datas) de extensas áreas da superfície terrestre. O sensoriamento remoto corrobora como uma ferramenta para a análise ambiental e para os estudos sobre as alterações provocadas pelo homem ao meio ambiente (FLORENZANO, 2002).

Através de softwares que auxiliam no tratamento de imagens, pode-se gerar figuras com diferentes composições de cores, ampliações de partes das imagens e classificações temáticas dos objetos nelas identificados, obtendo-se assim produtos como mapas temáticos que são usados para estudos de geologia, vegetação, uso do solo, relevo, agricultura, rede de drenagem, inundações, entre outros (CINTRA, 2007).

O mecanismo criado para a captura dessas imagens foram os algoritmos, que facilitam a extração de informações das imagens orbitais. Um desses foi o SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land que é amplamente utilizado em sensoriamento remoto, para determinar fluxos de calor sensível e latente a superfície (BASTIAANSEN, 1995). São necessários imagens de satélite e alguns elementos meteorológicos observados a superfície para converter os dados do algoritmo. A grande vantagem do SEBAL é determinar o saldo de radiação a superfície sem custos elevados.

2.4. Emissões e sequestro de carbono

O conceito de sequestro de carbono foi enunciado pela Conferência de Quioto, em 1997, com o intuito de conter e reverter o acúmulo de CO₂ na atmosfera, visando à diminuição do efeito estufa. No Brasil, as emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) oriundas da mudança de uso da terra e agricultura são bem mais acentuadas percentualmente, representando cerca de 75%, 91% e 94% do total de emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente (CERRI & CERRI, 2007). Para mitigar as variações climáticas, diversos meios artificiais de captura e de sequestro do carbono, assim como processos naturais estão sendo analisados e explorados.

As variáveis climáticas influenciam diretamente o fluxo de CO₂ para a atmosfera, e seus principais condicionantes são a temperatura (solo e atmosfera) e a umidade do solo (DUIKER & LAL, 2000). A temperatura merece destaque no fluxo de CO₂, uma vez que acréscimos podem elevar exponencialmente a taxa de respiração do solo (FANG & MONCRIEFF, 2001). Em razão das massas de ar que circulam no planeta possuírem diferentes temperaturas, o fluxo de CO₂ no globo terrestre também é diferenciado, em regiões mais quentes as emissões serão superiores.

O armazenamento de carbono no globo terrestre é dividido principalmente em cinco compartimentos: oceânico, geológico, pedológico, biótico (biomassa vegetal e animal) e atmosférico. O reservatório biótico apresenta cerca de 560 Pg de C (Carbono) (LAL, 2004). Já o compartimento atmosférico está entre os que apresentam a menor quantidade de carbono armazenada: cerca de 760 Pg (LAL, 2004). Entretanto, isso não o torna de menor importância, devido ao seu efeito no tocante às mudanças climáticas.

Com as atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis, como os diferentes usos da terra (floresta remanescente, floresta plantada (principalmente pinus e eucalipto), pastagens, culturas permanentes (destacando o cultivo de café, citros, cacau e banana) e culturas anuais (BODDEY et al., 2006), associados ao desmatamento e queimada são as principais causas do aumento dos níveis de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico. O bioma Mata Atlântica foi um dos que sofreu maior grau de intervenção humana, principalmente no que se refere ao desmatamento; o que contribuiu para que o carbono que estava estocado na biomassa florestal fosse emitido para a atmosfera. No entanto, os maiores estoques de carbono não são encontrados na atmosfera, mas sim, nos ecossistemas marinho e terrestre (vegetação + solo).

Segundo SEDJO (2001), as florestas trocam CO₂ com o ambiente por meio de processos como fotossíntese, respiração, decomposição e emissões associadas a distúrbios como fogo, o desfolhamento por diversas causas e à exploração florestal. As florestas oferecem grande potencial, em curto prazo, para remoção de CO₂ da atmosfera. O sequestro de C via reflorestamento é uma opção para mitigar as emissões de GEE no bioma Mata Atlântica. Segundo CIESLA et al. (1995), a proporção de C imobilizado pelas florestas está relacionada ao seu crescimento e sua idade. As florestas removem C, na forma de CO₂, em maiores proporções quando jovens e em fase de crescimento.

À medida que atingem a maturidade e o crescimento se estabiliza, a absorção de CO₂ é reduzida e a vegetação entra em estágio de equilíbrio dinâmico. As mudanças nos estoques líquidos de carbono determinam se um ecossistema florestal será uma fonte ou sumidouro do carbono atmosférico.

FEARNSIDE e GUIMARÃES (1996), pesquisadores do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas), concluíram que quanto mais inicial o estágio sucessional, maior será a taxa de incremento de biomassa: uma floresta secundária com 10 anos de idade assimila de

6,0 a 10,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹; com 20 anos de idade, a assimilação da floresta secundária varia de 4,0 a 7,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e com 80 anos, a assimilação média anual cai para 2,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

Estimativa realizada por MELLO et al. (2006), avaliando o potencial de sequestro de carbono na região da Mata Atlântica na camada de 0 a 20 cm de solo, resultou em aumento de 144 a 154 Tg ano⁻¹ de C, chegando a um potencial de sequestro de C de 3 Pg C, após 20 anos. Esses valores demonstram a fundamental importância de melhorar as práticas de manejo atuais nesse bioma, principalmente por meio da implantação de práticas de reflorestamento, recuperação de pastagens degradadas e eliminação do fogo em cultivos de cana-de-açúcar. Estima-se que a quantidade de C estocada no solo até um metro de profundidade esteja em torno de 1.576 Pg, distribuídos em 12,8 bilhões de hectares, nos continentes (ESWARAN et al., 1993), o que equivale a cerca de três vezes a quantidade de C no reservatório biótico e duas vezes a quantidade contida na atmosfera terrestre. Estima-se que a metade do C estocado no solo - cerca de 787 Pg - seja referente aos solos sob florestas (DIXON et al., 1994), enquanto as áreas sob pastagens contêm cerca de 500 Pg (SCHARPENSEEL, 1997), e as sob cultivo agrícola, 170 Pg de C (PAUSTIAN et al., 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo é o Estado do Rio de Janeiro, localizado entre as latitudes 20°45'45" e 23°22'10" S e longitudes 40°57'20" e 44°53'20" W (Figura 2), com área de 43.864,3 quilômetros quadrados (FIDALGO et al., 2007). Ocupando a região sudeste do Brasil, o Estado está totalmente inserido no Bioma Floresta Atlântica, apresentando ainda importantes fragmentos de floresta. Com relevo tipicamente acidentado, o uso e ocupação do solo é constituído principalmente por pastagens, ocupação urbana e alguns tipos de agricultura, de acordo com cada região (CRUZ et al., 2009).

Atualmente, o estado está dividido geopoliticamente em 92 municípios, inserido em oito mesorregiões: Região Norte Fluminense (RNF), Região Noroeste Fluminense (RNoF), Região Serrana (RG), Região Centro Sul Fluminense (RCSF), Região Baixadas Litorâneas (RBL), Região Metropolitana (RM), Região Médio Paraíba (RMP) e Região Costa Verde (RCV) (IBGE, 2013).

Devido ao relevo complexo, altitude e fenômeno da continentalidade/maritimidade, o estado do Rio de Janeiro apresenta diferentes padrões climáticos. Outro fator que contribui para a diversidade climática da área de estudo é a atuação dos sistemas meteorológicos de grande escala (Sistemas Frontais – SF, Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS e Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS), principalmente quando interagem com o relevo. Além disso, a disposição das serras do Mar e da Mantiqueira apresenta-se quase perpendicular ao escoamento médio da baixa troposfera, que associado às perturbações extratropicais, provoca aumento da precipitação a barlavento das montanhas, quando comparado às mesmas situações atmosféricas nas RMP e RBL (ANDRÉ et al., 2008).

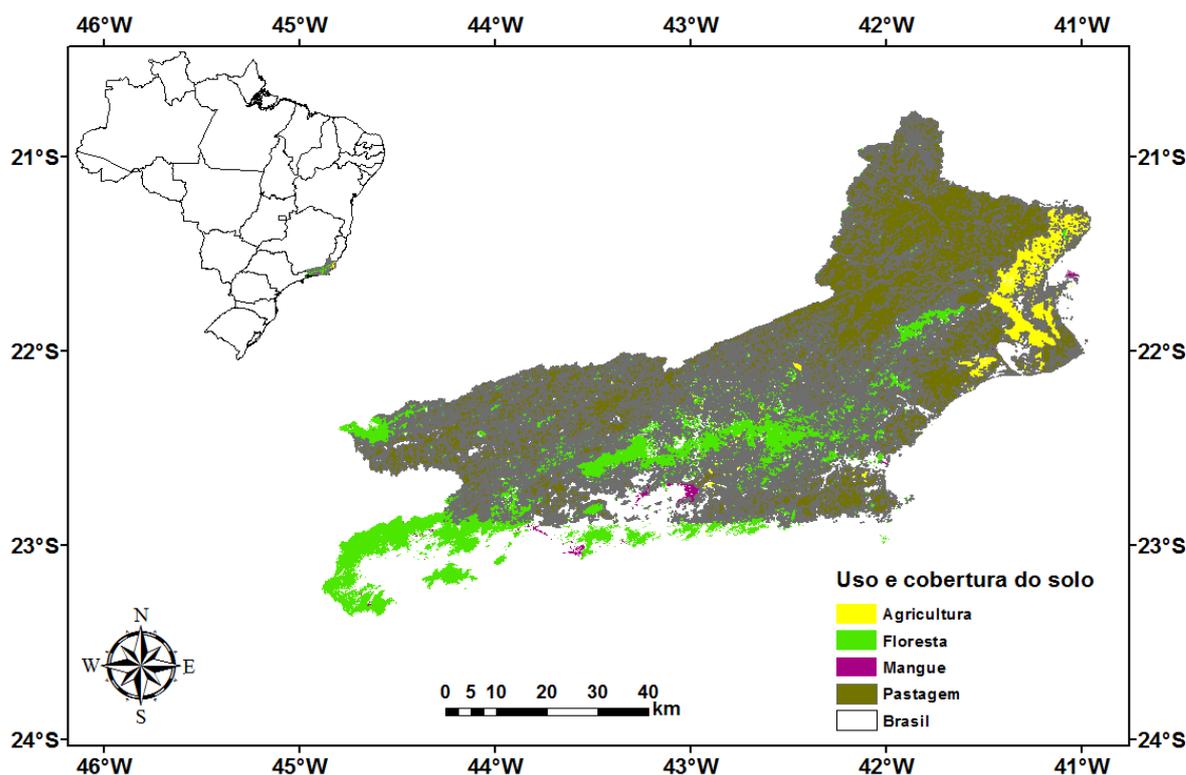


Figura 2. Representação espacial do uso e cobertura do solo no Estado do Rio de Janeiro.

3.2. Cálculo da Produtividade Primária Bruta

Diversos sensores orbitais têm sido empregados na determinação da PPB, destacando-se dentre eles, o ETM+ do Landsat 7 (GITELSON et al., 2011), o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS. O sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que é um dos cinco instrumentos do satélite TERRA que imagea toda a superfície da Terra a cada 1-2 dias, com varredura de 2.330 km, adquirindo dados em 36 bandas espectrais distintas.

A medida do GPP leva em consideração fatores como a propriedade fotossintética dos ecossistemas, e, portanto, a quantidade de nutrientes, água, luz e CO₂, fornecendo assim informações importantes quanto ao ambiente, o seu funcionamento e a resposta dos ecossistemas quanto às perturbações locais e globais (MALHI & WRIGHT, 2004).

Uma fração substancial do carbono fixado pela GPP é perdido por meio da respiração do ecossistema (R_e), o que inclui organismos autotróficos (R_a) e heterotróficos (R_h). O restante da GPP é destinado à produção primária líquida (NPP) da biomassa estrutural dos caules, folhas e frutas, carboidratos instáveis, como açúcares e amido, e, em menor grau, dos compostos orgânicos voláteis utilizados na defesa e sinalização de plantas. Por conseguinte, a GPP em escala ecossistêmica relaciona-se à NPP, através da seguinte equação:

$$GPP = NPP + R_e \quad (1)$$

O produto MOD17A2, referente à produtividade primária bruta (GPP), é um composto cumulativo de valores de GPP, baseado no conceito da eficiência da utilização da radiação solar pela vegetação (ϵ). Nessa lógica, a produtividade primária está linearmente relacionada com a radiação ativa absorvida pela fotossíntese (APAR). Essa radiação é interceptada e absorvida de acordo com a capacidade de absorção e área foliar da vegetação (MONTIETH, 1972). O algoritmo de cálculo do produto MOD17A2 está representado na Figura 3.

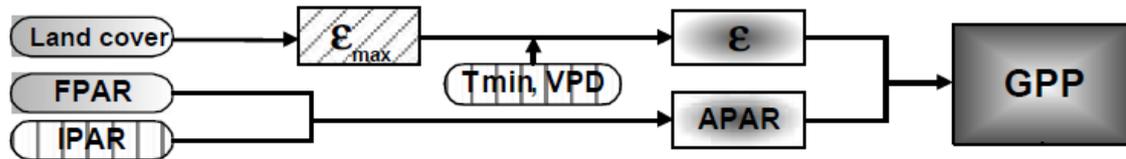


Figura 3. Fluxograma do algoritmo de cálculo do produto MOD17A2. Fonte: HEINSCH et al. (2003).

A APAR na Equação 2 pode ser calculada como o produto da radiação fotossinteticamente ativa (APAR) e a fração de radiação fotossinteticamente ativa que é absorvida pela cobertura vegetal (FPAR). Para o cálculo da APAR, os autores do produto MOD17 assumiram que a APAR é 45% do total de radiação solar incidente na faixa espectral visível de 0,4 μm - 0,7 μm (IQBAL, 1983).

$$\text{GPP} = \epsilon * \text{APAR} \quad (2)$$

Um dos maiores desafios no uso de tais modelos consiste em se obter a eficiência de uso da luz “ ϵ ” numa grande área, isto em virtude de sua dependência de fatores ambientais e da própria vegetação. Uma das soluções consiste em relacionar “ ϵ ” em função do seu valor máximo (ϵ_{max}), mais as contribuições ambientais sintetizadas pela temperatura mínima do ar (T_{min}) e o status de água na vegetação (DPV - déficit de vapor d’água) (FIELD et al., 1995; BASTIAANSEN; ALI, 2003), como demonstrado na Equação 3:

$$\epsilon = \epsilon_{\text{max}} * T_{\text{min}} * \text{DPV} \quad (3)$$

O produto MOD17A2, referente à PPB, é um composto cumulativo de valores de PPB, baseados no conceito de eficiência da utilização da radiação solar pela vegetação. A produtividade primária está linearmente relacionada com a radiação ativa absorvida pela fotossíntese (APAR). Essa radiação é interceptada e absorvida de acordo com a capacidade de absorção e área foliar da vegetação. Os dados são originados a partir de um mosaico de oito dias com 1 km de resolução espacial. Em qualquer dado pixel dentro do conjunto global de 1 km pixels, a estimativa da PPB será calculada.

As imagens obtidas precisam ser transformadas em valores analíticos, para isso é necessário a transformação dos números digitais em valores biofísicos (Equação 4) de acordo com o guia do usuário proposto por HEINSCH et al. (2003).

$$\text{Pixel Biofísico} = \text{Pixel da imagem (kg C m}^{-2}\text{)} * \text{Fator de escala (0,0001)} \quad (4)$$

Segundo HEINSCH et al. (2003), estas imagens para serem transformadas para valores $\text{kgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ é necessário a divisão por 8, já que o produto é de 8 em 8 dias.

$$\text{PPB}_{1\text{Km}} = \text{Pixel Biofísico (kg C m}^{-2}) / 8 \quad (5)$$

As imagens estão disponíveis no formato HDF (Hierarchical Data Format) e projeção Sinusoidal. Para que as imagens possam ser processadas no ArcGis 10.1®, será necessária transformação do formato HDF para GEOTIFF e a projeção Sinusoidal para UTM WGS 84. Para isso, será realizado um pré-processamento das imagens no algoritmo MRT (Modis Reprojection Tool). O MRT é um software exclusivo para trabalhar com imagens MODIS (USGS, 2014).

Para a confecção dos mapas temáticos respectivos aos cálculos da PPB utilizou-se o ArcGis 10.1®. Após os dados transformados de HDF para GEOTIFF, as imagens foram processadas a partir dos cálculos da equação 4 e 5, com o agrupamento de imagens de acordo com a estação e os meses do ano. Obteve a PPB com os diferentes usos e ocupações do solo e as sazonalidades do ano.

Sendo assim, as imagens geradas foram dos grupos fitofisionômicos, florestas, manguezais, pastagens e agricultura e os valores da PPB ($\text{Kg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) nas diferentes estações do ano (verão, primavera, outono e inverno).

3.3. Análise estatística

Para a análise de tendência da série de PPB estimado (orbital), foram considerados dados mensais de janeiro a dezembro, sendo estes dados submetidos ao teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória).

Considerando uma série temporal de Y_i de n termos ($1 \leq i \leq n$); a estatística de teste é dada por:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(Y_j - Y_i) \quad (6)$$

em que,

$$\text{sinal}(x) = 1 \text{ para } x > 0;$$

$$\text{sinal}(x) = 0 \text{ para } x = 0;$$

$$\text{sinal}(x) = -1 \text{ para } x < 0.$$

Para séries com grande número de termos (n), sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, S apresenta uma distribuição normal com média zero e variância:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (7)$$

Com base na análise da estatística Z é tomada a decisão de aceitar ou rejeitar H_0 , ou seja, pode-se confirmar a hipótese de estabilidade dos dados ou rejeitá-la a favor da hipótese alternativa (de existência de tendência nos dados). O sinal da estatística Z indica se a tendência é crescente ($Z > 0$) ou decrescente ($Z < 0$).

Testando a significância estatística de S para a hipótese nula usando um teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística Z , que é dada por:

$$Z = \begin{cases} S - 1/[\text{Var}(S)]^{1/2} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ S + 1/[\text{Var}(S)]^{1/2} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

O nível de significância α adotado é de $\alpha = 0,05 = 5\%$ para o teste de Mann-Kendall. Se a probabilidade p do teste de Mann-Kendall for menor que o nível α , $p < \alpha$, uma tendência estatisticamente significativa existe, enquanto, um valor de $p > \alpha$, confirma uma tendência insignificante. Para amostras onde não há tendências, o valor de Z é próximo de zero (MANN, 1945; KENDALL, 1975).

Os dados mensais de PPB foram submetidos ao teste de Pettitt (PETTITT, 1979), o teste utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, no qual se verifica se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_T são da mesma população. A estatística $U_{t,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda. Esta estatística localiza o ponto onde houve uma mudança brusca na média de uma série temporal.

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \text{ para } t = 2, \dots, T \quad (9)$$

em que,

$\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{t,T}$ é então calculada para os valores de $1 < t < T$, e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt se escreve:

$$k(t) = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (10)$$

Esta estatística localiza o ponto onde houve uma mudança brusca na média de uma série temporal, e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação:

$$p \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6k(t)^2}{(T^3 + T^2)} \right\} \quad (11)$$

O ponto de mudança brusca é o t onde ocorre o máximo de $k(t)$. Os valores críticos de K podem ser calculados pela equação 10:

$$K_{\text{crit}} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (12)$$

Para correlacionar os dados obtidos por sensoriamento remoto da PPB com a precipitação a partir dos dados de superfície das Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e também para verificar as tendências na distribuição espacial e temporal da PPB, foi utilizado também a análise de regressão múltipla.

A regressão linear múltipla tem o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente Y_i com duas ou mais variáveis independentes (X_i , $i=1, 2, \dots, k$). O modelo estatístico de regressão é dado por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (13)$$

Os parâmetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ da equação 11 são os coeficientes de regressão, onde β_0 é o intercepto da reta no eixo da ordenada e β_1, \dots, β_k é a inclinação da reta. O termo ε_i representa o erro associado à distância entre o valor observado Y_i e o correspondente ponto na curva do modelo proposto.

Quando o número de observações (n) for maior que o número de variáveis preditoras (k), o método mais usual para estimar a equação de regressão é o método dos mínimos quadrados ordinários. Esse método estima os parâmetros de regressão de forma a minimizar as somas quadráticas dos resíduos (MONTGOMERY et al., 2001).

A análise de variância (ANOVA) é utilizada para o teste da significância da regressão, ou seja, para verificar a existência de relação linear entre preditando e preditores (NETER et al., 2004). A verificação da qualidade de uma equação ajustada pode ser realizada por meio do coeficiente de determinação (r^2) da regressão múltipla, onde $0 \leq r^2 \leq 1$:

$$r^2 = \frac{SQReg}{SQT} \quad (14)$$

em que,

SQReg = Soma dos quadrados da regressão;

SQT = Soma dos quadrados total.

O coeficiente de determinação ajustado (Equação 13) é uma medida de controle que leva em consideração tanto a variabilidade de Y_i que é explicada pelo modelo quanto o número de variáveis de controle utilizado (MONTGOMERY et al., 2001):

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p} (1 - R^2) \quad (15)$$

em que, p = número de parâmetros do modelo.

3.5. Análise espacial dos dados de precipitação

Para interpolação espacial dos dados utilizou-se dados de relevo, gerados a partir de dados de radar, obtidos de sensores abordo do ônibus espacial *Endeavour*, no projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). O Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM, com 3 s de arco (aproximadamente 90 m de resolução espacial), é distribuído gratuitamente pelo governo norte-americano (MIRANDA, 2013). A partir disso foi utilizado o software ArcGIS 10.1 (ArcMap), onde foram gerados mapas da precipitação de 100 estações convencionais

distribuídas espacialmente em todo o estado do Rio de Janeiro (Figura 4) na escala sazonal para o ano de 2009, utilizando o método matemático de interpolação espacial *Spline*, e por fim foram comparados com os dados de PPB. Todavia, a adoção do método *Spline* se deve em função dele ser amplamente utilizado na espacialização de dados meteorológicos, principalmente dados de precipitação (FILHO et al., 2012 e GOIS et al., 2013).

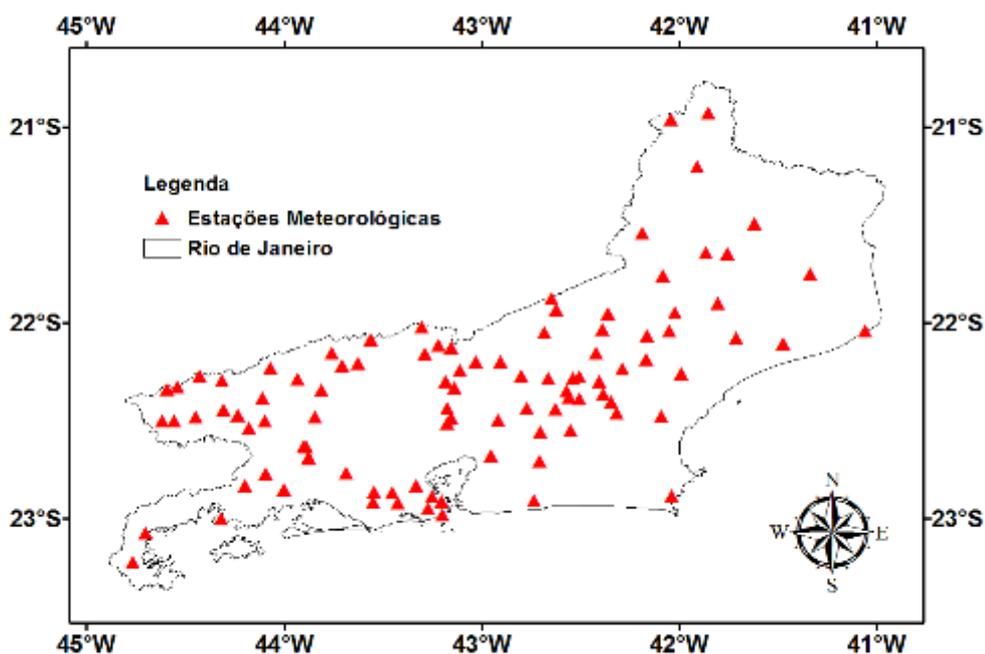


Figura 4. Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) distribuídas espacialmente no Estado do Rio de Janeiro para o ano de 2009.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o intuito de analisar a distribuição dos dados de variáveis quantitativas em função de seus parâmetros, confeccionou-se uma representação gráfica como forma de análise. O Boxplot conceituado na Figura 5, representa uma assimetria positiva dos dados analisados, correlacionando os ecossistemas em função da sazonalidade.

Os pontos extremos representados no gráfico indicam uma alta variabilidade dos dados, devido a distância dos interquartis serem menores que a distância do ponto a caixa. Os outliers indicam que pode ter uma variabilidade inerente de algum dado da observação, erro de medição ou erro de execução.

É possível verificar também, que as estações de outono (Equinócios) e no Solstício de Inverno, foram as que apresentaram as menores médias de aproximadamente 0,03 kg C m⁻² dia⁻¹, já a estação de verão obteve a maior média de aproximadamente 0,07 kg C m⁻² dia⁻¹.

Estes resultados são semelhantes ao trabalho de SILVA et al. (2013), onde foram encontrados valores superiores a 10 g C m⁻² dia⁻¹ em um estudo da PPB no perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. SILVA et al. (2013), destaca que estes altos valores de PPB estão associados a combinação da elevada radiação solar, alto índice de vegetação e elevada fração evaporativa, o que também pode ser levado em consideração neste trabalho, já que a

estação verão foi caracterizada com a maior PPB para ambos usos e coberturas do solo (Figura 5).

De acordo com os dados do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos), o ano de 2009 foi um ano de ocorrência fraca de El Niño, o que pode ter favorecido a atividade fotossinteticamente ativa das áreas vegetadas em aumentar a produção de PPB no verão (Figura 5) (CPTEC, 2014).

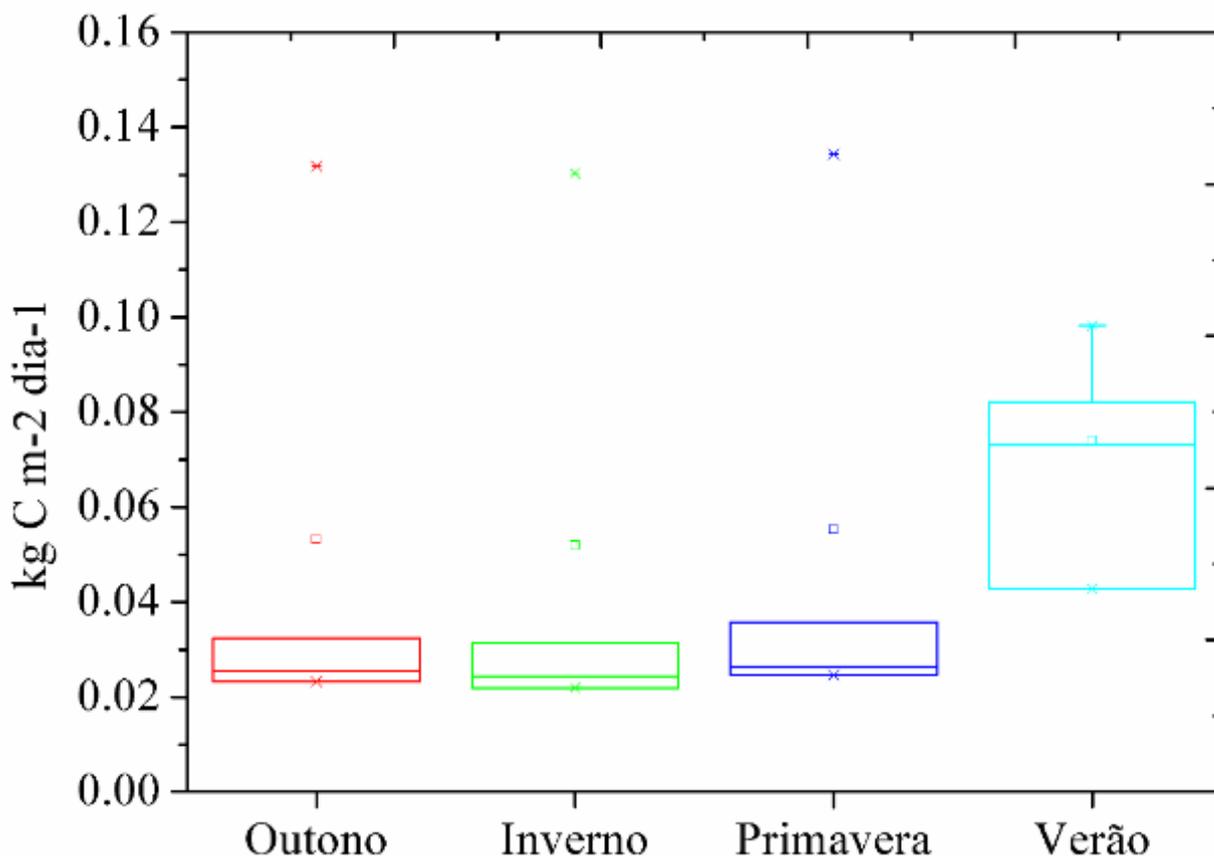


Figura 5. Análise exploratória de todas as classes em cada sazonalidade do ano de 2009.

Analisando os resultados obtidos através do Teste de Mann-Kendall, a fitofisionomia Floresta apresentou uma tendência significativa em relação a todas as sazonalidades, mostrando também com $Z > 0$, que no teste há o crescimento da série, no caso da PPB, demonstrando assim o melhor resultado dentre as classes estudadas, para o Solstício de verão e Equinócio de Outono (Tabela 1).

A classe pastagem, verifica-se uma tendência significativa para todas as estações do ano, mas no verão, ocorre uma tendência significativa decrescente, ou seja, uma baixa absorção de carbono no verão. A agricultura possui valores semelhantes a classe pastagem com tendências significativas ocorrendo um crescimento da série nas estações de outono, inverno e primavera, o que não ocorre no verão pois não existe tendência significativa. Com resultados bem distintos, o manguezal só tem tendências significativas com decréscimo da série no inverno e na primavera e tendências insignificantes de crescimento da PPB no verão e no outono.

De acordo com o trabalho de FEIGL (1994) e MORAES et al. (1996) *apud* SALIMON et al. (2007), as maiores PPB são devido a maior alocação do carbono nas camadas superficiais dos solos. Outro processo responsável pelo aumento do $Z > 0$ nas estações de Equinócios e Solstício de Inverno é em função de que nesta época do ano, o ar está mais seco e a emissão de carbono é maior em função do aumento da temperatura da superfície decorrente da ação de queimadas, o que pode levar a uma produção/emissão de carbono nestas áreas equivalentes a 12% da biomassa da área total de uma superfície de floresta (KAUFFMAN et al., 1998 *apud* SALIMON et al., 2007).

Dessa forma, o padrão sazonal da PPB sazonal acompanha as maiores taxas de radiação. Esses resultados concordam com a citação de ODUM & BARRET (2011), que menciona que o pico da estação de crescimento vegetativo em um ecossistema se dá durante os longos dias de verão.

No debate sobre o sequestro de carbono, há um interesse maior voltado às florestas tropicais úmidas (como as existentes no Brasil), pois é sabido que estas são caracterizadas por alta PPB (CHANG, 2002). As florestas tropicais assimilam 34% da PPB terrestre global e têm a maior PPB por unidade de área (BEER et al., 2010), o que fica evidente neste trabalho de que as maiores taxas de crescimento através do teste de Mann-Kendall de PPB são para cobertura florestal, indicando que estas também são responsáveis pelo sequestro de carbono atmosférico, o que facilitará em muito modelos de Biosfera-Atmosfera, a entender as mudanças climáticas ocasionadas por aumento dos Gases de Efeito Estufa (GEE), o que acarreta em aumento da temperatura do ar.

Tabela 1. Análise estatística do teste de Mann-Kendall

Classes/Sazonalidade	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA	
	Z	p-value	Z	p-value	Z	p-value	Z	p-value
Agricultura	0,06	0,95	12,93	$2,2 \times 10^{-6}$	13,64	$2,2 \times 10^{-6}$	20,25	$2,2 \times 10^{-6}$
Floresta	40,82	$2,2 \times 10^{-6}$	58,57	$2,2 \times 10^{-6}$	27,41	$2,2 \times 10^{-6}$	17,98	$2,2 \times 10^{-6}$
Mangue	-1,68	0,09	-0,86	0,39	-2,16	0,03	-3,19	0,001
Pastagem	-11,99	$2,2 \times 10^{-6}$	24,99	$2,2 \times 10^{-6}$	30,02	$2,2 \times 10^{-6}$	26,31	$2,2 \times 10^{-6}$

Na Figura 6, observa-se a maior PPB entre $0,0048 \text{ kg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $0,40 \text{ kg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ nas regiões, Costa Verde, Metropolitana, Serrana, Baixada Litorânea e Norte Fluminense devido aos remanescentes de florestas e por um percentual de agricultura do Estado, porém não se mostrou expressivo em relação as outras estações do ano. Já que nos meses de verão de 21 de dezembro a 20 de março, é comum o estabelecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que se caracteriza por uma banda de nebulosidade convectiva, estendendo-se em geral desde a Amazônia até o Oceano Atlântico, numa direção noroeste-sudeste (KOUSKY, 1988), em que representa um sistema típico dos meses de verão, quando a convecção tropical mais acentuada contribui para a geração e manutenção do fenômeno (KODAMA, 1992). Com uma faixa de baixa luminosidade, ou seja, baixa taxa de fluência de fótons, a PPB diminui mas rapidamente do que a respiração e a fotorrespiração, diminuindo a produtividade primária líquida. As taxas de assimilação de CO_2 apresentam uma diminuição linear em função da intensidade da radiação solar, devido aos dias parcialmente nublados e com altas probabilidades de precipitação, a intensidade luminosa incidente sobre a superfície dos vegetais é reduzida. Outro fator que pode influenciar a PPB é a temperatura, embora a fotossíntese das plantas C3 e C4 tenham um comportamento linear em resposta a luz, as plantas C3 destacam-se pela maior eficiência quântica quando as temperaturas são inferiores a

30°C e as plantas C4, quando as temperaturas são maiores que 30°C. A eficiência quântica relaciona a quantidade de CO₂ assimilado com a quantidade de fótons absorvida (número de moles de CO₂ fixado/ número de moles de fótons absorvido), fornece uma medida direta da energia exigida para a fixação de CO₂. A biomassa de cada fitofisionomia envolvida também contribui para o aumento ou diminuição da PPB, sendo a pastagem o ecossistema com menor biomassa, representando baixa assimilação de CO₂ comparado aos outros ecossistemas (Figura 6).

Como é destaque deste trabalho, os sistemas florestais são fontes de sequestro de carbono principalmente quando a temperatura da superfície aumenta e a um aumento da fotossíntese em função de uma redução da nebulosidade. Autores como CHANG (2002) destaca três formas de sequestrar carbono florestal: através da preservação do estoque de carbono nas florestas já existentes, por ação protetora; aumentando o estoque de carbono florestal por meio de uma ação combinada de práticas de manejo florestal sustentável, regeneração florestal e reflorestamento em áreas degradadas, ou introdução de atividades agroflorestais em áreas de agricultura; e pela substituição de combustíveis fósseis por produtos de biomassa vegetal sustentável. Este destaque de sequestro de carbono no Rio de Janeiro, poderá ser uma alternativa para a recomposição das áreas degradadas e sistemas agroflorestais

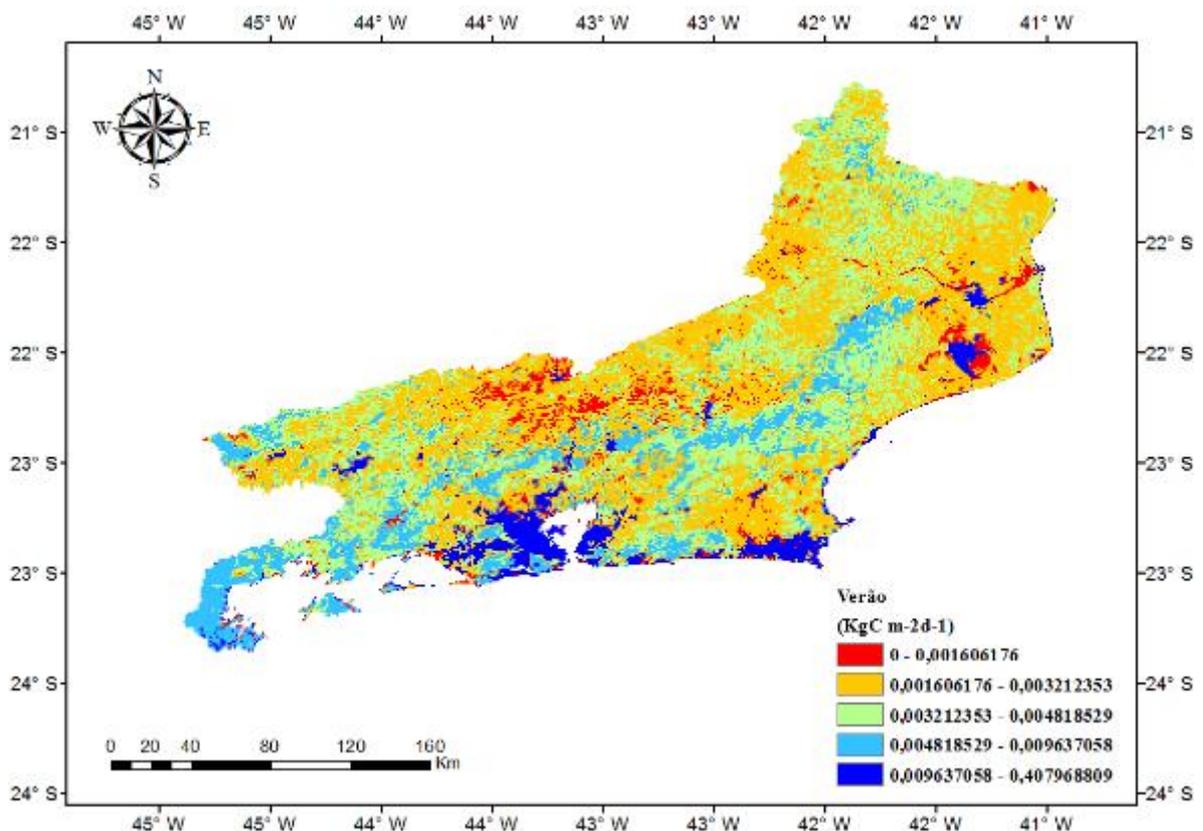


Figura 6. Estimativa da Produtividade Primária Bruta no verão, em 2009.

Na Figura 7, houve uma mudança em algumas áreas em relação ao verão, no qual se detectou uma maior produtividade na Região Centro Sul- Fluminense e Serrana. Os valores de maior produtividade estão entre $0,019 \text{ kg C m}^2 \text{ d}^{-1}$ a $1,23 \text{ kg C m}^2 \text{ d}^{-1}$, concentrados na região Metropolitana, Baixada Fluminense e Serrana. O aumento da PPB pode ser explicado devido a baixa nebulosidade nos dias de primavera, de 23 de setembro a 21 de dezembro aumentando a incidência e intensidade de luminosidade sobre a superfície foliar dos vegetais.

Na primavera, ocorre a passagem de sistemas frontais que fornecem a atmosfera condições mais amenas de temperatura e umidade do ar, favorecendo a produtividade primária bruta, devido a maior assimilação do CO_2 pelos vegetais da atmosfera e menor taxa de respiração e fotorrespiração.

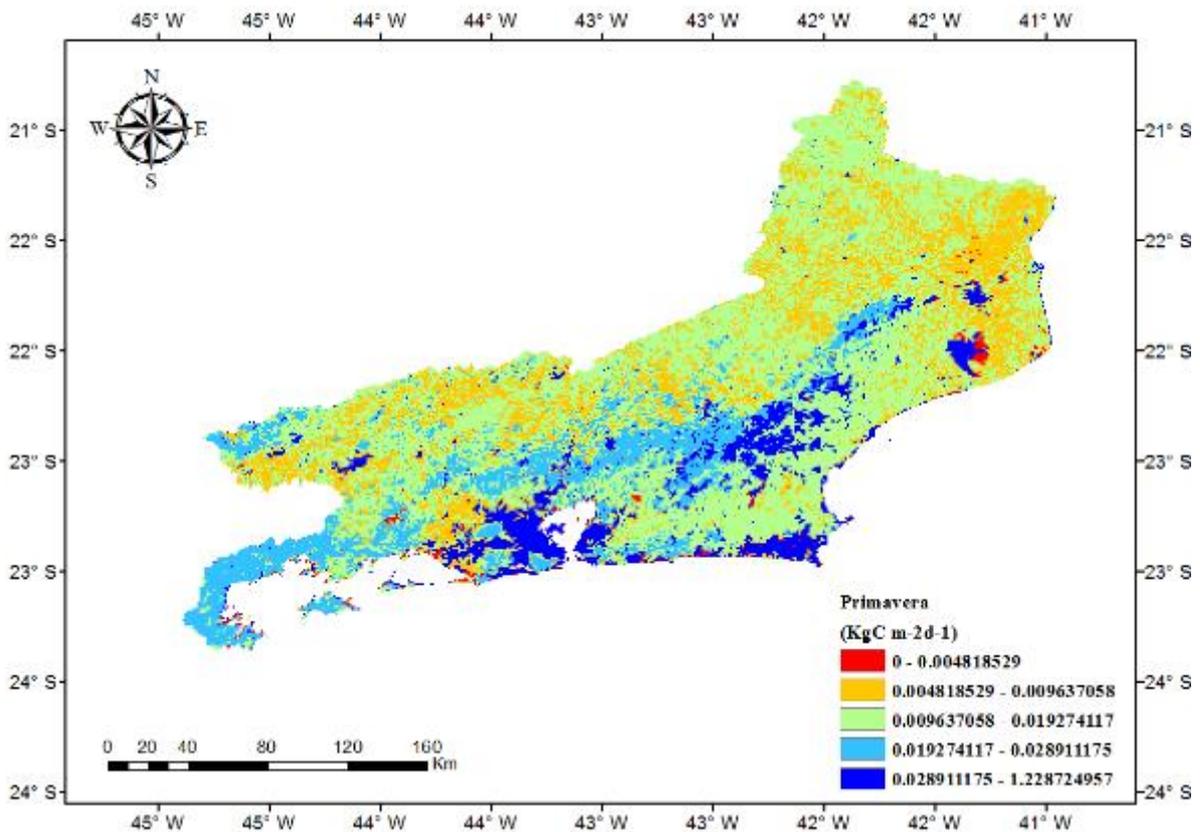


Figura 7. Estimativa da Produtividade Primária Bruta na primavera, em 2009.

Na Figura 8, observamos uma taxa maior de produtividade entre 0,014 kg C m⁻² dia⁻¹ a 1,23 kg C m⁻² d⁻¹ nas regiões da Costa Verde, Metropolitana, Baixada Litorânea e Norte Fluminense. No outono, de 20 de março a 20 de junho, ocorre na transição entre o verão e o inverno, contemplando características de ambas as estações, proporcionando uma temperatura mais amena (média de 20° a 30°C) e com alguns dias de nebulosidade. Nestas condições, a vegetação assimila o CO₂ atmosférico de forma satisfatória nos dias com menor temperatura e com pouca nebulosidade (CPTEC, 2014).

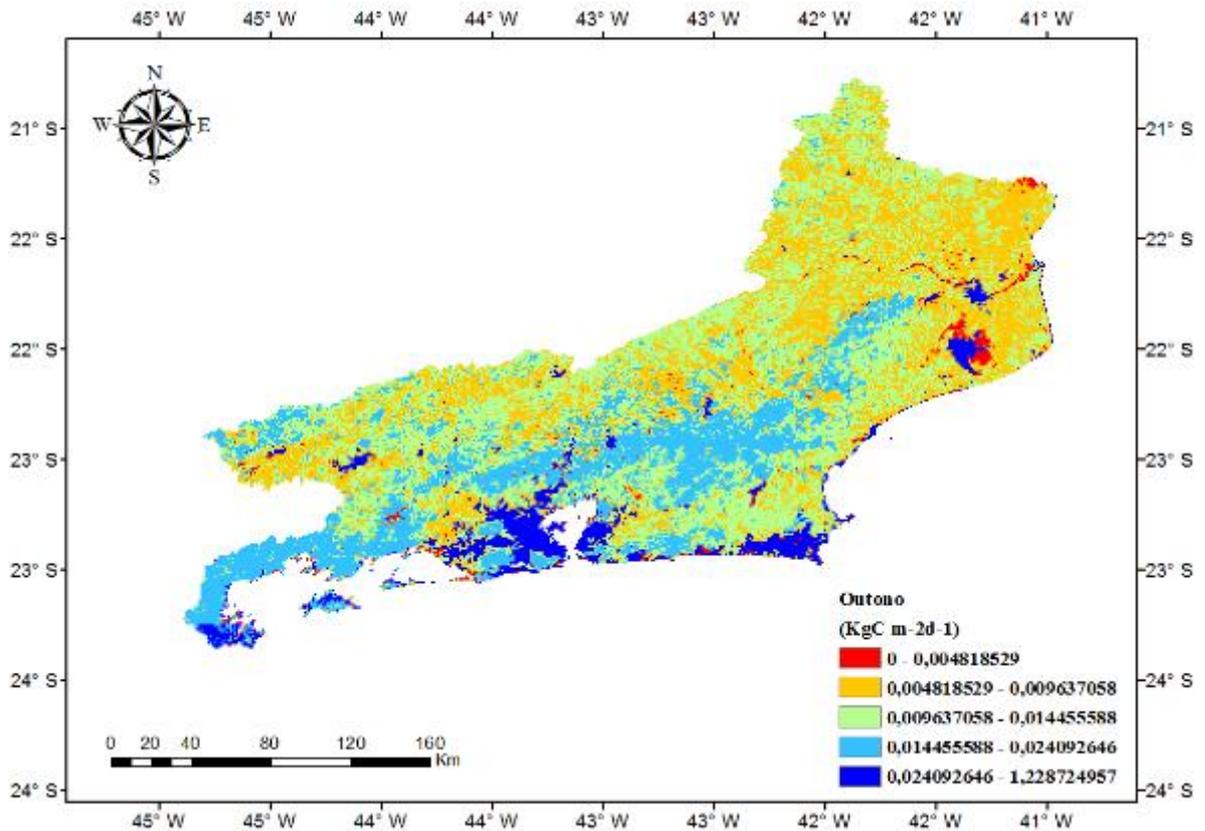


Figura 8. Estimativa da Produtividade Primária Bruta no outono, em 2009.

Na Figura 9, verificamos um aumento representativo em todas as regiões do Estado do Rio de Janeiro em relação a todos as estações do ano. Observou-se uma taxa maior de produtividade primária bruta entre 0,009 kg C m⁻² dia⁻¹ a 1,23 kg C m⁻¹ d⁻¹ em todas as regiões. As taxas de PPB aumentam proporcionalmente ao aumento da incidência da radiação solar, e isso pode ser evidenciado visto que no inverno, de 21 de junho a 22 de setembro, o principal sistema meteorológico é a frente fria. Este sistema é, geralmente, de fraca intensidade, embora possa ocorrer a passagem de algum sistema frontal mais intenso, causando chuvas generalizadas nas Regiões Sul e Sudeste, após a passagem de frentes frias, observa-se a entrada de massas de ar frio que, provocam queda de temperatura e o índice de umidade do ar diminui, tornando o ar seco. Em algumas regiões, como na Baixada Litorânea, Metropolitana e Costa Verde observou-se uma PPB igual à zero, esse fenômeno pode estar associado ao momento que taxa de consumo de CO₂ pela Fotossíntese primária líquida se iguala a taxa de liberação de CO₂ através da respiração e fotorrespiração.

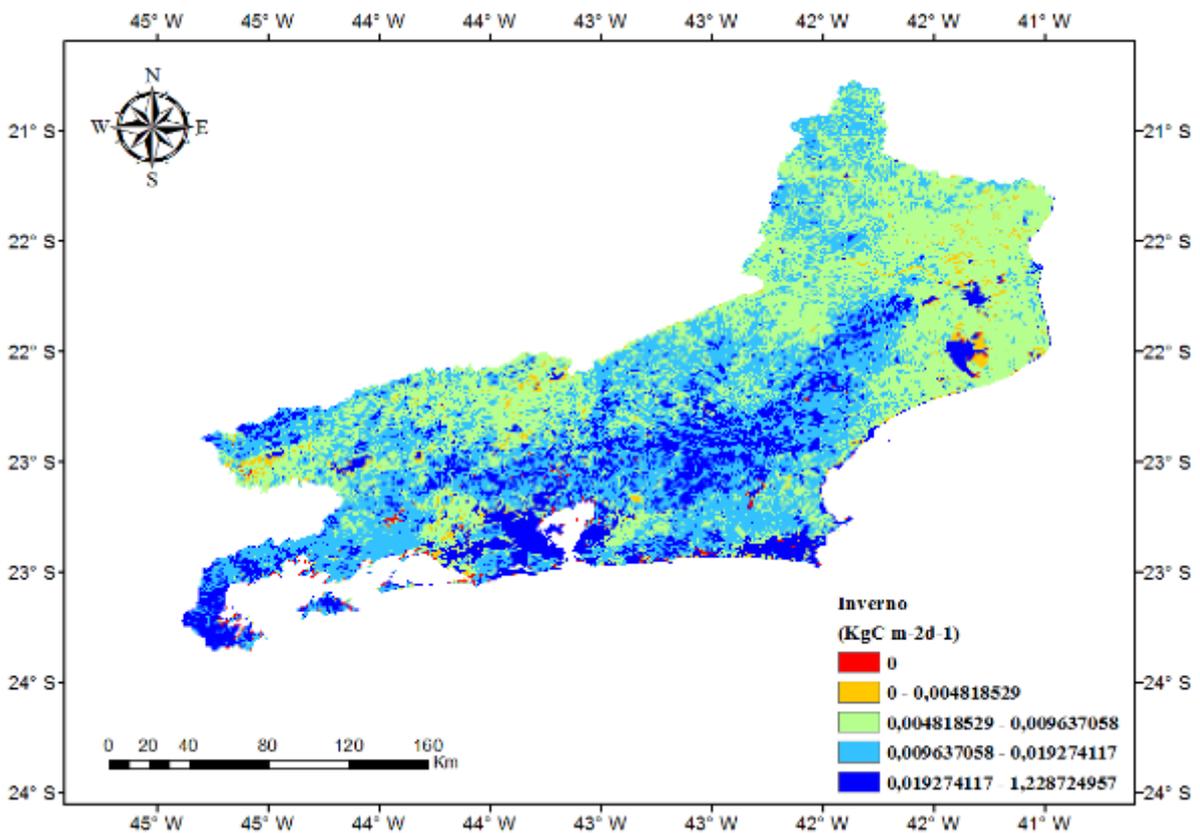


Figura 9. Estimativa da Produtividade Primária Bruta no inverno, em 2009.

Esses resultados (Figuras 6, 7, 8 e 9) indicam que a PPB apresenta seu valor mínimo durante o inverno e o máximo na transição entre primavera e verão, ou seja, na época mais seca e fria e mais quente e úmida, respectivamente.

Foi realizado uma análise da regressão múltipla entre PPB e a precipitação pluvial com o intuito de verificar alguma correlação com está variável meteorológica. Quando se analisa a agricultura, verificamos o maior R² (R-múltiplo) de 0,26 com um erro padrão de 0,1461 na estação outono, observando a floresta, encontramos um R² de 0,2103 e um erro de 3,4467 %, no manguezal um R² de 0,9179 com erro de 13,025 %, já que neste ecossistema o recurso hídrico é essencial para a manutenção e sobrevivência dos indivíduos, a precipitação é um

fator fundamental e com alta correlação. Na pastagem, observou-se um R^2 de 0,7050 e um erro de 0,02030 %, representando uma alta relação entre a precipitação a PPB no ecossistema pastagem na estação verão.

Estas áreas de mangues e pastagens, são áreas em que o crescimento é mais rápido, em função da menor quantidade de área foliar. Segundo SHUMAN et al. (2002) a quantidade de carbono no solo é diretamente influenciada pelo uso da terra e mudanças em sua cobertura, que podem ser causadas em decorrência da atividade humana, especialmente, pela conversão da vegetação natural, como florestas, em áreas agrícolas ou pastagens. Assim, mudanças no armazenamento de carbono na vegetação e/ou no solo podem ter implicações significativas para a concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO_2) e outros GEE (SCHUMAN et al., 2002). Fica evidente que o estado do Rio de Janeiro, através do aumento populacional, queimadas e perda de biomassa é responsável pela alta variabilidade e transformação de classes espectrais.

No papel das mudanças climáticas e nas áreas que tiveram a maior correlação com a precipitação (pastagens e mangues) é preocupante, porque podem estar acelerando o aumento de GEE como o CO_2 , CH_4 e óxido nitroso (N_2O). Segundo FEARNSIDE (2006), o aumento das concentrações de GEE na atmosfera são decorrentes da alteração da paisagem, como no caso das áreas de pastagens e manguezais no Rio de Janeiro (Tabela 2).

Portanto, temperaturas mais baixas e menor precipitação podem estar atuando como fatores limitantes da produtividade, conforme indicado pelo padrão da correlação entre a precipitação e PPB (Tabela 2).

Tabela 2. Análise da regressão múltipla entre PPB versus a Precipitação

Classes / Sazonalidade	PRIMAVERA	VERÃO	OUTONO	INVERNO
Agricultura R-múltiplo	0.235911921	0.020496607	0.256424619	0.138961822
<i>S (erro padrão)</i>	0.235911921	29.08963285	14.16184933	3.491455896
Floresta R-múltiplo	0.132985627	0.039526121	0.130715294	0.210338994
<i>S (erro padrão)</i>	8.937495275	29.07300798	14.52602884	3.446788474
Manguezal R-múltiplo	0.089410457	0.157591991	0.91793082	0.003518746
<i>S(erro padrão)</i>	8.981473142	69.63489626	13.02540378	0.653114394
Pastagem R-múltiplo	0.057439286	0.7050150484	0.020957247	0.648195218
<i>S(erro padrão)</i>	9.002701782	0.020304876	32.82383243	0.12255292

5. CONCLUSÕES

O sensor MOD17A2 aferiu de modo satisfatório as imagens referentes ao uso e cobertura do solo do Rio de Janeiro para o ano de 2009.

Observou-se que as maiores PPB foram encontradas para o Equinócio de Primavera e Solstício de Verão.

No teste de Mann-Kendall, a Floresta apresentou tendência significativa de crescimento da PPB maior em relação as outras estações do ano e as outras classes.

Na análise de regressão múltipla entre a PPB e a precipitação, a estação inverno, foi a que obteve os maiores valores de R-múltiplo (R^2) em relação as outras estações do ano. Além disso, as áreas de mangues e pastagens, foram as que tiveram as maiores correlações com a precipitação pluvial.

É necessário um melhor entendimento de dados de superfície para validar os resultados aqui discutidos. Também é necessário a comparação com outros sensores orbitais de alta resolução espacial e com uma temporalidade maior da série de dados da PPB e precipitação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, R. G. B. et al. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 4, p. 501-509, 2008.

AVISSAR, R.; NOBRE, C.A. Preface to special issue on the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). **Journal Geophys. Res.**, v.107, 8034, 2002.

BASTIAANSEN, W. G. M.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 94, p.321-340, 2003.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLSLAG, A. A. M. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p.198-212, 1995.

BEER, C.; REICHSTEIN, M.; TOMELLERI, E.; CIAIS, P.; JUNG, M.; CARVALHAIS, N.; RÖDENBECK, C.; ARAIN, M. A. ; BALDOCCHI, D. ; BONAN, G. B.; BONDEAU, A. ; CESCATTI, A.; LASSLOP, G.; LINDROTH, A.; LOMAS, M.; LUYSSAERT, S.; MARGOLIS, H.; OLESON, K. W.; ROUPSARD, O.; VEENENDAAL, E.; VIOVY, N.; WILLIAMS, C.; WOODWARD, F. I.; PAPALE, D. Terrestrial Gross Carbon Dioxide Uptake: Global Distribution and Covariation with Climate. **Science**. v.329, p.834-838, 2010.

BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; MACEDO, M.O.;OLIVEIRA, O.C.;RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Potential of carbon sequestration in soils of the Atlantic Region of Brazil. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York, Haworth, p.305-347. 2006.

Caracterização do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: www.cide.rj.gov.br/cide. Acesso em 20 ago. 2008.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – **CPTEC**. Disponível em: < www.cptec.inpe.br/>. Acesso: 16 de junho de 2014.

CERRI.C. **Desmatamento zero** - entrevista com Carlos Cerri. *Jornal On line O Eco*. 2007.

CHANG, M. **Sequestro de Carbono Florestal: oportunidades e riscos para o Brasil**. Tese – (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento).Universidade Federal do Paraná. Curitiba, n. 102, p. 85-101, 2002.

CHAPIN III, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2002. 436 p.

CIESLA, W.M.; MBUGUA, D.K.; WARD, J.D. Ensuring forest health and productivity: A perspective from Kenya. **Journal Forforest**. p. 36-39, 1995.

CINTRA, D. P. **Classificação dos estágios sucessionais florestais por meio de imagens de satélite de alta resolução (IKONOS) no Parque Estadual da Pedra Branca, RJ.** 2007, p. 5-6. Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Decreto no 750/1993, pela lei no 11.428/2006. Reconhecida a Lei da Mata Atlântica e consolidada através do Decreto no 6.660/2008 e pelo “*Mapa da Área de aplicação da Lei no 11.428, de 2006*”. **Lex:** Coletânea de Legislação e Jurisprudência. Rio de Janeiro. 1992. Legislação Federal.

DIXON, R. K. BROWN, S.; HOUGHTON, R.A.; SOLOMON, A.M.; TREXLER, M.C.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, Washington, v. 263, n. 1/2, p. 185 – 190. 1994.

DUIKER, S.W.; LAL, R. Carbon budget study using CO₂ flux measurements from a no till system in central Ohio. **Soil and Tillage Research**. Wallington, v. 54, n.1/2, p.21 – 30. 2000.

ERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; BONO, L. Ten-dência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 111-113, 1995.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Science**. p. 192-194, 1993.

FANG,C.; MONCIREF, J.B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, p. 155 – 165. 2001.

FEARNSIDE, P. M. GUIMARAES, W.M.; Carbon uptake by secondary forest in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 35-46. 1996.

FIDALGO, E. C. C. et al. Remanescentes da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro: distribuição dos fragmentos e possibilidades de conexão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. P. 3885-3892.

FIELD, C.B.; RANDERSON, J.T.; MALMSTROM, C.M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. **Remote Sensing of Environment**. v.51, p.74-88, 1995.

FILHO, H. C. C.; STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A. Análise especial da precipitação pluviométrica na bacia do lago Paranoá: comparação de métodos de interpolação. **Revista GEONORTE**, v.1, p.336-345, 2012.

FISHER, M. J.; THOMAS, R. J. Implications of land use change to introduced pastures on carbon stocks in the central lowlands of tropical South America. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, p. 111-131, 2004.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo. Oficinas de textos. 2002. p. 102.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INPE. 2001. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1995–2000**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/INPE.

FUNADAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA – Fundação SOS Mata Atlântica. **Atlas dos Remanescentes Florestais de Mata Atlântica**. INPE. 2006.

FURTADO, J. M. **Hora da retomada. Exame**, São Paulo, n. 664, p. 4- 6, 1998.

GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; MASEK, J. G.; VERMA, S. B.; SUYKER, A.E. Synoptic Monitoring of Gross Primary Productivity of Maize Using Landsat Data. **IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters**, v.5, n.2, p.133-137, 2008.

GOIS, G. ; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. ; DELGADO, R. C. ; MORAES, M. . SEVERIDADE DA SECA NO ESTADO DO TOCANTINS E SUAS RELAÇÕES COM OS EVENTOS DE EL NIÑO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 1973-1989, 2013.

GOMES, L.M.; REIS, R.B.; CRUZ, C.B.M. Análise da cobertura florestal da Mata Atlântica por município no Estado do Rio de Janeiro.In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. Natal. **Anais...Natal: UFRJ**, 2009. p. 3849 – 3857.

GUENTHER, B.; XIONG, X.; SALOMONSON, V. V.; BARNES, W. L.; YOUNG, J. On-orbit performance of the earth observing system moderate resolution imaging spectroradiometer; first year of data. **Remote Sens. Environ.** v.83, p.16–30, 2002.

HEINSCH, F.A.; REEVES, M.; VOTAVA, P.; KANG, S.Y.; MILESI, C.; ZHAO, M.S.; GLASSY, J.; JOLLY, W.M.; LOEHMAN, R.; BOWKER, C.F.; KIMBALL, J.S.; NEMANI, R.R.; RUNNING, S.W. **User’s guide, GPP and NPP (MOD17A2/A3) products, NASA MODIS land algorithm [online]**. 2003. Disponível em: <http://www.nts.gov/modis/MOD17UsersGuide.pdf> Acesso em: 27 mar 2014.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. C.;CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTERBERG, A.; MASKELL, K. (Ed.). **Climate change 1995 : the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge (Inglaterra) : Cambridge University Press, 1996. 584 p.

HUTYRA, L. R.; MUNGER, J. W.; SALESKA, S. R.; GOTTLIEB, E.; DAUBE, B. C.; DUNN, A. L.; WOFSY, S. C. Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences (2005–2012)**, v. 112, n. G3, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 mar. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira (Série Manuais Técnico)**. Rio de Janeiro, 1992. p. 92.

IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**, Academic Press, Canada, 1983, 390p.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R. E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**. v.83, p.3-15, 2002.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; QUAYLE, R. G. Indices of climate change for the United States. **American Meteorological Society Bulletin**, Boston, v. 77, n. 2, p. 279-292, Feb. 1996.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**, 4th ed., Charles Griffin: London, 1975.

KERBAUAY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2ª Ed. São Paulo. 2010, p. 104 – 127

KITAMOTO, T.; UEYAMA, M.; HARAZONO, Y.; IWATA, T.; YAMAMOTO, S. Applications of NOAA/AVHRR and observed fluxes to estimate 3 regional carbon fluxes over black spruce forests in Alaska. **Journal of Agricultural Meteorology**, v.63, p.171-183, 2007.

KODAM, Y. **Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zones, the SPCZ, and the SACZ)** Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. *Journal of Meteorological Society of Japan*, v. 70, n.4, p. 813-835, 1992.

KOUSKY, V. E. Pentad Outgoing Longwave Radiation Climatology for the South American Sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217–231, 1988.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, p. 1623-1627, 2004.

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica**, v.13, p. 245-259, 1945.

MCKANE, R. B.; RASTETTER, E. B.; MELILLO, J.M.; SHAVER, G. R.; HOPKINSON, C. S.; FERNANDES, D. N.; SKOLE, D. L.; CHOMENTOWSKI, W. H. Effects of global change on carbon storage in tropical forests of South America. **Global Biogeochemical Cycle**, v.9, n.3, p.329-350, 1995.

MELLO, F.F.C.; CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C Potential of soil carbon sequestration for the Brazilian Atlantic Region. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York, Haworth,2006. p.349-368.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Diretrizes para a Política de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Mata Atlântica**. Brasília-DF, 1998.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. **Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 17 abr. 2013.

MONTEITH, J. L. **Solar radiation and productivity in tropical ecosystems**. **Journal of Applied Ecology**, v.9, p.747-766, 1972.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 3. ed. [S.l.]: Wiley-Interscience, 2001. 641 p.

ODUM, E.P. & BARRET, G.W. 2011. *Fundamentos de Ecologia*. São Paulo, Cengage Learning. 612 p.

OLIVEIRA, F. B.; VAITSMAN, D. S.; PEREZ, D. V.; MENEGUELLI, N. do A.; MATTA, A. P. Estudos preliminares sobre a composição química do *Diospyros kaki* L. da região serrana do Rio de Janeiro. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**, 36. São Paulo, SP. **Resumos...** São Paulo: Associação Brasileira de Química. P. 13-15. 1996.

PÁDUA, J. A. **Um sopro de destruição-pensamento político e crítica ambiental no Brasil escravista** (1786-1888). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2002. p. 318 .

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E.T. & HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, p. 147-163, 2000.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the changepoint problem. **Applied Statistics**, London, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

PROBIO/MMA (2006). **Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Mata Atlântica**. 2002. Convênio UFRJ / IESB / UFF. Projeto Integrado para Mapeamento da Cobertura Vegetal do Brasil na escala 1:250.000.

RIO DE JANEIRO. **Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Manguezais do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, n.1, 2000b. p. 94.

RIZZINI, C. T. T.; COIMBRA FILHO, F.; HONAISS, A. **Ecosistemas brasileiros**. Rio de Janeiro: ENGE-RIO / Index Editora, 1988. p. 200.

RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; HEINSCH, F. A.; ZHAO, M. S.; REEVES, M.; HASHIMOTO, H. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. **Bioscience**, v.54, n.6, p. 547–560, 2004.

SALIMON, C. I., WADT, P. G. S., & MELO, A. W. F. (2007). Dinâmica do Carbono na conversão de floresta para pastagens em argissolos da formação geológica solimões, no sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, 7(1), 29-38.

SANTOS, M.L.M.; JACQUES, P.D.; COELHO, M.R.; PIMENTEL, J. SANTOS, H.G.; ALMEIDA, P.; BARBOSA, E.L.A.; COSTA, T.C.C.; ÁVILA, R.M.;SHINZATO, E.; BRANCO, P.M.P. Mapeamento do uso atual e cobertura vegetal dos solos do Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. Embrapa. 2003.p 19 - 28.

SAKAMOTO, T.; GITELSON, A.; WARDLOW, B. D.; VERMA, S. B.; SUYKER, A. E. Estimating daily gross primary production of maize only on MODIS WDRVI and shortwave radiation data. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.3091-3101, 2011.

SCHARPENSEEL, H.W. Preface to workshop '**Management of carbon in tropical soils under global change: Science, practice and policy**'. Geoderma, p. 1-8, 1997.

SCHUMAN, G. E.; JANZEN, H. H.; HERRICK, J. E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. **Environmental Pollution**, vol. 116, p. 391-396. 2002.

SEDJO, R. Forest Carbon Sequestration: Some Issues for Forest Investments. **Resources: for the future**. Washington, p. 26, 2001.

SELLERS, P. J., HALL, F. G., ASRAR, G., STREBEL, D. E., MURPHY, R. E. An overview of the first international satellite land surface climatology project (ISLSCP) field experiment (FIFE). **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, v. 97(D17), p. 18345-18371, 1992.

SELLERS, P. J.; HALL, F. G.; KELLY, R. D.; BLACK, A.; BALDOCCHI, D.; BERRY, J.; GUERTIN, F. E. BOREAS in 1997: Experiment overview, scientific results, and future directions. **Journal Geophys. Res.**, v. 102, p.28731–28759, 1997.

SILVA, B.B.; GALVÍNIO, J.D.; MARIA, S.; MONTENEGRO, G.L.; MACHADO, C.C.C.; OLIVEIRA, L.M.M.; MOURA, M.S.B. Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Gonçalo. Pernambuco. v.28, n.1, p. 57 - 64, 2013.

SILVA, F. B. **Modelagem da produtividade primária bruta na Amazônia**. 2013. p. 5 – 12. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – INPE. São José dos Campos .2013.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. **Genève: Organisation Meteorologique Mondial**, 192p. (OMM Note Technique, 143), 1975.

USGS - U. S. **Geological Survey**. 2014. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 abr. 2014.

VOURLITIS, G. L., PRIANTE FILHO, N., HAYASHI, M. M., NOGUEIRA, J. D. S., CASEIRO, F. T., HOLANDA CAMPELO, J. Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian transitional tropical forest (cerradao). **Functional Ecology**, v. 15 n. 3, p. 388-395. . 2001.

WALLACE, J. S., BROUWER, J., ALLEN, S. J., BANTHORPE, D., BLYTH, E. M., BLYTH, K., WILSON, A. K. HAPEX-Sahel Southern Super-Site Report: An overview of the site and the experimental programme during the intensive observation period in 1992. **Institute of Hydrology, Wallingford, UK**, 55, 1994.

WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical rain forests**. Oxford: Clarendon Press, 1990. p. 226.

WILLIAMS, M.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; RASTETTER, E. B.; GRACE, J.; PEREIRA, M. G. Seasonal variation in net carbon exchange and evapotranspiration in a Brazilian rain forest: a modelling analysis. **Plant, Cell and Environment**, v. 21, p. 953-968, 1998.

WOLFE, R. E.; NISHIHAMA, M.; FLEIG, A. J.; KUYPER, J. R.; ROY, D. P.; STOREY, J. C.; PATT., F. S. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. **Remote Sensing of Environment**, v.83(1-2): p.31-49, 2002.

YEVJEVICH, V. Probability and statistics in hydrology .Fort Collins : **Water Resources Publication**, 1972. 276 p.

YUAN, W.; LIU, S.; YU, G.; BONNEFOND, J. M.; CHEN, J.; DAVIS, K.; VERMA, S. B. **Global estimates of evapotranspiration and gross primary production based on MODIS and global meteorology data. Remote sensing of environment**, v. 114 n. 7, p. 1416-1431, 2010.

ZHAO, M.; HEINSCH, F. A.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. **Remote Sensing of Environment**. v.95. p.164–176, 2005.

