

**UFRRJ  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**Dissertação**

**AVALIAÇÃO DA RECOMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO  
DESMATADA E COMPORTAMENTO DA  
PRECIPITAÇÃO VIA SENSORIAMENTO REMOTO,  
UTILIZANDO OS PRODUTOS MOD44B E 3B43.**

**ROBERTO DIEGO BEZERRA DOS SANTOS**

**2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**AVALIAÇÃO DA RECOMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO  
DESMATADA E COMPORTAMENTO DA  
PRECIPITAÇÃO VIA SENSORIAMENTO REMOTO,  
UTILIZANDO OS PRODUTOS MOD44B E 3B43.**

**ROBERTO DIEGO BEZERRA DOS SANTOS**

*Sob a orientação do Professor*

**Rafael Coll Delgado**

*Co-orientação do Pesquisador*

**Eduardo Vinícius da Silva**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

**Seropédica, RJ  
Dezembro de 2014**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS

**ROBERTO DIEGO BEZERRA DOS SANTOS**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM:

---

Rafael Coll Delgado. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

André Quintão de Almeida. Prof. Dr. UFS

---

Marcos Gervasio Pereira. Prof. Dr. UFRRJ

---

Rafael de Ávila Rodrigues. Prof. Dr. UFG

*Aos meus pais,  
Aos meus irmãos,  
Aos meus familiares e  
Amigos.*

**Dedico**

IV

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre me guiando nos desafios da vida, colocando coisas boas em meu caminho, para me animar e, dificuldades, a fim de que eu amaduressece em minha jornada.

Aos meus pais: Sebastião e Conceição, meus irmãos: Rosângela, Robson e Rubens pelo apoio, dedicação e incentivo aos estudos e confiança.

A toda minha família pelo incentivo aos estudos.

À Lucimar Ribeiro de Paula, por sua companhia em todos os momentos em que precisei, em todas as dificuldades e felicidades. A você, Lu, o meu muito obrigado!

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de estudo e toda a estrutura oferecida para minha formação acadêmica.

Aos professores e técnicos da UFRuralRJ, pela contribuição na minha formação pessoal e profissional.

Ao meu Orientador Dr. Rafael Coll Delgado, pela paciência, dedicação, atenção, amizade e orientação.

A todos os meus amigos da universidade, do meu bairro, da minha antiga escola, FAETEC. Vocês foram muito importantes para essa conquista!

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

A CAPES pela concessão a bolsa.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto.

Ao professor Emanuel pelos ensinamentos e colaborações na realização deste trabalho.

Aos professores Eduardo Vinícius, Gustavo Lyra e José Francisco pelas contribuições em nosso artigo derivado deste trabalho.

E a todos que por ventura não foram citados, que contribuíram para minha formação acadêmica e humana, e realização desse trabalho.

**Obrigado**

V

## **BIOGRAFIA**

Roberto Diego Bezerra dos Santos nasceu no dia 14 de Maio de 1984, na cidade de Parnaíba, Piauí, filho de Sebastião Lucas dos Santos e Maria da Conceição Bezerra dos Santos. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Abril de 2007, no curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas no qual permaneceu até o ano de 2009, quando transferiu para o curso de Engenharia Florestal, sendo graduado Engenheiro Florestal em março de 2013. Estagiou nos laboratórios de meteorologia e geoprocessamento (Geoflora) do instituto de florestas. Em março de 2013 ingressou no programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Conservação da Natureza.

## RESUMO

SANTOS, R. D. B. **Análise da Cobertura Florestal em Áreas Desmatadas Através de Plataformas Orbitais na Amazônia Ocidental**. 2014. 50p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

Foi avaliada a recomposição da cobertura florestal desmatada baseado no produto MOD44B (sensor MODIS acoplado a plataforma do satélite TERRA) na espécie *Tectona grandis* L. f. (Teca) em Plácido de Castro, Acre, seguido da análise da influência do regime da precipitação no crescimento da vegetação por meio do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) referente ao produto 3B43, observou-se neste estudo o período de 2000 - 2010. Posteriormente, avaliou-se também, a dinâmica da vegetação de regeneração de florestas nativas em áreas desmatadas, utilizando, além do MOD44B e 3B43, o SRTM. Através destes analisou-se, temporalmente e espacialmente, a ocorrência de regeneração em áreas de desmatamento mapeadas pelo sistema PRODES do INPE. A análise foi feita convertendo em formato raster, o produto 3B43, e identificando as categorias do MOD44B com o software ArcGIS 10.1. Foi realizada leitura dos pixels da densidade de cobertura da vegetação, com intuito de acompanhar o desenvolvimento da espécie Teca e posteriormente, do crescimento da vegetação das áreas desmatadas, baseados no produto MOD44B. Comparando-se com os dados estimados de precipitação do TRMM ao longo do período estudado, os resultados indicaram correlação  $r = 0,75$ , o  $r^2$  foi de 56,67%, onde o ajuste foi de uma regressão logarítmica, o Erro Padrão de Estimativa foi de 110,21 mm para os dados analisados. A relação direta entre o acumulado anual de precipitação e a cobertura florestal dos pixels para o período estudado não obteve relação alguma com o desenvolvimento da Teca. Entretanto, ao analisar a vegetação nativa, o período de maior precipitação coincidiu com o período em que os pixels de menor densidade migraram para as categorias de maior densidade, sugerindo uma possível relação entre os índices de precipitação e o crescimento da vegetação. Dentro da área de estudo e ao redor do polígono da Teca, as categorias baseadas no produto MOD44B mais evidentes foram

categorizadas como Moderadamente Baixo (35%) e Moderadamente Alto (54%) em comparação as demais categorias. A análise do produto MOD44B em 10 anos para a espécie *Tectona grandis* L. f. em Plácido de Castro, foi consistente quanto ao crescimento da cobertura da vegetação na área de estudo. Os resultados encontrados na avaliação da área de floresta nativa mostraram que há regeneração nas áreas desmatadas e que, ao longo do tempo a densidade da vegetação tende a aumentar. As áreas regeneradas apareceram majoritariamente em áreas mais baixas e com menor declividade, seguindo a tendência do desmatamento. O MOD44B mostrou-se eficiente no estudo temporal e espacial da vegetação, indicando haver regeneração da cobertura vegetal ao longo do tempo.

**Palavras chave:** Amazônia, precipitação acumulada, crescimento da vegetação, sensoriamento remoto.



## ABSTRACT

SANTOS, R. D. B. **Análise da Cobertura Florestal em Áreas Desmatadas Através de Plataformas Orbitais na Amazônia Ocidental**. 2014. 50p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

Forest cover based on the product MOD44B (MODIS sensor coupled to the satellite platform TERRA) in the species *Tectona grandis* L. f was evaluated. (Taka) in Plácido de Castro, Acre, followed by analysis of the influence of precipitation regime in vegetation growth by means of satellite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) for the 3B43 product for the period 2000 - 2010 subsequently evaluated also, the vegetation dynamics of regeneration of native forests in deforested areas, using, in addition to MOD44B and 3B43, the SRTM. Through these temporally and spatially, we analyzed the occurrence of regeneration in deforested areas mapped by Prodes INPE system. The analysis was made in converting raster format, the 3B43 product, and identifying the categories of MOD44B with ArcGIS 10.1 software. Reading the pixel density of the vegetation cover was performed, in order to follow the development of the Teak species and subsequently the growth of vegetation in deforested areas, based MOD44B product. Compared with the estimated rainfall data from TRMM over the study period, the results indicated a correlation  $r = 0.75$ ,  $r^2$  was 56.67%, which was the setting of a logarithmic regression, the standard error of the estimate was 110.21 mm for the data analyzed. The direct relationship between the annual cumulative precipitation and forest cover of the pixels for the study period is not got to do with the development of Teak. However, when analyzing the native vegetation, the period of greatest rainfall coincided with the period in which the pixels of lower density migrated to the categories of higher density, suggesting a possible relationship between the indices of precipitation and vegetation growth. Within the study area and around the polygon Teak, categories based on product MOD44B more evident were categorized as Moderately Low (35%) and moderately high (54%) than the other categories. The analysis of MOD44B product in 10 years for the species *Tectona grandis* L. f. in Plácido de Castro, was consistent as the growth of the vegetation cover in the study area. The results of the evaluation of

natural forest area showed that there regeneration in areas cleared and, over time the vegetation density tends to increase. Regenerated areas appeared mostly in lower and lower slope areas, following the trend of deforestation. The MOD44B proved effective in temporal and spatial study of the vegetation, indicating that there is regeneration of vegetation cover over time.

**Keywords:** Amazon, accumulated rainfall, vegetation growth, remote sensing.

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados de precipitação acumulada anual (mm) das Estações Meteorológicas de Superfícies existentes no Estado do Acre para as localidades de Cruzeiro do Sul, Rio Branco e Tarauacá, respectivamente.....	25
<b>Tabela 2.</b> Classificação do Uso e Cobertura da Terra (Tipo 1) oriunda do produto MCD12Q1 .....	26
<b>Tabela 3.</b> Análise estatística da precipitação acumulada (mm) da EMS e os dados de precipitação do satélite TRMM para o estado do Acre no período de 2000-2010 .....	32
<b>Tabela 4a-b.</b> Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada categoria .....	38
<b>Tabela 5.</b> Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov .....	39
<b>Tabela 6.</b> Resultados dos testes de Kolmogorov-Smirnov para as classes de vegetação .....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo e o Uso da Terra gerado pelo produto MODIS para o município de Plácido de Castro, AC..... 21
- Figura 2.** Localização geográfica da área de estudo, e a área plantada de *Tectona grandis* L. f. (30 hectares)..... 23
- Figura 3.** Fluxograma referente ao processamento dos dados do MODIS..... 27
- Figura 4.** Precipitação acumulada (mm) estimada pelo satélite TRMM e observada nas EMS (INMET) no Estado do Acre no período de 2000-2010..... 30
- Figura 5.** Regressão logarítmica ( $r^2$ ), análise de correlação ( $r$ ) e Erro Padrão de Estimativa (EPE) para os dados estimados (3B43) e observados (INMET) para o Acre durante o período de 2000-2010..... 31
- Figura 6.** Análise espaço-temporal do percentual (%) da área plantada da espécie *Tectona grandis* L. f. em Plácido de Castro, AC no período de 2000-2010..... 34
- Figura 7.** Análise do crescimento da espécie *Tectona grandis* L. f. na área de experimento da Embrapa Acre, em Plácido de Castro, baseado no produto MOD44B no período de 2000-2010 ..... 35
- Figura 8.** Análise de regressão das categorias EB (a), MB (b), MODB (c), MODA (d) e EA (e) para os anos de 2000 a 2010 ..... 37
- Figura 9.** Comportamento da frequência dos pixels dentro das classes nos diferentes anos analisados..... 41
- Figura 10.** Distribuição dos pontos de regeneração sobre o Modelo Digital de Elevação do SRTM..... 42
- Figura 11.** Distribuição das médias anuais de precipitação oriundos do sensor 3B43 e as classes espectrais do MOD44B para o município de Plácido de Castro, AC..... 43

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	V
BIOGRAFIA.....	VI
RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	IX
ÍNDICE DE TABELAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
1 INTRODUÇÃO .....	13
2 OBJETIVO .....	15
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	16
3.1 Sensoriamento Remoto e o estudo da vegetação .....	16
3.2 Características dos sensores e condições de imageamento dos dados.....	16
3.3 Influência dos Aspectos estruturais, anatômicos e fisiológicos na indentificação da vegetação via sensoriamento remoto. ....	18
3.4 O Sensor MODIS e o produto MOD44B.....	19
3.5 O satélite TRMM e o produto 3B43 .....	19
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	21
4.1 Área de estudo .....	21
4.2 Avaliação do povoamento de <i>Tectona grandis</i> L. f. e do comportamento da precipitação.....	22
Tabela 1. Dados de precipitação acumulada anual (mm) das Estações Meteorológicas de Superfícies existentes no Estado do Acre para as localidades de Cruzeiro do Sul, Rio Branco e Tarauacá, respectivamente.....	25
4.3 Análise da regeneração e correlação com a precipitação.....	25
Tabela 2. Classificação do Uso e Cobertura da Terra (Tipo 1) oriunda do produto MCD12Q1 ..	26
4.4 Análise estatística da variação da vegetação nativa e da precipitação anual.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.1 Áreas reflorestadas com a <i>Tectona grandis</i> L. f. na Amazônia Ocidental .....	29
Tabela 3. Análise estatística da precipitação acumulada (mm) da EMS e os dados de precipitação do satélite TRMM para o estado do Acre no período de 2000-2010.....	32
5.2 Áreas de floresta nativa na Amazônia Ocidental .....	35
Tabela 4a. Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada categoria. ...	38
Tabela 4b. Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada categoria. ...	38

Tabela 5. Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov. ....	39
Tabela 6. Resultados dos testes de Kolmogorov-Smirnov para as classes de vegetação. ....	41
6 CONCLUSÕES.....	44
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

O município de Plácido de Castro foi criado em 30 de março de 1963. Inicialmente era uma colocação de seringueiros, passando posteriormente a depósito do Seringal São Gabriel, com o nome de Pacatuba. Em 1922 com o crescimento do povoado recebeu o nome de Plácido de Castro, em homenagem ao herói da revolução acreana. O processo de desenvolvimento inicial deu-se em razão da posição comercialmente estratégica para compra de borracha (*hevea brasiliensis*) e castanha (*bertholletia excelsa*) e fornecimento de mercadorias, função de entreposto que concentrava toda produção da rica e vasta região boliviana (IBGE, 2013).

Segundo IBGE, 2013 houve um crescimento médio de 2 mil habitantes de 1991 (15.535 mil habitantes) para 2010 (17.209 mil habitantes), o que não ocorre no setor agrícola, onde o crescimento teve redução considerável de acordo com os dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (SIDRA, 2013). A pecuária mista e de corte está localizada em todo o estado, à beira das rodovias federais. Os municípios acreanos que mais se destacam em cabeças no efetivo bovino são: Rio Branco, Senador Guiomard, Bujari, Xapuri, Sena Madureira, Plácido de Castro, Brasiléia, Acrelândia e Capixaba. Destaca-se o município de Plácido de Castro onde o número médio de cabeças de gado em 1977 era de 3.777, passando em 2011, para 140 mil cabeças de gado aproximadamente (SIDRA, 2013).

A Amazônia brasileira vem, há décadas, sofrendo com a intensa degradação de sua vegetação natural, devido principalmente à criação de rodovias; desenvolvimento de polos no processo de ocupação (MACHADO, 1998; ALVES *et al.*, 1999; ALVES, 2002; ALVES *et al.*, 2009) e à intensificação do uso da terra e expansão de novas áreas desmatadas, associadas ao abandono após o esgotamento dos recursos das mesmas.

De acordo com o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD), o desmatamento em outubro de 2012 foi de 487 quilômetros quadrados de desmatamento na Amazônia Legal. Isso representou um aumento de 377% em relação a outubro de 2011 quando o desmatamento somou 102 quilômetros quadrados. O acumulado “desmatamento” no período de agosto a outubro de 2012 totalizou 1.151,6 km<sup>2</sup>. Houve um aumento de 125% em relação ao período anterior (agosto a outubro de 2011) quando o desmatamento somou 511 quilômetros quadrados. Em outubro de 2012, pouco mais de um terço (36%) do desmatamento ocorreu no Pará e um pouco menos (30%) em Mato Grosso. O restante ocorreu no Amazonas com 17%, Rondônia com 12% e outros Estados (Acre, Tocantins e Roraima) (IMAZON, 2013).

Devido a processos como estes, onde se observa um significativo aumento da perda de vegetação, a compreensão da dinâmica de desflorestamento e regeneração natural em florestas tropicais é um conhecimento vital para a conservação e manejo desses ecossistemas. Assim, quantificar as variações da cobertura florestal amazônica e compreender as variáveis que as influenciam, é de grande relevância, devido a seu papel na fixação do carbono global (MALHI & GRACE, 2000) e a contribuição no ciclo hídrico da região (McGUFFIE *et al.*, 1995, WERTH & AVISSAR, 2002). Além do que, segundo CORDEIRO *et al.* (2008) o desmatamento das florestas em ambiente tropical contribui de forma significativa para o Aquecimento Global.

Entretanto, estudos de vegetação em grande escala nessa região, por meio de representativas amostragens de campo, são difíceis de serem realizados, principalmente devido a sua extensa área, heterogeneidade, hostilidade, relevo e dificuldade de deslocamento (ARAGÃO *et al.*, 2007).

Nessas situações, o uso de dados obtidos via sensoriamento remoto permite estudos de alta confiabilidade nas escalas espaciais e temporais na região amazônica, pois fornecem dados periódicos de diversas regiões do planeta, sendo esses reajustados continuamente (FREITAS *et al.*, 2012; VILANOVA *et al.*, 2013).

Um dos sensores mais usados em estudos de grande escala é o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Seus dados estão disponíveis desde 2000, constituindo assim uma das fontes mais confiáveis no que se refere a estudos de grande escala ou até mesmo de escala global (ZHANG *et al.*, 2009).

O MODIS é um dos mais completos sensores no que se refere à identificação de áreas florestadas e é responsável por gerar o produto MOD44B, também denominado Vegetation Continuous Field (VCF) e que fornece imagens cujos valores dos pixels correspondem ao percentual da densidade da vegetação por área, baseado em índices de vegetação. O MODIS é um dos cinco sensores a bordo do satélite TERRA e AQUA da NASA EOS (Earth Observing System – Sistema de Observação da Terra) (TOWNSHEND *et al.*, 2001). Este sensor oferece imagens com resolução espacial de 250m, 500m e 1000m, possui 36 bandas espectrais e cobre o espectro eletromagnético da região do visível ao infravermelho termal (RUNNING *et al.*, 1994).

Outro produto de sensoriamento remoto é o satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), sensor 3B43 (HUFFMAN *et al.*, 2007), que fornece informações



horárias de precipitação para todas as regiões tropicais do planeta, suprimindo a defasagem causada pela ausência de estações meteorológicas em certas regiões.

Os dados de radares, outra geotecnologia, consistem na utilização de dados de relevo, neste caso, obtidos de sensores a bordo 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).

## 2 OBJETIVO

De acordo com o contexto apresentado e fazendo-se valer dos produtos mencionados, este trabalho teve como:

**Objetivo 1:** Verificar a eficácia do produto MOD44B no acompanhamento do desenvolvimento da densidade da vegetação, acompanhando o crescimento de um plantio de 30 hectares da *Tectona grandis* L. em Plácido de Castro, AC e a eficiência do produto 3B43 comparando-o com observações obtidas em estações meteorológicas do INMET.

**Objetivo 2:** E posteriormente, aplicou-se o produto MOD44B para identificação e avaliação do desenvolvimento da regeneração natural em áreas desmatadas da floresta amazônica num período de onze anos de análise.

**Objetivo 3:** observou-se uma possível correlação com padrões de dados de precipitação e relevo fornecidos pelo TRMM e SRTM, respectivamente.

## **3 REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Sensoriamento Remoto e o estudo da vegetação**

O Sensoriamento Remoto (SR) tem como base os processos de interação entre a Radiação Eletromagnética (REM) e os diferentes objetos que se pretende estudar. As técnicas aplicadas fundamentam-se na execução de processos cronologicamente organizados como a interação em si; caracterizada principalmente pelo fenômeno de reflexão da radiação; a coleta de dados e seu registro por um sensor; e a análise dos dados possibilitando extrair as informações desejadas do objeto estudado (PONZONI, 2002).

Existem três faixas espectrais de grande importância no estudo da vegetação o azul, o vermelho e o infravermelho próximo (0,45 a 0,9  $\mu\text{m}$ ), sendo o azul, região de baixa absorção, e o vermelho, região altamente absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes, logo, estas regiões possuem baixa refletância. A região do infravermelho próximo é onde ocorre a máxima refletividade do vegetal (ALMEIDA, 2009).

O conhecimento das interações da (REM) com a vegetação é de importância fundamental para que seja possível entender os fatores que afetam a refletividade deste alvo tais como disponibilidade de água, temperatura, idade de um povoamento, porcentagem de cobertura do solo, etc.

Segundo PONZONI (2002), tal conhecimento permite identificar os diversos padrões de resposta adotados pela vegetação em cada tipo de produto do (SR). Bem como, para o cálculo do albedo de superfície e da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) absorvida pela vegetação (ALMEIDA, 2009).

### **3.2 Características dos sensores e condições de imageamento dos dados**

Além de fatores ambientais como os supracitados e tratos culturais, quando analisada uma cultura agrícola ou florestal, é necessário ressaltar que fatores relacionados ao tipo de sensor utilizado bem como as condições atmosféricas causam interferência no imageamento dos dados, o que pode ocasionar erros sistemáticos na resposta espectral da vegetação. De acordo com o trabalho de ALMEIDA et al. (2007), ao avaliar a influência da largura e posicionamento das bandas espectrais da faixa visível e do infravermelho próximo obtidos de diferentes sensores sobre o valor do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN

ou NDVI) em dosséis de duas coberturas vegetais distintas, há diferenças nos valores do IVDN, principalmente em áreas menos densas, indicando que se deve ter cuidado na escolha do sensor a ser utilizado, dependendo da densidade da cobertura vegetal da área de estudo.

A resolução espectral e o campo de visão têm forte influência na expressão do produto final. Há também que se destacar a heterogeneidade da iluminação ambiente, as resoluções espaciais e temporais da Plataforma/Sensor e a angulação da Plataforma orbital no momento do imageamento.

As características referentes aos ângulos zenitais  $Z$ , distância relativa Terra-Sol ( $d_r$ ) e azimutais de visada e iluminação são fatores a serem levados em consideração, pois interferem nos padrões da radiância espectral, já que o sensoriamento remoto é baseado nas medidas da (REM) refletida ou emitida pelas superfícies (NOGUEIRA, 1996).

Segundo RUSSELL (2001), a refletividade total de um dossel em uma cena pode ser reduzida com o aumento do ângulo zenital ( $Z$ ), em áreas com baixa proporção das superfícies iluminadas devido ao sombreamento que um elemento da cena pode exercer sobre outro, tanto para a faixa do infravermelho próximo quanto na faixa do vermelho. Em áreas menos sombreadas, na faixa de absorção do infravermelho próximo, a refletividade pode aumentar com o aumento do  $Z$ . Tal comportamento permitiria identificar florestas de dossel com estrutura mais aberta. Já na faixa espectral correspondente ao vermelho, o comportamento da refletividade diverge do anterior, permitindo diferenciar florestas secas de úmidas.

RUSEEL (2001) afirma que as características da refletividade que mostram mudanças em escala temporal, de hora em hora, por exemplo, como as proporções relativas de tecido de planta que são iluminados variam com  $Z$ .

AMARAL et al. (2009) relatam problemas de separação entre as classes de diferentes estágios florestais, resultando em baixos níveis de exatidão, o que pode ser explicado pela semelhança espectral existente entre os alvos, pequena variação entre os valores numéricos dos pixels, existência de sobreposição entre classes e pela baixa resolução espectral dos sensores.

MELLO et al. (2012) ao estudarem os diferentes padrões de cobertura da terra em Rondônia constataram que os maiores erros estiveram relacionados a classe floresta, capoeira e solo exposto. Entre capoeira e floresta a explicação dos autores é que existe semelhança espectral entre ambas. O que leva concluir que para separar de forma precisa as referidas classes, seria necessário o uso de uma fonte de dados com resolução espectral e espacial melhor.

### **3.3 Influência dos Aspectos estruturais, anatômicos e fisiológicos na indentificação da vegetação via sensoriamento remoto.**

KUMAR (1972), mencionou que nas bandas 1, 2, e 3 (região do visível), os pigmentos existentes nas folhas dominam a refletância espectral. Também citou que na região do infravermelho próximo, ocorre o espalhamento da REM no interior da folha.

GATES (1965), afirmou que a refletividade de folhas nesta região espectral seria resultado da interação da REM incidente com a estrutura do mesófilo. Para GAUSMAN et al. (1973) o período de maturação da folha interfere na refletividade e transmitância podendo ser associadas com a compactação da estrutura interna da folha. Fatores fisiológicos também têm relevância nos padrões de refletividade da vegetação.

CAMPBELL et al. (2008), afirma que a fluorescência tem forte potencial prático no monitoramento do estado fisiológico da vegetação, pois uma parte da energia solar absorvido é utilizada em processo da fotossíntese através de reações bioquímicas, enquanto que a energia não utilizada é emitida como fluorescência a longos comprimentos de onda ou dissipada na forma de calor. A parte emitida como fluorescência pode ser diferenciada pela refletância e sua magnitude dependerá do comprimento de onda e da intensidade de excitação.

Segundo OLIVEIRA et al. (2007) a pouca refletividade das folhas na faixa espectral correspondente ao visível se deve ao fato de que os pigmentos presentes nos cloroplastos absorvem a radiação solar a taxas muito elevadas, enquanto que a alta refletividade na região do infravermelho próximo deve-se ao espalhamento da radiação solar no mesófilo, devido a interação da radiação solar com a estrutura interna das folhas. Dessa forma o comportamento espectral das folhas depende da sua composição química e de sua estrutura interna.

A estrutura geométrica dos dosséis também tem colaboração relevante nos padrões de resposta espectral da cobertura florestal de uma cena (RUSSEL, 2001). YANAGI (2006) observou variações no albedo nas bandas do visível e do infravermelho próximo, ao considerar as variações arquitetônicas da vegetação (orientação das folhas) e parâmetros ópticos (refletividade das folhas).

### **3.4 O Sensor MODIS e o produto MOD44B**

Asner (1998), afirma que seria necessário um levantamento mais completo para a caracterização mais precisa dos fatores que interferem na refletividade. Contando com levantamentos de campo, informações de (SR) e técnicas de modelagem (ALMEIDA, 2002). Entretanto, produtos como os do sensor MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*), voltados à pesquisa e monitoramento da superfície terrestre em escala global e regional, têm sido amplamente utilizados no monitoramento da vegetação, possibilitando a aquisição de dados de alta confiabilidade e qualidade, e com boa resolução espectral e temporal dos dados imageados, sem que seja necessário o levantamento de campo, dependendo do objetivo do estudo.

O MODIS é responsável pela disponibilização de diversos produtos que permitem observar diversos elementos do contexto ambiental como elementos de cobertura da terra e fenômenos atmosféricos. Um dos seus produtos mais interessantes é o MOD44B, que também recebe o nome de Campos de Vegetação Contínuos (CVC), o qual tem como objetivo o mapeamento da cobertura vegetal definindo suas variações de densidade em valores percentuais.

O CVC é uma representação global da superfície da Terra com graduações dos três componentes de cobertura do solo considerados pelo produto: cobertura percentual arbórea, de vegetação não arbórea e percentual de áreas sem vegetação (Ramachandran et al 2011; Hansen et al 2002, 2003, 2005). Cada pixel é mostrado como uma mistura de sub-pixels de cobertura com cada um dos três componentes, representados como uma percentagem de cobertura do solo.

Cada um dos três componentes é armazenado em camadas separadas de forma que possam ser utilizados de forma independente, permitindo observar um determinado tipo de cobertura do solo ou analisar em bloco totalidade da superfície. Quando originalmente proposto o produto CVC representou uma nova abordagem revolucionária para a caracterização da cobertura vegetal (DeFries e Townshend, 1994; DeFries et al, 1997).

### **3.5 O satélite TRMM e o produto 3B43**

Estudos da precipitação por meio de sensoriamento remoto têm surgido como uma alternativa para suprir a carência de dados de campo. Um dos satélites destinados ao

monitoramento da precipitação é o *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), o qual foi lançado em dezembro de 1997. A plataforma objetiva avaliar diversas características da precipitação tanto em regiões tropicais, quanto subtropicais, possibilitando a aquisição de dados de maneira sistemática. (VIANA, *et al.* 2010. )

As estimativas remotas de precipitação obtidas por meio de sensores do TRMM são disponibilizadas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A plataforma fornece estimativas válidas para a região compreendida entre 50°S e 50°N do globo terrestre, com resolução espacial de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 770 km<sup>2</sup>) e discretizações temporais variadas. Um dos seus produtos, o 3B43, tem como resolução temporal, acumulados mensais de precipitação (mm), permitindo obter estimativas mensais. (VASCONCELLOS *et al.*, 2014)

Seu objetivo é obter as melhores estimativas de taxas de precipitação da missão TRMM. O 3B43 utiliza uma combinação de dados 3B42 com as medições mensais pluviométricas do produto 3A45 GPCC (Global Precipitation Climatology Center, Huffman *et al.*, 1997) ou do CAMS (Climate Assessment and Monitoring System).

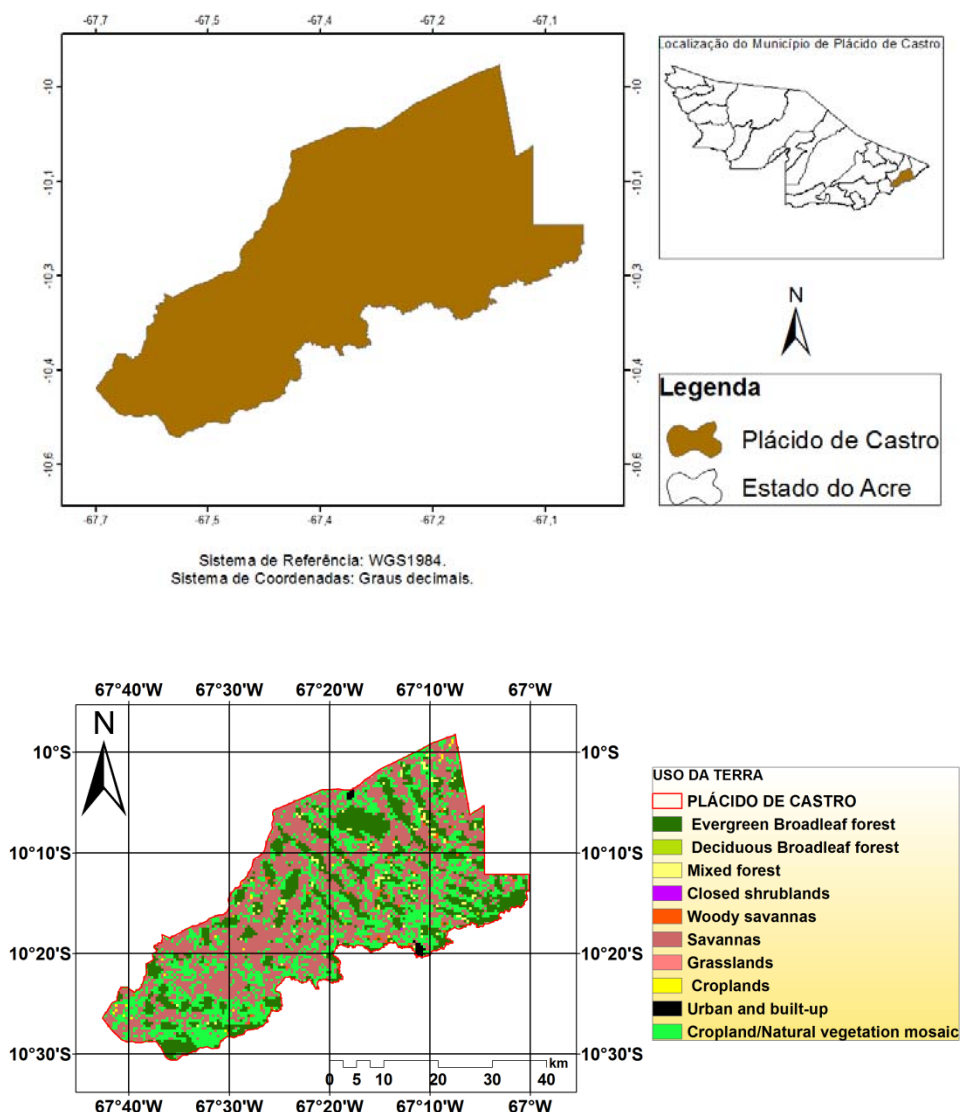
As estimativas são realizadas a cada três horas e acumuladas mensalmente. Os dados de estações são então usados para ajustar a polarização das estimativas do 3B42 na superfície. O ajuste é realizado mensalmente, em seguida, as estimativas são combinadas diretamente com dados de estações meteorológicas de campo com o inverso da variância do erro ponderado. A disponibilidade de dados é mensal.

O algoritmo utilizado para gerar o produto 3B43 é proveniente de uma combinação entre estimativas multi-satélites do TRMM, *Special Sensor Microwave Imager* (SSM/I), *Advanced Microwave Scanning Radiometer* (AMSR-E) e *Advanced Microwave Sounding Radiometer* (AMSU-B) no canal de microondas, infravermelho e análises de pluviômetros do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) gerado a partir de medições de pluviômetros em superfície (HUFFMAN *et al.*, 2007).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

Situado na região Norte do Brasil, o município de Plácido de Castro, AC possui uma área superficial de 1.943,245 km<sup>2</sup> (IBGE, 2013) (Figura 1). O clima predominante é “Aw”, segundo classificação climática de Köppen. O estado acreano é dividido climaticamente em dois principais tipos de clima: tropical úmido (Af) e tropical de monções (Am) (IBGE, 1997; MESQUITA & DUARTE, 2005). Segundo MESQUITA & DUARTE (2005) estes dois tipos de climas possuem comportamento similares em quantidade acumuladas de precipitação com valores anuais superiores a 2.000 mm.



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo e o Uso da Terra gerado pelo produto MODIS para o município de Plácido de Castro, AC.

#### **4.2 Avaliação do povoamento de *Tectona grandis* L. f. e do comportamento da precipitação**

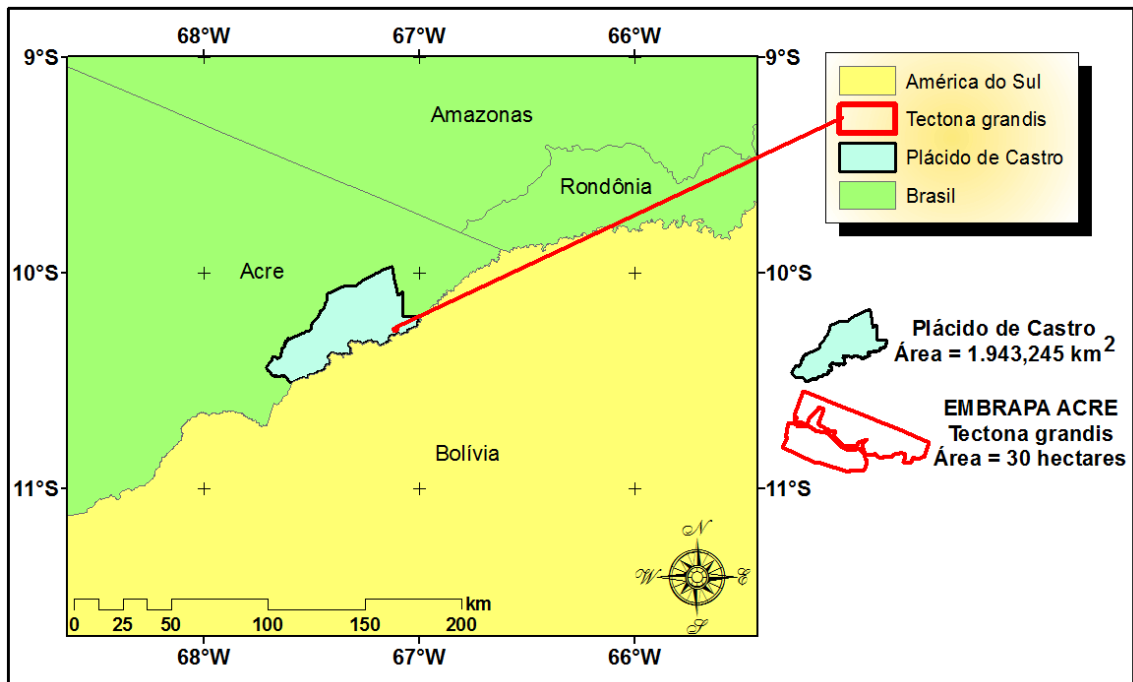
As imagens de 2000 a 2010 do produto MOD44B ([https://lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table/mod44b](https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mod44b)) com composição anual e resolução espacial de 250 m, oriundas do sensor MODIS, utilizadas na determinação da cobertura florestal segue a seguinte categorização, de acordo com a metodologia proposta por VILANOVA *et al.* (2013): Extremamente Baixo (0% a 5% - EB), Muito Baixo (5% a 17% - MB), Moderadamente Baixo (17% a 35% - MODB), Moderadamente Alto (35% a 54% - MODA), Muito Alto (54% a 71% - MA) e Extremamente Alto (71% a 89% - EA), adotando-se a simbologia das classes (EB, MB, MODB, MODA, MA e EA).

Essas imagens, correspondentes a 11 anos de observação foram adquiridas do United States Geological Survey no seguinte endereço: <http://www.glovis.usgs.gov/> (USGS, 2013) e no dia 22 de abril de 2013 da NASA (National Aeronautics and Space Administration) EOSDIS (Earth Observing System Data and Information System).

Os dados do MODIS foram pré-processados no algoritmo MODIS Reprojection Tool (MRT) a fim de transformar o formato de HDF para GEOTIFF e, em seguida, converter o sistema de projeção Sinusoidal para UTM WGS 84.

O plantio da *Tectona grandis* L. f. foi realizado pela Embrapa Acre (EMBRAPA, 2013) que forneceu as informações técnicas referentes ao plantio. O plantio da espécie em Plácido de Castro tem 13 anos. Foi plantado no final de 2000 e início de 2001, o período do plantio foi de novembro de 2000 a março de 2001. As mudas foram do tipo toco, feitas a partir de sementes compradas de Mato Grosso. O espaçamento entre as árvores é de 3 x 2 metros e a área tem aproximadamente 30 hectares (Figura 2). Este polígono foi adotado como referência do crescimento da cobertura vegetal, e foi validado a consistência do produto MOD44B para a espécie *Tectona grandis* L. f.





**Figura 2.** Localização geográfica da área de estudo, e a área plantada de *Tectona grandis* L. f. (30 hectares).

Os dados do satélite TRMM de precipitação do produto 3B43 (<http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?>), com resolução espacial de aproximadamente 30 km, e resolução temporal mensal foram convertidos para valores anuais de 2000 a 2010, sendo obtidos no seguinte endereço: [http://www.mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM\\_3B43\\_007.shtml](http://www.mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B43_007.shtml) (TRMM, 2013).

O produto 3B43 vem no formato .nc (NetCDF), e para isso foi utilizado o programa ArcGIS 10.1 para a conversão e leitura em planilhas. Ainda no ArcGIS 10.1 foi elaborado o recorte das imagens do MODIS para o período de estudo, a fim de representar a área total plantada da *Tectona grandis* L. f.

Os dados do satélite TRMM foram correlacionados com dados de precipitação das observações realizadas nas Estações Meteorológicas de Superfícies (EMS) do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) no Estado do Acre, para posteriormente serem utilizados no município de Plácido de Castro, AC, onde existe um déficit de observações de superfície nessa região.

Na avaliação do produto 3B43 para determinar a precipitação no estado acreano foram utilizados alguns métodos estatísticos baseados em análises comparativas entre as metodologias propostas com base nos valores observados nas EMS do INMET existentes no

Acre (Tabela 1). Para validação dos modelos, foram adotados os seguintes métodos estatísticos: Regressão Linear e Correlação Linear (Pearson) ( $r^2$  e  $r$ ), Ajustamento de Curvas, seguido do Erro Padrão de Estimativa (EPE) proposto por ALLEN et al. (1989), Viés Médio (VM) e o índice de concordância ( $d$ ) proposto por WILLMOTT et al. (1985). As formulações usadas seguem abaixo:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum O_i P_i}{\sqrt{\sum O_i^2} \sqrt{\sum P_i^2}} \quad (2)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n - 1}} \quad (3)$$

$$VM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{N} \quad (4)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O_i| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (5)$$

em que,  $P_i$  é o  $i$ ésimo valor estimado de precipitação (mm),  $O_i$  é o  $i$ ésimo valor observado de precipitação (mm),  $\bar{O}$  é o valor médio observado de precipitação (mm),  $N$  é o número de dados analisados.

**Tabela 1.** Dados de precipitação acumulada anual (mm) das Estações Meteorológicas de Superfícies existentes no Estado do Acre para as localidades de Cruzeiro do Sul, Rio Branco e Tarauacá, respectivamente.

Ano	Precipitação (mm) Anual		
	Cruzeiro do Sul	Rio Branco	Tarauacá
2000	2.263,50	1.884,30	1.570,50
2001	1.844,40	2.002,60	1.743,00
2002	1.863,60	2.414,30	1.791,60
2003	2.229,80	2.074,20	1.601,10
2004	1.980,60	2.558,00	1.990,40
2005	1.843,20	2.077,20	1.527,60
2006	1.875,30	1.859,80	1.845,10
2007	1.838,00	2.299,60	1.603,50
2008	2.367,00	1.968,00	1.586,40
2009	2.230,70	2.185,30	1.434,90
2010	1.876,90	1.890,70	1.853,40

#### 4.3 Análise da regeneração e correlação com a precipitação

Para a análise da possível regeneração da cobertura vegetal das áreas desmatadas foram usados dados do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite), este, fornece a quantificação das áreas desmatadas na Amazônia legal ano a ano. Estes dados, desenvolvidos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e referentes à área estudada, foram obtidos através do endereço eletrônico [www.obt.inpe.br](http://www.obt.inpe.br).

Os dados MODIS foram utilizados para a realização da leitura dos pixels da densidade da cobertura de vegetação nos polígonos de desmatamento do PRODES do ano 2000, para o acompanhamento da dinâmica da possível recuperação da cobertura vegetal ao longo de 11 anos. Este monitoramento foi feito em todos os polígonos mapeados em 2000, no município de Plácido de Castro, AC.

Utilizou-se o mapa de uso e ocupação do solo, produto MCD12Q1, disponibilizado pelo EOSDIS (NASA's Earth Observing System Data and Information System), através do endereço eletrônico [www.reverb.echo.nasa.gov/](http://www.reverb.echo.nasa.gov/) para realizar a separação de áreas de regeneração espontânea, identificadas através do MOD44B, dentro de polígonos de desmatamento do sistema PRODES.

O algoritmo que processa o produto MCD12Q1 (V005 Global 500 m Land Cover Type Product) é a árvore de decisão supervisionada. A Resolução espacial deste produto é de 500 metros (STRAHLER, 1999; LP DACC, 2013; ATAÍDE, 2012). Ele contém 5 tipos de

classificação, que descrevem as propriedades da cobertura da superfície derivadas de observações do sensor MODIS à bordo dos satélites Aqua e Terra durante um ano. O primeiro esquema de cobertura de superfície identifica 17 classes definidas pelo Programa internacional Biosfera Geosfera (IGBP), que inclui 11 classes de vegetação natural, 3 classes de lotes urbanizados e 3 classes de solo não vegetado (Tabela 1).

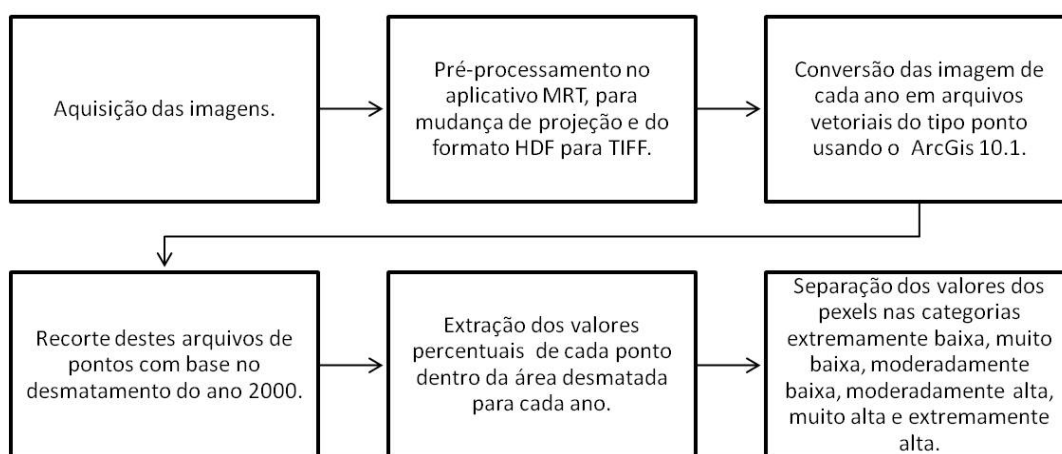
Foi utilizada a classificação do Tipo 1 porque é a classificação mais completa e de interesse nesta pesquisa. A Tabela 2 foi adaptada da tradução por ATAÍDE (2012).

**Tabela 2.** Classificação do Uso e Cobertura da Terra (Tipo 1) oriunda do produto MCD12Q1.

<b>Classificação</b>	<b>IGBP (Tipo 1)</b>
0	Água
1	Floresta
2	Floresta Ombrófila
3	Floresta Decídua
4	Floresta Ombrófila Decídua
5	Floresta Mista
6	Mata Densa
7	Clareira
8	Savanas Arbóreas
9	Savanas
10	Gramado
11	Pântano
12	Cultivo
13	Urbano com construções
14	Mosaico de cultivo e vegetação natural
15	Neve e gelo
16	Solo exposto
254	Sem classificação
255	Valor nulo

Para a avaliação do comportamento da precipitação, utilizaram-se imagens do produto 3B43 do TRMM, com resolução espacial de 15 km (TRMM, 2013). Os valores de precipitação de cada pixel do TRMM foram extraídos para o município e seu entorno e, posteriormente, obteve-se a média para cada ano. Em seguida, avaliou-se a possível relação do avanço da regeneração natural com o comportamento da precipitação.

As imagens raster do MODIS foram transformadas em pontos para facilitar a contagem das categorias em escala percentual de cobertura da vegetação encontrada em cada polígono. (Figura 3).



**Figura 3.** Fluxograma referente ao processamento dos dados do MODIS.

Selecionaram-se os dados referentes à classificação das áreas desmatadas encontradas na tabela de atributos do PRODES. Os dados de cada grupo nas imagens MODIS de 2000 a 2010 foram exportados do ArcGis 10.1 para o software Excel 2013. Nos dados exportados, reuniram-se as informações sobre todos os índices de porcentagem encontrados no interior de cada polígono.

Posteriormente procedeu-se a análise e organização do banco de dados verificando as variações de densidade dos dados do produto MOD44B e níveis de precipitação dos pontos oriundos do produto 3B43.

A divisão das categorias dos índices de porcentagem de cobertura florestal é mesma utilizada no estudo da *Tectona grandis* L. f., de acordo com a metodologia proposta por VILANOVA *et al.* (2013). Nesta, adotou-se o Box plot exploratório a partir dos valores de cada pixel das imagens do MOD44B. Selecionou-se cada categoria individualmente para cada ano, de acordo com a ordem percentual correspondente ao valor de cada pixel das imagens enquadrados em cada categoria.

#### **4.4 Análise estatística da variação da vegetação nativa e da precipitação anual**

Foi feita a análise descritiva da variável das categorias de porcentagem da cobertura florestal dos pixels, onde se estimou a média, a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação para cada ano em cada categoria considerada.

Para compreender a evolução de cada categoria ao longo do tempo, aplicou-se análise de regressão, utilizando o modelo linear múltiplo do segundo grau com o número de pixels da respectiva classe como variável dependente em função da variável independente tempo. Isso permitiu compreender se, ao longo do tempo, o número de pixels de uma classe tende a reduzir ou aumentar, caracterizando desflorestamento ou crescimento. Possíveis diferenças entre as frequências de pixels nas categorias de cobertura florestal foram analisadas por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, com 5% de significância, conforme descrito em ARAÚJO *et al.* (2012). Esse teste é muito aplicado para comparar a frequência diamétrica entre florestas (SCOLFORO & THIERSCH, 2006), o qual neste trabalho foi adotado para comparar a frequência de pixels. Isso foi feito para verificar se os pixels presentes nas categorias com pouca vegetação estavam migrando para as categorias com vegetação mais densa ao longo do tempo. Como florestas com alta diversidade possuem uma taxa de crescimento lenta, é necessário analisar o incremento de vegetação entre um período de tempo de no mínimo três anos. Assim, foram selecionadas as categorias de cobertura florestal nos anos 2000, 2003, 2006 e 2010.

Para a análise dos dados de precipitação foram extraídos os valores de cada pixel das imagens do sensor 3B43, para cada mês, de cada ano do período estudado. A partir destes valores, foram calculadas as médias anuais e buscou-se verificar a possível ocorrência de anos secos e chuvosos e se estes períodos coincidiam com os momentos de crescimento das densidades dos pixels de vegetação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Áreas reflorestadas com a *Tectona grandis* L. f. na Amazônia Ocidental

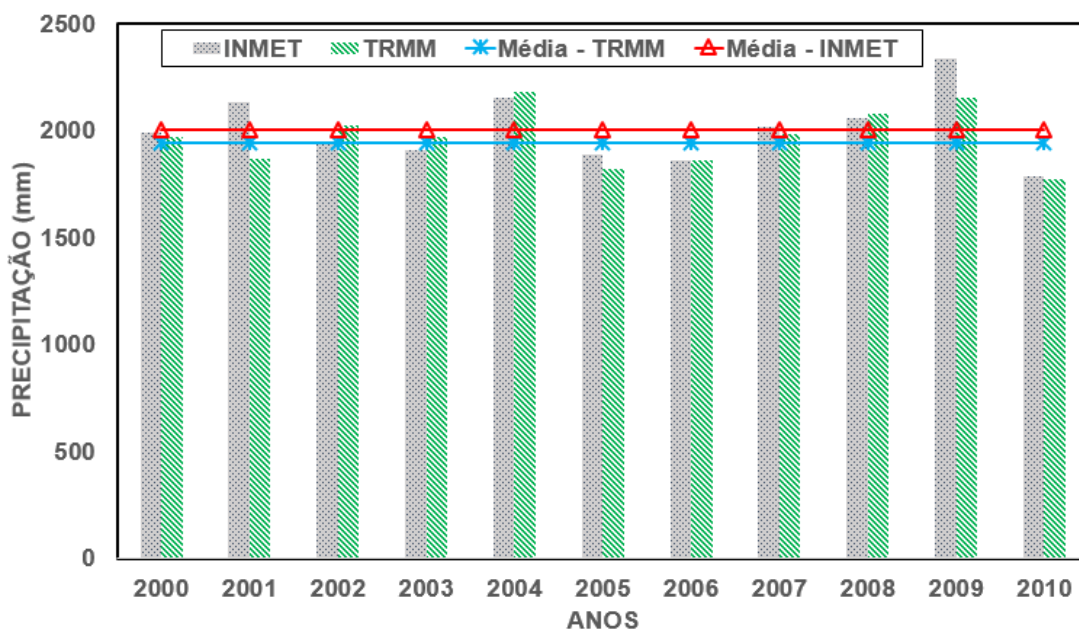
Na Figura 4 observa-se a comparação entre a precipitação acumulada anual obtida das EMS do INMET e as estimativas do produto do satélite TRMM para o estado do Acre. Observa-se que o regime de chuvas nas três localidades do estado do AC é bem distribuído anualmente com valores médios próximos de 2.000 mm em todo o período analisado, as exceções foram os anos de 2001 (INMET), 2004 (INMET e TRMM) e 2009 (INMET) superiores a 2.000 mm. As menores médias de precipitação encontradas para as localidades estudadas foram para os anos de 2000 (evento de La Niña) a 2010 (evento de El Niño), respectivamente (Figura 4). A variabilidade anual nas três localidades identificada no estudo se deve em função da atuação de sistemas meteorológicos sinóticos (Zona de Convergência Intertropical do Atlântico – ZCIT, Alta da Bolívia – AB, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCAN e Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS e de mesoescala (Friagens, Cumulonimbus isolados e Linhas de Instabilidade – LI) (REBOITA et al., 2010 e ANANIAS et al., 2010), seguido dos modos de variabilidade climática (El Niño - Oscilação Sul - ENOS e Anomalias das Temperaturas da Superfície do Mar – TSM do oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico) que influenciam os padrões de chuvas na região.

Na Amazônia, em geral, os anos de El Niño se caracterizam em períodos de estiagem porque a ZCIT situa-se anormalmente mais ao norte do que sua posição climatológica sobre o Atlântico Tropical. A convecção é inibida porque o ramo descendente da Célula de Walker (CW) se desloca para uma área sobre a Amazônia. Além disso, como os ventos alísios de NE estão bem mais fracos, há uma diminuição do fluxo de umidade proveniente dos oceanos (MARENGO, 2008).

Os estudos realizados por NOBRE e SHUKLA (1996) corroboram com a hipótese de que a combinação das circulações atmosféricas anômalas, causadas pelas distribuições espaciais da TSM sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, afetam o posicionamento latitudinal da ZCIT. Tal fato influencia diretamente a distribuição da precipitação sobre o norte da América do Sul. Assim, durante os eventos de El Niño e La Niña, observam-se variações na distribuição da precipitação em relação ao padrão da Região Amazônica, produzindo, em geral, anomalias negativas de precipitação em períodos de El Niño e anomalias positivas em períodos de La Niña.

No entanto, a região Amazônica, por ser muito extensa, apresenta resposta diferenciada a atuação destes fenômenos. Por exemplo, em algumas regiões há redução das chuvas em anos de El Niño e aumento em anos La Niña. Apesar disso, em outras regiões a resposta pode ser inversa, ou pouco alterada, podendo, nesses casos, ser mais dependente das condições da TSM do Oceano Atlântico do que do Oceano Pacífico (MARENGO, 2008). Que neste caso pode ser observado na série adotada no estudo (Figura 4).

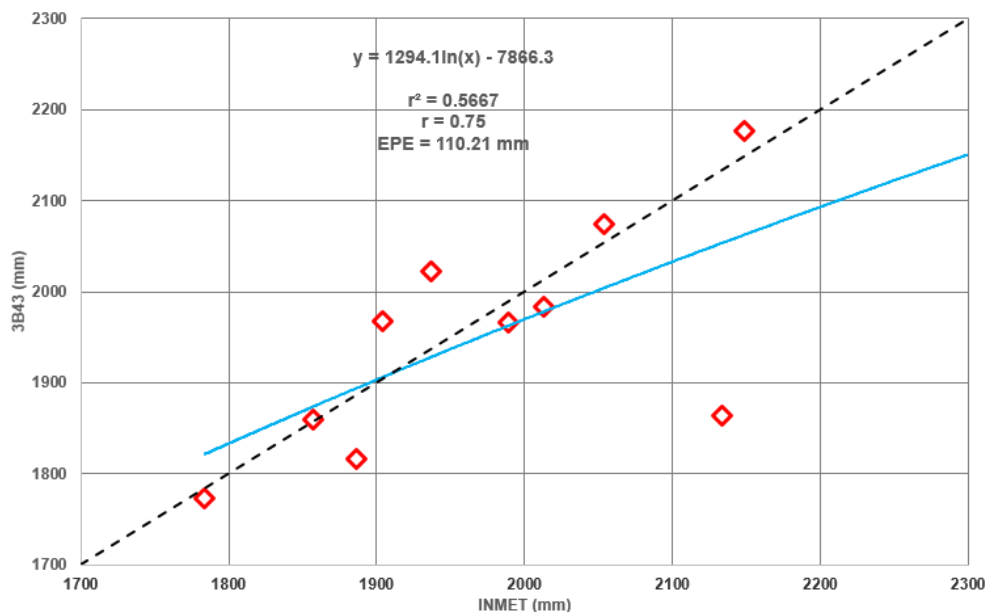
Valores médios ao longo dos dez anos estudados no Acre foram encontrados pelo produto 3B43 da ordem de 1.968,62 mm (Figura 4). Após, essa análise do regime médio da precipitação espera-se que o produto MOD44B que é derivado de índices de vegetação, apresente algumas variações em consequência da variabilidade da precipitação na região de estudo.



**Figura 4.** Precipitação acumulada (mm) estimada pelo satélite TRMM e observada nas EMS (INMET) no Estado do Acre no período de 2000-2010.

Na Figura 5 foi observada correlação  $r = 0,75$  e o  $r^2$  foi de 56,67%, onde o ajuste foi de uma regressão logarítmica. O EPE foi de 110,21 mm para os dados analisados (Figura 5).





**Figura 5.** Regressão logarítmica ( $r^2$ ), análise de correlação ( $r$ ) e Erro Padrão de Estimativa (EPE) para os dados estimados (3B43) e observados (INMET) para o Acre durante o período de 2000-2010.

O VM apresentou as maiores subestimativas e superestimativas no conjunto de dados de precipitação, principalmente para os anos de 2001 (-269,86 mm) e 2002 (86,36 mm), anos de ocorrência de evento de La Niña Moderada (CPTEC, 2013), respectivamente (Tabela 3). Os anos de 2001, 2004, 2005, 2006, 2008 e 2010 apresentaram o melhor desempenho, com  $d$  médio para os anos citados anteriormente da ordem de 0,97, mostrando boa confiabilidade nos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM. Desempenho baixo e pouca confiabilidade nos dados estimados ficaram com o restante dos anos avaliados, com valor médio  $d = 0,67$ .

**Tabela 3.** Análise estatística da precipitação acumulada (mm) da EMS e os dados de precipitação do satélite TRMM para o estado do Acre no período de 2000-2010.

Anos	VM	d
2000	-23,18	0,66
2001	-269,86	0,99
2002	86,36	0,54
2003	63,93	0,63
2004	27,34	0,99
2005	-70,37	0,90
2006	3,00	0,99
2007	-29,10	0,77
2008	-20,34	0,94
2009	-181,57	0,75
2010	-10,10	0,99

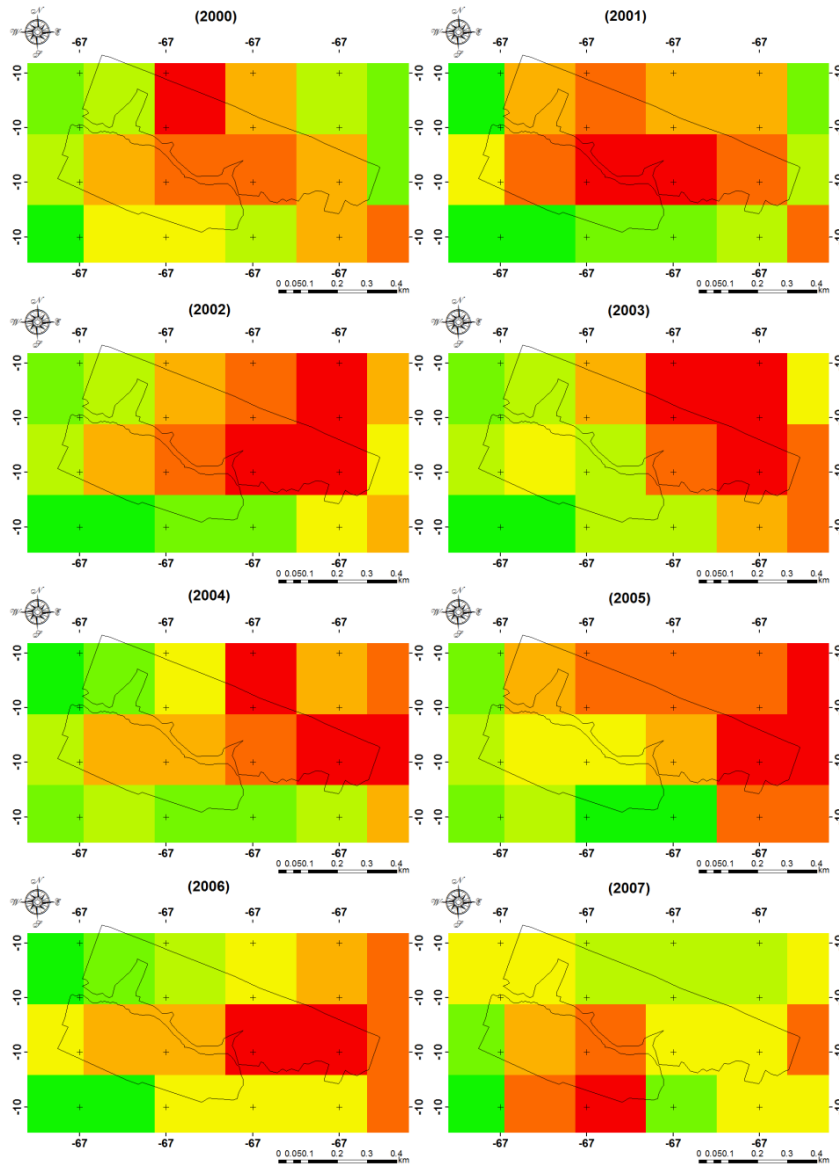
Os resultados encontrados neste trabalho para o regime de precipitação acumulado anual no estado do Acre não concordaram com os trabalhos realizados anteriormente por NÓBREGA *et al.* (2010) e COLLISCHONN *et al.* (2007). Enquanto que o trabalho feito por SILVA *et al.* (2013) comparando dados de EMS e os dados do satélite TRMM para o Vale Médio do Paranapanema, em São Paulo (SP), apresentou também baixos valores de  $r^2$  e valores elevados do índice d similar aos resultados obtidos neste estudo. Eles comentaram que as diferenças encontradas podem estar associadas às escalas de cobertura (pontual e espacial), seguido da resolução espacial do sensor do satélite TRMM de 0,25°.

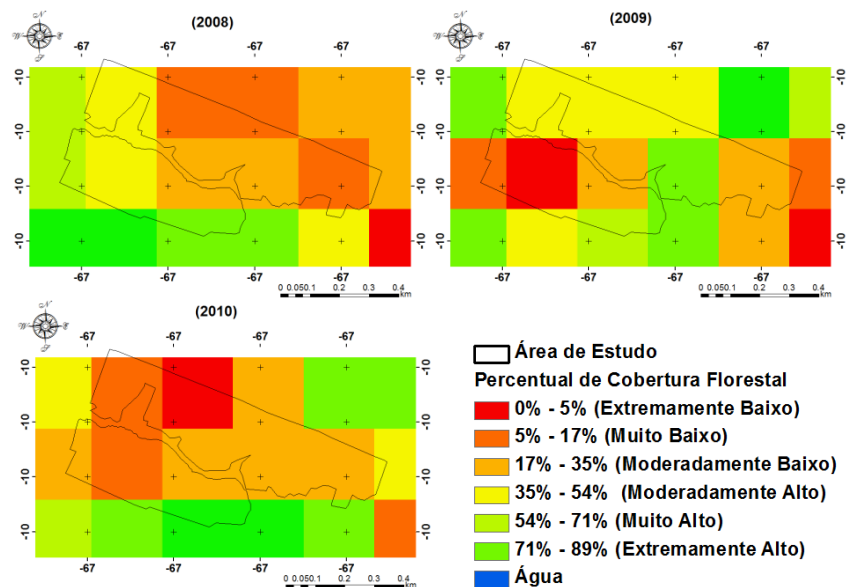
A Figura 6 mostra a análise espacial e temporal do percentual (%) da área plantada dos pixels da *Tectona grandis* L. f. em Plácido de Castro, AC a partir de dados do produto MOD44B para período estudado. As classes identificadas foram com baixa cobertura florestal em tons de vermelho e laranja (0% a 17%), seguida das classes em tons de verde (54% a 89%) com a maior presença de cobertura florestal, sendo oriundo de uma floresta nativa que está abaixo do experimento da Embrapa Acre. Dentro da área de estudo e ao redor do polígono da *Tectona grandis* L. f. as classes mais evidentes foram nas categorias Moderadamente Baixo e Moderadamente Alto (35% a 54%). A variabilidade de cores nos “pixels” é associada à fisiologia, espaçamento do plantio, solos, e também climático (Figura 6).

Segundo HIGUCHI *et al.* (2008) estudos sobre a dinâmica de comunidades arbóreas em fragmentos são fundamentais, pois permitem o monitoramento e a previsão dos processos de transformação das populações e das comunidades vegetais.

Outra importante contribuição que pode ser obtida, por meio do sensoriamento remoto, é a identificação e o monitoramento de mudanças que ocorrem com as formações

vegetais (LIESENBERG, 2005). O autor destaca ainda que o monitoramento da dinâmica florestal também evidencia as ações antrópicas em intervalos menores, possibilitando aos órgãos ambientais a implantação de medidas para o seu monitoramento e permitindo a sua mitigação de uma maneira mais ágil (LIESENBERG, 2005).

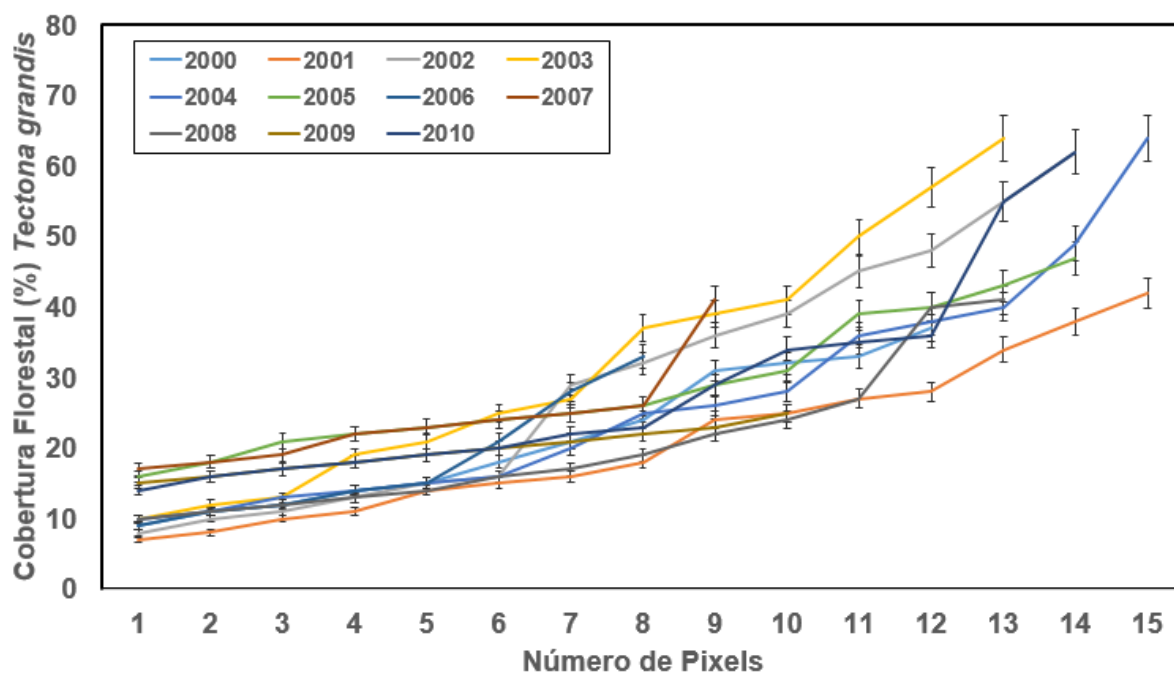




**Figura 6.** Análise espaço-temporal do percentual (%) da área plantada da espécie *Tectona grandis* L. f. em Plácido de Castro, AC no período de 2000-2010.

Na Figura 7 a partir da leitura dos pixels anuais de 2000 a 2010 foram obtidos amostras espectrais da *Tectona grandis* L. f. Verificando a variação das cores dos pixels ao longo dos anos, observa-se que o produto MOD44B obtido do sensor MODIS foi eficiente na análise do crescimento vegetativo na área de estudo.

O produto MOD44B mostra-se eficiente, e permite identificar um padrão diferenciado entre coberturas vegetais, e torna-se importante em estudos de polígonos desmatados na região (ANDERSON *et al.*, 2005).



**Figura 7.** Análise do crescimento da espécie *Tectona grandis* L. f. na área de experimento da Embrapa Acre, em Plácido de Castro, baseado no produto MOD44B no período de 2000-2010.

A partir do produto anual MOD44B no polígono da Teca procurou-se estabelecer uma relação direta entre o acumulado de precipitação oriundo do sensor do satélite TRMM para período estudado. Analisando as duas variáveis precipitação (3B43) e cobertura florestal (MOD44B) não houve correlação nenhuma.

BECERRA *et al.* (2009) também não obteve um bom resultado ao comparar o regime de precipitação com dois índices de vegetação (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI e Enhanced Vegetation Index - EVI) existente na literatura. Os autores em seus resultados ressaltaram que a cobertura florestal não se ajustou ao padrão de precipitação local, onde os índices de vegetação apresentaram comportamento anuais similares, no entanto, não tendo variabilidade, e dificultando também a comparação com os eventos de chuvas.

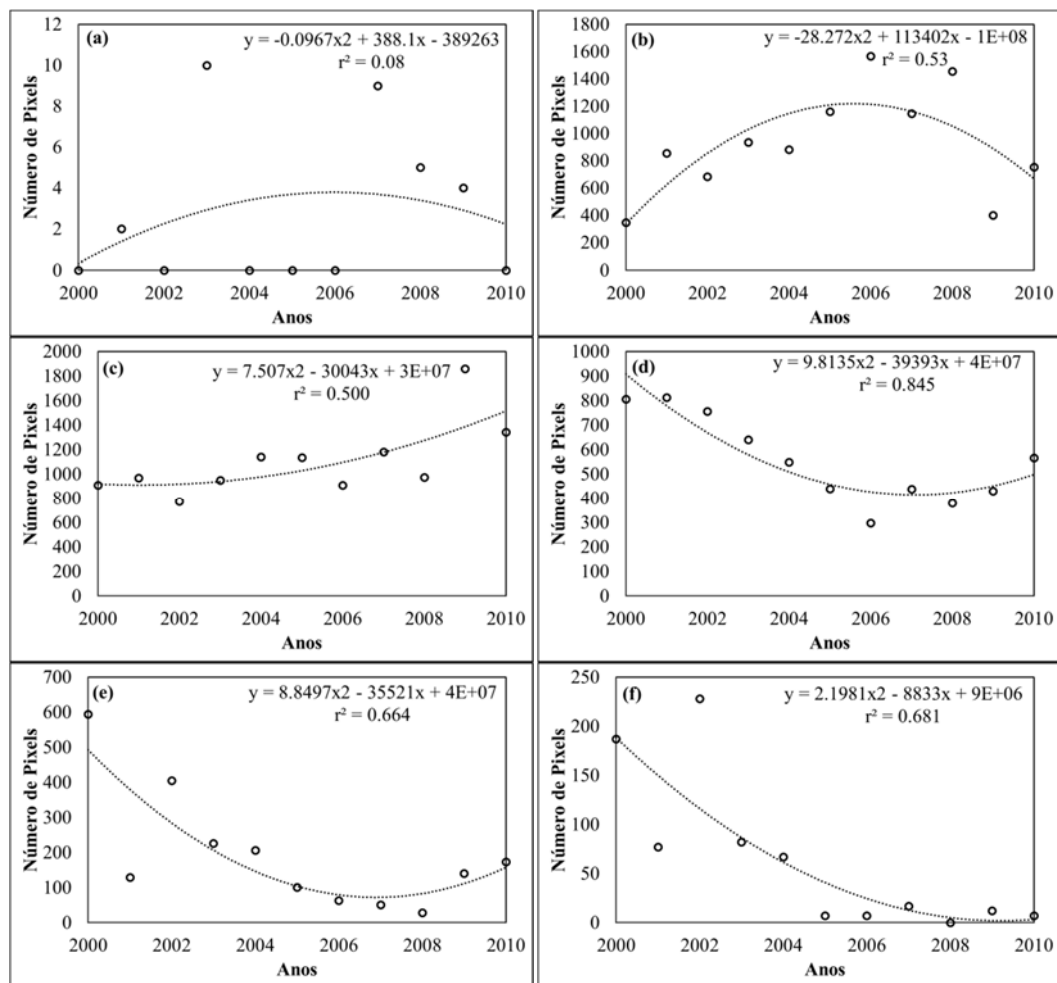
## 5.2 Áreas de floresta nativa na Amazônia Ocidental

As Figuras 8 (a, b, c, d, e, f) mostram o comportamento de cada classe de densidade da vegetação, no período de 2000 a 2010, na área desmatada, referente ao ano de 2000. No

primeiro gráfico (Figura 8a), observa-se o comportamento da classe “EB”, a qual apresenta um padrão inicial de ascensão e depois de decréscimo ao longo do período estudado, em uma frequência de pixels muito baixa.

A figura 8b refere-se à ocorrência dos pixels dentro da classe “MB” nos onze anos analisados. De 2000 a 2006, o número de pixels aumenta, entretanto, a partir de 2006 a curva mostra um comportamento descendente, indicando que os pixels existentes nessa classe podem estar sofrendo mudanças em seus valores percentuais e migrando para outras classes com o passar dos anos. O coeficiente de determinação da figura 8b ( $r^2=0,54$ ) indica que 54 % da variação dos pixels tem relação com o passar dos anos.

A figura 8c apresenta o coeficiente de determinação  $r^2=0,50$ , explicando 50% da variação dos pixels ao longo do tempo. A variação da curva de distribuição dos pixels para a classe “MODB” mostra um discreto crescimento do número de pixels até o ano de 2006. A partir deste ano, a curva se acentua ainda mais no sentido ascendente, indicando o crescimento do número de pixels na classe. Já a classe “MODA” (Figura 8d), com  $r^2=0,85$ , mostra acentuado decréscimo do número de pixels. Porém, a partir do ano de 2006, a curva assume o comportamento ascendente. O mesmo ocorre na Figura 8e, com  $r^2=0,66$ . Já a figura 8f, apresenta comportamento descendente até o fim do período estudado. Entretanto, essa classe representa uma vegetação num estágio de desenvolvimento mais avançado, sugerindo que numa análise dos anos subsequentes ao ano de 2010, a curva possa apresentar um comportamento ascendente.



**Figura 8.** Análise de regressão das categorias EB (a), MB (b), MODB (c), MODA (d) e EA (e) para os anos de 2000 a 2010.

De maneira geral, o aumento nas curvas de maior densidade coincide com o momento de declínio da classe de “MB”, no caso, o ano de 2006. Dados do mapeamento de desmatamento na Amazônia no período de 2000 a 2010 (IMAZON, 2013), mostram que a partir de 2005 ocorre redução significativa nas taxas de desmatamento no estado do Acre, permanecendo em queda até o fim do período estudado. Uma área desmatada que se regenerou pode, futuramente, ser desmatada novamente, entretanto segundo o referido mapeamento, o estado do Acre vem controlando esses processos de desmatamento, resultando num declínio dessa atividade.

Segundo SOARES-FILHO *et al.* (2005), a pavimentação e a construção de estradas consistem no principal determinante dos futuros padrões de desmatamento da região Amazônica. O mesmo não ocorre no Acre nesta análise, o que pode estar fortalecendo para o

declínio do desmatamento são as florestas plantadas ao Sul do Acre da Teca (*Tectona grandis* L. f.) (VILANOVA et al., 2013).

Para avaliação do comportamento dos valores dos pixels dentro das categorias foram analisados o desvio padrão, a média e o coeficiente de variação (Tabela 4a-b). O comportamento das médias dentro das categorias ao longo do tempo se manteve praticamente constante. Entretanto ao longo dos anos a quantidade de pixels diminui dentro das classes de menor densidade. Indicando que os pixels que permanecem dentro das categorias são os pixels com os maiores valores dentro dos intervalos, indicando que estes poderiam, futuramente, migrar para classes de maior densidade.

**Tabela 4a.** Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada categoria.

	<b>EB</b>				<b>MB</b>				<b>MODB</b>			
<b>Anos</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>
<b>NºPix.</b>	0	10	0	0	346	936	1567	754	911	950	909	1343
<b>Med.</b>		4			13	11	12	14	25	25	23	22
<b><math>\sigma</math></b>		0			2	3	2	2	5	5	5	4
<b>CV(%)</b>		0			19	28	21	11	19	21	20	20

Nº Pix. = Número de Pixels;

Med. = Média;

$\sigma$  = Desvio Padrão;

CV (%) = Coeficiente de Variação.

**Tabela 4b.** Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada categoria.

	<b>MODA</b>				<b>MA</b>				<b>EA</b>			
<b>Anos</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>
<b>Nº Pix.</b>	806	640	298	567	594	226	63	173	187	82	7	7
<b>Med.</b>	46	42	44	42	60	61	60	60	76	74	74	74
<b><math>\sigma</math></b>	6	5	5	6	4	5	4	4	3	3	3	3
<b>CV(%)</b>	13	13	12	13	7	7	6	7	4	4	3	4

A categoria que obteve os maiores valores médios foi a “EA”, com valores entre 74% e 76%, e a que apresentou os maiores valores foi a “MB”, com valores entre 11% e 14%.



O desvio padrão para cada categoria apresentou baixa variabilidade, a categoria que apresentou o maior desvio padrão foi a “MODA”, com valores entre 5% e 6% e a que apresentou os menores valores foi a categoria “MB” com valores próximos a 2% . De forma geral o desvio padrão de cada classe diminuiu durante o período estudado, exceto na classe EA.

Já o coeficiente de variação (CV) diminuiu das classes de menor porcentagem para as de maior porcentagem. E dentro de cada categoria o (CV) diminuiu ao longo do tempo. A categoria que apresentou maior variação do (CV) foi a “MB”, com valores entre 11% e 19%, indicando grande variação em relação à média. Já a categoria muito baixa foi que apresentou os menores valores de (CV), com valores entre 3% e 4%, indicando que essa classe foi a que apresentou a menor variabilidade dentro da classe, com os valores dos pixels muito próximos entre si.

A Tabela 5 a seguir, mostra o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, evidenciando a variação de cada classe, comparando as diferentes classes em cada ano.

**Tabela 5.** Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov.

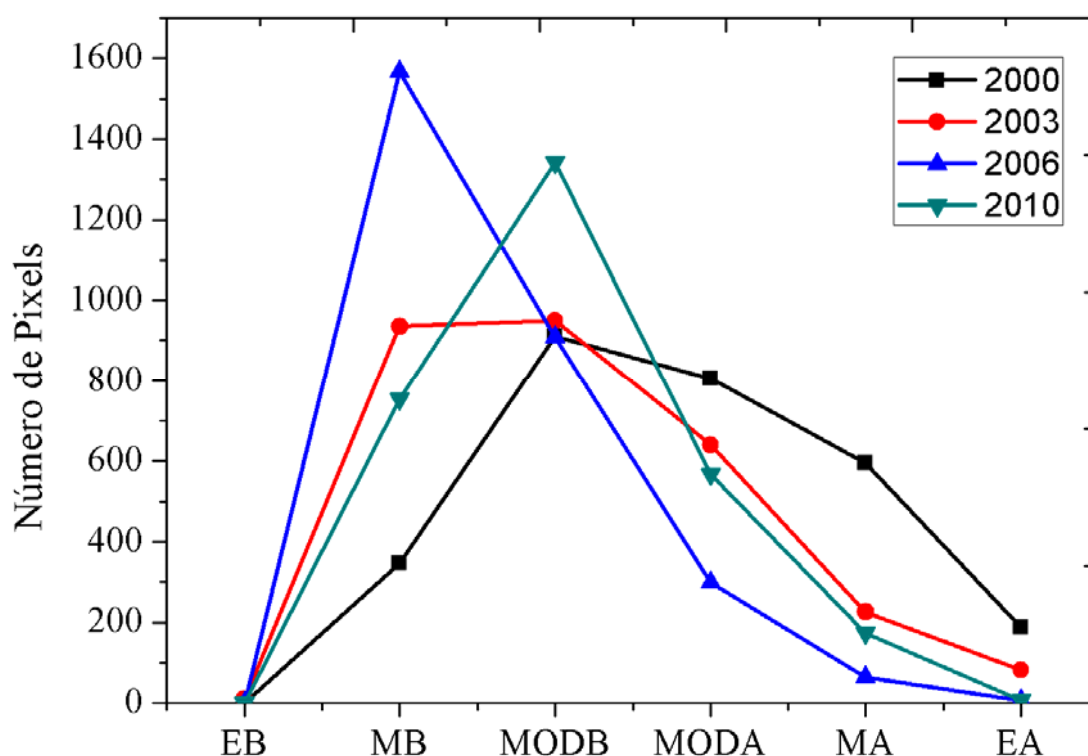
<b>Combinações</b>	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	<b>KS cal</b>	<b>KS tab</b>	<b>Teste</b>
1 e 2	0,12	0,30	0,24	0,33	0,31	0,41	0,55	0,40	0,51	0,14	0,27	0,55	0,03	<b>Diferentes</b>
1 e 3	0,32	0,34	0,27	0,33	0,40	0,40	0,32	0,41	0,34	0,65	0,47	0,65	0,03	<b>Diferentes</b>
1 e 4	0,28	0,29	0,27	0,22	0,19	0,15	0,10	0,15	0,13	0,15	0,20	0,29	0,03	<b>Diferentes</b>
1 e 5	0,21	0,04	0,14	0,08	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,05	0,06	0,21	0,03	<b>Diferentes</b>
1 e 6	0,07	0,03	0,08	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,03	<b>Diferentes</b>
2 e 3	0,20	0,04	0,03	0,00	0,09	0,01	0,23	0,01	0,17	0,51	0,21	0,51	0,03	<b>Diferentes</b>
2 e 4	0,16	0,01	0,03	0,10	0,12	0,25	0,45	0,25	0,38	0,01	0,07	0,45	0,03	<b>Diferentes</b>
2 e 5	0,09	0,25	0,10	0,25	0,24	0,37	0,53	0,39	0,50	0,09	0,20	0,53	0,03	<b>Diferentes</b>
2 e 6	0,06	0,27	0,16	0,30	0,29	0,41	0,55	0,40	0,51	0,14	0,26	0,55	0,03	<b>Diferentes</b>
3 e 4	0,04	0,05	0,01	0,11	0,21	0,24	0,21	0,26	0,21	0,50	0,27	0,50	0,03	<b>Diferentes</b>
3 e 5	0,11	0,30	0,13	0,25	0,33	0,36	0,30	0,40	0,33	0,60	0,41	0,60	0,03	<b>Diferentes</b>
3 e 6	0,25	0,31	0,19	0,31	0,38	0,40	0,32	0,41	0,34	0,65	0,47	0,65	0,03	<b>Diferentes</b>
4 e 5	0,07	0,24	0,12	0,15	0,12	0,12	0,08	0,14	0,12	0,10	0,14	0,24	0,03	<b>Diferentes</b>
4 e 6	0,22	0,26	0,19	0,20	0,17	0,15	0,10	0,15	0,13	0,15	0,20	0,26	0,03	<b>Diferentes</b>
5 e 6	0,14	0,02	0,06	0,05	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,05	0,06	0,14	0,03	<b>Diferentes</b>

KS cal = Kolmogorov-Smirnov calculado;  
KS tab = Kolmogorov-Smirnov tabelado.

A Figura 9 mostra as diferentes curvas obtidas para cada ano analisado e que em 2006 ocorreu uma maior frequência de pixels da classe “MB”, diferentemente de 2010, onde houve maior frequência de pixels na classe MB, indicando um aumento da densidade da vegetação. É importante observar que no ano 2000, há uma maior frequência de pixels das classes MA, MODA e EA do que nos demais anos, levando a concluir que houve redução da densidade da vegetação ao longo dos anos.

Além disso, este fato pode ser explicado devido aos valores anuais obtidos serem resultantes de várias amostras realizadas por várias passagens do satélite ao longo do ano e, por muitas destas passagens terem ocorrido em datas anteriores ao desmatamento registrado pelo PRODES. Sendo assim, ao analisar somente as curvas de 2003, 2006, 2010 pode-se observar que ocorreu um aumento do número de pixels nas referidas classes indicando uma redução da densidade da vegetação de 2003 a 2006 e um visível aumento de 2006 a 2010, podendo ser essa redução resultante de fatores climáticos e não necessariamente da perda da vegetação, já que o MOD44B é oriundo de vários índices de vegetação, sendo esses, influenciados pela disponibilidade hídrica no período amostrado.

Em um trabalho recente envolvendo pecuária e desmatamento na região Amazônica os autores RIVERO *et al.* (2009) ao correlacionarem os dados do desmatamento com a pecuária para diferentes cenários anos 2000, 2003 e 2006, ficou evidenciado o crescimento relativo desses valores ( $r=0,68$ ,  $r=0,71$  e  $r=0,78$ ) com o passar do tempo. Tais cenários só reforçaram a hipótese já discutida de que a pecuária bovina é a principal causa imediata do desmatamento e que tal fenômeno tende a aumentar (RIVERO *et al.*, 2009).



**Figura 9.** Comportamento da frequência dos pixels dentro das classes nos diferentes anos analisados.

Para verificar a diferença entre as diferentes classes de densidade da vegetação nos diferentes anos analisados, foi realizado o teste de Kolmogorov- Smirnov, onde cada ano foi comparado com os demais. Os resultados estão expressos na Tabela 6 a seguir.

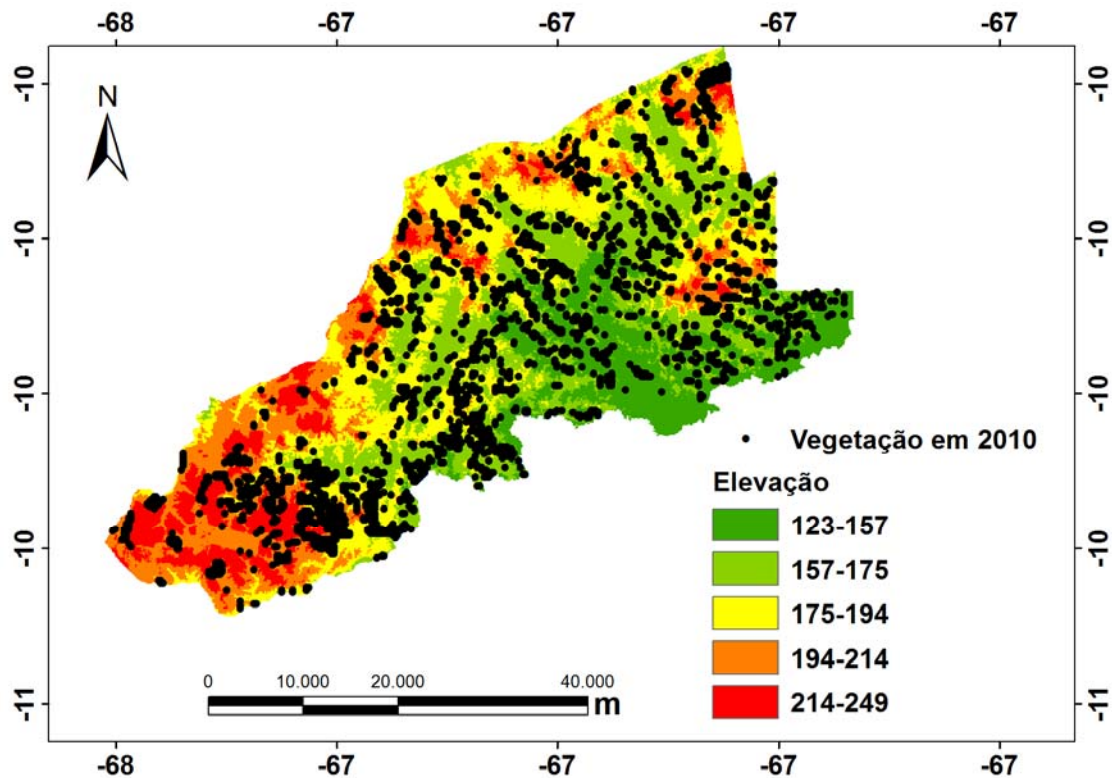
**Tabela 6.** Resultados dos testes de Kolmogorov-Smirnov para as classes de vegetação.

Combinações	EB	MB	MODB	MODA	MA	EA	KS cal	KS tab	Teste
2000 e 2003	0,00	0,21	0,01	0,06	0,13	0,04	0,2075	0,0253	Diferentes
2000 e 2006	0,00	0,43	0,00	0,18	0,19	0,06	0,4293	0,0253	Diferentes
2000 e 2010	0,00	0,14	0,15	0,08	0,15	0,06	0,1519	0,0253	Diferentes
2003 e 2006	0,00	0,22	0,01	0,12	0,06	0,03	0,2219	0,0253	Diferentes
2003 e 2010	0,00	0,06	0,14	0,03	0,02	0,03	0,1382	0,0253	Diferentes
2006 e 2010	0,00	0,29	0,15	0,09	0,04	0,00	0,2859	0,0253	Diferentes

KS cal = Kolmogorov-Smirnov calculado;  
 KS tab = Kolmogorov-Smirnov tabelado.

Através da análise do MDE, não é possível inferir sobre a regeneração/recuperação das áreas e sua relação com o relevo, tendo em vista que a maioria das áreas desmatadas são de baixa altitude e declividade, devido a facilidade de se trabalhar com agricultura e pecuária nestas áreas. Portanto, a maior parte dos pontos referentes a regeneração ocorre nesses sítios (Figura 10) e, neste caso, não é possível analisar áreas mais declivosas e com altitudes mais elevadas.

De acordo com WECKMÜLLER et al. (2013), os desmatamentos não possuem uma altitude ou orientação da encosta preferenciais para sua ocorrência, apenas na declividade é que observa-se uma atuação mais restrita deste fenômeno. Em Plácido de Castro, Acre, não foi encontrado também relação com altitude no estudo da evolução espacial e temporal do desmatamento.



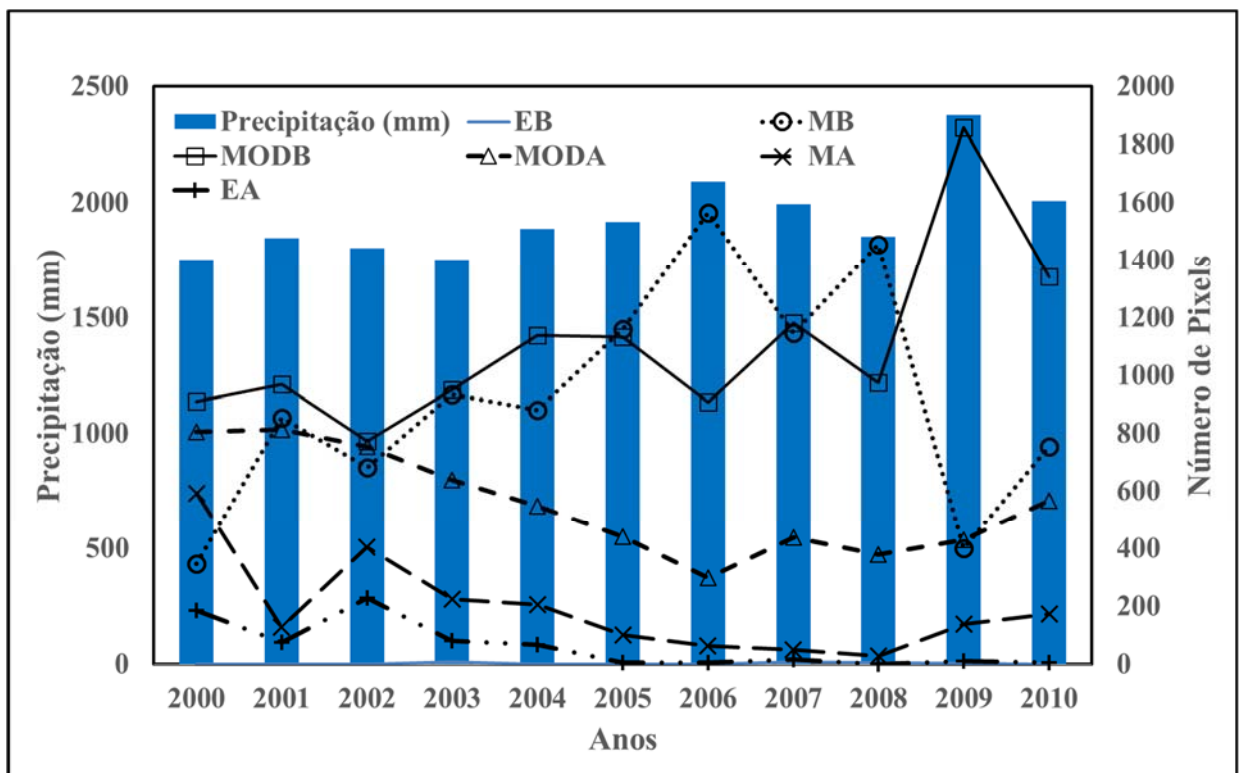
**Figura 10.** Distribuição dos pontos de regeneração sobre o Modelo Digital de Elevação do SRTM.

Os resultados obtidos a partir das correlações entre as classes do MOD44B e das imagens do TRMM seguem na Figura 11. A Figura mostra que o período de 2005 a 2010 apresenta um volume de precipitação superior ao período de 2000 a 2005. Desta forma, o

período de maior precipitação coincide com o período em que os pixels de menor densidade migram para as classes de maior densidade, sugerindo uma possível relação entre os índices de precipitação e o crescimento da vegetação.

O clima na região amazônica tem sido afetado por condições extremas, como a seca de 2005 (MARENGO *et al.*, 2010; ZENG *et al.*, 2008; COX *et al.*, 2008) e as inundações de 2009 (MARENGO, 2010). Todos estes períodos extremos climáticos na região amazônica ocidental são fatores limitantes para o crescimento de florestas em áreas desmatadas.

Esta relação entre a vegetação e a precipitação indica que a área de estudo pode estar se tornando mais produtiva em termos de biomassa, pois pode estar aumentando sua produção primária bruta, permitindo uma maior disponibilidade de nutrientes para a recuperação do ecossistema local. Situação semelhante foi descrita no estudo de ZHANG *et al.* 2009, no qual observaram que a relação entre produção primária líquida e produção primária bruta diminuía à medida que se partia de áreas mais secas para áreas com maiores índices de precipitação. Quando essa relação diminui, há o aumento da produção primária bruta, mas há também um elevado consumo de energia pelos organismos presentes no local.



**Figura 11.** Distribuição das médias anuais de precipitação oriundos do sensor 3B43 e as classes espectrais do MOD44B para o município de Plácido de Castro, AC.

## 6 CONCLUSÕES

As estimativas de precipitação fornecidas pelo satélite TRMM quando transformadas para variações anuais não são bem representativas em comparação com os dados obtidos das estações meteorológicas de superfície do INMET.

Na área do plantio da *Tectona grandis* L. f. em Plácido de Castro, AC a relação anual entre precipitação acumulada do 3B43 e o produto MOD44B não existe correlação entre as variáveis. Com este resultado de baixa correlação, ressalta-se a análise estatística com outras variáveis meteorológicas, e também o uso de uma temporalidade sazonal.

Dentro da área de estudo da *Tectona grandis* L. f. e ao redor do polígono as classes que foram mais evidenciadas baseadas no produto MOD44B são Moderadamente Baixo e Moderadamente Alto em comparação com as demais categorias.

A análise do produto MOD44B ao longo de 11 anos para a espécie *Tectona grandis* L. f. em Plácido de Castro, AC apresenta consistência quanto ao crescimento da cobertura da vegetação nesta área de estudo.

Quanto a avaliação da recuperação em áreas nativas desmatadas, o produto MOD44B permitiu verificar que entre 2000 e 2010 ocorre variação em cada uma das classes de pixels de densidade da cobertura vegetal, dentro de áreas desmatadas quantificadas pelo INPE, demonstrando a eficácia do produto.

A partir de 2006, as classes de pixel com maior densidade aumentaram seus números de pixels, enquanto classes com valores inferiores, como a “EB” e “MB”, reduziram, levando a concluir que, baseado no produto, pode estar ocorrendo recuperação da vegetação das áreas desmatadas mapeadas pelo PRODES no ano 2000.

Entretanto, não foi possível confirmar a relação do restabelecimento da vegetação com as variações do relevo, pois o histórico de desmatamento da região indica que este ocorre, na grande maioria das vezes, em áreas mais planas e com menores altitudes.

Embora a precipitação aumente, no período em que a vegetação aumentou sua densidade por área, estudos futuros são necessários para afirmações concretas acerca da relação da regeneração com o comportamento da precipitação.

Em estudos futuros pretende-se realizar a avaliação da migração dos pixels de uma categoria percentual para outra, permitindo estimar, quanto tempo o pixel de vegetação levaria para atingir um determinado valor percentual, para dessa forma inferir a respeito do

tempo necessário para um povoamento plantado atingir a maturidade, ou uma área nativa em regeneração natural ou reflorestada, atingir um porte considerado estável.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G., JENSEN, M.E., & BORNAN, R. D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal, Madison**, v.81, p.650-662, 1989.
- ALMEIDA, T. S. **Sensibilidade da reflectância de uma floresta tropical em 460 nm, 650 nm e 850 nm aos parâmetros ópticos e arquitetônicos do dossel**, Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2009.
- ALMEIDA, T. S., FONSECA, E. L., FONTANA, D. C. **Avaliação da influência da largura e posicionamento das bandas espectrais sobre o valo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 27-33.
- ALVES, D. S., MORTON, D. C., BATISTELLA, M., ROBERTS D. A., & SOUZA Jr. C. The changing rates and patterns of deforestation and land use in Brazilian Amazonia. **Geophysical Monograph Series**, v. 186, p. 11-23, 2009.
- ALVES, D. S., PEREIRA, J. L. G., SOUSA, C. L., SOARES, J. V., & YAMAGUCHI, F. Characterizing landscape changes in central Rondônia using Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n. 14, p. 2877-2882, 1999.
- ALVES, D. S. Space-times dynamics of deforestation in Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n.14, p. 2903-2908, 2002.
- AMARAL, M. V. F.; SOUZA, A. L.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; MARTINS, S. V.; FERNANDES FILHO, E. I.; LANA, J. M. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.575-582, 2009.
- ANANIAS, D. S., SOUZA, E. B., SOUZA, P. F. S., SOUZA, A. M. L., VITORINO, M. I., MENDES TEIXEIRA, G., & FERREIRA; D. B. S. Climatologia da Estrutura Vertical da Atmosfera em Novembro para Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n. 2, p. 218 - 226, 2010.
- ANDERSON, L. O., SHIMABUKURO, Y. E., LATORRE, M. L., ESPÍRITO-SANTO F. D. B., LIMA. A., DUARTE, V., ARAI, E., De FREIS, R. S., MORTON, D.; HANSEN, M., & JASINSKY, E. Coleta de Dados Para Estudos de Cobertura Arbórea, Mapeamento da Cobertura da Terra, Desmatamento e Avaliação de Unidades de Conservação/Territórios Indígenas: **Metodologias de Trabalhos de Campo**. São José dos Campos (INPE-12304-NTC/368), p.1-37, 2005.



- ARAGÃO, L. E. O., MALHI, Y., ROMAN-CUESTA, R. M., SAATCHI, S., ANDERSON, L. O., & SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34 n. 7, 2007.
- ARAÚJO, E. J. G., PELISSARI, A. L., DAVID, H. C., DE MIRANDA, R. O. V., NETTO, S. P., MORAIS, V. A., & SCOLFORO, J. R. S. Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus, em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 355, 2012.
- Asner, G. P., 1998. Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance. **Remote Sensing of Environment**. V.64, p.234-253. Doi: 10.1016/S0034-4257(98) 00014-5.
- ATAÍDE, K. R. P. **Modelagem de determinação da evapotranspiração real para o bioma cerrado por meio de dados de sensoriamento orbital**. *Tese de Doutorado*. Universidade de Brasília, Brasília, 176p, 2012.
- BECERRA, J. A. B., SHIMABUKURO, Y. E., & ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 125-134, 2009.
- CAMPBELL, P.K. E. MIDDLETON, E.M.; CORP, L.A.; KIM, M.S. Contribution of chlorophyll fluorescence to the apparent vegetation reflectance. **Science of the total environment** V.404, p.433–439, 2008.
- CARDOSO, P. C. S. & PONZONI, F. J. **Caracterização espectral de folhas extraídas de cinco diferentes espécies vegetais**. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 891-896.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC**. El Niño e La Niña <enos.cptec.inpe.br>. Acesso em: 13 junho. 2013.
- COLLISCHONN, B., ALLASIA, D., COLLISCHONN, W., & TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.59, n.1, p.93-99, 2007.
- CORDEIRO, S. A., SOUZA, C. C., & MENDOZA, Z. M. S. H. Florestas Brasileiras e as Mudanças Climáticas. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 11, p.01-20, 2008.
- COX, P. M., HARRIS, P. P., HUNTINGFORD, C., BETTS, R. A., COLLINS, M., JONES, C. D., JUPP, T. E., MARENGO, J. A., & NOBRE, C. A. “Increasing Risk of

Amazonian Drought Due to Decreasing Aerosol Pollution”, **Nature**, Vol. 453, pp. 212-215, 2008.

DEFRIES, R., HANSEN, M., TOWNSHEND, J.R.G., JANETOS, A.C. AND LOVELAND, T.R. (2000). **Continuous Fields 1 Km Tree Cover**. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility.

DEFRIES, R., FIELD, C. B., FUNG, I., JUSTICE, C. O., MATSON, P. A., MATTHEWS, M., MOONEY, H. A., POTTER, C. S., PRENTICE, K., SELLERS, P. J., TOWNSHEND, J., TUCKER, C. J., USTIN, S. L. AND VITOUSEK, P. M. (1995). Mapping the land surface for global atmosphere-biosphere models: toward continuous distributions of vegetation's functional properties, **Journal of Geophysical Research**, 100:20,867-20,882.

DELAHAYE, F. et al. **ANÁLISE GEOSTÁTICA DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**. In: IX Simpósio brasileiro de climatologia geográfica. Fortaleza- Ceará- Brasil, 2010.

DELGADO, R.C.; SOUZA, L.P.; SILVA, I.W.R.; PESSÔA, C.S.; GOMES, F.A. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 665-674, 2012.

DUARTE, A. F. Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2005, 20(1): 37-42.

EMBRAPA. **Teca: alternativa de produção florestal na Amazônia**. Disponível em: <<http://catuaba.cpfac.embrapa.br/chefias/cna/artigos/refloteca.htm>> Acesso em: 16 abril. 2013.

FIRMINO, J. L. N. **Análise comparativa preliminar do Índice de Vegetação derivado do Satélite Landsat - 5 para a cidade de São João do Rio do Peixe na Paraíba com a precipitação**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 3801-3807.

FREITAS, D. M., DELGADO, R. C., RODRIGUES, R. A., & SOUZA, L. P. Variabilidade espaço-temporal na mudança da paisagem no município de Acrelândia, AC. **Enciclopédia Biosfera**, v. v. 8, p. 935-946, 2012.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, 4(1): 11-20, 1965.

GAUSMAN, H.W. 1973. Reflectance, transmittance, and absorptance of light by subcellular particles of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. **Agron. J.** 65:551–553.

- GOMES, N. V. et al. **Distribuição da precipitação no Estado do Pernambuco: uma análise comparativa entre pluviômetros e as estimativas por satélites.** In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-Pará, 2010.
- HANSEN, M., TOWNSHEND, J., DEFRIES, R., AND CARROLL, M. (2005). Estimation of tree cover using MODIS data at global, continental and regional/local scales. **International Journal of Remote Sensing**, 26(19):4359-4380.
- GAUSMAN, H. W.; ALLEN, W. A.; WIEGAND, C.L.; ESCOBAR, D. E.; RODRIGUEZ, R. R., RICHARDSON, A. J. The leaf mesophylls of twenty crops, their light spectra, and optical and geometrical parameters. **Technical Bulletin 1465. U. S. Dept. of agriculture.** 59p., 1973
- HANSEN, M.C., DEFRIES, R. S., TOWNSHEND, J. R. G., CARROLL, M., DIMICELI, C., AND SOHLBERG, R. A. 2003. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm. **Earth Interactions**, 7, 7 – 007.
- HANSEN, M.C., SOHLBERG, R., DIMICELI, C., CARROLL, M., DEFRIES, R.S. AND TOWNSHEND, J.R.G. (2002). Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: Examples using AVHRR and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, 83(1-2): 303-319.
- HIGUCHI, P., OLIVEIRA-FILHO, A. T., SILVA, A. C. D., MACHADO, E. L. M., SANTOS, R. M. D., & PIFANO, D. S. Dinâmica da comunidade arbórea em um fragmento de floresta estacional semidecidual montana em Lavras, Minas Gerais, em diferentes classes de solos. **Revista Árvore**, v.32, n.3, p.417-426, 2008.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, n.3, v.2, p.295-309, 1988.
- HUETE A. R.; HUENNRICH, K. F.; MIURA T.; XIAO, X.; DIDAN, K., LEEUWEN, W.; HALL, F.; TUCKER, C. J., 2006. **Vegetation Index greenness global data set.** Nasa ESDR/CDR.
- HUFFMAN, G. J., ADLER, R. F., BOLVIN, D. T., GU, G., NELKIN, E. J., BOWMAN, K. P., HONG, Y., STOCKER, E. F., & WOLFF, D. B. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, Feb. 2007.

HUFFMAN, G.J., R.F. ADLER, P. ARKIN, A. CHANG, R. FERRARO, A. GRUBER, J. JANOWIAK, A. McNAB, B. RUDOLPH, and U. SCHNEIDER, 1997: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset, *Bul. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 5-20.

IBGE. 1997. Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal (CD-ROM) IBGE. Rio de Janeiro.

IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Desmatamento e degradação florestal no bioma Amazônia (2000 – 2010). <[www.imazon.or.br](http://www.imazon.or.br)>. Acesso em 29 Jan. 2014.

**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**, 2013. <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: 14 abr. 2013.

KUMAR, R.. Radiation from plants-reflection and emission: A review. Lafayette, Indiana. **Purdue University**. 18p., 1972.

LIESENBERG, V. Monitoramento global e regional da cobertura vegetal: uma abordagem dos atuais sistemas de observação da Terra. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.7, n.1, p.115-128, 2005.

LP DAAC – LAND PROCESS DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER <[http://www.lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table/mcd12q1](http://www.lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mcd12q1)> Acesso em: 14 jun. 2013.

MACHADO L. A. fronteira agrícola na Amazônia. In: Becker BK, Christofolletti A, Davidoch FR, Geiger RPP. Ed. **Geografia e meio ambiente no Brasil**, p. 181-217. 1998.

MALHI Y, & GRACE J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. **Trends in Ecology & Evolution**, 15(8), 332-337, 2000.

MARENGO, J. A., AMBRIZZI, T., DA ROCHA, R. P., ALVES, L. M., CUADRA, S. V., VALVERDE, M. C., & FERRAZ, S. E. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate dynamics**, 35(6), 1073-1097, 2010.

MARENGO, J. A. “Extreme Rainfall and the Flood of the Century in Amazonia 2009”, **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 97, pp. 149, 2010.

MARENGO, J. A. **Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005**. *Phil. Trans. R. Soc. B*, DOI: 10.1098/rstb.2007.0026, 2008.

MELLO, A. Y. I.; ALVES, D. S.; LINHARES, C. A.; LIMA, F. B. Avaliação de técnicas de classificação digital de imagens Landsat em diferentes padrões de cobertura da terra em Rondônia. **Revista Árvore**, v.36, n.3, p.537-547, 2012.

MESQUITA, R. C., & DUARTE, A. F. **Diferenças na climatologia das chuvas entre as regiões leste e oeste do estado do Acre.** In: Congresso de Estudantes E Bolsistas do Experimento LBA, 2., 2005. Anais... Manaus, 2005.

McGUFFIE, K., HENDERSONSELLERS, A., ZHANG, H., DURBRIDGE, T. B., & PITMAN, A. J. Global climate sensitivity to tropical deforestation Glob. Planet. *Change* 10 97 –128, 1995.

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

NÓBREGA, R. S., de SOUZA, Ê. P., & GALVÍNCIO, J. D. Análise da Estimativa de Precipitação do TRMM na Sub-Bacia da Amazônia Ocidental. **Revista de Geografia (Recife)**, v.25, n.1, p.06-20, 2010.

NOGUEIRA, J. L. M., *et al.* **Reflectância de uma superfície vegetada em função da geometria de aquisição.** In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 941-949.

OLIVEIRA, L. G. L. **Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5995-6002.

PARISE, F. J. O. & VETTORAZZI, C. A., Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: I. Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira Fruticultura.**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 43-47, Abril 2005.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica.** In: RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor; MORAES, Elisabete Caria; PONZONI, Flávio Jorge; CAMARGO JÚNIOR, Hélio; CONFORTE, Jorge Conrado; MOREIRA, José Carlos; EPIPHANIO, José Carlos Neves; MOREIRA, Maurício Alves; KAMPEL, Milton; ALBUQUERQUE, Paulo Cesar Gurgel de; MARTINI, Paulo Roberto; FERREIRA, Sérgio Henrique; TAVARES JÚNIOR, Stélio Soares; SANTOS, Vânia Maria Nunes dos (Ed.). **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente.** São José dos Campos: INPE, 2002. p. 27.

Capítulo 8. (INPE-8984-PUD/62). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.11>>. Acesso em: 20 maio. 2013.

RAMACHANDRAN, B., Justice, C.O., Abrams, M. (eds.) **Land Remote Sensing and Global Environmental Change: NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS** Springer-Verlag, XLII, 873p, 2011.

REBOITA, M. S., GAN, M. A., ROCHA, R. P., & AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.185 - 204, 2010.

RIVERO, S., ALMEIDA, O., ÁVILA, S., & OLIVEIRA W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009.

RUNNING, S. W., JUSTICE, C. O., SALOMONSON, V. V., HALL, D., BARKER, J., KAUFMAN, Y. J., STRAHLER, A. H., HUETE, A. R., MULLER, J. P., VANDERBILT, V., WAN, Z. M., TEILLET, P., & CARNEGGIE, D. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n.17, p. 3587– 3620, 1994.

RUSSELL, M. Monitoring regional vegetation change using reflectance measurements from multiple solar zenith angles, 2001. **Environment International** V.27, p.211 –217. PII: S0160-4120(01)00089-7.

SCOLFORO, J. R. S., & THIERSCH, C. R. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.

SHUKLA, J., & NOBRE, P. Variations of Sea Temperature, Wind Stress, and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, p.2469-2479, 1996.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 14 abr. 2013.

SILVA, D. F., PANTANO, A. P., & CAMARGO, M. B. P. Análise de dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o vale do médio Parapanema – SP. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.21, n.2, março/abril de 2013.

SOARES-FILHO, B. S., NEPSTAD, D. C., CURRAN, L., CERQUEIRA, G. C., GARCIA, R. A., RAMOS, C. A., & MCGRATH D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 137-152, 2005.

STRAHLER, A. MODIS Website-Algorithms. *MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) versão 5*, 1999. Disponível em: <[http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod12.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod12.pdf)>. Acesso em: 02 jul. 2013.

TOWNSHEND, J. R. G., M. CARROLL, C., DIMICELI, R., SOHLBERG, M., & HANSEN, R. De F. **Vegetation Continuous Fields MOD44B, 2001 Percent Tree Cover**, Collection 5, University of Maryland, College Park, Maryland, 2001. <[http://www.landcover.org/library/guide/VCF\\_C5\\_UserGuide\\_Dec2011.pdf](http://www.landcover.org/library/guide/VCF_C5_UserGuide_Dec2011.pdf)> Acesso em: 10 fev. 2013.

**Tropical Rainfall Mapping Mission** (TRMM). <[www.mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM\\_3B43\\_007.shtml](http://www.mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B43_007.shtml)>. Acesso em: 10 jan. 2013.

**USGS** – U. S. Geological Survey <<http://www.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

VASCONCELLOS, S. M. et al. **Estimativa pontual de precipitação via satélite TRMM no semi-árido alagoano**. In: XII Simpósio de recursos hídricos do Nordeste, Natal- Rio Grande do Norte, 2014.

VIANA, D. R. et al. **Avaliação das estimativas de precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na Região Sul do Brasil**. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-Pará, 2010.

VILANOVA, R. S., ANDRADE, M. S. S., De., DELGADO, R. C., OLIVEIRA JÚNIOR, J. F De., & SANTOS, R. D. B Dos. Cobertura florestal da *Tectona grandis* L. f. Baseado nos produtos MOD44B e 3B43 em Plácido de Castro, AC. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 9, n. 17, p. 681-695, 2013.

WANG, J.; PRICE, K. P.; RICH, P. M. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n. 11, p. 2345-2364, 2003.

WECKMÜLLER, R., SLOVINCKI, N. C., VINCENS, R. S. Análise multitemporal como subsídio à identificação da trajetória evolutiva do uso e cobertura da terra no corredor ecológico do Muriqui/RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/3, 2013.

WERTH, D., & AVISSAR, R. The local and global effects of Amazon deforestation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres** (1984–2012),107(D20), LBA-55, 2002.

WILLMOTT, C. J., ACKLESON, S. G., & DAVIS, J.J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geography Research**, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.

Xiao, X.; Hagen, S.; Zhang, Q.; Keller, M.; Moore, B., 2006. Detecting leaf phenology of seasonally moist tropical forest in South America with multitemporal MODIS images. **Remote Sensing of Environment**. V. 103, p.465-473. Doi: 10.1016/j.rse.2006.04.013.

YANAGI, S. N. M., 2006. Meling Radiative Transfer in Tropical Raing Forest Canopies: Sensitivity of Simulated Albedo to Canopy Architectural Parameters. Tese de Doutorado em Meteorologia Agrícola.Viçosa, Minas Gerais- Brasil.

ZHANG, Y., XU, M., CHEN, H., & ADAMS, J. Global pattern of NPP to GPP ratio derived from MODIS data: effects of ecosystem type, geographical location and climate. *Global Ecology and Biogeography*, (Global Ecol. Biogeogr.). 18, 280–290p, 2009.