

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DINÂMICA DE VEGETAÇÃO E REGIME DE PRECIPITAÇÃO EM BACIA**  
**HIDROGRÁFICA DA REGIÃO SEMIÁRIDA DE PERNAMBUCO**

**ADRIANA DE CARVALHO FIGUEIRÊDO**

RECIFE-PE

2014

**ADRIANA DE CARVALHO FIGUEIRÊDO**

**DINÂMICA DE VEGETAÇÃO E REGIME DE PRECIPITAÇÃO EM BACIA  
HIDROGRÁFICA DA REGIÃO SEMIÁRIDA DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Douto em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia de água e solo.

Orientador:

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

RECIFE – PE

2014

Ficha catalográfica

F475d Figueirêdo, Adriana de Carvalho  
Dinâmica de vegetação e regime de precipitação em  
bacia hidrográfica da região semiárida de Pernambuco /  
Adriana de Carvalho Figueirêdo. – Recife, 2014.  
97 f. : il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.  
Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Engenharia Agrícola, Recife, 2014.  
Inclui referências e apêndice(s).

1. Caatinga 2. Sensoriamento remoto 3. Índice de  
vegetação 4. Técnica de quantis 5. Chuvas acumuladas  
I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção, orientador  
II. Título

CDD 631

**ADRIANA DE CARVALHO FIGUEIRÊDO**

**DINÂMICA DE VEGETAÇÃO E REGIME DE PRECIPITAÇÃO EM BACIA  
HIDROGRÁFICA DA REGIÃO SEMIÁRIDA DE PERNAMBUCO**

Tese defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2014 pela Banca Examinadora:

Orientador:

---

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro  
DEAGRI-UFRPE

**Examinadores:**

---

Prof. Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura  
DEPA-UFRPE

---

Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva  
DTR-UFRPE

---

Prof. Dr. Sérgio Monthezuma Santoianni Guerra  
DTR-UFRPE

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos  
DBR-UFPE

*Dedico esse trabalho aos  
meus pais, Alcides e Ivoneide,  
que priorizaram a educação  
dos filhos e sempre se fizeram  
presentes em nossas vidas.*

## **Agradecimentos**

À Deus, pelo dom de vida e por todas as graças a mim concedidas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE, pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao Professor Abelardo Montenegro, pela orientação e confiança a mim prestados.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – Campus Salgueiro, pela concessão do afastamento de minhas atividades acadêmicas para a conclusão do curso, e aos grandes amigos que lá conquistei, pelo apoio e incentivo.

Aos meus amados pais, Alcides e Ivoneide, pelos ensinamentos, incentivo, pela confiança e apoio em minhas escolhas.

Aos meus irmãos, Alcides Júnior e Andrezza Maria, companheiros fieis para todas as horas e ao meu cunhado Rafaello Lima por todo carinho.

À Eriverton Rodrigues, namorado e grande companheiro, por toda a paciência, palavras de incentivo, colaboração, pelos momentos felizes, por todo amor e dedicação.

Aos Professores Sérgio Guerra e Bernardo da Silva pela valiosa contribuição no desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos Professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por seu trabalho sério e dedicação.

Aos companheiros do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em especial a Marcos Félix, Ana Cláudia, Gledson, Alexandre, Igor, Wellington e Rochelle, Matheus, pelas conversas e trocas de ideias.

A todos que compõem a equipe do Laboratório de Água e Solo do DTR/UFRPE: Eduardo, Valdemir Jr., José Roberto, Rogério, Adriano, Robertson, Adriana, Lilian, Carol, Célia, Fred, Thaís, Paulo entre outros meu obrigado pelas conversas, amizade e colaboração.

Aos amigos Anildo, Valdemir Júnior, Eduardo, Gledson, Ana Cláudia, José Roberto, Rogério, Júnior Granja, Ana Maria, Marli Melo, Adriana Bispo, Cristiane Ayala, Maria Alice, Camila Macedo e Rogério Paixão e Manoel Vieira, por se fazerem presentes nos momentos de alegria e de dificuldades.

Aos caríssimos amigos da UFPE, Albert Einstein, Cláudia, Leidjane e Ebersson, pela colaboração e acolhimento.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para realização do doutorado e da tese aqui apresentada e não tiveram seus nomes registrados.

## Resumo

O trabalho teve como principal objetivo avaliar a relação entre o regime de precipitação e a dinâmica da cobertura vegetal na bacia do Alto Ipanema. A área de estudo é a bacia do Alto Ipanema, inserida na bacia do rio Ipanema, que limita-se entre os municípios de Pesqueira e Arcoverde, localizados na região semiárida de Pernambuco. Utilizaram-se técnicas de sensoriamento remoto para determinar índices de vegetação e avaliar a dinâmica da cobertura vegetal; correlacionou-se o comportamento dos índices de vegetação na bacia com a precipitação no período avaliado; buscou-se identificar as classes de cobertura vegetal e as classes de precipitações. A vegetação predominante da região corresponde à caatinga, destacando-se coberturas de diferentes densidades e pastagem. Foram utilizadas 11 imagens do Sensor TM Landsat-5 e uma imagem do Landsat-8, órbita 215, ponto 66 nos meses de setembro a dezembro, nos anos de 1985 a 2013. Foram avaliados dois índices de vegetação, NDVI e SAVI, esse último com três fatores de ajuste para o substrato do dossel ( $L=0,1; 0,5$  e  $1$ ). Com o objetivo de auxiliar na interpretação dos índices de vegetação, realizou-se uma classificação supervisionada da imagem, determinando-se cinco classes de uso e cobertura vegetal da bacia. Verificaram-se as correlações existentes entre o mapa de uso e cobertura vegetal com os diferentes índices computados, e desses últimos com a precipitação acumulada anual e de dias antecedentes à data das imagens utilizadas. Utilizou-se a técnica de quantis para classificação das precipitações ocorridas na bacia entre 1984 e 2013. Dentre os anos de estudo das imagens as precipitações com maior ocorrência foram classificadas como Normais, variando entre 640,4 mm e 838,4 mm anuais. O NDVI foi o índice de vegetação que melhor representou a dinâmica de vegetação da bacia com  $r=0,93$ , seguido pelo SAVI ( $L=0,5$ ) com  $r=0,69$ . A dinâmica da vegetação na bacia do Alto Ipanema não se dá em função apenas do regime pluviométrico anual da região, mas principalmente das variações intra-anuais, em particular das chuvas antecedentes de 90 dias.

## Abstract

The work aimed to evaluate the relationship between the rainfall regime and dynamics of vegetation cover in the Upper Basin Ipanema. The study area is the basin of the Upper Ipanema, Ipanema inserted in the river basin, which is limited between Pesqueira and Arcoverde, located in the semiarid region of Pernambuco. We used remote sensing techniques to determine vegetation indices and evaluate the dynamics of vegetation cover; correlated behavior of vegetation indices with rainfall in the basin during the study period; sought to identify the classes of land cover and rainfall classes. The predominant vegetation in the region correspond to the savanna, especially coverage of different densities and grazing. Were used 11 images Sensor TM Landsat -5 and an image of Landsat - 8, orbit 215, paragraph 66 months from September to December in the years 1985 to 2013. Two vegetation indices, NDVI and SAVI were evaluated, the latter three adjustment factors for the substrate canopy ( $U = 0.1, 0.5$  and  $1$ ). In order to assist in the interpretation of vegetation indices, we performed a supervised image classification, determining five classes of use and vegetation cover in the basin. We checked for correlations between use map and land cover with different indices computed, and these latter with the annual accumulated rainfall and days prior to the date of the images used. We used the technique of quantile classification of rains in the basin between 1984 and 2013. Among the years of study of images with higher rainfall occurrence were classified as Standard, ranging between 640.4 mm and 838.4 mm per year. The NDVI vegetation index was the best represented the dynamics of vegetation in the basin with  $r = 0.93$ , followed by SAVI ( $L = 0.5$ ) with  $r = 0.69$ . The vegetation dynamics in the Upper Basin Ipanema is a function not only of the annual rainfall regime in the region, but especially the intra - annual variations, particularly for rainfall record of 90 days.

## Lista de Figuras

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Alto Ipanema	24
Figura 2. Área com agricultura irrigada no Vale do Mimoso, bacia do Alto Ipanema - PE	25
Figura 3. Área com agricultura de sequeiro na região do Jatobá, bacia do Alto Ipanema - PE	26
Figura 4. Normais Climatológicas do Brasil com precipitação acumulada mensal e anual em mm, para os municípios de Arcoverde e Pesqueira, entre os anos de 1961 e 1990	27
Figura 5. Curva hipsométrica e frequência de altitudes da bacia do Alto Ipanema	29
Figura 6. Modelo de Elevação da bacia do Alto Ipanema	31
Figura 7. Rede de drenagem ordenada da bacia do Alto Ipanema	32
Figura 8. Mapa de cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema	35
Figura 9. Distribuição da frequência absoluta e relativa (%) anual para as categorias muito seco (MS), seco (S), normal (N), chuvoso (C) e muito chuvoso (MC)	43
Figura 10. Comportamento temporal da precipitação anual observada para as categorias muito seco (MS), seco (S), normal (N), chuvoso (C) e muito chuvoso (MC)	44
Figura 11. Índice de vegetação NDVI obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985 (A), 01/11/1989 (B), 28/11/1991 (C), 09/12/1995 (D), 27/10/1997 (E), 01/12/1998 (F), 17/10/1999 (G), 22/10/2001 (H), 17/12/2004 (I), 23/09/2008 (J), 29/09/2010 (K) e 10/12/2013 (L)	47
Figura 12. Percentagem de área da bacia para classes de NDVI obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985, 01/11/1989, 28/11/1991, 09/12/1995, 27/10/1997, 01/12/1998, 17/10/1999, 22/10/2001, 17/12/2004, 23/09/2008, 29/09/2010, 10/12/2013, para bacia do Alto Ipanema	48
Figura 13. Índice de vegetação SAVI $L=0,1$ obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985 (A), 01/11/1989 (B), 28/11/1991 (C), 09/12/1995 (D), 27/10/1997 (E), 01/12/1998 (F), 17/10/1999 (G), 22/10/2001 (H), 17/12/2004 (I), 23/09/2008 (J), 29/09/2010 (K) e 10/12/2013 (L)	50
Figura 14. Percentagem de área do SAVI ( $L=0,1$ ) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985, 01/11/1989, 28/11/1991, 09/12/1995, 27/10/1997, 01/12/1998, 17/10/1999, 22/10/2001, 17/12/2004, 23/09/2008, 29/09/2010, 10/12/2013, para bacia do Alto Ipanema	51
Figura 15. Índice de vegetação SAVI ( $L=0,5$ ) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985 (A), 01/11/1989 (B), 28/11/1991 (C), 09/12/1995 (D), 27/10/1997 (E), 01/12/1998 (F), 17/10/1999 (G), 22/10/2001 (H), 17/12/2004 (I), 23/09/2008 (J), 29/09/2010 (K) e 10/12/2013 (L)	52
Figura 16. Percentual de área do SAVI ( $L=0,5$ ) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985, 01/11/1989, 28/11/1991, 09/12/1995, 27/10/1997, 01/12/1998, 17/10/1999, 22/10/2001, 17/12/2004, 23/09/2008, 29/09/2010, 10/12/2013, para bacia do Alto Ipanema	53
Figura 17. Índice de vegetação SAVI ( $L=1$ ) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985 (A), 01/11/1989 (B), 28/11/1991 (C), 09/12/1995 (D),	

27/10/1997 (E), 01/12/1998 (F), 17/10/1999 (G), 22/10/2001 (H), 17/12/2004 (I), 23/09/2008 (J), 29/09/2010 (K) e 10/12/2013 (L)	54
Figura 18. Percentual de área do SAVI (L = 1) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985, 01/11/1989, 28/11/1991, 09/12/1995, 27/10/1997, 01/12/1998, 17/10/1999, 22/10/2001, 17/12/2004, 23/09/2008, 29/09/2010, 10/12/2013, para bacia do Alto Ipanema	55
Figura 19. Regressão entre o NDVI e as precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens estudadas	60
Figura 20. Regressão entre o SAVI L=0.1 e as precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens estudadas	64
Figura 21. Regressão entre o SAVI 0.5 e as precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens estudadas	68
Figura 22. Regressão entre o SAVI 1 e as precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens	72
Figura 23. Análise Temporal do NDVI e das precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens, considerando as correlações mais representativas	76
Figura 24. Análise Temporal SAVI L=0.1 e das precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens, considerando as correlações mais representativas	77
Figura 25. Análise Temporal SAVI L=0.5 e das precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens, considerando as correlações mais representativas	78
Figura 26. Análise Temporal SAVI L=1 e das precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens, considerando as correlações mais representativas	79

## Lista de tabelas

Tabela 1. Caracterização morfométrica da bacia do Alto Ipanema	28
Tabela 2. Referências das imagens: satélite, sensor, órbita/ponto e data de passagem do sensor	33
Tabela 3. Área em percentual e km <sup>2</sup> das classes de uso e cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema	35
Tabela 4. Descrição das bandas do TM - Landsat 5 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – L <sub>mín</sub> e máxima – L <sub>máx</sub> ) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)	36
Tabela 5. Descrição de 7 das 9 bandas do OLI - Landsat 8 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – L <sub>mín</sub> e máxima – L <sub>máx</sub> ) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)	37
Tabela 6. Cálculo das ordens quantílicas anuais de chuvas para a bacia do Alto Ipanema (N = 30)	40
Tabela 7. Classificação das categorias, probabilidades e intervalo de precipitação total (mm) ocorrida nos anos de estudo, relacionadas às ordens quantílicas	41
Tabela 8. Distribuição dos valores de chuva acumulada nos anos da série histórica e suas possíveis classificações de acordo com a divisão proposta na pesquisa	41
Tabela 9. Precipitação antecedente acumulada (mm) às datas das imagens	58

## Apêndices

Apêndice 1. Dados da Imagem - Sensor TM, Órbita/Ponto 215/66, das datas estudadas	88
Apêndice 2. Estatística descritiva anual dos índices de vegetação na bacia do Alto Ipanema	89
Apêndice 3. Percentual e área (km <sup>2</sup> ) das classes de uso e cobertura vegetal, por meio de índices de vegetação, que compõem a bacia do Alto Ipanema	90
Apêndice 4. Correlação entre o percentual de área ocupada pelas classes do mapa de uso e cobertura vegetal e os índices de vegetação na bacia do Alto Ipanema	92
Apêndice 5. Regressão entre as médias dos índices de vegetação e a precipitação anual (mm) na bacia do Alto Ipanema	93
Apêndice 6. Regressão linear entre as médias dos índices de vegetação e a precipitação acumulada (mm) antecedente às datas das imagens em 90 dias na bacia do Alto Ipanema	94
Apêndice 7. Classificação de cada ano da série histórica utilizada, de acordo com os valores estabelecidos para cada classe quantílica	95
Apêndice 8. Precipitação mensal média (mm) e acumulada (mm) nos anos correspondentes às datas das imagens de satélite e respectivas categorias de precipitação acumulada no ano (mm)	97

## Sumário

<b>1. Introdução</b>	<b>14</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	<b>16</b>
2.1 A vegetação Caatinga: características na região semiárida	16
2.2 Sensoriamento remoto	17
2.3 Índices de Vegetação	18
2.4 Precipitação pluviométrica	20
<b>3. Objetivos</b>	<b>23</b>
3.1 Objetivo geral	23
3.2 Objetivos específicos	23
<b>4. Hipótese da pesquisa</b>	<b>23</b>
<b>5. Materiais e Métodos</b>	<b>24</b>
5.1 Caracterização da área de estudo	24
5.2 Dados Climatológicos	27
5.3 Caracterização morfométrica da bacia	27
5.4 Imagens de satélite	33
5.5 Processamento das imagens de satélite	34
5.6 Uso e cobertura vegetal do solo	34
5.7 Calibração radiométrica	36
5.8 Reflectância monocromática	37
5.9 Dinâmica sazonal da vegetação	38
5.9.1 Determinação do NDVI	38
5.9.2 Determinação do SAVI	38
5.9.3 Análise dos dados de precipitação	39
<b>6. Resultados e Discussão</b>	<b>43</b>
6.1 Classificação da precipitação pelo método de quantis	43
6.2 Índices de vegetação e dinâmica da cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema	45
6.3 Relação entre a dinâmica da vegetação e a precipitação	57
<b>7. Conclusões</b>	<b>80</b>
<b>8. Referências Bibliográficas</b>	<b>82</b>

## 1. Introdução

A bacia hidrográfica é área de estudo em várias linhas de pesquisa relacionadas com análise ambiental e com a proteção dos recursos hídricos, e também tem sido alvo de políticas públicas, como pode ser visto na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433, de 1997) e nos programas de microbacias hidrográficas estaduais e federais (KUANO & PASSOS, 2008). Sendo assim, eficientes modelos territoriais para análise de uso e ocupação e políticas de planejamento, em virtude de não possuir seus limites determinados politicamente (IZIPPATO et al., 2012), o que facilita o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem na área, através de pesquisas, análises e interpretações do uso e ocupação do solo e da dinâmica geoambiental (VAEZA et al., 2010).

A área estudada foi a bacia do Alto Ipanema, inserida na bacia do rio Ipanema, que está limitada entre os municípios de Pesqueira e Arcoverde, que estão localizados na região do Agreste de Pernambuco. Por ser uma bacia representativa, possui duas sub-bacias experimentais (Mimoso e Jatobá) onde são desenvolvidas atividades de pesquisa relacionadas à hidrossedimentologia e manejo da agricultura.

A vegetação local corresponde à caatinga, que ao longo dos anos vem sofrendo com a ação antrópica. Visivelmente, o maior impacto está relacionado ao desmatamento, consequência da introdução da agricultura, de áreas de pastagem e a exploração de madeira, destinada a confecção de cercas, utilização de carvão e varas para condução de culturas agrícolas.

Existe uma crescente preocupação em preservar a caatinga contra o processo de desmatamento e, de forma geral, de desertificação de bacias hidrográficas. Nesse sentido, esses temas vêm sendo alvo de estudos científicos, com aplicação de técnicas que visam monitorar e analisar esses ambientes, de forma a compreender seu comportamento ao longo dos anos e visando minimizar os impactos gerados sob os mesmos. Essas informações são importantes no tocante ao direcionamento de políticas públicas que venham intervir na degradação desses ambientes.

Estudos relacionados sobre a influência de fatores hidrológicos no comportamento da vegetação ao longo do tempo contribuem na gestão de bacias hidrográficas, sendo importantes para o planejamento de ações que visem sua conservação.

Neste trabalho foi avaliada a dinâmica de vegetação da bacia do Alto Ipanema por meio de índices de vegetação e sua relação com a precipitação. Na seção 2, foi realizada uma revisão bibliográfica abordando o uso do sensoriamento remoto, o estudo e aplicações de índices de vegetação e a importância da precipitação pluviométrica na dinâmica de vegetação. Na seção 3, foram abordados os objetivos da pesquisa. Na seção 4, observa-se a hipótese testada na mesma. Na seção 5, foram apresentados o material e métodos utilizados no estudo, destacando-se a caracterização da área de estudo e a morfometria da bacia. Nesta mesma seção apresentaram-se a origem dos dados climatológicos, as referências das imagens de satélites e o processamento de imagens utilizado. Além disso, verifica-se a classificação utilizada para obtenção do mapa de uso e cobertura vegetal do solo e suas respectivas classes e como foi realizada a dinâmica de vegetação e a análise dos dados de precipitação. Foram determinados os índices de vegetação (NDVI e SAVI) para acompanhar essa dinâmica. Por meio da aplicação de técnicas de quantis foram caracterizadas as chuvas ocorridas na bacia. E através de correlações verificou-se a influência da precipitação na vegetação. Na seção 6, que corresponde aos resultados e discussão, verifica-se a classificação da precipitação pelo método de quantis, os resultados encontrados para os índices e a dinâmica de vegetação da bacia do Alto Ipanema e sua relação com a precipitação. Na seção 7, são apresentadas as conclusões e considerações finais propostas no estudo.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1 A vegetação Caatinga: características na região semiárida**

A Caatinga é uma das maiores e mais distintas regiões fitogeográficas brasileiras, compreendendo uma área aproximada de 734.478 Km<sup>2</sup>, o que representa 70% da região Nordeste e 11% do território nacional (GIULIETTI et al., 2004).

Apesar de ser o único bioma natural brasileiro inteiramente restrito ao território nacional, pouca atenção tem sido dada à conservação de sua diversificada e marcante paisagem (BEZERRA et al., 2014).

A vegetação de caatinga apresenta grande variação fisionômica, principalmente quanto à densidade e ao porte das plantas. A cobertura vegetal é composta por diversos padrões morfológicos que dependem da fisionomia e das condições climáticas, que se destaca em sua maioria de uma formação vegetal de caatinga arbustiva, densa ou aberta (FRANCISCO et al., 2012).

Na Caatinga, o tipo de vegetação que prevalece é "savana estépica", predominando pequenas árvores e arbustos que geralmente perdem as folhas durante a estação seca (espécies caducifólias) e em muitas espécies de cactos. Apesar de ser uma região semiárida, com baixa precipitação média (entre 300 e 800 milímetros por ano), a Caatinga é extremamente heterogênea, com pelo menos uma centena de diferentes tipos de paisagens únicas, com lagoas ou áreas úmidas temporárias, os refúgios de montanha e rios permanentes como São Francisco (FREITAS et al., 2009).

Dessa forma, as caatingas podem ser caracterizadas como florestas arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos, muitos dos quais apresentam espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas (LEAL et al., 2003).

A maior diversidade da flora da Caatinga está associada às maiores altitudes, principalmente em áreas rochosas. Entretanto, as lagoas ou áreas úmidas temporárias, nas terras mais baixas, representam um conjunto de habitats frágeis e ricos em espécies de plantas raras e endêmicas, extremamente ameaçados pelas atividades da agropecuária local (GIULIETTI et al., 2004).

Segundo Bezerra et al. (2014), em virtude da importância e da carência de dados de campo para monitorar a dinâmica espaço-temporal da Caatinga em regiões

semiáridas do Nordeste brasileiro, pesquisas com sensoriamento remoto permitem compreender o comportamento dos parâmetros biofísicos, face às mudanças climáticas e ações antropogênicas.

## **2.2 Sensoriamento remoto**

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens da superfície terrestre, por meio da captação da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2011). A tecnologia usada nos satélites é um exemplo do sensoriamento remoto – os sensores a bordo dessas plataformas orbitais são capazes de registrar o nível de radiação eletromagnética refletida e/ou emitida de um determinado local na superfície terrestre (GIONGO, 2011).

Essa tecnologia vem sendo utilizada desde a década de 70, como uma importante fonte de informações para mapear e monitorar os recursos naturais da Terra, em função da sua capacidade de obtenção de dados sobre extensas áreas, facilitando assim a compreensão dos processos ocorridos nestas áreas (COURA, 2006; GOMES et al., 2012).

Dados provenientes de sensores remotos, auxiliados por Sistemas de Informações Geográficas (SIG), têm sido muito utilizados para o mapeamento, monitoramento, caracterização, estudo da evolução do uso do solo, gerenciamento de propriedades, dentre outras atividades ambientais e agronômicas, pois fornecem informações periódicas de extensas áreas e com menor custo do que as metodologias tradicionais (BACKES, 2010).

A variação sazonal das espécies reflete diretamente no comportamento espectral da vegetação. Imagens do período seco são mais indicadas, pois permitem identificar melhor os diferentes tipos de vegetação e discriminar, em alguns casos, as diferentes formas dentro de um mesmo tipo de vegetação (ROSA, 2009).

Vários índices de vegetação baseados em diferentes métodos foram concebidos para extrair sinais da vegetação a partir dos dados por satélite. Estes índices são calculados com base no perfil do espectro dos dados disponíveis e têm diferentes capacidades para classificar os pixels de acordo com a resposta. Diferentes índices de vegetação classificam os dados com base na propriedade reflexão específica do objeto a determinada banda (JOSHI, 2011).

No sensoriamento remoto o comportamento espectral dos sensores na banda do visível (VIS) e infravermelho próximo (IV) instalados a bordo dos satélites

meteorológicos informa sobre a reflectância das superfícies vegetadas, o que possibilita delinear áreas de cobertura vegetal em todo o globo (BRAGA et al., 2009). Os índices de vegetação implicam de combinações lineares de dados espectrais, destacando o sinal da vegetação (JACKSON & HUETE, 1991).

Nas regiões do espectro visível e do infravermelho, a energia refletida depende de propriedades como pigmentação, umidade e estrutura celular da vegetação, da constituição mineral e umidade dos solos, e da quantidade de sedimentos em reservatórios de água (BAUERMANN, 2008).

Segundo o mesmo autor, a maior parte da radiação eletromagnética (luz) dos intervalos do azul (0,45 a 0,50  $\mu\text{m}$ ) e do vermelho (0,62 a 0,70  $\mu\text{m}$ ) é absorvida pela clorofila, enquanto no intervalo do verde (0,50 a 0,58  $\mu\text{m}$ ) boa parte é refletida. A radiação do infravermelho próximo (0,74 a 1,10  $\mu\text{m}$ ) é pouco afetada pela clorofila, mas muito influenciada pela estrutura foliar da vegetação alvo.

Os índices de vegetação ressaltam, dentre outras informações, o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (CUNHA et al., 2012).

Segundo Ponzoni et al. (2012), no monitoramento da vegetação, o índice de vegetação é utilizado na construção de perfis sazonais e temporais de atividades da biomassa vegetal, possibilitando comparações interanuais desses perfis.

### **2.3 Índices de Vegetação**

Os índices de vegetação (IV) resultam de transformações lineares de reflectâncias, geralmente nas faixas do visível (VIS) e do infravermelho próximo (NIR) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al., 1996; LIRA et al., 2009).

Diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais de vegetação, principalmente nas regiões do VIS e do NIR, com base em combinação (soma, diferença, razão) de intensidades desses canais. Estes índices são utilizados para identificar e monitorar a variação temporal de cobertura vegetal e, por outro lado, para estimar certos parâmetros, tais como a biomassa aérea. Além disso, estas combinações têm vantagem de reduzir o efeito de fatores de extremos de vegetação, tais como a radiação solar, a influência atmosférica, a contribuição espectral de solos, dentre outros (GIRARD & GIRARD, 2003).

Esses índices são também importantes indicadores da qualidade ambiental, além de serem bastante utilizados nos estudos sobre o meio ambiente (DEMARCHI et al.,

2011), mostram-se sensíveis à quantidade e à condição da vegetação verde (GALVÍNCIO et al., 2009).

É possível conseguir uma boa relação entre as propriedades biofísicas (o índice de área foliar, fitomassa, percentagem de cobertura do solo, concentração de clorofila e fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel) de algumas espécies vegetais e as propriedades espectrais (EIPHANIO et al., 1996).

Considerando-se a análise da cobertura vegetal, a detecção de mudanças em seus níveis de degradação ou em seu estado fenótico pode ser determinada por meio de métodos e técnicas que utilizam os índices de vegetação em datas distintas (GOMES et al., 2012).

Segundo Gurgel et al. (2003), no Brasil, vários estudos têm demonstrado que o NDVI se correlaciona com algumas variáveis climáticas em amplas condições ambientais. Os mesmos autores avaliaram a variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando a análise de agrupamentos, e verificaram que os tipos de vegetação localizados em regiões com períodos secos e chuvosos marcantes, como é o caso do cerrado e da caatinga, apresentam ciclo anual bem caracterizado e respondem de forma rápida à ocorrência de chuva.

Nicácio et al. (2009), avaliando a relação existente entre a variabilidade espaço-temporal do NDVI com o regime pluviométrico na bacia do rio Coxim - MS, observaram que o NDVI responde mais efetivamente a chuva acumulada de quatro a cinco meses.

As características do solo influenciam no espectro de radiação que provém de dosséis vegetais esparsos (HEUTE, 1988). A influência dos solos de fundo sobre a vegetação ocorre mesmo em condições elevadas de cobertura do solo (EIPHANIO et al., 1996).

Buscando minimizar os efeitos de fundo do solo no sinal da vegetação, Heute (1988) propôs um índice de vegetação ajustado ao efeito do solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI), incorporando o fator L, que corresponde a um parâmetro de ajuste de solo, na equação do NDVI. Esse índice é apropriado para aplicação em ambientes áridos e semiáridos (MARCUSI et al., 2010).

Dermachi et al. (2011) compararam os índices de vegetação NDVI e SAVI com diferentes fatores de ajuste para o substrato do dossel e determinaram a porcentagem de cobertura vegetal. Concluíram que os índices de vegetação mais adequados foram os

NDVI e SAVI – fator 0,25, apresentando os dois IV valores semelhantes de porcentagem de cobertura vegetal.

Rêgo et al. (2012) avaliaram o desempenho dos índices de vegetação SAVI e NDVI no município de São Domingos-PB, por meio do uso de imagens TM Landsat 5 de 28/10/2009 e 22/04/2010. Verificaram que apesar de encontrarem diferença entre valores mínimos e máximos, o SAVI e o NDVI mostraram valores muito próximos e as diferenças nos mapas temáticos foram quase imperceptíveis. Os autores destacam que tanto o NDVI quanto o SAVI podem ser utilizados como indicador do estado vegetativo de áreas em processo de desertificação, apresentando resultados aproximados da realidade e que podem contribuir em diagnósticos ambientais no semiárido.

Entretanto, Silva & Galvêncio (2012) sugerem que para o período seco em área de Caatinga deve ser utilizado o SAVI para determinação dos índices de vegetação quando comparado com NDVI, pois o efeito background, reflectância do solo, interfere nas respostas da cobertura vegetal e assim o NDVI apresenta uma subestimativa da cobertura vegetal.

Oliveira & Galvêncio (2008), realizando uma caracterização ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE, verificaram que a redução da cobertura vegetal foi evidente na análise temporal e espacial das duas datas analisadas e, que esta diminuição fez com que em algumas áreas da bacia ocorresse um aumento de temperatura.

Os índices de vegetação estão sendo cada vez mais utilizados como importantes indicadores da qualidade ambiental, principalmente em regiões semiáridas, onde pode ser observada a intensificação do processo de desertificação no decorrer dos anos devido a alguns agentes naturais, como grandes períodos de estiagem e atividades humanas, o que vem contribuindo para a degradação do bioma caatinga (RÊGO et al., 2012).

O acompanhamento da dinâmica de vegetação nesse bioma serve como indicador regional de mudanças climáticas e/ou antrópicas, por ser, provavelmente, um dos mais sensíveis a alterações no clima, podendo constituir um elemento-chave na investigação da desertificação (BARBOSA et al., 2011).

## **2.4 Precipitação pluviométrica**

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto tem assumido grande importância no monitoramento de diversos fenômenos meteorológicos e ambientais, assim como oferecendo grande suporte às previsões de tempo e clima. Isso proporciona uma maior

facilidade na hora de monitorar as mudanças naturais e/ou antrópicas que ocorrem na vegetação (DANTAS et al., 2012). Os processos de trocas de energia entre vegetação e atmosfera constituem fator importante para o clima local, visto que determinam a quantidade de água requerida pela atmosfera e sua disponibilidade para suprir essa demanda (NASCIMENTO & BRITO, 2007).

O ciclo hidrológico é sensível às atuações tanto de origem antropogênicas como naturais e tem uma estreita relação com a cobertura vegetal da superfície terrestre. Conseqüentemente, variações na cobertura do solo podem acarretar modificações nas componentes desse ciclo (LIBOS et al., 2009).

As modificações dos usos da terra, que impliquem na substituição da cobertura vegetal, podem causar importantes alterações nas características hidrológicas de uma bacia hidrográfica, especialmente nas ligadas ao aumento da energia cinética da chuva (aumento do impacto da gota d'água no solo), redução da evapotranspiração, diminuição do volume de infiltração e conseqüente aumento do escoamento superficial (TEIXEIRA, 2009).

O uso e estado da cobertura vegetal de uma determinada área são dependentes principalmente da disponibilidade hídrica e edáfica da região (NICÁCIO et al., 2009). E são de fundamental importância para as tomadas de decisões e análises dos impactos ambientais ocasionados pelos fatores antrópicos (PEREIRA et al., 2010). Sua influência sobre processos hidrológicos tais como interceptação, transpiração, infiltração, percolação, constitui-se num dos fatores mais importantes que afetam a produção de água em microbacias (FIGUEIREDO, 2011).

A precipitação pluvial é amplamente reconhecida como a variável climatológica mais importante na região tropical, sendo essencial para o planejamento das atividades humanas e desenvolvimento local (AMANAJÁS & BRAGA, 2012).

A estrutura e o funcionamento dos ecossistemas semiáridos são fortemente influenciados pelos padrões de precipitação (MIRANDA et al., 2011). Entre os fatores climáticos, a precipitação é a variável que mais pode influenciar no desenvolvimento do bioma caatinga. As precipitações antecedentes com diferentes escalas temporais tendem a induzir efeitos distintos na umidade do solo (SANTOS et al., 2012) e, conseqüentemente, no estado da vegetação.

A disponibilidade de água nesses ambientes é bastante significativa e chuvas discretas intercaladas com períodos de seca são importantes componentes de abastecimento de água anual. As diferentes espécies de plantas podem não só responder

a quantidade de chuvas, mas também às variações de tempo, de modo que mudanças relativamente pequenas na frequência de chuvas (ou seja, as entradas pulsadas) podem ter fortes efeitos sobre a vegetação (MIRANDA et al., 2011).

A cobertura vegetal em áreas secas está bastante correlacionada com a precipitação, motivo pelo qual é de se esperar que os anos que apresentaram maior índice pluviométrico antes da passagem do sensor exibam maior aumento da cobertura vegetal; no entanto, alguns processos antrópicos, como a extração desordenada de madeira sem manejo sustentável, podem ser mais expressivos do que a resposta da vegetação ao regime pluvial (CUNHA et al., 2012).

Entende-se que o desflorestamento, as práticas de uso da terra agrícola e urbana, a utilização da água do lençol freático para abastecimento e irrigação, além da construção de grandes barramentos para abastecimento e principalmente para geração de energia, têm contribuído para alterações no ciclo hidrológico e consequentemente no regime hidrológico dos rios (ROCHA, 2010).

A redução na capacidade de recarga hídrica também pode ser reduzida com a alteração da cobertura vegetal através da intervenção antrópica. Em alguns ambientes, principalmente os semiáridos, há uma maior tendência a este fator, devido a chuvas ocorrerem com grande intensidade (SILVA & GALVINCIO, 2012). Essas regiões apresentam vegetação mais susceptível a mudanças, respondendo rapidamente à presença ou falta de chuvas (CUNHA et al., 2012).

É importante analisar o regime de precipitação de uma determinada área, de acordo com uma série histórica. Neste sentido, o uso da técnica estatística de quantis permite quantificar as ordens quantílicas e, portanto, o regime pluvial de uma determinada região ou local, utilizando-se apenas os dados da precipitação anual. A metodologia dos quantis também permite a visualização para cada uma das cinco classes ou categorias que venham a ser escolhidas: muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso. Este estudo nos permite ainda uma esquematização gráfica das classes ou categorias de chuva para os dados de precipitação da série histórica a ser escolhida (ALMEIDA et al., 2013).

Segundo Xavier e Xavier (1999), a técnica baseada em quantis possui muitas vantagens: extrema simplicidade conceitual; interpretação precisa em termos probabilísticos ou em termos das frequências; os quantis podem ser calculados ou estimados; emprego seguro e imune a falsas interpretações que, portanto, é recomendável na avaliação de anomalias pluviométricas.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar a correlação entre o regime de precipitação e a dinâmica da cobertura vegetal na bacia do Alto Ipanema, região semiárida de Pernambuco por meio de índices de vegetação, e nas correlações.

#### **3.2 Objetivos específicos**

a) utilizar técnicas de sensoriamento remoto para determinar índices de vegetação e avaliar a dinâmica da cobertura vegetal no Alto Ipanema ao longo dos anos de estudo;

b) Avaliar os índices de vegetação NDVI e SAVI ( $L=0,1, 0,5$  e  $1$ ) e verificar qual o mais adequado no estudo da dinâmica de vegetação da bacia;

c) correlacionar o comportamento dos índices de vegetação na bacia com a precipitação antecedente de diferentes escalas;

d) investigar a ocorrência de degradação na bacia;

e) classificar a precipitação anual.

### **4. Hipótese da pesquisa**

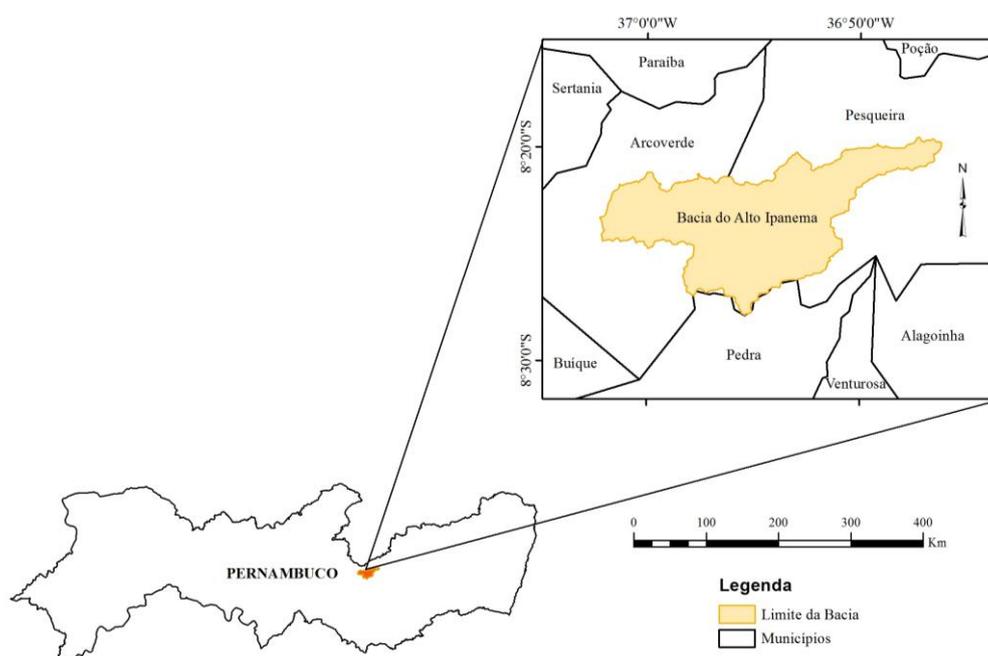
As hipóteses a serem testadas são as de que os índices de vegetação aplicados nesse estudo são fortemente influenciados pelo regime de precipitação e que índices de vegetação possibilitam uma adequada caracterização da dinâmica de vegetação da caatinga.

## 5. Materiais e Métodos

### 5.1 Caracterização da área de estudo

A bacia do rio Ipanema possui área de 7.884,84 km<sup>2</sup>, distribuída nos Estados de Pernambuco e Alagoas, abrangendo 29 municípios, dos quais 24 parcialmente e 5 totalmente inseridos na bacia, que está situada entre as latitudes de 8°18'41" a 9°52'44" e longitudes 36°37'04" a 37°27'42". Segundo Moreira Filho (2011), sua nascente situa-se no município de Pesqueira, e seu curso ao longo dos estados percorre aproximadamente 139 km, na direção norte-sul, até desaguar no rio São Francisco.

A área de estudo compreende a porção superior da bacia hidrográfica do rio Ipanema, denominada bacia do Alto Ipanema (Figura 1), representando uma área aproximada de 185,62 km<sup>2</sup>, com perímetro de 95,41 km. Inserida no Estado de Pernambuco, a bacia abrange parte dos municípios de Arcoverde e de Pesqueira, localizando-se entre 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul, e 37° 1' 35" e 36° 47' 20" de Longitude Oeste. Ao norte faz limite com a bacia do rio Ipojuca e a oeste, com a bacia do rio Moxotó (SILVA JUNIOR et al., 2011).



O clima local é classificado, segundo classificação de Köppen, como BShw' semiárido quente, caatinga hiperxerófila, com temperatura média anual em torno de 27

°C, umidade relativa média anual do ar de 73% e velocidade média do vento de 2,5 m.s<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2010). Segundo Montenegro et al. (2002), a parte superior da bacia é parcialmente coberta por floresta de caatinga densa, em que predominam solos rasos, com espessura inferior a 2 m nas encostas.

De acordo com Embrapa (2009), as principais classes de solos encontradas na bacia são o Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico e o Planossolo.

A cobertura vegetal predominante na área de estudo é a caatinga, destacando-se coberturas de diferentes densidades e pastagem (MONTENEGRO & RAGAB, 2010).

Na região predomina a agricultura de sequeiro, especialmente com ausência de práticas de conservação do solo, com áreas de agricultura irrigada em sua várzea e com criação de gado, caprinos e ovinos. Salienta-se que, durante o período de seca, a vegetação possui a característica de perder suas folhas (caduciforme), deixando grande parte do solo exposta à ação de precipitações erosivas, características das primeiras chuvas na região promovendo, assim, uma elevada produção de sedimentos (SILVA JUNIOR et al., 2011).

A bacia do Alto Ipanema apresenta duas sub-bacias, que é a bacia do Vale do Mimoso e a bacia do Jatobá.

A região do Vale do Mimoso apresenta grande potencial hídrico por ser uma área de aluvião. Em função dessa característica apresenta um grande potencial para a agricultura irrigada (Figura 2) com fins de comercialização, promovendo com isso a retirada da mata ciliar do rio.



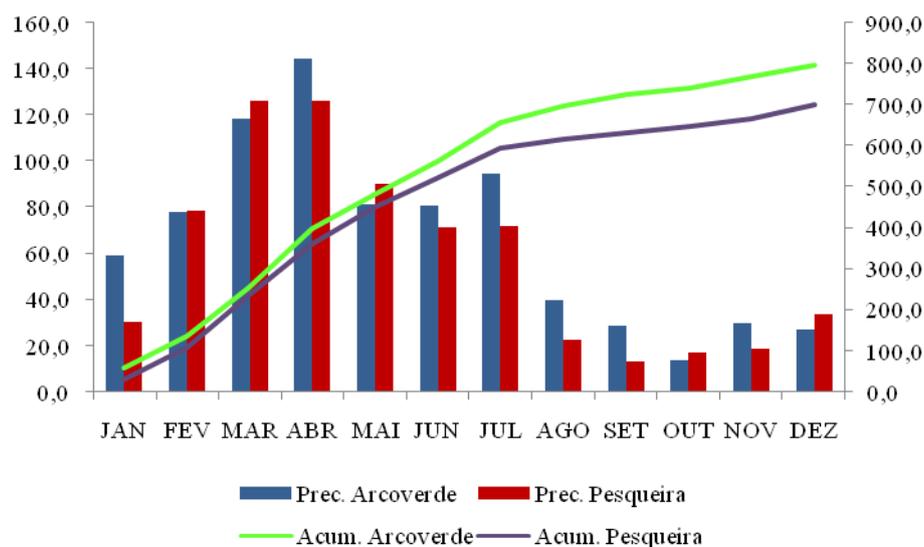
**Figura 2.** Área com agricultura irrigada no Vale do Mimoso, bacia do Alto Ipanema - PE.

A região do Jatobá apresenta elevada restrição hídrica, além de solos rasos, o que não contribui para o armazenamento de água no solo (Figura 3). Nessa, o desmatamento está relacionado à expansão agrícola, onde é praticada agricultura de sequeiro, principalmente nos anos favorecidos pelas chuvas. Após o período produtivo da cultura, as áreas passam a ser destinadas a pastagem.



**Figura 3.** Área com agricultura de sequeiro na região do Jatobá, bacia do Alto Ipanema - PE.

A Figura 4 apresenta as Normais Climatológicas acumuladas, mensais e anuais, dos municípios de Arcoverde e Pesqueira entre os anos de 1961 e 1990. Verifica-se que as maiores precipitações pluviométricas ocorridas na região concentram-se no período de janeiro a julho, com valores totais anual de 798,1 mm e 701,5 mm.



**Figura 4.** Normais Climatológicas do Brasil com precipitação acumulada mensal e anual em mm, para os municípios de Arcoverde e Pesqueira, entre os anos de 1961 e 1990.

## 5.2 Dados Climatológicos

Os dados climáticos que foram utilizados nesse trabalho são de uma estação localizada na Zona Rural do município de Pesqueira (Fazenda Nossa Senhora do Rosário), obtidos junto ao Laboratório de Água e Solo (LAS) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), e de outra estação localizada em Arcoverde, com dados obtidos junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Na seção 5.9.3 são discutidas as análises de agrupamentos adotadas.

## 5.3 Caracterização morfométrica da bacia

Com o objetivo de conhecer a morfometria da bacia, realizou-se sua caracterização utilizando o software ArcGis 9.2, assim como a geração dos mapas digitais. Utilizou-se uma imagem SRTM, cena SC.24-X-B, realizando-se o recorte da SRTM correspondente à área da bacia do Alto Ipanema.

A Tabela 1 apresenta características morfométricas da bacia em estudo, com cotas que variam entre 604 m e 1119 m e altitude média de 886 m. A classificação das declividades foi realizada conforme sugerido por Embrapa (1999): 0 – 3 % (plano), 3 – 8 % (suave ondulado), 8–20 % (ondulado), 20 – 45 % (forte ondulado), 45 – 75 % (montanhoso) e 75 – 100 % (escarpado). A declividade média da bacia é de 11%.

**Tabela 1.** Caracterização morfométrica da bacia do Alto Ipanema.

<b>Propriedades da superfície</b>		
Área (km <sup>2</sup> )		185,62
Perímetro (km)		95,41
Cotas (m)	Máx.	1119
	Mín.	604
Centróide	X	730258,18
	Y	9071778,05
	Z	890,52
Curva hipsométrica		
Frequência de altitude		Figura 3
Altitudes (m)	Média	886
	Mais frequente	920
Declividade media da bacia (%)		11
<b>Propriedades da rede hídrica</b>		
Longitude do curso principal (km)		40,75
Ordem da rede hídrica		5
	1 <sup>a</sup>	96,23
	2 <sup>a</sup>	49,63
	3 <sup>a</sup>	27,96
	4 <sup>a</sup>	16,69
	5 <sup>a</sup>	1,21
Comprimento total da rede (km)		191,72
Declividade do Álveo		2,39
Coefficiente de compacidade		1,96
Fator de forma		0,43
Índice de circularidade		0,26
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )		1,03
Tempo de concentração Vem Te Chow (mín)		277,4

O fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade são números que possibilitam a determinação da forma da bacia (CALDAS, 2007).

Na bacia do Alto Ipanema o coeficiente de compacidade foi 1,96, implicando em dizer que esta não é sujeita a enchentes em anos normais de precipitação, pelo fato deste coeficiente se afastar da unidade, pois quanto mais próximo da unidade maior a possibilidade de toda a área estar contribuindo de uma única vez (DUARTE et al, 2007).

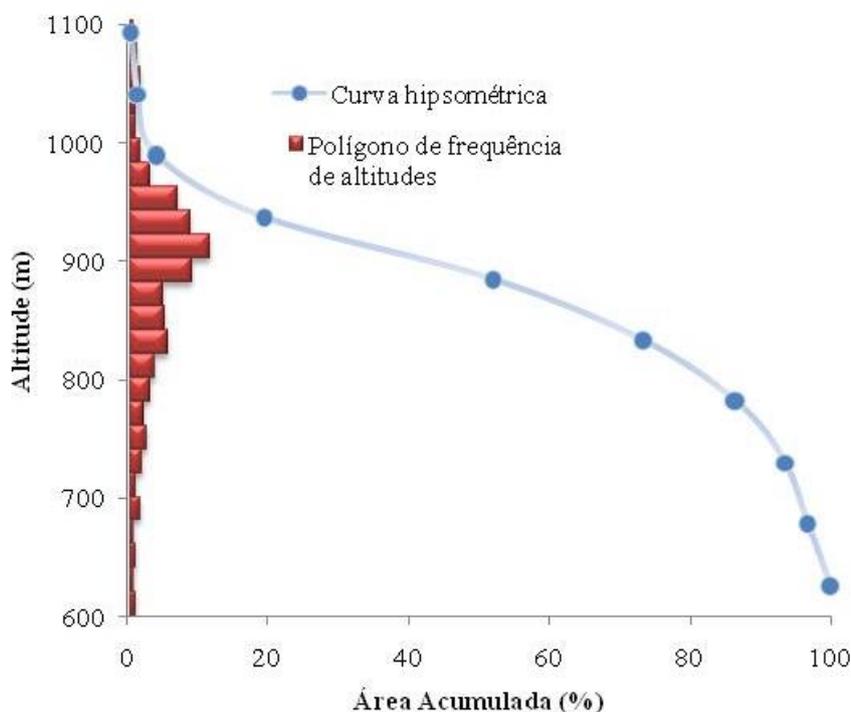
O fator de forma apresentou baixo valor, de 0,43, o que implica em uma baixa tendência à ocorrência de enchentes.

O índice de circularidade varia com a forma da bacia e quanto mais irregular está for, maior será o índice de circularidade e menores são as tendências de ocorrência

de enchentes. Quando o valor desse índice for igual ou próximo de 1,0 indica que a bacia hidrográfica tem a forma circular (FELTRAN FILHO & LIMA, 2007). A bacia de estudo apresenta um índice de circularidade de 0,26 e por apresentar valor distante da unidade demonstra ser uma bacia de forma alongada.

Segundo Villela & Mattos (1975), a densidade de drenagem é um índice que varia de 0,5 km/km<sup>2</sup>, para bacias com drenagem pobre, a 3,5 ou mais, para bacias muito bem drenadas. A densidade de drenagem da bacia é de 1,03 km/km<sup>2</sup>, indicando que a mesma apresenta média capacidade de drenagem, pois se aproxima de 1,0 km/km<sup>2</sup>, que representa um valor médio.

O relevo de uma bacia hidrográfica exerce importante influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos. A velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno. Outros fatores como: temperatura, precipitação, evaporação, etc., estão mais em função da altitude. Dessa maneira, conhecer a distribuição dos terrenos e suas altimetrias torna-se indispensável (FELTRAN FILHO & LIMA, 2007).



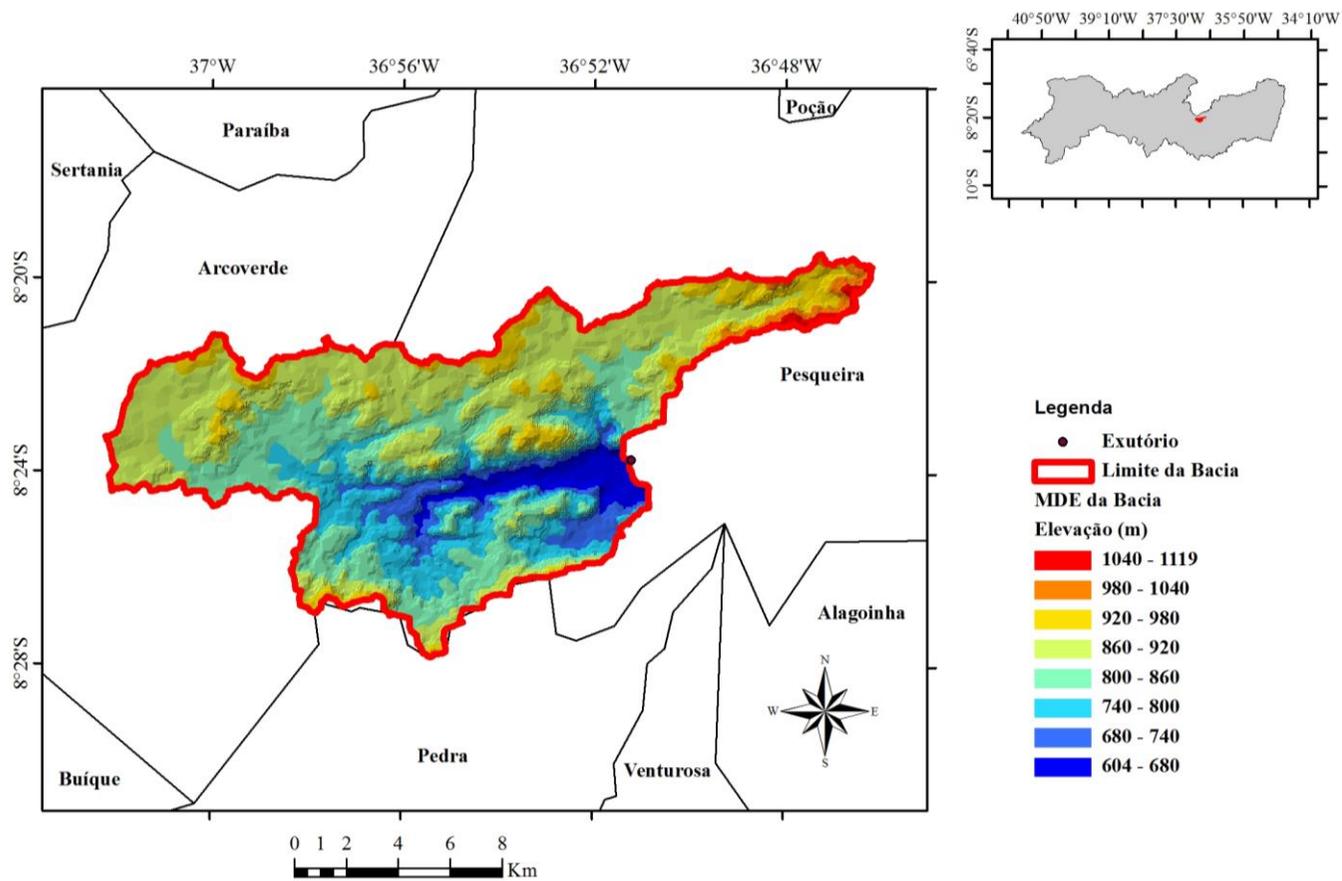
**Figura 5.** Curva hipsométrica e freqüência de altitudes da bacia do Alto Ipanema.

A curva hipsométrica representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia hidrográfica com referência ao nível do mar (VILLELA & MATTOS, 1975). Na Figura 5 observa-se a curva hipsométrica da bacia, indicando a percentagem

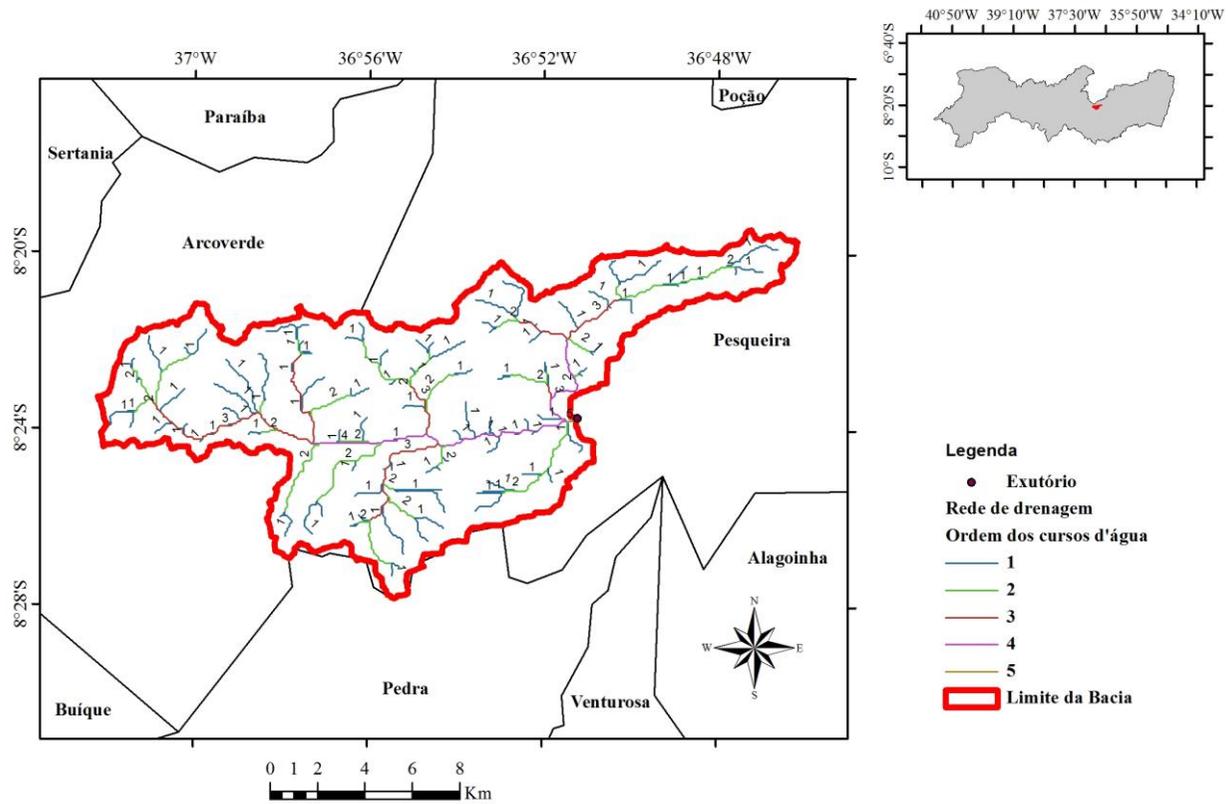
de sua área de drenagem acima e abaixo das elevações altimétricas consideradas. A altitude média da bacia é de aproximadamente 886 metros.

Em relação à elevação da área as faixas variam entre de 604 a 1119 metros, apresentando 515 m de diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo da sub-bacia (Figura 6).

A bacia apresenta uma rede hídrica de 5ª ordem (Figura 7), o que demonstra que possui um sistema de drenagem com ramificação significativa. O comprimento total da rede hídrica foi de 191,72 km.



**Figura 6.** Modelo de Elevação da bacia do Alto Ipanema.



**Figura 7.** Rede de drenagem ordenada da bacia do Alto Ipanema.

## 5.4 Imagens de satélite

Utilizaram-se imagens de satélite do sensor TM - Landsat 5 e do sensor OLI - Landsat 8, órbita 215, ponto 66 (Tabela 2).

As imagens TM – Landsat 5 foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. O sensor TM - Landsat 5 opera em 7 bandas espectrais, sendo 3 na região do visível, 3 na região do infravermelho e uma na região do infravermelho termal (LIRA et al., 2011).

A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: Operacional Terra Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS). O primeiro opera com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática (COELHO & CORREA, 2013) e o segundo opera com duas bandas termais.

As imagens desses sensores são disponibilizadas no site do United States Geological Survey (USGS). Para esse estudo utilizou-se apenas uma imagem do sensor OLI. Esse sensor representa melhora nos sensores do último Landsat, incluindo o TM Landsat - 5. OLI coleta dados para onda bandas do visíveis , infravermelho próximo, e de curtas do espectro infravermelho, bem como uma banda pancromática (NASA, 2014).

As imagens utilizadas nesse estudo foram selecionadas considerando a cobertura espacial da bacia do Rio Ipanema, com ausência ou mínimo de cobertura de nuvens sobre a área de estudo. A distribuição temporal das imagens permitirá estudar diferentes datas em um período de anos. Dados relacionados a cada imagem são apresentados no Apêndice (1).

**Tabela 2.** Referências das imagens: satélite, sensor, órbita/ponto e data de passagem do sensor.

Satélite	Sensor	Órbita	Ponto	Data de Passagem
Landsat 8	OLI	215	66	10/12/2013 29/09/2010; 23/09/2008; 17/12/2004;
Landsat 5	TM	215	66	22/10/2001; 17/10/1999; 01/12/1998; 27/10/1997; 09/12/1995; 28/11/1991; 03/09/1989; 27/11/1985

Em função da bacia apresentar a caatinga como vegetação predominante, resolveu-se trabalhar com imagens da região com data em que ocorre período seco da região, concentrando-se nos meses de setembro a dezembro. Em períodos chuvosos, a caatinga apresenta rápida regeneração em função da presença de umidade, dificultando

a distinção entre a vegetação de áreas preservadas das que se desenvolvem em áreas que sofreram processo de desmatamento. As imagens correspondem ao período entre 1985 e 2013, totalizando 12 cenas que compreendem o período seco, mas com diferentes precipitações antecedentes.

### **5.5 Processamento das imagens de satélite**

O Processamento Digital de Imagens (PDI) tem como finalidade facilitar e agilizar, por meio de algoritmos e de ferramentas computacionais, a interpretação de imagens, bem como a extração de informações que o ser humano teria restrições de obter. Saliente-se que o mesmo não agrega nenhuma nova informação à imagem original, além das que já estão presentes no produto bruto (BIELENKI JÚNIOR & BARBASSA, 2012).

O pré-processamento das imagens foi realizado utilizando-se o software ERDAS Imagine versão 9.1. Inicialmente, as imagens foram empilhadas, recortadas e, em seguida, registradas, tomando como referência um mosaico de imagem ortorretificada Geocover.

### **5.6 Uso e cobertura vegetal do solo**

Para classificar as áreas com cobertura vegetal da bacia, utilizou-se uma imagem de satélite TM - Landsat 5 com data de passagem em 29/09/2010, adotando-se a composição falsa cor das bandas 3, 4 e 5. Realizou-se a classificação supervisionada, utilizando-se a técnica do algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER), por meio do Erdas 9.1, a partir de amostras de treinamento selecionadas em campo.

Essa classificação parte do pressuposto de que cada classe espectral pode ser descrita de amostras fornecidas pelo usuário, em que o mesmo utiliza de conhecimentos prévios sobre a localização espacial de uma amostra das classes de interesse (NOVO, 2010).

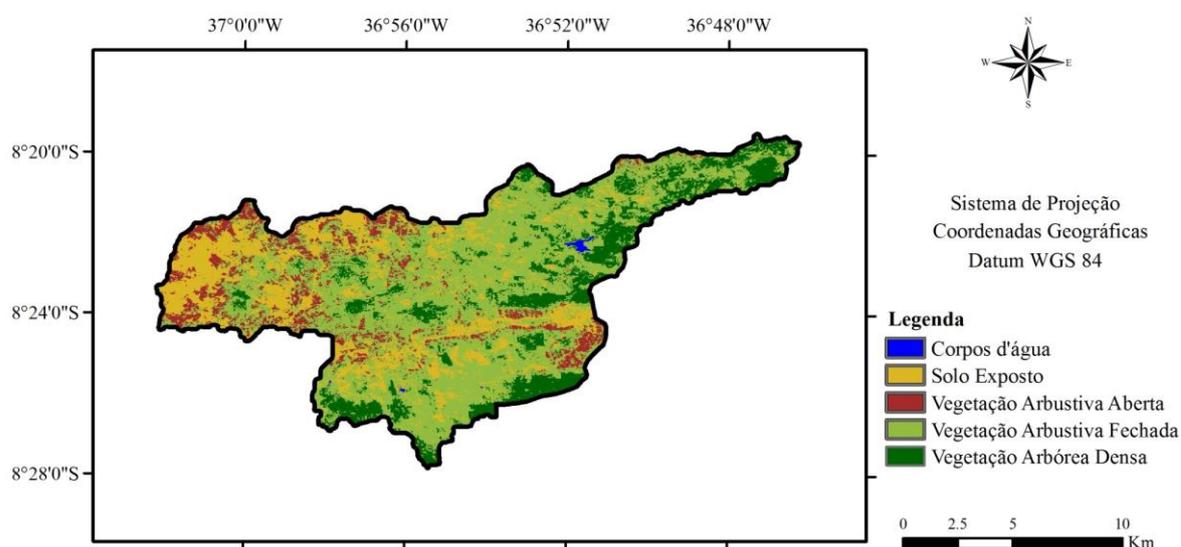
A classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto diz respeito a associar cada pixel da imagem a um “rótulo” descrevendo um objeto real (vegetação, solo, etc.). Dessa forma, os valores numéricos (DNs) associados a cada pixel, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esse pixel, são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (água, tipo de vegetação, de solo, de rocha, etc.), chamadas então de temas (DERMACHI et al., 2011).

A partir da classificação da imagem (Figura 8) foram observadas 5 classes: corpos d'água, solo exposto, vegetação arbustiva aberta, vegetação arbustiva fechada e vegetação arbórea densa.

A classe de corpos d'água pode sofrer alterações de acordo com o período da imagem utilizada como referência. Em anos com baixa precipitação e elevada taxa evaporativa, essa classe poderá apresentar-se ausente ou em menor percentual.

A classe de solo exposto abrange também áreas antropizadas, assim como áreas urbanas e desmatadas para introdução da prática agropastoril.

As classes de vegetação, além do uso de amostras de treinamento para sua interpretação, utilizou-se uma classificação realizada por Silva Júnior et al. (2011) para parte da bacia de estudo.



**Figura 8.** Mapa de cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema.

A Tabela 3 apresenta 5 classes observadas nas visitas ao campo e baseadas em mapa de classificação realizado por Silva Junior et al. (2011), para parte da bacia do Alto Ipanema.

**Tabela 3.** Área em percentual e km<sup>2</sup> das classes de uso e cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema.

Classificação	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )
Corpos D'água	0,23	0,43
Solo Exposto	19,01	35,28
Vegetação Arbustiva Aberta	10,12	18,79

Vegetação Arbustiva Fechada	53,63	99,55
Vegetação Arbórea Densa	17,01	31,37
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>185,62</b>

A edição final dos mapas com a criação das legendas, paletas de cores, escala, Norte e informações gerais, foi realizada no programa ArcGis 9.3.

### 5.7 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica, processo em que o número digital (ND) de cada pixel é convertido em radiância espectral, foi computada segundo a equação (MARKHAM & BAKER, 1987) (Eq.1).

$$L_{\lambda i} = L_{mín} + \left( \frac{L_{máx} - L_{mín}}{255} \right) ND \quad (1)$$

onde  $L_{mín}$ . e  $L_{máx}$ . são as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ), ND é a intensidade do pixel. Os coeficientes de calibração utilizados nesse estudo estão apresentados nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4.** Descrição das bandas do TM - Landsat 5 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima –  $L_{mín}$  e máxima –  $L_{máx}$ ) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Comprimento de Onda ( $\mu m$ )	Coeficientes de calibração ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ )			Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ )	
		$L_{mín}$ .	$L_{máx}$ .		Chander e Markham (2003)	Chander et al. (2009).
			Chander e Markham (2003)	Chander et al. (2009)		
1	0,452 - 0,518	-1,52	193	169	1957	1983
2	0,528 - 0,69	-2,84	333	365	1826	1796
3	0,626 - 0,696	-1,17	264	264	1554	1536
4	0,776 - 0,904	-1,51	221	221	1036	1031
5	1,567 - 1,784	-3,70	30,2	30,2	215	220
6	10,45 - 12,42	1,2378	15,3032	15,3032	N/A	N/A
7	2,097 - 2,349	-0,15	16,5	16,5	80,67	83,44

Fonte: Chander & Markham (2003) e Chander et al. (2009).

**Tabela 5.** Descrição de 7 das 9 bandas do OLI - Landsat 8 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima –  $L_{\text{mín}}$  e máxima –  $L_{\text{máx}}$ ) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Coeficientes de calibração ( $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ )		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ )
		$L_{\text{mín.}}$	$L_{\text{máx.}}$	
1	0,43 - 0,45	-64,72348	783,76392	1627,28
2	0,45 - 0,51	-66,27763	802,5838	1812,54
3	0,53 - 0,59	-61,077427	739,5741	1932,1
4	0,64 - 0,67	-51,50127	623,65057	1579,94
5	0,85-0,88	-31,51621	381,64304	905,27
6	1,57 - 1,65	-7,83779	94,91150000000001	242,6
7	2,11 - 2,29	-2,64176	31,99014	56,04

Fonte: USGS

### 5.8 Reflectância monocromática

A reflectância é obtida pela razão entre o fluxo radiante refletido e o fluxo radiante incidente obtida segundo a equação (Allen et al., 2002) (Eq. 2):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

em que:  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $K_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ ),  $Z$  é o ângulo zenital solar (ângulo de incidência solar relativo a normal à superfície) e  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (Eq 3):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DOA2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

em que: DOA é o dia de ordem do ano.

## 5.9 Dinâmica sazonal da vegetação

Para avaliar a dinâmica sazonal da vegetação ao longo dos anos, considerando o período seco, utilizaram-se os índices de vegetação NDVI e SAVI. O SAVI foi analisado com três fatores L (0,1; 0,5 e 1).

### 5.9.1 Determinação do NDVI

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) é obtido pela razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, e pela soma das mesmas (Eq. 4):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (4)$$

em que:  $\rho_{nir}$  e  $\rho_{red}$  são as refletâncias das bandas 4 e 3 e bandas 5 e 4, respectivamente, para o TM - Landsat 5 e o OLI - Landsat 8.

Esse índice é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação verde. Na equação o NIR é escolhido como referência, por se difundir pelas superfícies foliares, como resultado de refrações múltiplas entre os espaços intercelulares e as células hidratadas, sendo pouco afetado pelos pigmentos vegetais (MOTOMIYA et al., 2012).

A equação anterior é aplicada diretamente sobre cada par de pixels nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, produzindo um valor pertencente ao intervalo [-1, 1] (FECHINE & GALVÍNCIO, 2008). O índice de vegetação por diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) foi proposto por Rouse et al. (1973), a partir da normalização do SR para o intervalo de -1 a +1. Conforme PONZONI et al. (2012), o limite superior encontra-se próximo a 0,80 e o inferior próximo a zero. Quanto mais próximo de 1, indica a maior densidade possível de vegetação. Altos valores do índice indicam maior presença de vegetação. Para áreas com vegetação rala e esparsa este índice pode apresentar valor próximo de zero. Valores de NDVI igual a zero corresponde a áreas desprovidas totalmente de vegetação (LIRA et al., 2011), já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero.

### 5.9.2 Determinação do SAVI

O Índice de Vegetação Ajustado ao efeito do Solo (SAVI) é determinado pela expressão de Huete (1988) (Eq. 5):

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(L + \rho_{NIR} + \rho_{red})} \quad (5)$$

em que: L é o fator de ajuste para o substrato do dossel. Huete (1988) sugere três diferentes fatores em função da vegetação local: L = 1,0 para cobertura vegetal muito baixa, L = 0,5 para cobertura vegetal intermediária, L = 0,25 para altas densidades de vegetação. Quando o valor L for igual a zero, o índice SAVI equivalerá ao índice NDVI.

Procurando verificar a sensibilidade desse índice para uma região semiárida com vegetação predominante de caatinga, foram testados os possíveis fatores L conhecidos, buscando verificar o mais adequado às condições de vegetação e exposição de solos locais.

A avaliação dos índices de vegetação foi realizada por meio da estatística descritiva dos índices de vegetação, determinando-se valores máximos e mínimos, médios, desvio padrão e coeficiente de variação. Adicionalmente, foi investigada a correlação entre os valores percentuais das classes obtidas no mapa de uso e cobertura vegetal da bacia e os percentuais obtidos por meio dos índices de vegetação, tomando como referência apenas a imagem com data de 29/09/2010.

### 5.9.3 Análise dos dados de precipitação

Os totais de chuva acumulada em cada mês de cada ano da série histórica, compreendida entre 1984 e 2013, foram agrupados e, em seguida, os valores somados para obtenção do total pluviométrico acumulado durante cada ano (Apêndice 7). Posteriormente, os valores anuais são ordenados em ordem crescente, no intuito de aplicar a técnica dos quantis (PINKAYAN, 1996; XAVIER, 2001).

Uma interpretação simples para o quantil  $Q_p$  é a seguinte: supondo a probabilidade p expressa em termos percentuais, espera-se que em p(%) dos anos a medida da chuva X não deve ultrapassar o valor desse quantil  $Q_p$ , em milímetros, enquanto para (100-p)% dos anos tal valor será excedido (XAVIER & XAVIER, 1999).

Nesse estudo, adotou-se as ordens quantílicas  $p = 0,15, 0,35, 0,50, 0,65$  e  $0,85$  (15%, 35%, 50%, 65% e 85%), os respectivos quantis são  $Q_{0,15}, Q_{0,35}, Q_{0,50}, Q_{0,65}$ , e  $Q_{0,85}$ .

Após o agrupamento dos dados anuais da estação de forma crescente foram estimadas as probabilidades experimentais  $P_i$ , mediante a expressão (Eq. 6):

$$P_i = \frac{i}{N+1}. \quad (6)$$

em que  $i$  é o número de ordem das chuvas e  $N$  o número total de anos.

Todos esses resultados podem ser encontrados na Tabela 6, para posterior aplicação da técnica dos quantis, identificando assim os quantis  $Q_{0,15}$ ,  $Q_{0,35}$ ,  $Q_{0,50}$ ,  $Q_{0,65}$ , e  $Q_{0,85}$ .

**Tabela 6.** Cálculo das ordens quantílicas anuais de chuvas para a bacia do Alto Ipanema ( $N = 30$ ).

<b>i</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
y (mm)	228,4	253,6	281,9	345,7	358	371,7	393,5	425,2	507,3	534,8
$P_i = \frac{i}{N+1}$	1/31	2/31	3/31	4/31	5/31	6/31	7/31	8/31	9/31	10/31
	0,031	0,063	0,094	0,125	0,156	0,188	0,219	0,25	0,281	0,313
<b>i</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
y (mm)	542	572,4	617,5	636,6	642,1	685,3	698,9	729	741,6	804
$P_i = \frac{i}{N+1}$	11/31	12/31	13/31	14/31	15/31	16/31	17/31	18/31	19/31	20/31
	0,344	0,375	0,406	0,438	0,469	0,500	0,531	0,563	0,594	0,625
<b>i</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
y (mm)	813	831,1	840,2	859,6	874,2	887,5	970,8	985,9	1061,4	1073,5
$P_i = \frac{i}{N+1}$	21/31	22/31	23/31	24/31	25/31	26/31	27/31	28/31	29/31	30/31
	0,656	0,688	0,719	0,750	0,781	0,813	0,844	0,875	0,906	0,938

Após a utilização da técnica estatística dos quantis, foram obtidos os valores em mm estimados para os quantis  $Q(0,15)$ ,  $Q(0,35)$ ,  $Q(0,50)$ ,  $Q(0,65)$  e  $Q(0,85)$ , a partir da seguinte expressão matemática (Eq. 7), proposta por Monteiro (2011).

$$Q(P) = y_i + \{[P - P_i] / [P_{i+1} - P_i]\} * [y_{i+1} - y_i] \quad (7)$$

Com os dados obtidos e expressos na Tabela 5 em que  $y$  é a precipitação total anual, foi possível determinar os valores para os quantis da série histórica pluviométrica adotada, onde os mesmos estão indicados nos resultados abaixo.

$$Q(0,15) = 358,0 + \{[15 - 12,5] / [15,6 - 12,5]\} * [388,1 - 358,0] = 382,1\text{mm}$$

$$Q(0,35) = 617,5 + \{[35 - 31,2] / [34,4 - 31,2]\} * [636,6 - 617,5] = 640,4\text{mm}$$

$$Q(0,50) = 741,6 + \{[50 - 46,9] / [50 - 46,9]\} * [755,2 - 741,6] = 755,2\text{mm}$$

$$Q(0,65) = 831,1 + \{[65 - 62,5] / [65,6 - 62,5]\} * [840,2 - 831,10] = 838,4\text{mm}$$

$$Q(0,85) = 889,1 + \{[85 - 81,2] / [84,4 - 81,2]\} * [970,8 - 889,1] = 987,1\text{mm}$$

Com esses resultados, foi possível montar um modelo esquemático (Tabela 7), onde os intervalos estabelecidos para cada classe extrema indicaram que valores abaixo de 342,8 mm são considerados anos muito secos, e acima de 987,1 mm, anos muito chuvosos.

**Tabela 7.** Classificação das categorias, probabilidades e intervalo de precipitação total (mm) ocorrida nos anos de estudo, relacionadas às ordens quantílicas.

<b>Categorias</b>	<b>Probabilidades</b>	<b>Intervalo de Precipitação (mm)</b>
Muito Seco (MS)	$P_i < Q_{0,15}$	$P < 382,1$
Seco (S)	$Q_{0,15} \leq P_i < Q_{0,35}$	$382,1 \leq P < 640,4$
Normal (N)	$Q_{0,35} \leq P_i < Q_{0,65}$	$640,4 \leq P < 838,4$
Chuvoso (C)	$Q_{0,65} \leq P_i < Q_{0,85}$	$838,4 \leq P < 987,1$
Muito Chuvoso (MC)	$P_i \geq Q_{0,85}$	$P \geq 987,1$

Para aplicação da técnica dos quantis foram utilizados extremos de 15%, que possibilitaram estabelecer ou delimitar faixas com regimes de chuvas diferenciados anualmente, tais como (15%), (35%), (50%), (65%) e (85%), conforme distribuição aproximada da Tabela 8.

**Tabela 8.** Distribuição dos valores de chuva acumulada nos anos da série histórica e suas possíveis classificações de acordo com a divisão proposta na pesquisa.

	<b>Ano</b>	<b>Precipitação Acumulada no Ano (mm)</b>
15%	<b>1998</b>	228,4
	<b>1990</b>	253,6
	<b>1993</b>	281,9
	<b>1991</b>	358,0
20%	<b>2012</b>	388,1
	<b>2003</b>	393,5
	<b>1999</b>	425,2
	<b>1996</b>	542,0
	<b>1987</b>	572,4
30%	<b>1994</b>	617,5
	<b>1992</b>	636,6

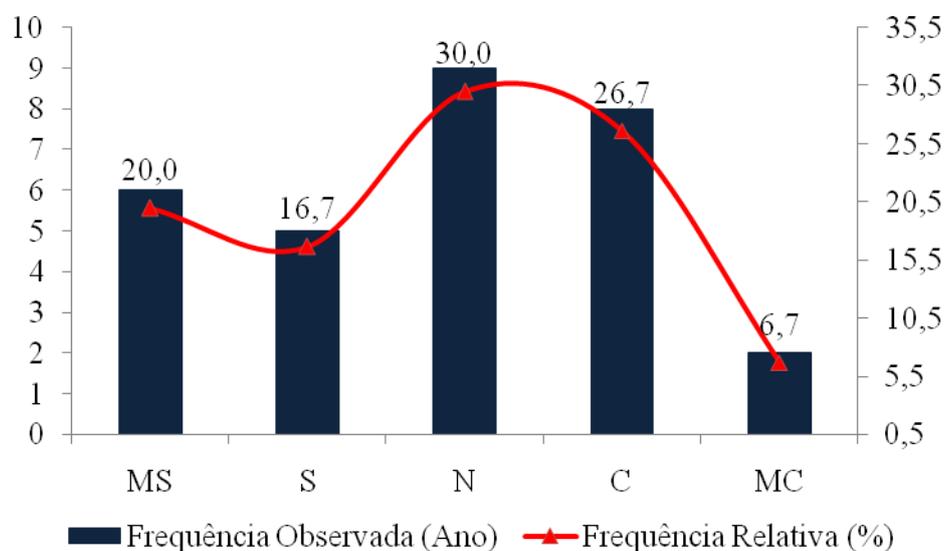
	<b>1997</b>	685,3
	<b>2013</b>	713,0
	<b>1988</b>	729,0
	<b>2000</b>	741,6
	<b>2008</b>	755,2
	<b>2010</b>	776,7
	<b>2006</b>	804,0
	<b>2002</b>	813,0
	<b>1995</b>	831,1
	<b>1986</b>	840,2
	<b>2011</b>	853,9
20%	<b>2001</b>	859,6
	<b>1989</b>	874,2
	<b>2005</b>	887,5
	<b>2007</b>	889,1
	<b>1984</b>	970,8
15%	<b>1985</b>	985,9
	<b>2004</b>	1073,5
	<b>2009</b>	1163,2

## 6. Resultados e Discussão

### 6.1 Classificação da precipitação pelo método de quantis

Com base na técnica dos quantis e nas precipitações acumuladas nos anos de 1984 a 2013 e respectivas categorias elaborou-se o gráfico (Figura 9) para a frequência observada (ano) e frequência relativa (%), verificando-se a distribuição nas cinco classes propostas.

Observa-se que 30% dos anos compreendem a categoria normal, com precipitação variando entre 640,4 mm e 838,4 e frequência de 9 anos de chuvas dessa amplitude. Verifica-se que a categoria chuvoso apresenta precipitação variando entre 838,4 mm e 987,1 mm, representando 26,7% com frequência de 8 anos. Anos muito chuvosos corresponderam a 6,7%, com valores superiores a 987,1 mm e frequência de 2 anos. Anos muito secos e secos compõem 20,0% e 16,7%, com respectivas precipitações máximas anuais de 382,1 mm e 640,4 mm.

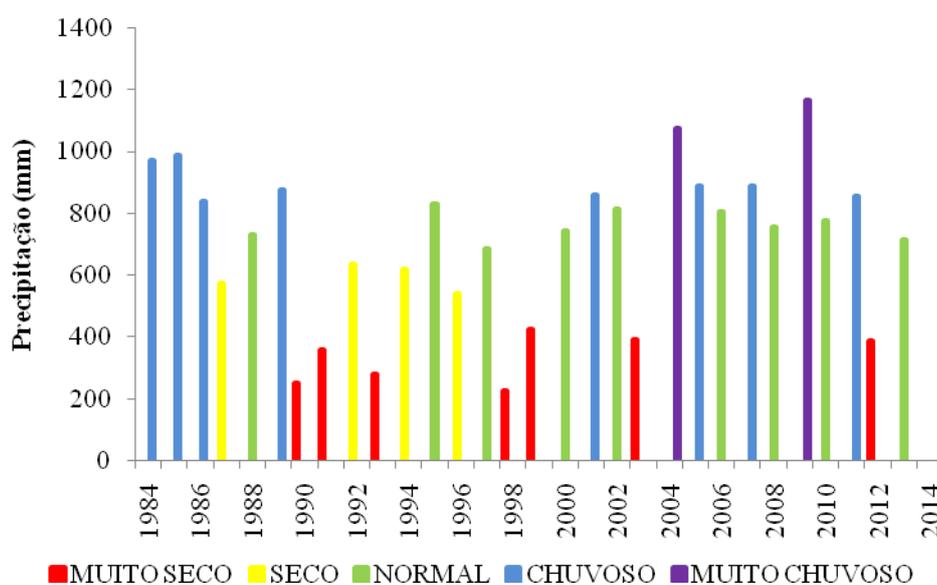


**Figura 9.** Distribuição da frequência absoluta e relativa (%) anual para as categorias muito seco (MS), seco (S), normal (N), chuvoso (C) e muito chuvoso (MC).

A Figura 9 apresenta uma distribuição que tende a ser suave e simétrica. Segundo Monteiro et al. (2012), quanto mais suavidade e simetria o gráfico apresentar, maior coerência ao emprego da técnica e aos cálculos estatísticos aplicados em função dos valores normais e extremos poderá existir.

Utilizando-se dos dados do Apêndice 7, obteve-se o gráfico da precipitação anual (mm) em função da série histórica de 1984 a 2013 (Figura 10). A média da precipitação mensal, o comportamento pluviométrico e a classificação para os anos analisados estão descritos no Apêndice 8.

Os anos relacionados às imagens utilizadas apresentam as precipitações anuais classificadas como: 1985 – Chuvoso; 1989 – Chuvoso; 1991 – Muito Seco; 1995 - Normal; 1997 - Normal; 1998 – Muito Seco; 1999 - Seco; 2001 - Chuvoso; 2004 – Muito chuvoso; 2008 - Normal; 2010 - Normal; e 2013 – Normal.



**Figura10.** Comportamento temporal da precipitação anual observada para as categorias muito seco (MS), seco (S), normal (N), chuvoso (C) e muito chuvoso (MC).

O comportamento das precipitações ocorridas durante os anos analisados indica que chuvas entre 640,4 mm e 838,4 mm ocorreram com maior frequência. No mesmo período, entre os extremos considerados  $Q_{0,15}$  e  $Q_{0,85}$ , precipitações anuais iguais ou inferiores a 386,4 mm foram mais frequentes que as superiores a 987,1 mm.

O ano de 1998 apresentou precipitação anual de 228,4 mm, correspondendo à categoria muito seco (Figura 10). A baixa contribuição das chuvas nesse ano refletiu severamente no comportamento da vegetação da bacia, o que pode ser verificado nos valores dos índices de vegetação apresentados nesse estudo, conforme seção 6.2.

No comportamento temporal da série de precipitação observa-se que entre os últimos anos o de 2012 representa de forma expressiva a categoria de ano seco. Esse ano foi considerado de grande seca na região, com precipitação total de 388,1 mm.

Apesar de apresentar anos com precipitações elevadas, a distribuição das chuvas ao longo dos anos é irregular, com grande concentração em curto período de tempo. Dessa forma, a região de estudo apresenta meses com pouca ou nenhuma contribuição pluviométrica.

Por se tratar de uma bacia que se encontra na zona rural, onde se desenvolvem atividades agrícolas e pecuárias, o baixo índice de precipitação em alguns anos, ou até mesmo em meses, interfere negativamente na produtividade dessas atividades, além de incentivar a exploração de lenha, contribuindo para o desmatamento na região.

O contrário pode ocorrer em anos em que apresentam elevada precipitação, havendo redução da exploração de lenha, em função do incentivo ao cultivo agrícola e de pastagem, contribuindo para a regeneração e manutenção da vegetação nativa.

## **6.2 Índices de vegetação e dinâmica da cobertura vegetal da bacia do Alto Ipanema**

Os índices de vegetação ressaltam, dentre outros, o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (CUNHA et al. 2012).

O mapa de uso e cobertura vegetal da bacia (Figura 6) foi determinante na distribuição dos intervalos de classes utilizados na avaliação dos índices de vegetação. De maneira que os valores máximos e mínimos dos intervalos foram obtidos a partir de polígonos gerados para cada classe obtida no mapa.

Para o NDVI, os intervalos das classes adotados foram:  $< 0$  (Corpos D'água);  $0 - 0,3$  (Solo Exposto);  $0,3 - 0,45$  (Vegetação Arbustiva Aberta);  $0,45 - 0,6$  (Vegetação Arbustiva Fechada);  $> 0,6$  (Vegetação Arbórea Densa).

As Figuras (11, 13 15 e 17) apresentam o comportamento da vegetação da bacia ao longo dos anos estudados por meio de mapas temáticos, para os diferentes índices adotados. E a distribuição percentual das classes pode ser observada nas Figuras (12, 14, 16 e 18).

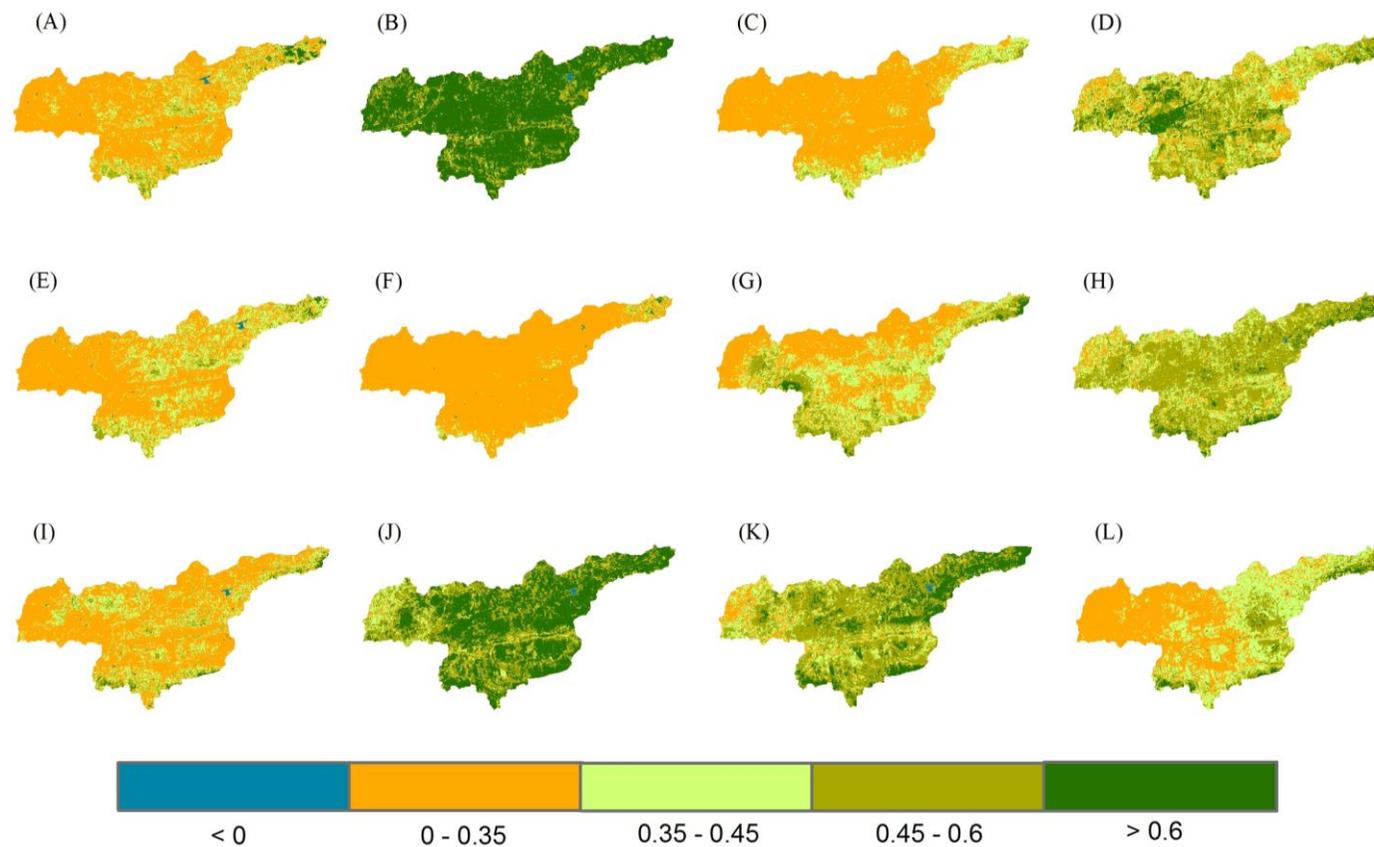
Os valores negativos dos índices de vegetação apresentados a partir do presente estudo caracterizam valores que correspondem a corpos d'água.

Os valores do NDVI variaram entre o mínimo de -0,99 para as imagens de 17/12/2004 e 23/09/2008 e o máximo 0,96 para a imagem de 22/10/2001. Corroborando com esses resultados, Gomes et al. (2012) realizaram mapeamento temático no Sertão do São Francisco Alagoano e encontraram valores de NDVI variando entre -0,99 a 0,77 para imagem TM Landsat - 5, do dia 07/12/2006.

Francisco et al. (2012), realizando mapeamento da caatinga em bacia hidrográfica do rio Taperoá na Paraíba, observaram em imagem de 29/11/2009 valores mínimos e máximos entre -0,994 e 0,809. Esses resultados estão próximos aos verificados na imagem do dia 29 de novembro de 2010, que variaram entre -0,961 a 0,795 na bacia do Alto Ipanema.

Os valores médios de NDVI obtidos na área de estudo variaram entre o mínimo de 0,224 e máximo de 0,597, referentes aos dias 01/09/1998 e 23/09/2008, respectivamente.

Nas áreas de vegetação nativa (caatinga), foram observados valores que variam a partir de 0,31 a valores superiores a 0,60.



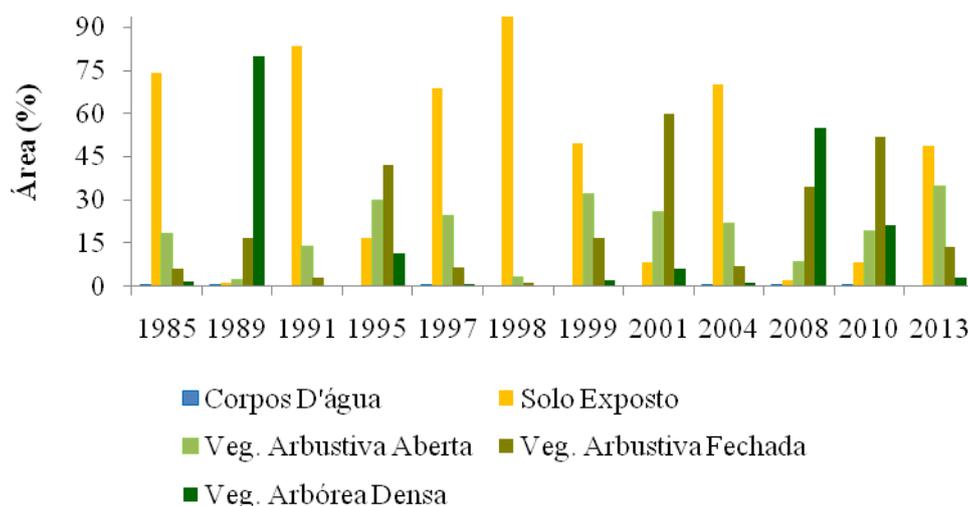
**Figura 11.** Índice de vegetação NDVI obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985 (A), 01/11/1989 (B), 28/11/1991 (C), 09/12/1995 (D), 27/10/1997 (E), 01/12/1998 (F), 17/10/1999 (G), 22/10/2001 (H), 17/12/2004 (I), 23/09/2008 (J), 29/09/2010 (K) e 10/12/2013 (L).

Fechine & Galvínio (2008), em municípios do semiárido brasileiro, observaram valores médios do NDVI de 0,355, indicando predominância de áreas de caatinga arbustiva desenvolvida, e de 0,420 indicando a presença de vegetação de caatinga desenvolvida. Também verificaram que a vegetação de caatinga fechada e bem desenvolvida apresentaram índices de reflectância em torno 0,550.

Santos & Galvínio (2013) verificaram em áreas com vegetação esparsa, com predominância de caatinga arbustiva, valores de NDVI entre 0,51 a 0,70 e em áreas com vegetação densa, em que há predomínio da caatinga arbórea, valores que variam de 0,71 a 0,80.

Na Figura 10 observa-se claramente o comportamento inverso entre o percentual de solo exposto e de vegetação arbustiva fechada, o que vem a confirmar a capacidade regenerativa da vegetação caatinga nos anos que apresentam maiores valores de precipitação anual. Os anos de 1995, 2001, 2008 e 2010, apresentaram precipitação anual de 831,1 mm, 859,6 mm, 755,2 mm, 776,7 mm, respectivamente (Apêndice 7).

O ano de 2004, por meio da técnica de quantis, foi classificado como muito chuvoso. Entretanto, apresentou baixo índice de vegetação, diferenciando-se do comportamento observado nos índices dos demais anos mencionados. Esse comportamento pode ser justificado pela ausência de chuvas nos três meses que antecedem a data da imagem.

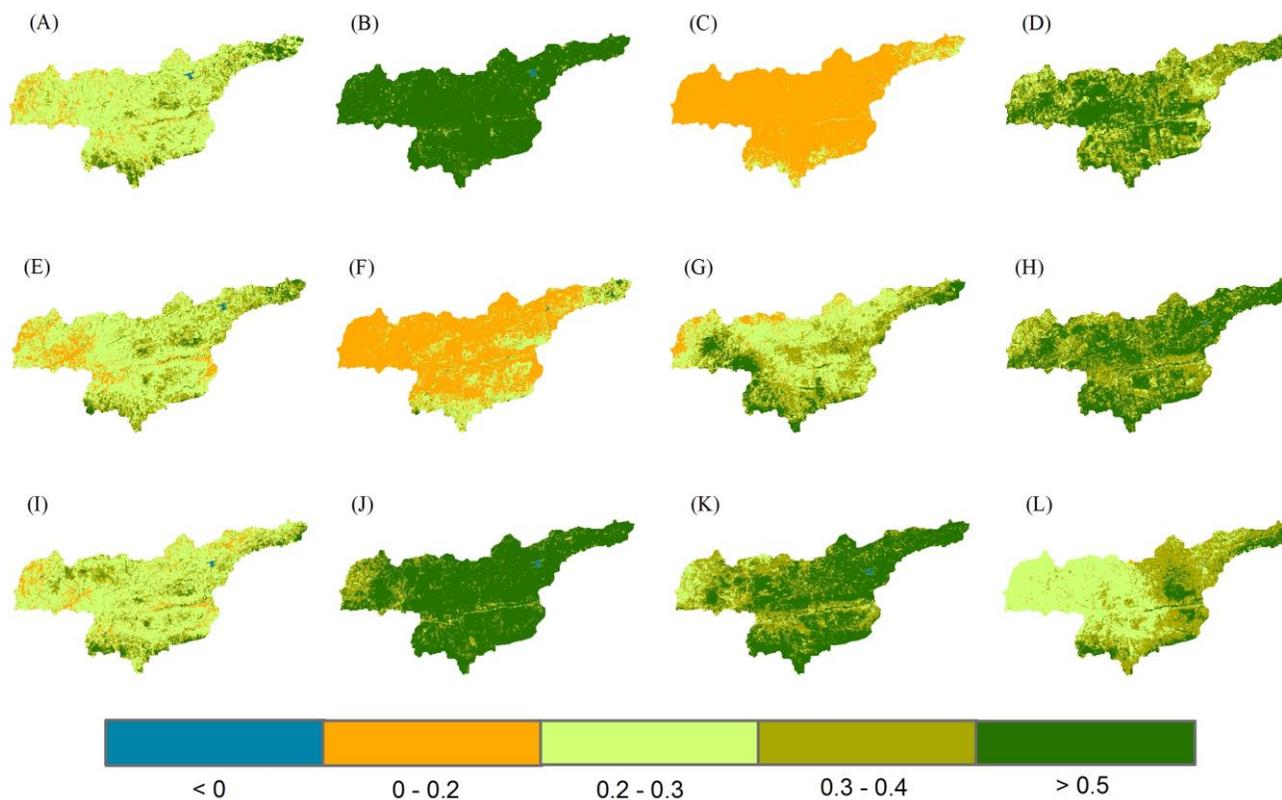


**Figura 12.** Percentagem de área da bacia para classes de NDVI obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985, 01/11/1989, 28/11/1991, 09/12/1995, 27/10/1997, 01/12/1998, 17/10/1999, 22/10/2001, 17/12/2004, 23/09/2008, 29/09/2010, 10/12/2013, para bacia do Alto Ipanema.

Para o SAVI, considerando os diferentes fatores empregados, os intervalos das classes adotados foram:  $< 0$  (Corpos D'água);  $0 - 0,2$  (Solo Exposto);  $0,2 - 0,4$  (Vegetação Arbustiva Aberta);  $0,4 - 0,5$  (Vegetação Arbustiva Fechada);  $> 0,5$  (Vegetação Arbórea Densa).

A diferença existente entre classes de NDVI e SAVI está no fato do último índice apresentar um fator de ajuste para o brilho do solo, o que modifica a escala de valores que acompanha cada índice, apesar da utilização das mesmas bandas no algoritmo (RÊGO et al., 2012).

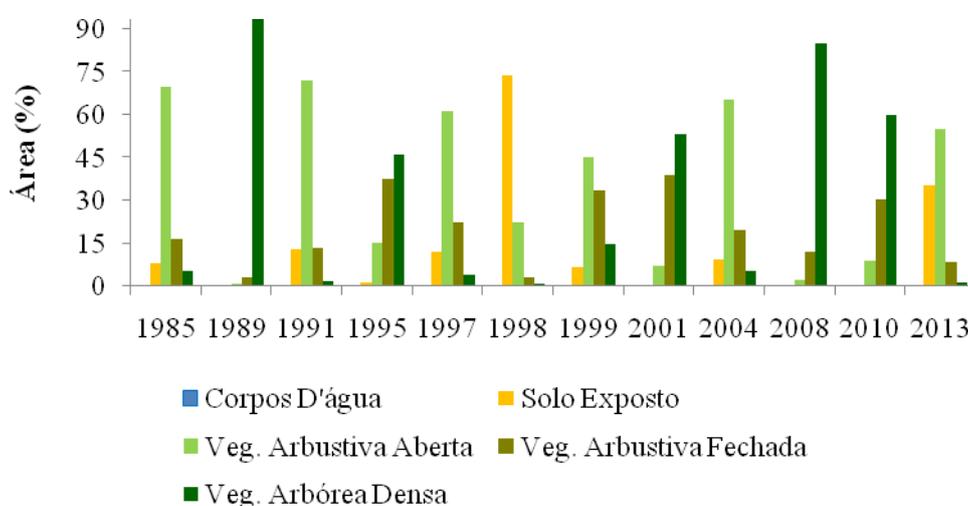
O SAVI ( $L=0,1$ ) apresentou valores médios que variaram entre o mínimo de 0,189 e máximo de 0,499, referentes aos dias 01/09/1998 e 23/09/2008, respectivamente. Os valores máximos e mínimos variaram entre o mínimo de -0,406 para a imagem de 23/09/2008 e o máximo 0,737 para a imagem de 22/10/2001.



**Figura 13.** Índice de vegetação SAVI L=0,1 obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985 (A), 01/11/1989 (B), 28/11/1991 (C), 09/12/1995 (D), 27/10/1997 (E), 01/12/1998 (F), 17/10/1999 (G), 22/10/2001 (H), 17/12/2004 (I), 23/09/2008 (J), 29/09/2010 (K) e 10/12/2013 (L).

Na Figura 14 observa-se que o comportamento do índice de vegetação apresenta elevado valor de solo exposto no ano de 1998, com percentual de 73,7% da área da bacia, correspondendo a 136,9 km<sup>2</sup>. Nos anos anteriores e posteriores a 1997 ocorreu redução do percentual dessa classe, passando a ocupar uma máxima de 17,2 km<sup>2</sup>.

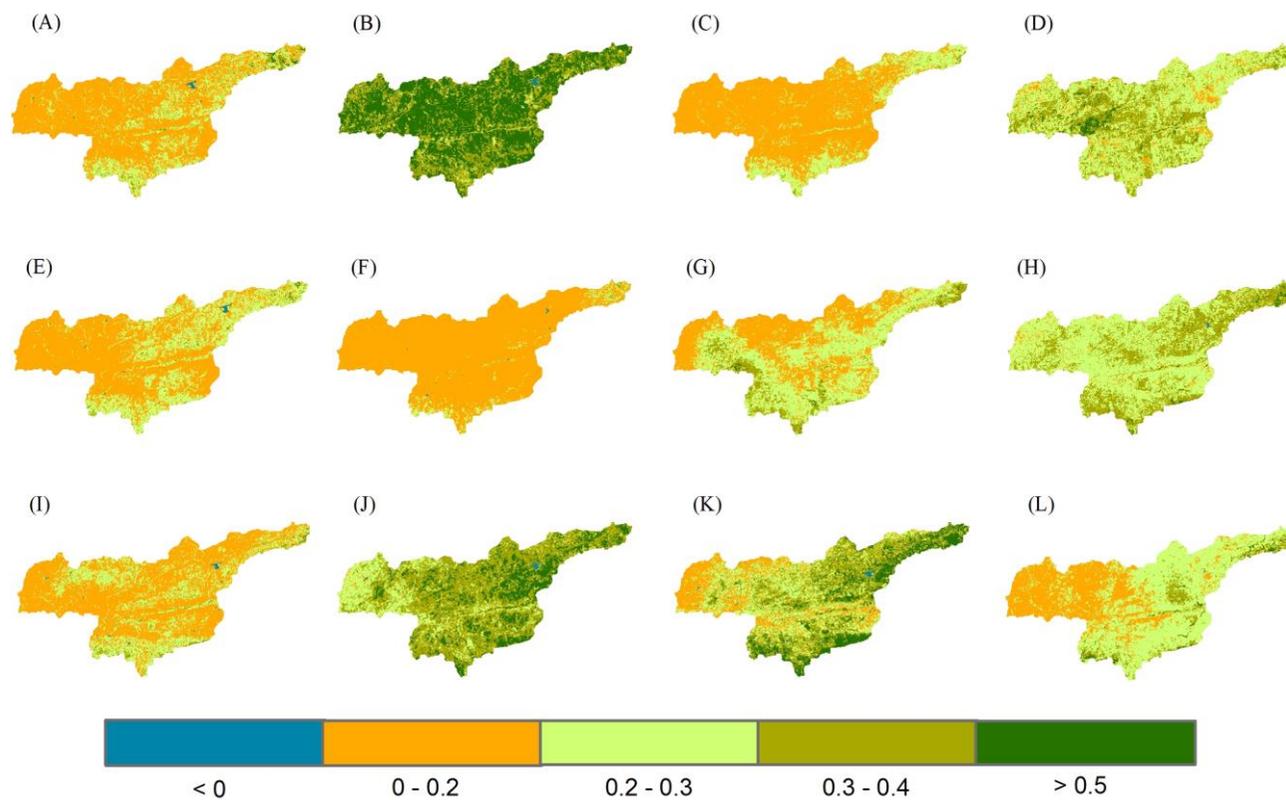
O comportamento, ao longo dos anos, da vegetação no SAVI 0,1 apresentou-se mais expressivo que nos demais índices, provavelmente porque o fator L=0,1 seja utilizado na identificação de área irrigáveis. Entretanto, não foi possível distinguir essas áreas, em função de apresentarem valores aproximados aos da vegetação arbustiva aberta e fechada.



**Figura 14.** Percentagem de área do SAVI (L=0,1) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985, 01/11/1989, 28/11/1991, 09/12/1995, 27/10/1997, 01/12/1998, 17/10/1999, 22/10/2001, 17/12/2004, 23/09/2008, 29/09/2010, 10/12/2013, para bacia do Alto Ipanema.

Os valores observados para SAVI (L=0,5) variaram entre o mínimo de -0,245 para a imagem de 17/10/1999 e o máximo 0,563 para a imagem de 01/11/1989 (Apêndice 2).

Os valores médios variaram entre o mínimo de 0,136 e máximo de 0,409, referentes aos dias 01/09/1998 e 01/11/1989, respectivamente.



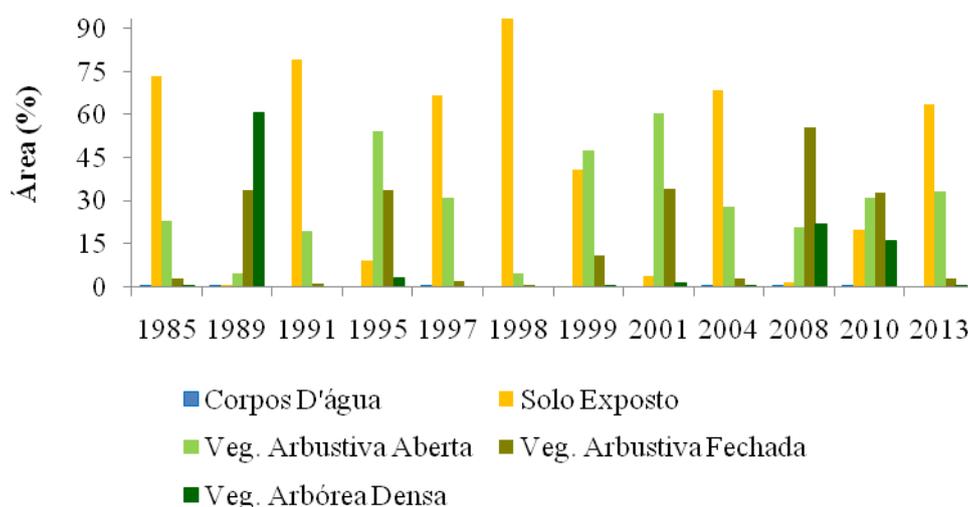
**Figura 15.** Índice de vegetação SAVI ( $L=0,5$ ) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985 (A), 01/11/1989 (B), 28/11/1991 (C), 09/12/1995 (D), 27/10/1997 (E), 01/12/1998 (F), 17/10/1999 (G), 22/10/2001 (H), 17/12/2004 (I), 23/09/2008 (J), 29/09/2010 (K) e 10/12/2013 (L).

Nesse estudo, os anos 1997, 1998, 1999 e 2004, para o SAVI (L=0,5), observaram-se percentuais de solo exposto de 68,8%, 94,9%, 41,0% e 68,6%, respectivamente.

A vegetação arbórea densa apresentou-se baixa ao longo dos anos, apenas em 2008 e 2010 mostrou-se mais expressiva, compreendendo, respectivamente a 22% e 16,2% da área da bacia (Figura 16). Contudo, valores mais representativos da vegetação foram observados para a vegetação arbustiva aberta e fechada.

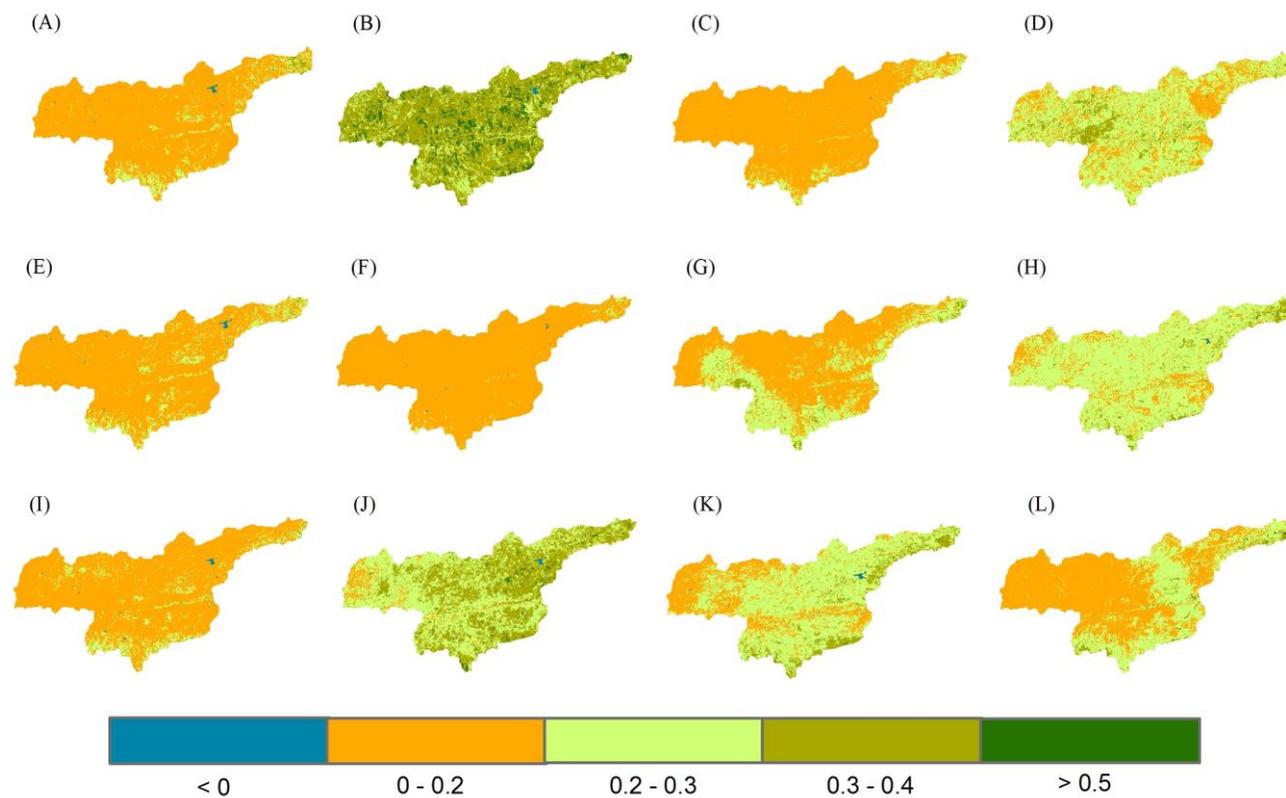
Nos anos de 1995, 1999 e 2001, o SAVI L=0,5 apresentou valores mais elevados que os demais anos estudados da vegetação arbustiva aberta. Na sequência mencionada dos anos, obteve-se os seguintes percentuais de área recoberta: 54%, 47,7% e 60,6%.

A vegetação arbustiva fechada apresentou 35,5%, 34,1%, 55% e 32,9%, respectivamente nos anos de 1995, 2001, 2008 e 2010.



**Figura 16.** Percentual de área do SAVI (L=0,5) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985, 01/11/1989, 28/11/1991, 09/12/1995, 27/10/1997, 01/12/1998, 17/10/1999, 22/10/2001, 17/12/2004, 23/09/2008, 29/09/2010, 10/12/2013, para bacia do Alto Ipanema.

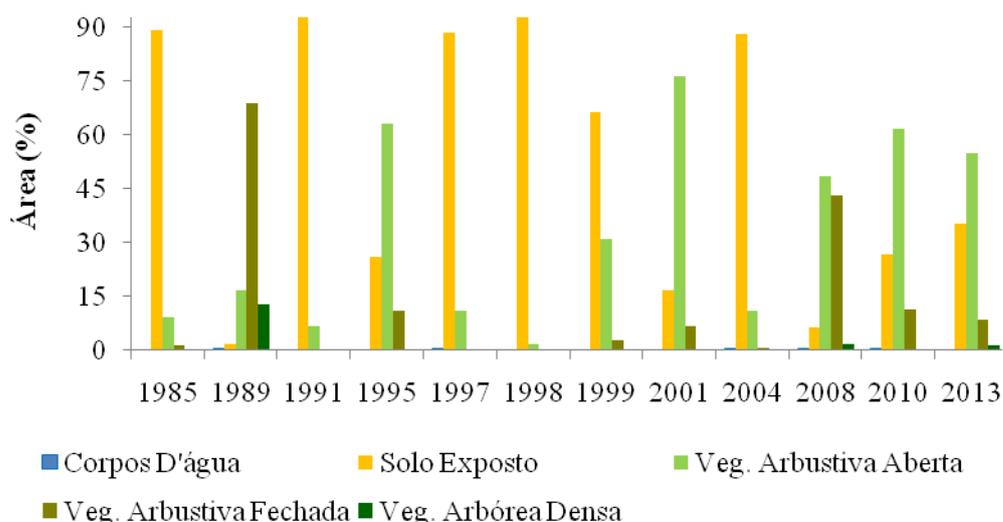
O SAVI (L=1) apresentou valores médios que variaram entre o mínimo de 0,115 e máximo de 0,290, referentes aos dias 01/09/1998 e 23/09/2008, respectivamente. Os valores máximos e mínimos variaram entre o mínimo de -0,21 para a imagem de 23/09/2008 e o máximo 0,57 para a imagem de 22/10/2001.



**Figura 17.** Índice de vegetação SAVI (L=1) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985 (A), 01/11/1989 (B), 28/11/1991 (C), 09/12/1995 (D), 27/10/1997 (E), 01/12/1998 (F), 17/10/1999 (G), 22/10/2001 (H), 17/12/2004 (I), 23/09/2008 (J), 29/09/2010 (K) e 10/12/2013 (L).

Comportamento semelhante ao observado na Figura 18 verificou-se na Figura 12, entretanto a vegetação que se apresentou uma relação inversa ao percentual de solo exposto foi a vegetação arbustiva aberta com percentuais mais elevados de 63,0%, 76,4%, 48,6% e 61,5%, para os anos 1995, 2001, 2008 e 2010, respectivamente.

Os percentuais de solo exposto para 88,5%, 98,1%, 66,2%, 88,2%, para os anos 1997, 1998, 1999 e 2004, respectivamente.



**Figura 18.** Percentual de área do SAVI (L = 1) obtido por meio de imagem TM Landsat - 5 para os dias 27/11/1985, 01/11/1989, 28/11/1991, 09/12/1995, 27/10/1997, 01/12/1998, 17/10/1999, 22/10/2001, 17/12/2004, 23/09/2008, 29/09/2010, 10/12/2013, para bacia do Alto Ipanema.

O NDVI e o SAVI (fator  $L=0,5$  e  $L=1$ ) apresentaram comportamento semelhante, reduzindo os índices de vegetação e elevando a classe de solo exposto nos anos de 1985, 1991, 1997, 1998, 1999, 2004, 2013. Comportamento inverso mostrou o SAVI ( $L=0,1$ ), que elevou os valores de vegetação, reduzindo as áreas que apresentam solo exposto.

Dessa forma, observou-se que os índices de vegetação apresentaram diferentes sensibilidades ao comportamento da vegetação da bacia. O SAVI ( $L=0,1$ ) mostrou-se pouco sensível a presença de solo exposto, diferindo dos demais índices. Além disso, o mesmo demonstrou maior sensibilidade à presença de vegetação, principalmente à arbustiva fechada seguida da arbórea densa. Essa divergência sugere sua não aplicabilidade à região de estudo para fins de monitoramento da dinâmica de vegetação.

O SAVI, quando comparado ao NDVI, tende a reduzir os efeitos do solo exposto na estimativa do vigor vegetativo das plantas, pois separa áreas de solo de áreas de

vegetação e pondera pesos diferentes para cada uma dessas classes, tornando mais evidente e menos expressivo o efeito do solo (MIRANDA & NASCIMENTO, 2012).

Nas imagens analisadas nota-se que houve regeneração da vegetação nos anos de 1989, 1995, 1999, 2001, 2008 e 2010. Apesar de a caatinga ser considerada como uma vegetação frágil, seu alto poder de resiliência confirma-se pela formação da biomassa imediata em resposta aos eventos de chuva (RODRIGUES et al., 2009).

Segundo Cunha et al. (2012), a cobertura vegetal em região semiárida está altamente correlacionada com a precipitação, motivo pelo qual se espera que os anos que apresentaram maior índice pluviométrico antes da passagem do sensor sejam exatamente os que apresentam maior aumento da cobertura vegetal.

A presença de solo exposto na bacia, observadas em imagens com maior presença de vegetação, corresponde também ao antropismo. Segundo Cunha et al. (2012), na região semiárida alguns processos antrópicos, como a extração de madeira sem manejo sustentável, podem ser mais expressivos do que a resposta da vegetação ao regime pluvial.

Valores de NDVI e SAVI inferiores a zero são indicadores da presença de corpos d'água, como foi mencionado anteriormente. Nos anos de 1991, 1995, 1998, 1999 e 2001 os percentuais desses índices foram menos expressivos que os demais anos (Apêndice 3). Esse resultado é característico da região que apresenta poucos reservatórios superficiais, além de que as imagens são de período de baixa precipitação pluviométrica.

Tomando como referência o MDE da bacia (Figura 6), observa-se que para todas as dinâmicas de vegetação apresentadas pelos diferentes índices, existem áreas que se mantêm preservadas e que apresentam vegetação arbórea densa. Podem-se identificar algumas dessas áreas em regiões com elevadas altitudes, variando entre 860 m e 1040 m de elevação, sob as coordenadas geográficas de 8°26'24''S e 36°56'52''W, 8°19'51''S e 36°46'36''W e 8°23'10''S e 36°59'54''W.

Chagas et al. (2008), mapeando a vegetação do município de Arcoverde – PE em período chuvoso, por meio de NDVI, e observaram que a classe de vegetação caatinga densa estavam presentes em áreas com altitudes elevadas apresentando valores maiores que 0,7.

Os coeficientes de variação apresentam melhores resultados para os anos de 2001 e 2008 em todos os índices estudados (Apêndice 2), com percentuais respectivos

de: 18,46% e 18,95% - NDVI; 17,88% e 18,99% - SAVI (L=0,1); 17,82% e 19,87% - SAVI (L=0,5); 18,06% e 20,47% - SAVI (L=1).

A correlação entre os percentuais de áreas correspondentes as classes de uso e cobertura vegetal e os índices de vegetação são apresentados no Apêndice 4. O NDVI apresentou um coeficiente de correlação muito forte com  $r=0,93$ , o SAVI (L=0,5) correlação moderada  $r=0,69$ , o SAVI (L=0,1) correlação baixa com  $r=0,36$ , e o SAVI (L=1) correlação desprezível, com  $r=0,13$ . Dessa forma, verificou-se que o NDVI foi o índice que apresentou forte correlação com o mapa de uso e cobertura vegetal da região de estudo, comprovando que a distribuição da vegetação através desse índice para as imagens utilizadas se apresentou melhor. Entre os SAVI, o que apresenta fator L=0,5 obteve melhor correlação com o mapa, sendo o mais indicado entre eles.

As análises temporais de NDVI e SAVI (L=0,5) se mostraram mais aplicáveis aos objetivos da pesquisa. Diante disso, verificou-se que a dinâmica da vegetação da bacia, para ambos os índices, não apresentou tendência de degradação, embora o cenário da imagem de 2013 demonstre degradação recente. Essa tendência não é observada em função de que a vegetação predominante na região tem característica regenerativa.

### **6.3 Relação entre a dinâmica da vegetação e a precipitação**

Gomes et al. (2011), comparando mapas dos índices de vegetação dentre o período de 1985 a 2009 da bacia hidrográfica do Rio Jaibas/CE, observaram a influência determinante dos índices pluviométricos sobre a vegetação. E verificaram que nos anos de pluviometria acima da média histórica ocorreu recuperação da vegetação conservada.

As regressões entre os dados de precipitação acumulada (mm) e de índices de vegetação desse estudo (Anexo 5) evidenciaram que existem outros fatores, além da precipitação, influenciando na dinâmica de vegetação podendo ser de ordem antrópica ou hidrológica dos solos. Obteve-se valores de  $R^2$  da ordem de 0,385 (baixa correlação), 0,415 (moderada correlação), 0,382 (baixa correlação), 0,429 (moderada correlação), respectivamente para as relações entre precipitação e os índices de vegetação NDVI, SAVI (L=0,1), SAVI (L=0,5) e SAVI (L=1).

As correlações baixas e moderadas entre precipitação e os índices de vegetação, mostraram que a precipitação anual tem pouca influencia na dinâmica de vegetação da

bacia do Alto Ipanema. Dessa forma, verificou-se que a resposta da dinâmica da vegetação na bacia não se dá apenas em função do regime pluviométrico anual, o que pode ser comprovado pelas correlações do Apêndice 5.

Observam-se, nas Figuras 19, 20, 21 e 22, regressões entre classe de vegetação e precipitação antecedentes. A Tabela 9 apresenta as chuvas antecedentes acumuladas em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias as datas das imagens.

**Tabela 9.** Precipitação antecedente acumulada (mm) às datas das imagens.

Data da Imagem	Precipitação Antecedente Acumulada (mm)			
	15 dias	30 dias	60 dias	90 dias
27/11/1985	0	0	1,4	3,4
03/09/1989	0	38,5	155,3	314,2
28/11/1991	27,8	34,6	34,6	34,6
09/12/1995	98,0	183,3	186,9	327,7
27/10/1997	66,8	66,8	74,8	75,3
01/12/1998	0	0	0	0
17/10/1999	34,0	37,8	40,6	45,0
22/10/2001	65,0	65,0	66,7	110,7
17/12/2004	0	14,0	14,0	16,8
23/09/2008	3,1	16,0	88,6	175,7
29/12/2010	0	29,6	35,8	91,7
10/12/2013	0	0	78,0	78,0

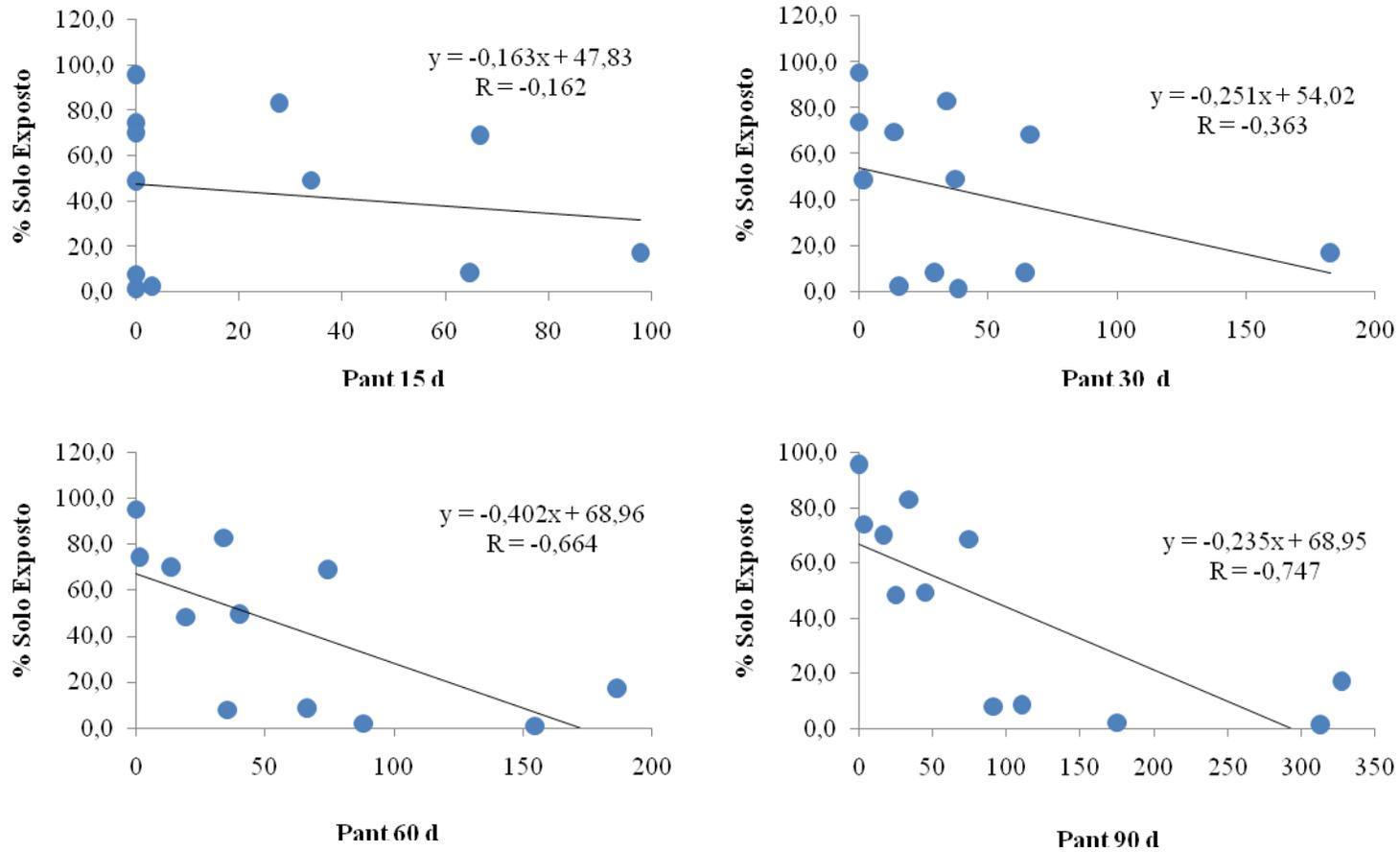
O comportamento das classes de vegetação, nos diferentes índices relacionados à influência da precipitação antecedente, pode ser observado nas Figuras 23, 24, 25 e 26, respectivamente para NDVI, SAVI (L=0.1), SAVI (L=0.5) e SAVI (L=1). Essas Figuras correspondem às correlações entre classes de vegetação e chuvas antecedentes que apresentaram maiores valores de coeficientes R.

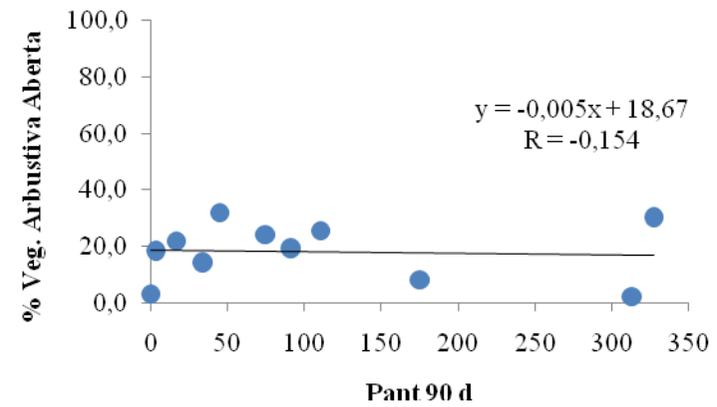
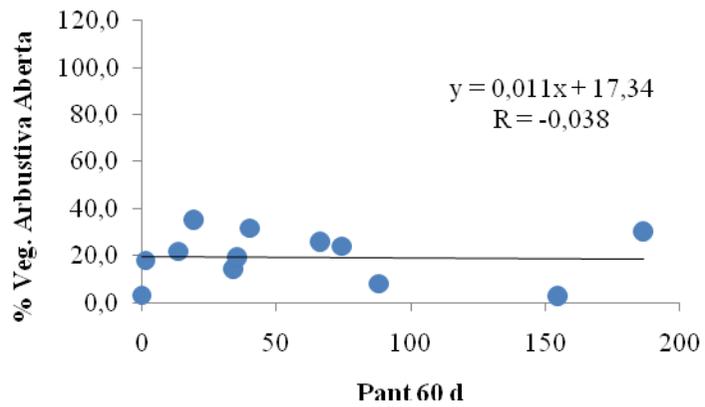
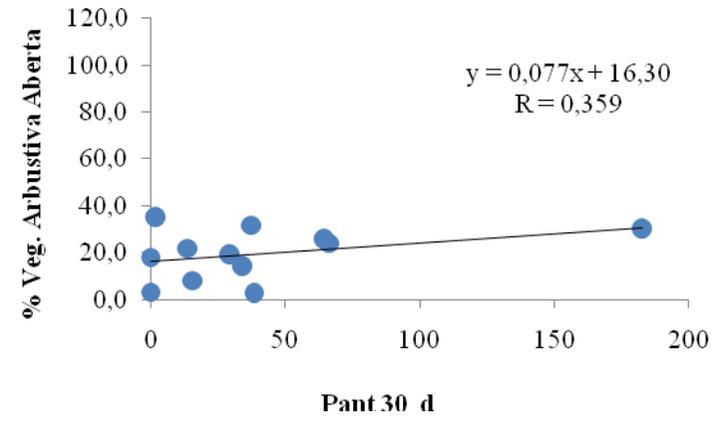
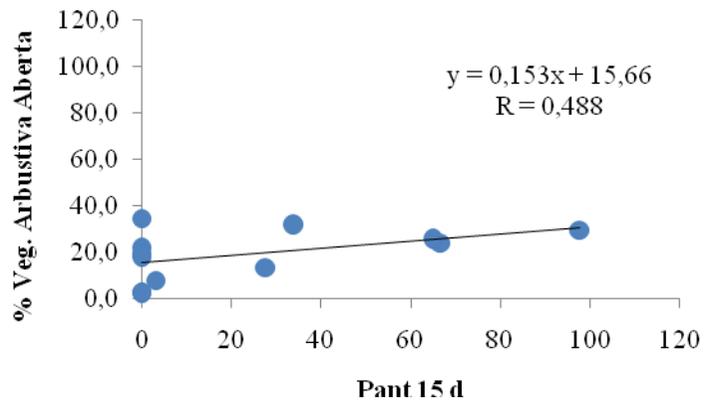
A análise temporal da dinâmica das classes de vegetação em função da precipitação mostrou que a vegetação arbustiva fechada e a vegetação arbórea densa, nos diferentes índices, responderam melhor as chuvas dos 90 dias antecedentes. Enquanto que as chuvas antecedentes de 15 dias influenciaram mais no desenvolvimento da vegetação arbustiva aberta, demonstrando assim a resposta

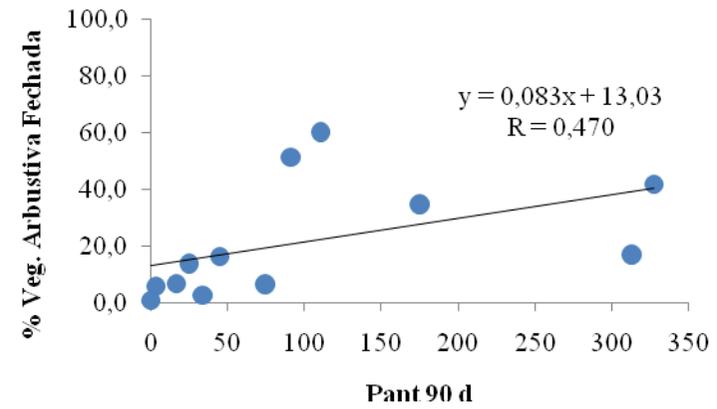
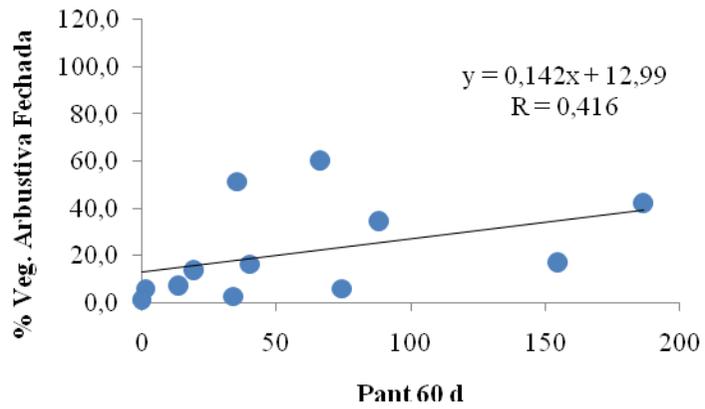
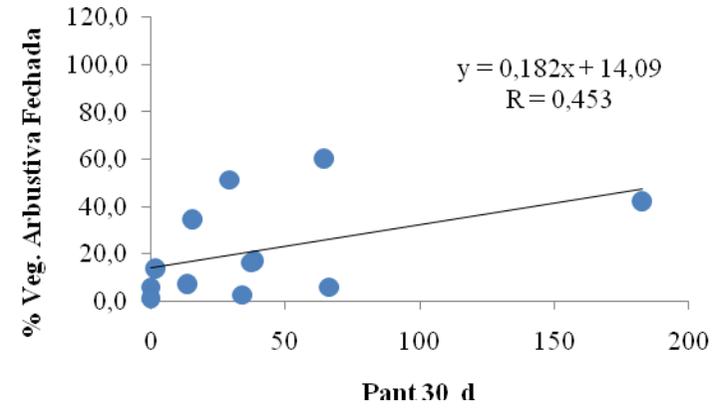
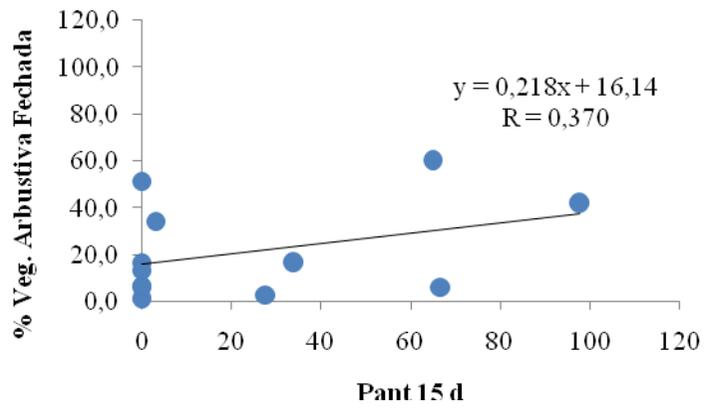
imediate dessa classe de vegetação as chuvas. Esses resultados são confirmados pelos coeficientes de correlação R (Figuras 19, 20, 21 e 22). Para a vegetação arbustiva aberta do NDVI, SAVI (L=1) e SAVI L=0,5, com  $R=0,488$ ,  $R=0,23$  e  $R=0,718$ , respectivamente, para chuvas antecedentes de 15 dias. Para chuvas de 90 dias, os coeficientes de correlação para vegetação arbustiva fechada, foram  $R=0,462$  (NDVI),  $R=0,707$  (SAVI L=0,5) e  $R=0,660$  (SAVI L=1); para vegetação arbórea densa em todos os índices, os coeficientes foram de  $R=0,699$  (NDVI),  $R=0,765$  (SAVI L=0,1),  $R=0,659$  (SAVI L=0,5) e  $R=0,650$  (SAVI L=1).

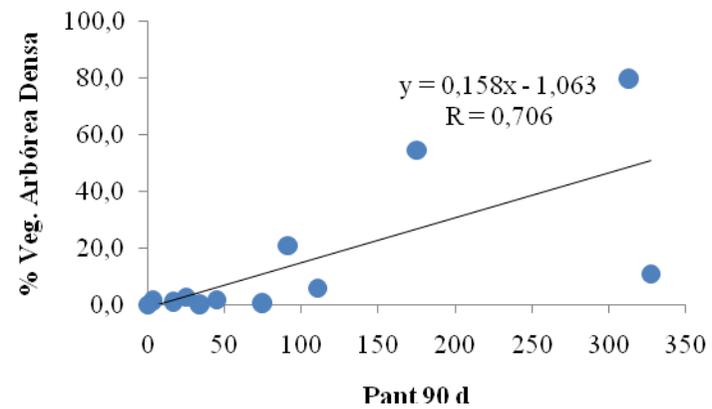
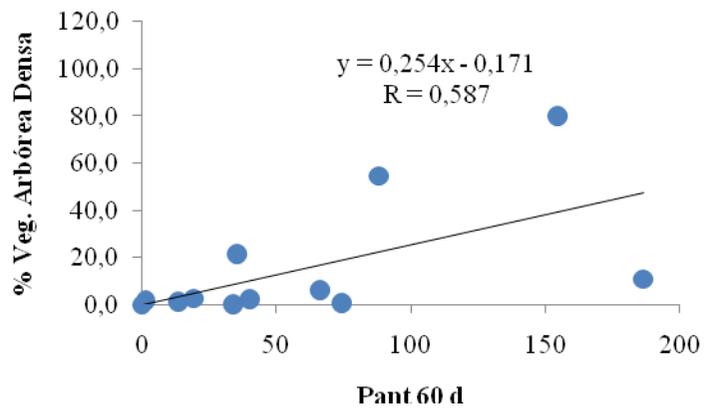
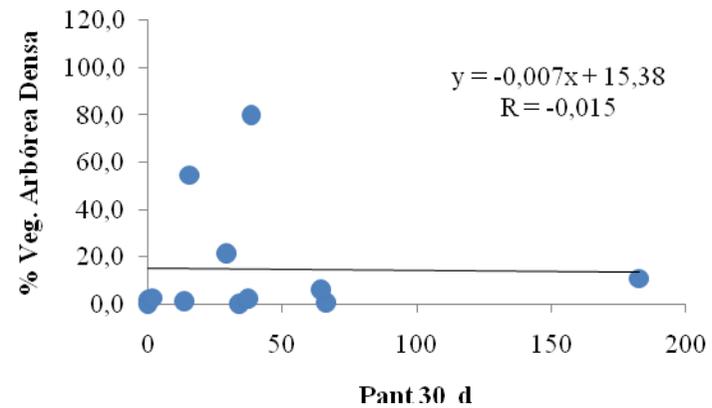
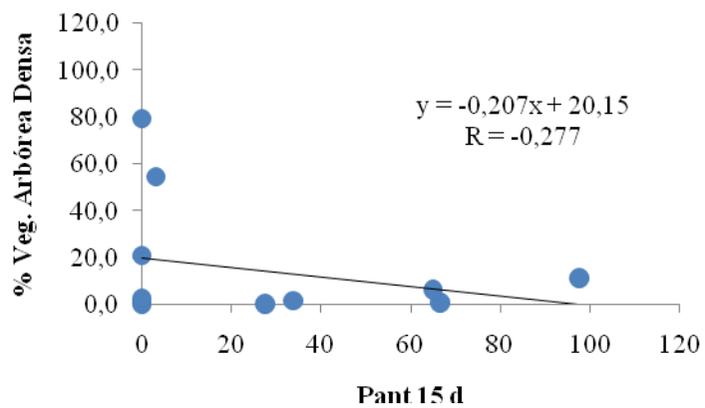
Apesar dos coeficientes de correlação das precipitações anuais demonstrarem sua baixa influência na dinâmica da vegetação, as chuvas antecedentes comprovam sua importância na mesma.

**Figura 19.** Regressão entre o NDVI e as precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens estudadas.

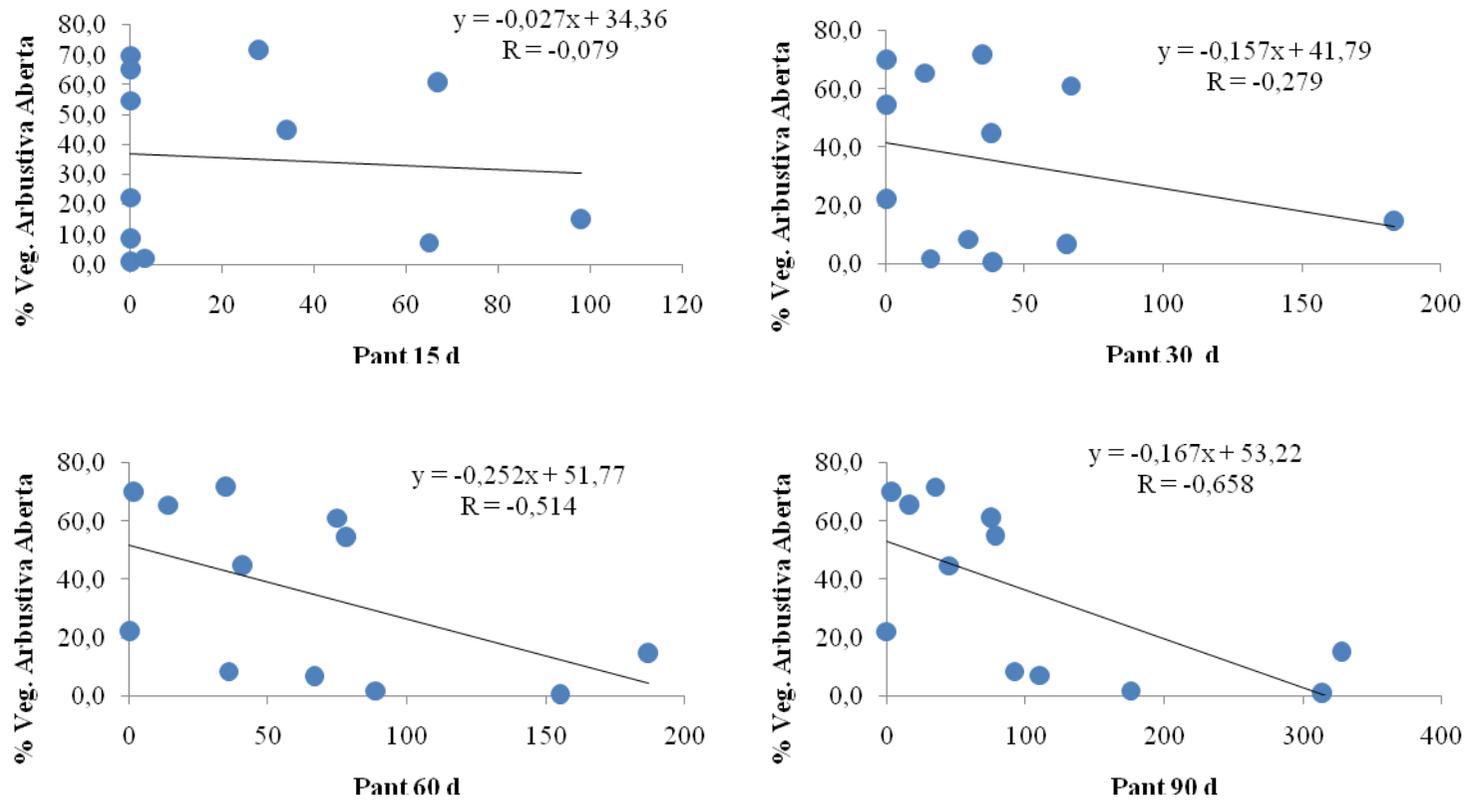


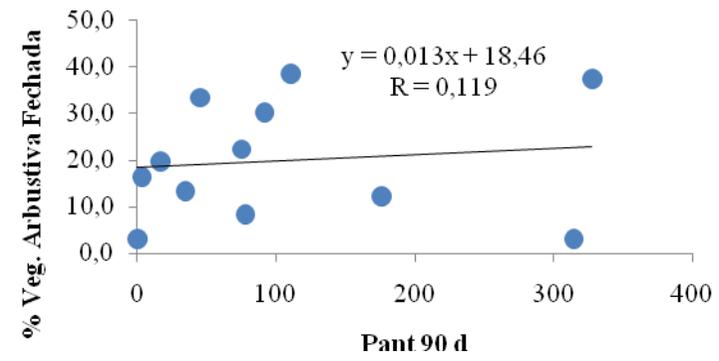
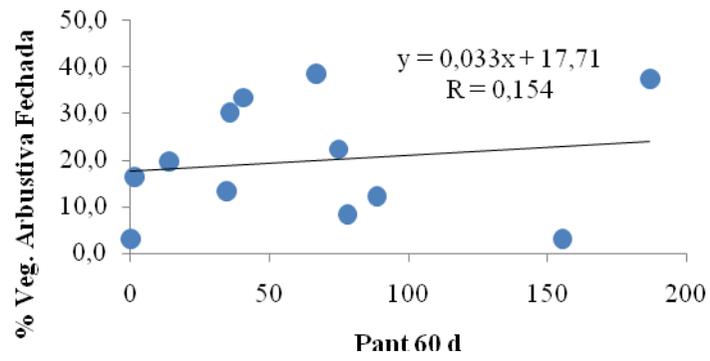
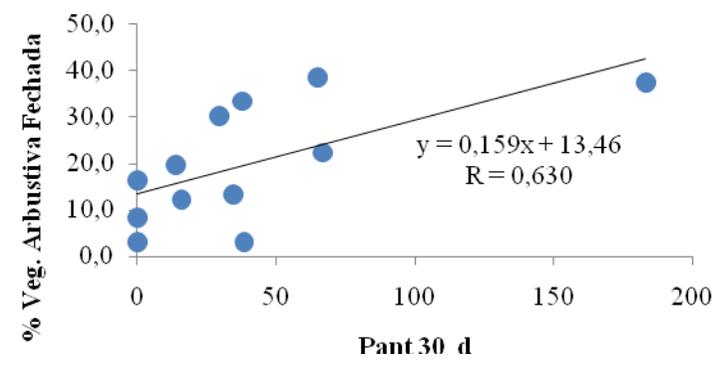
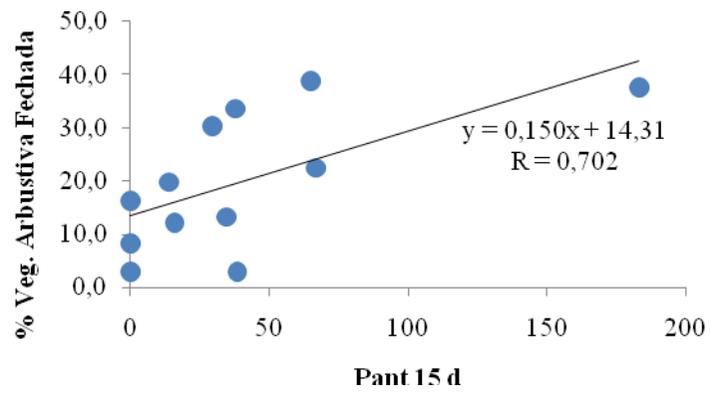


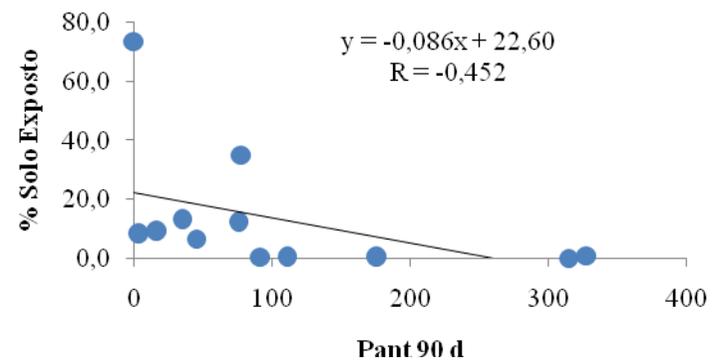
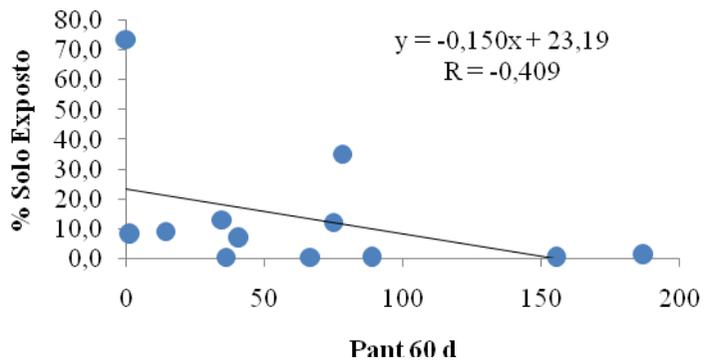
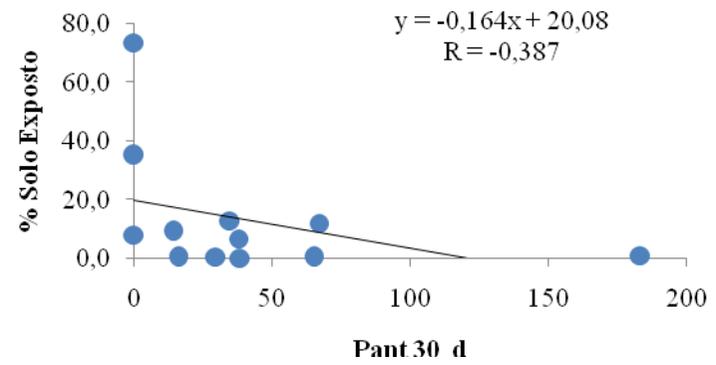
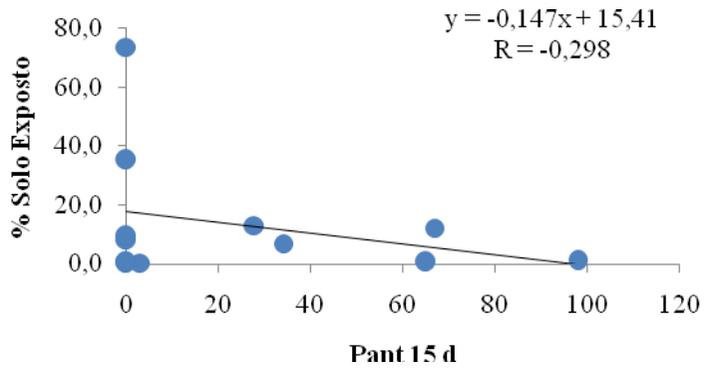


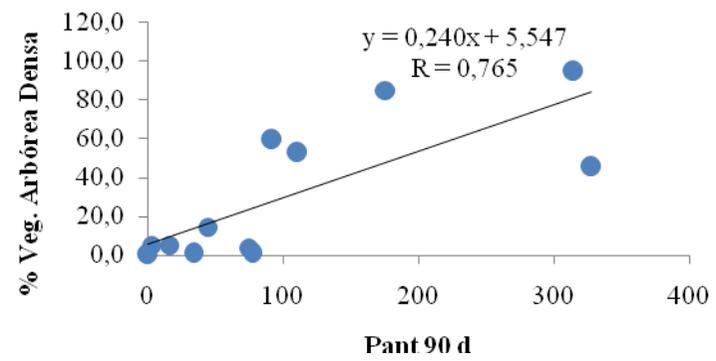
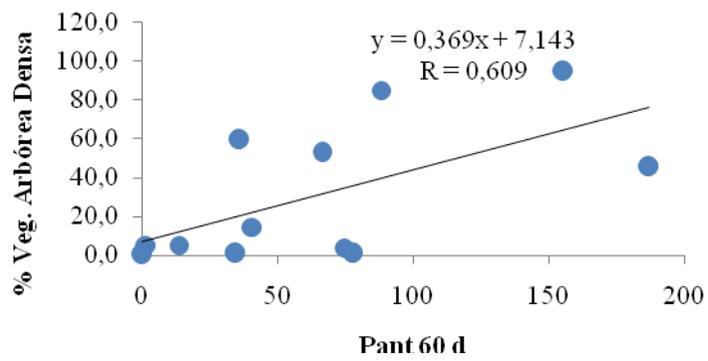
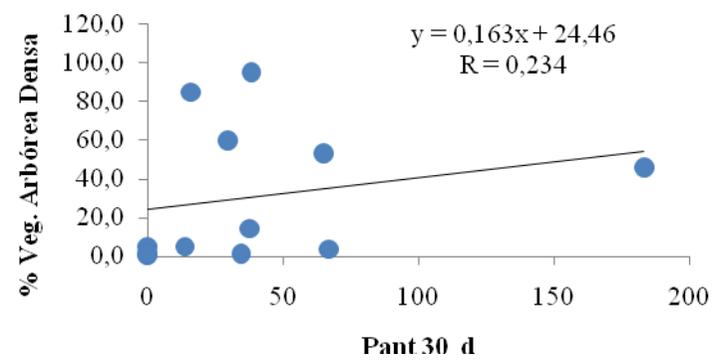
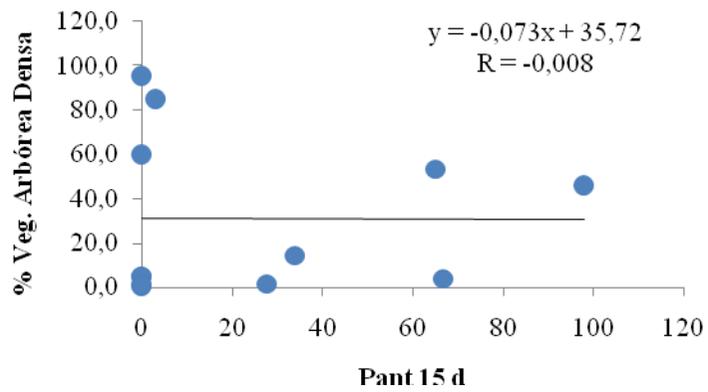


**Figura 20.** Regressão entre o SAVI L=0.1 e as precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens estudadas.

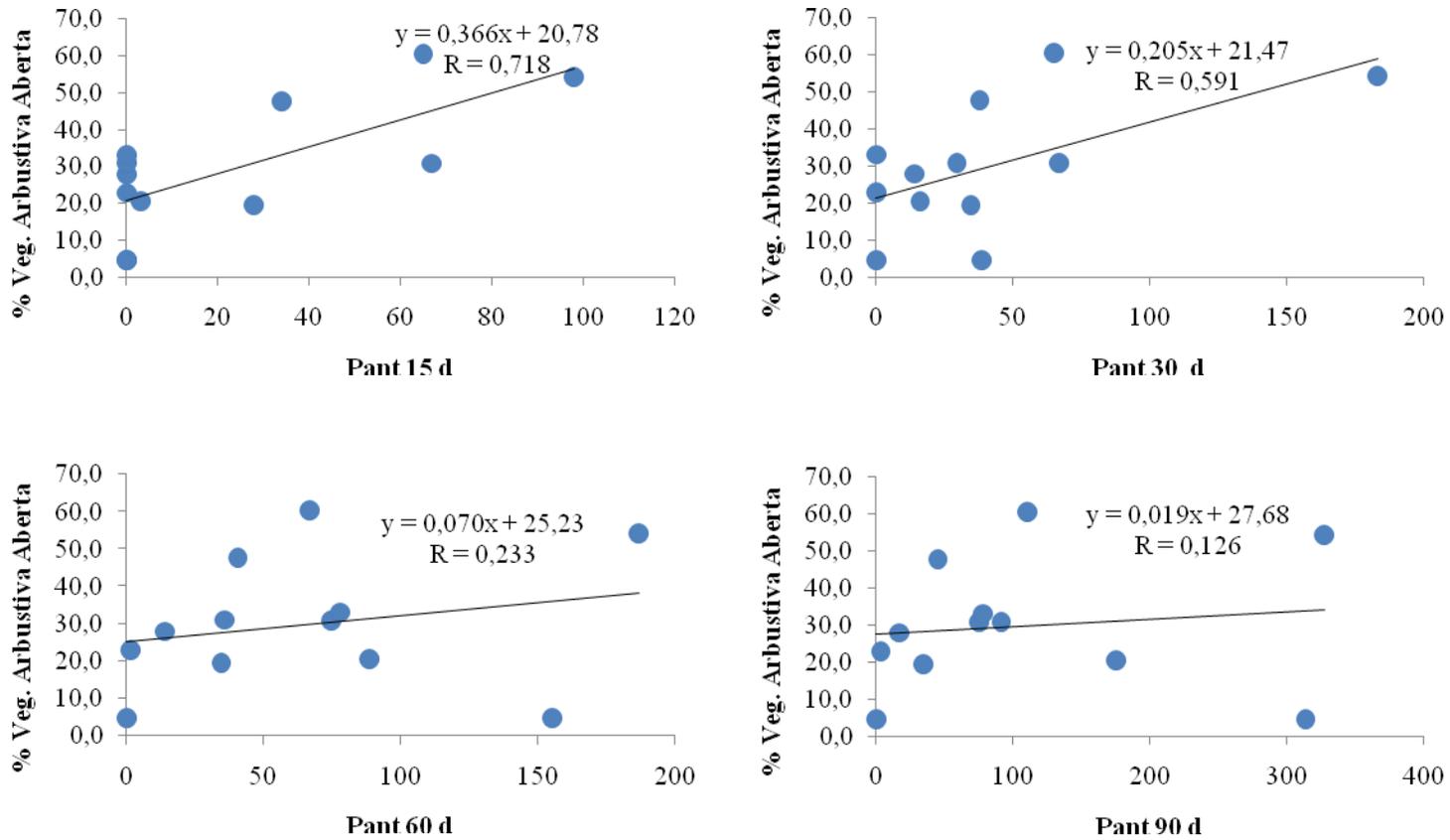


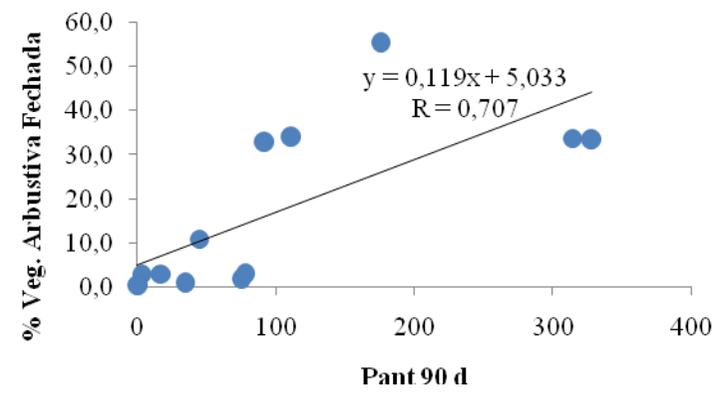
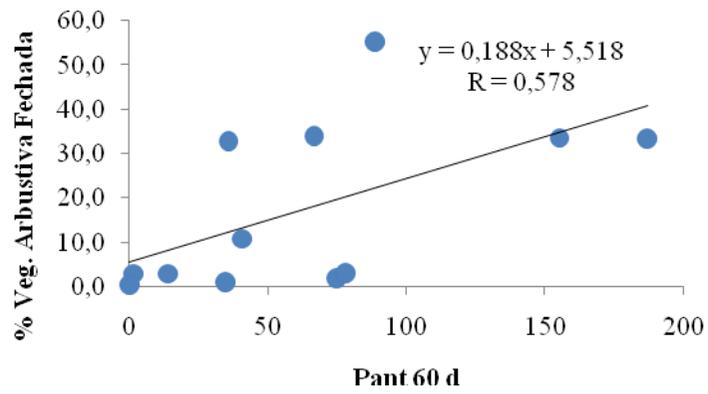
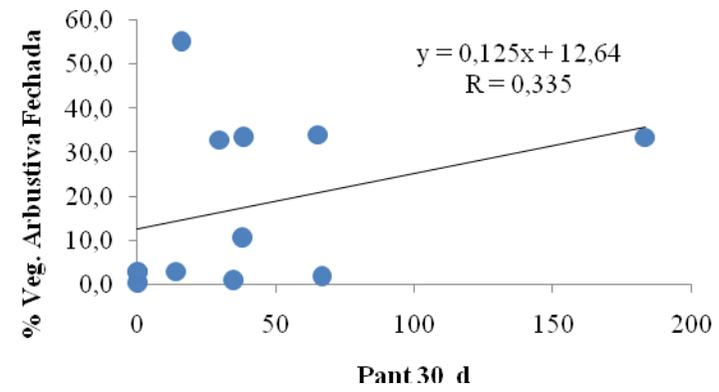
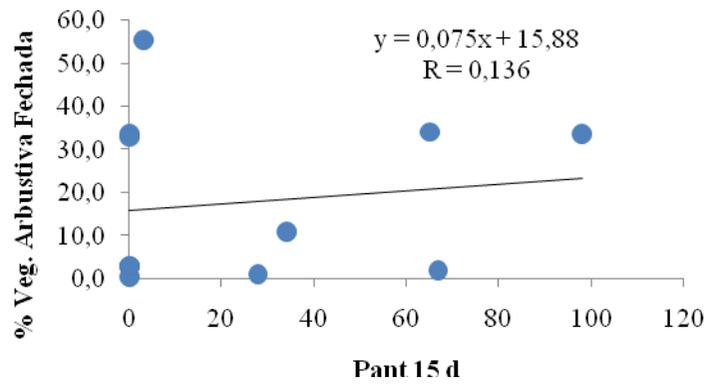


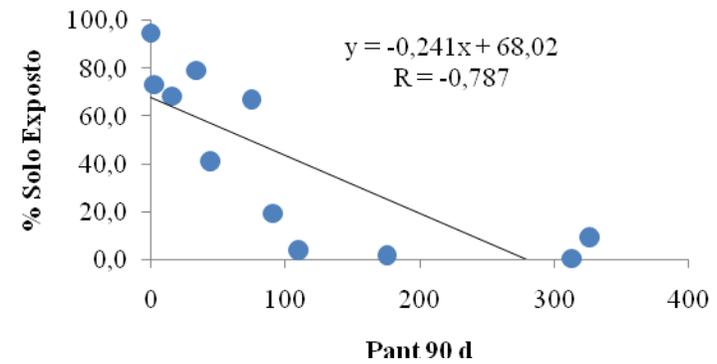
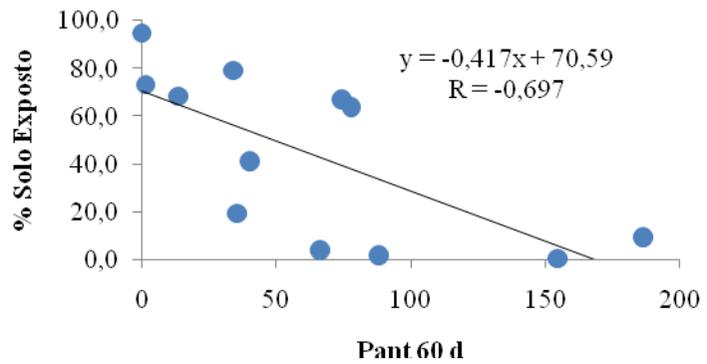
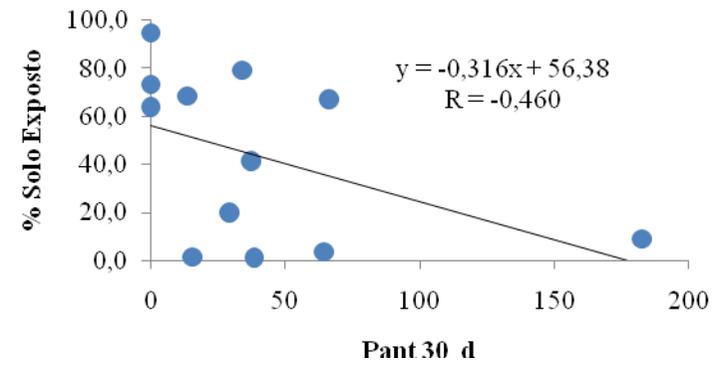
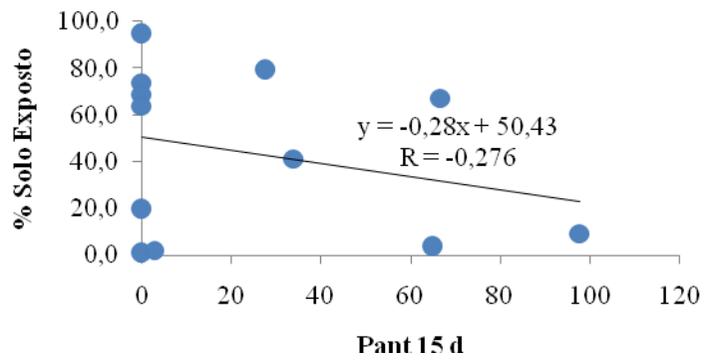


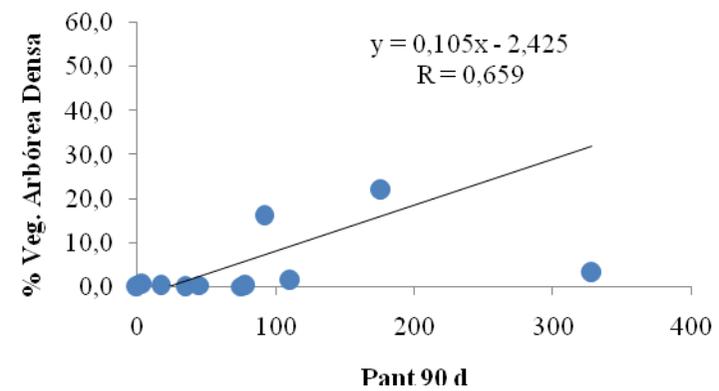
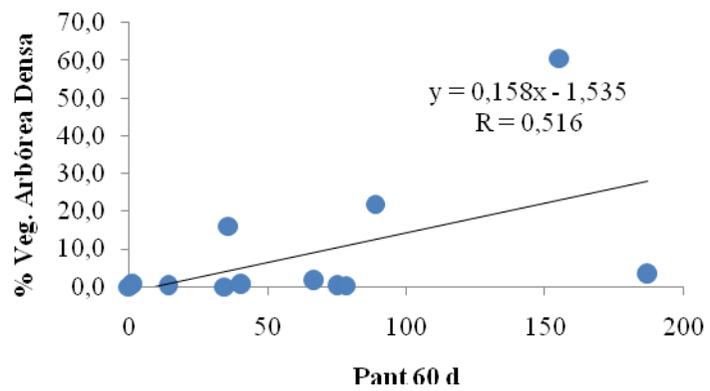
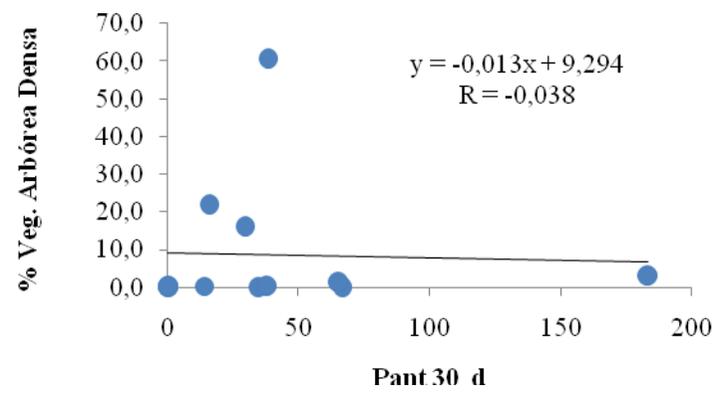
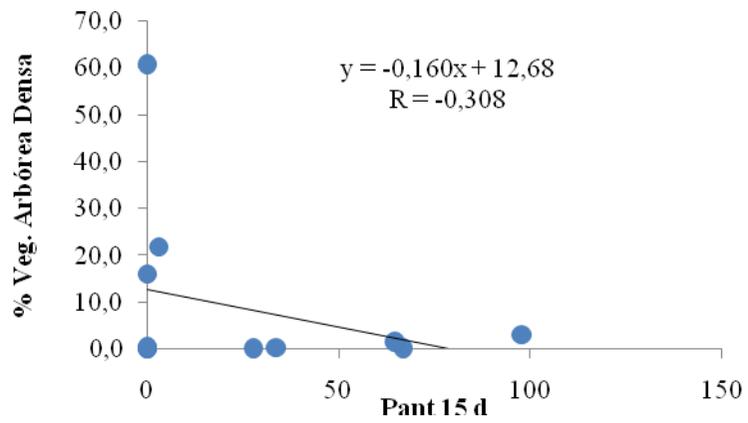


**Figura 21.** Regressão entre o SAVI 0.5 e as precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens estudadas.

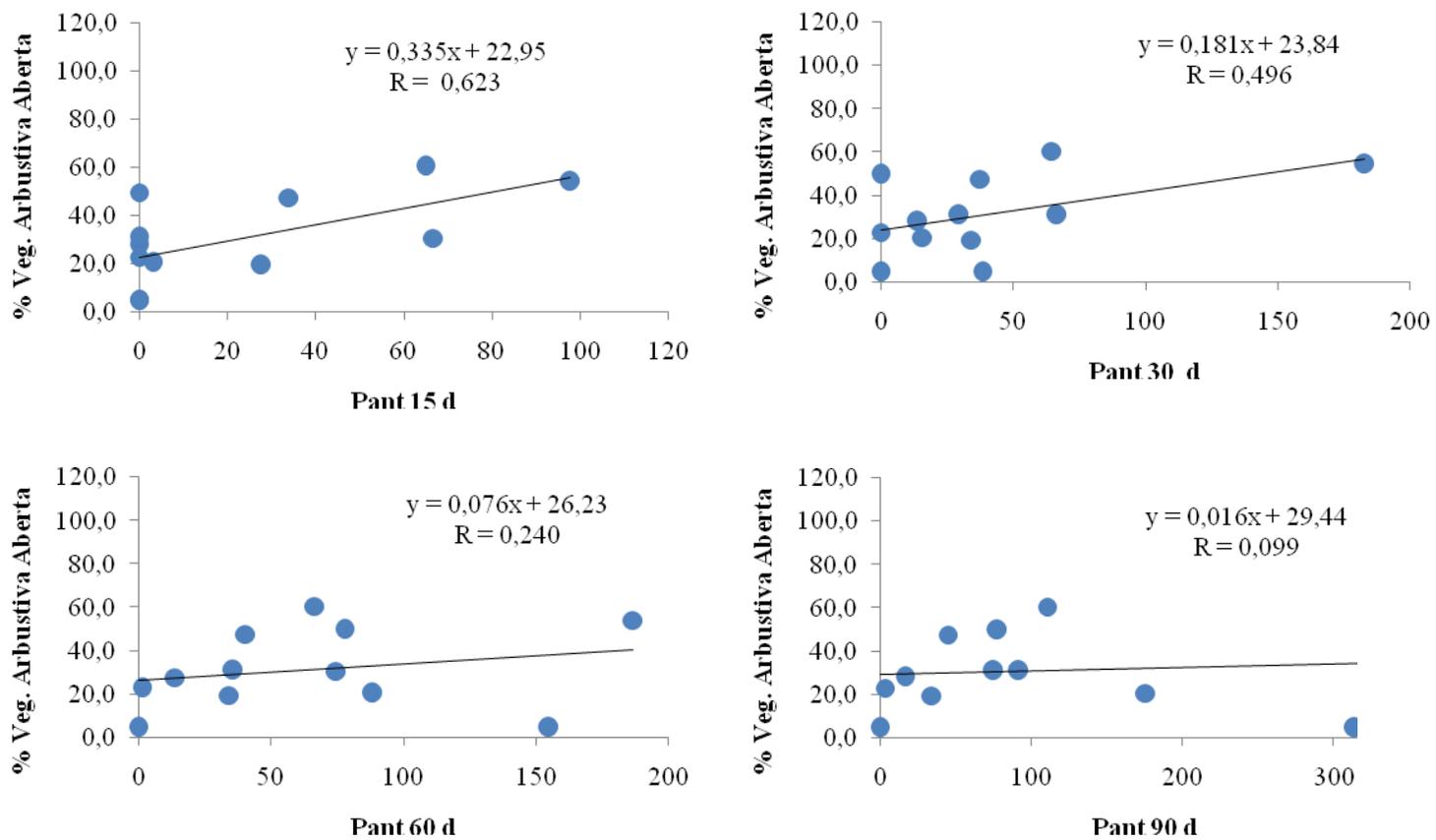


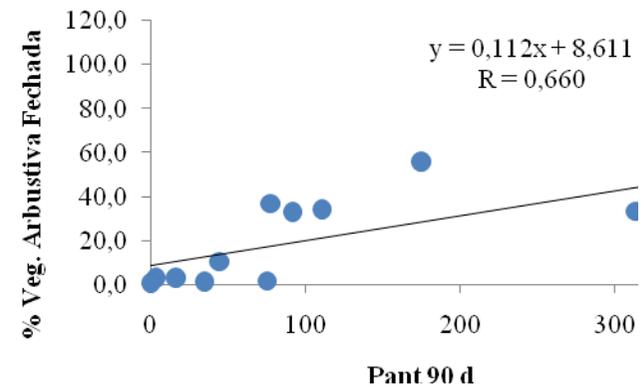
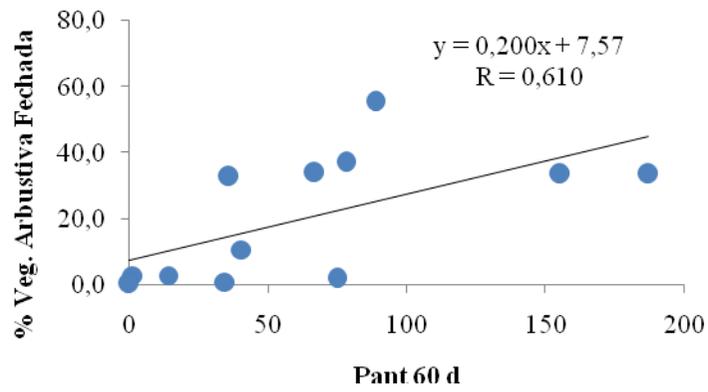
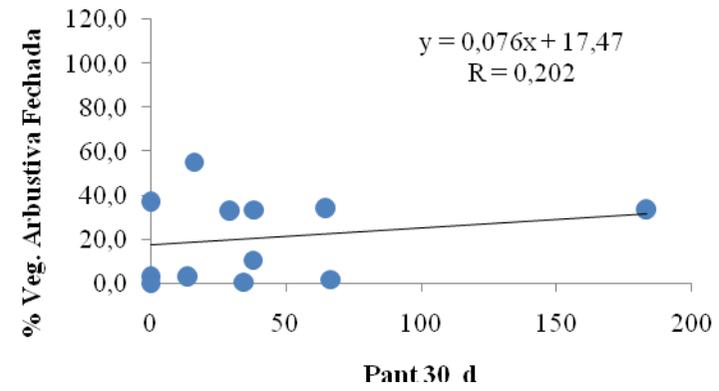
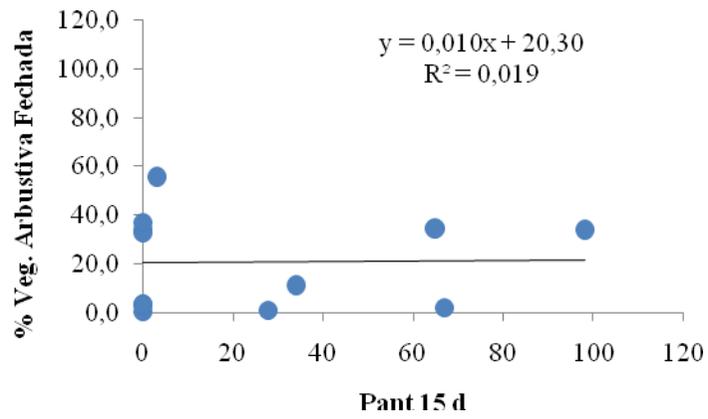


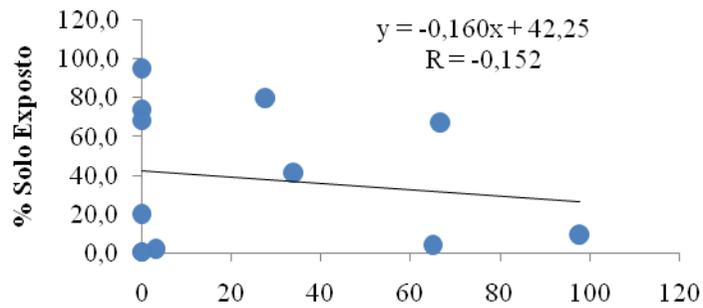




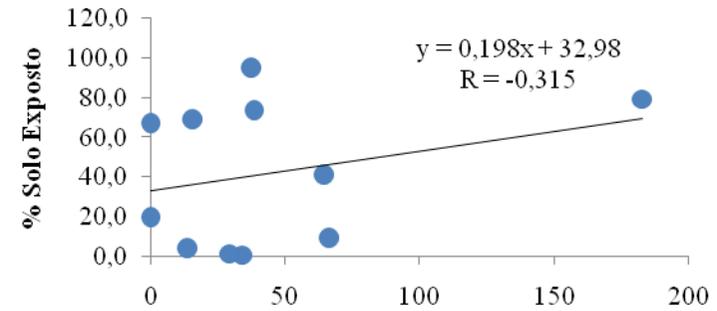
**Figura 22.** Regressão entre o SAVI 1 e as precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens.



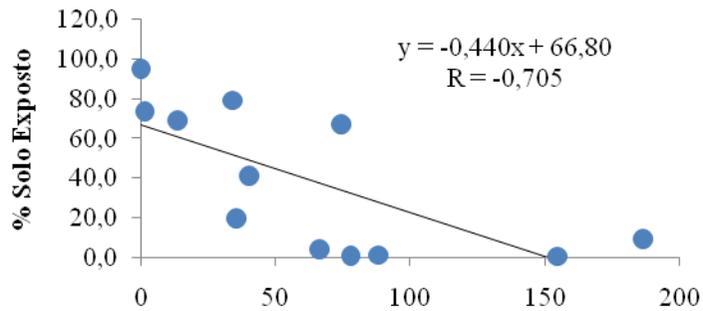




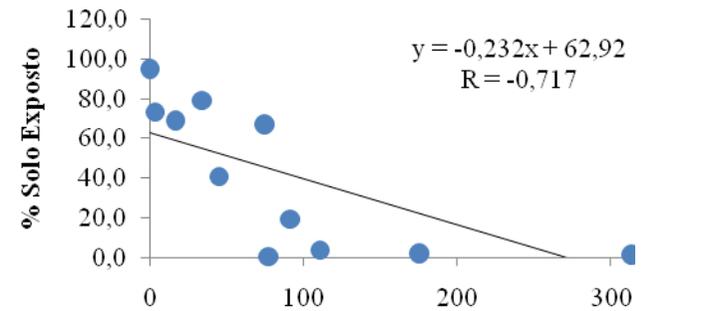
Pant 15 d



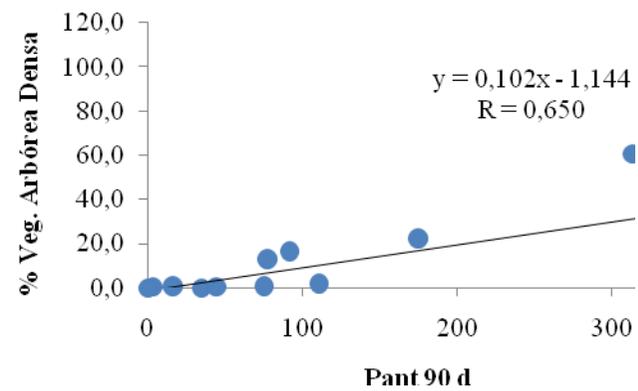
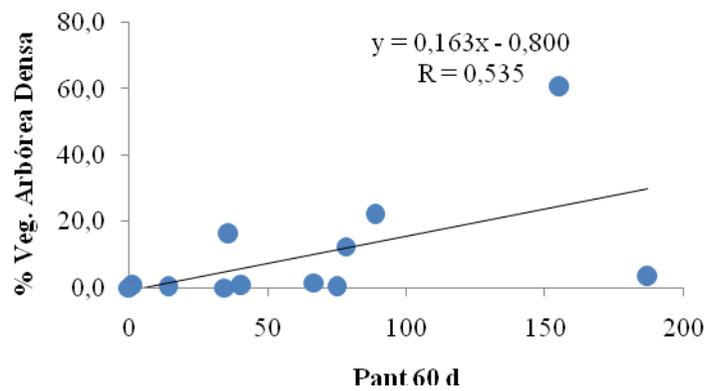
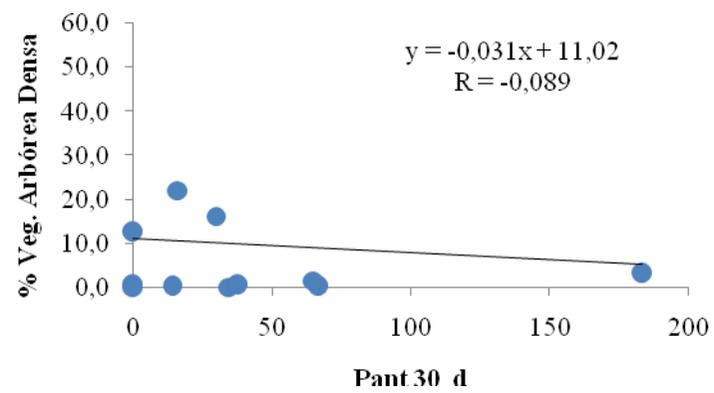
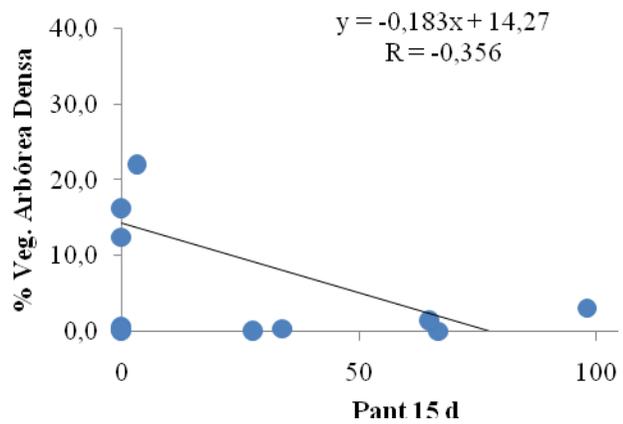
Pant 30 d



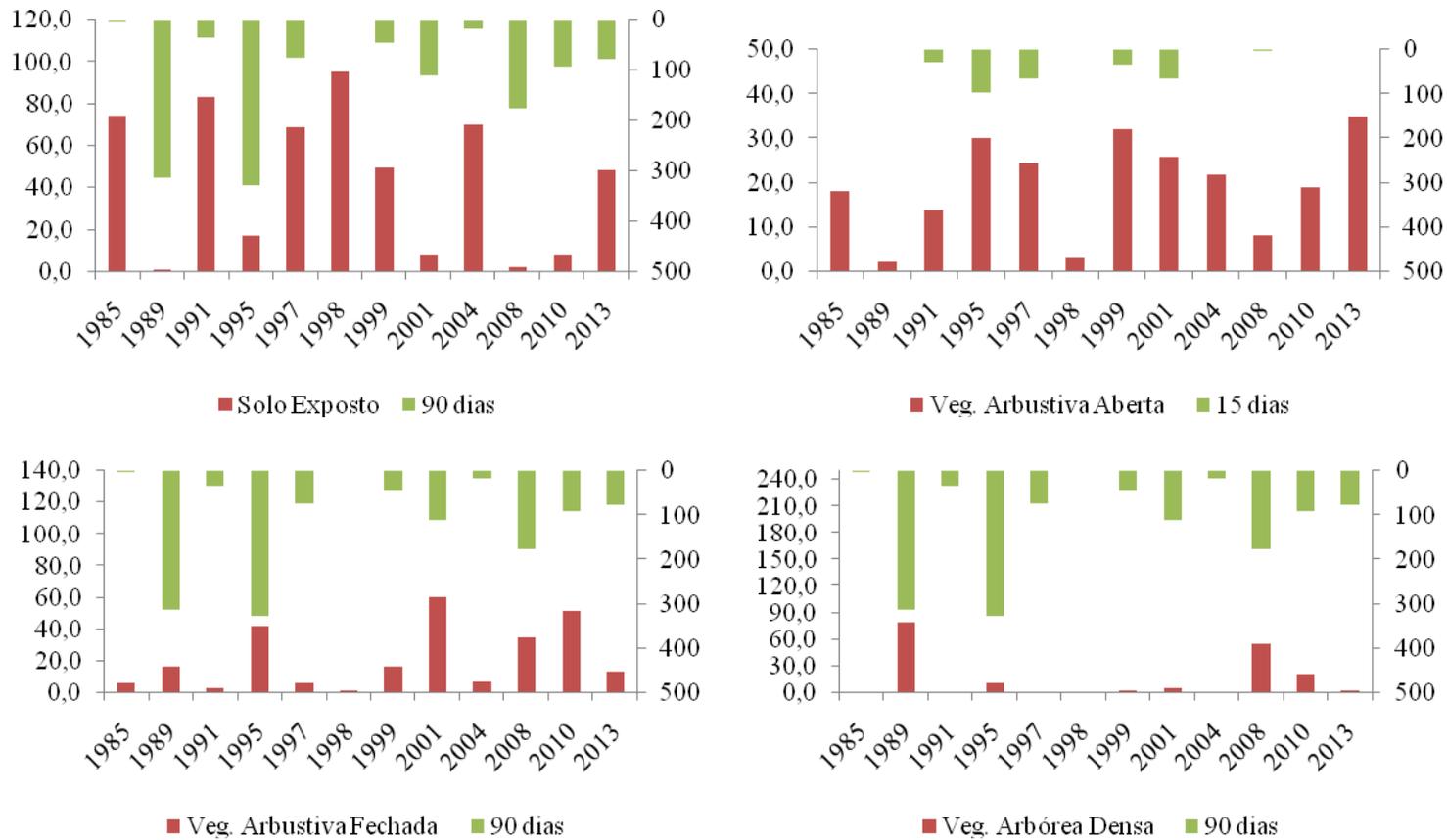
Pant 60 d



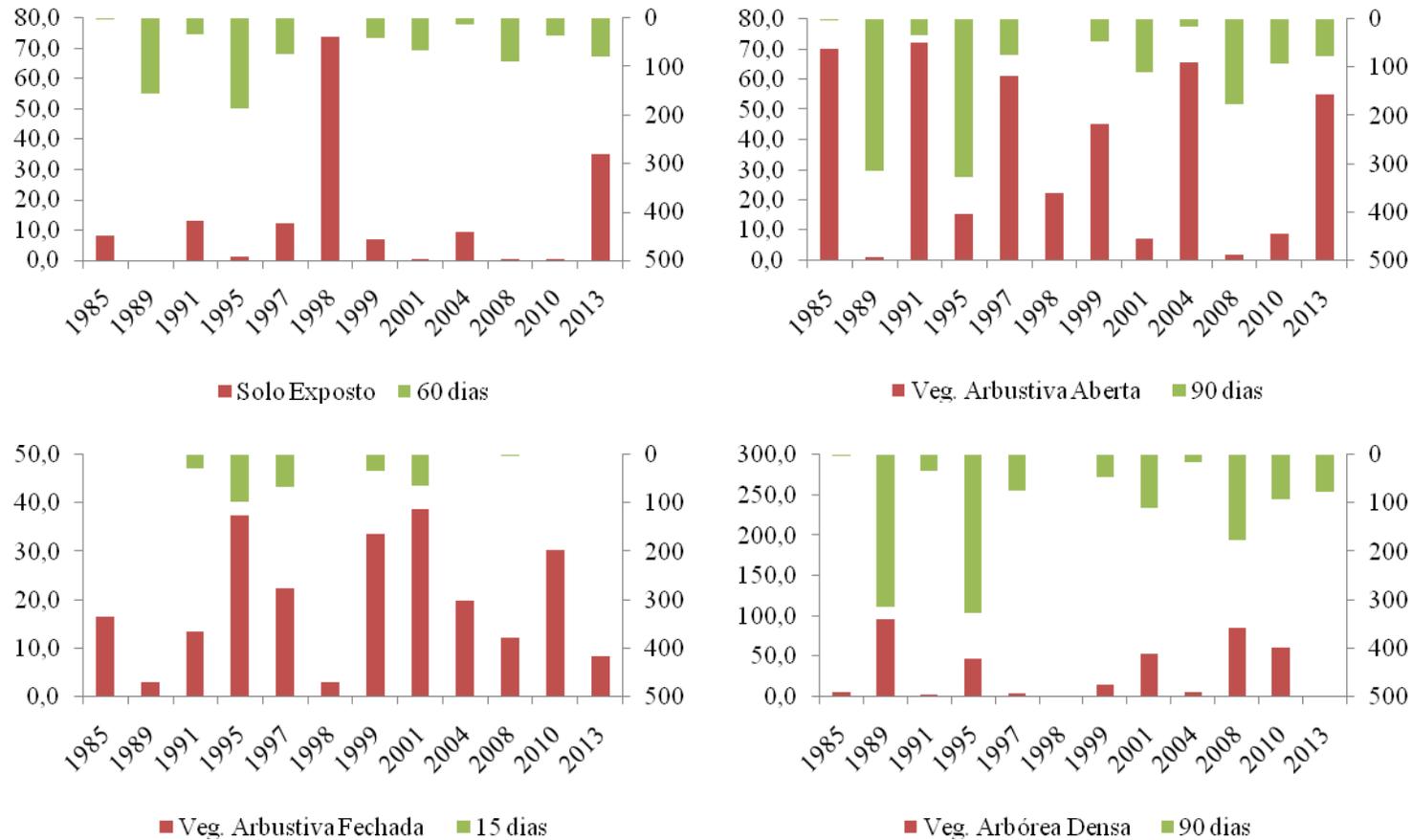
Pant 90 d



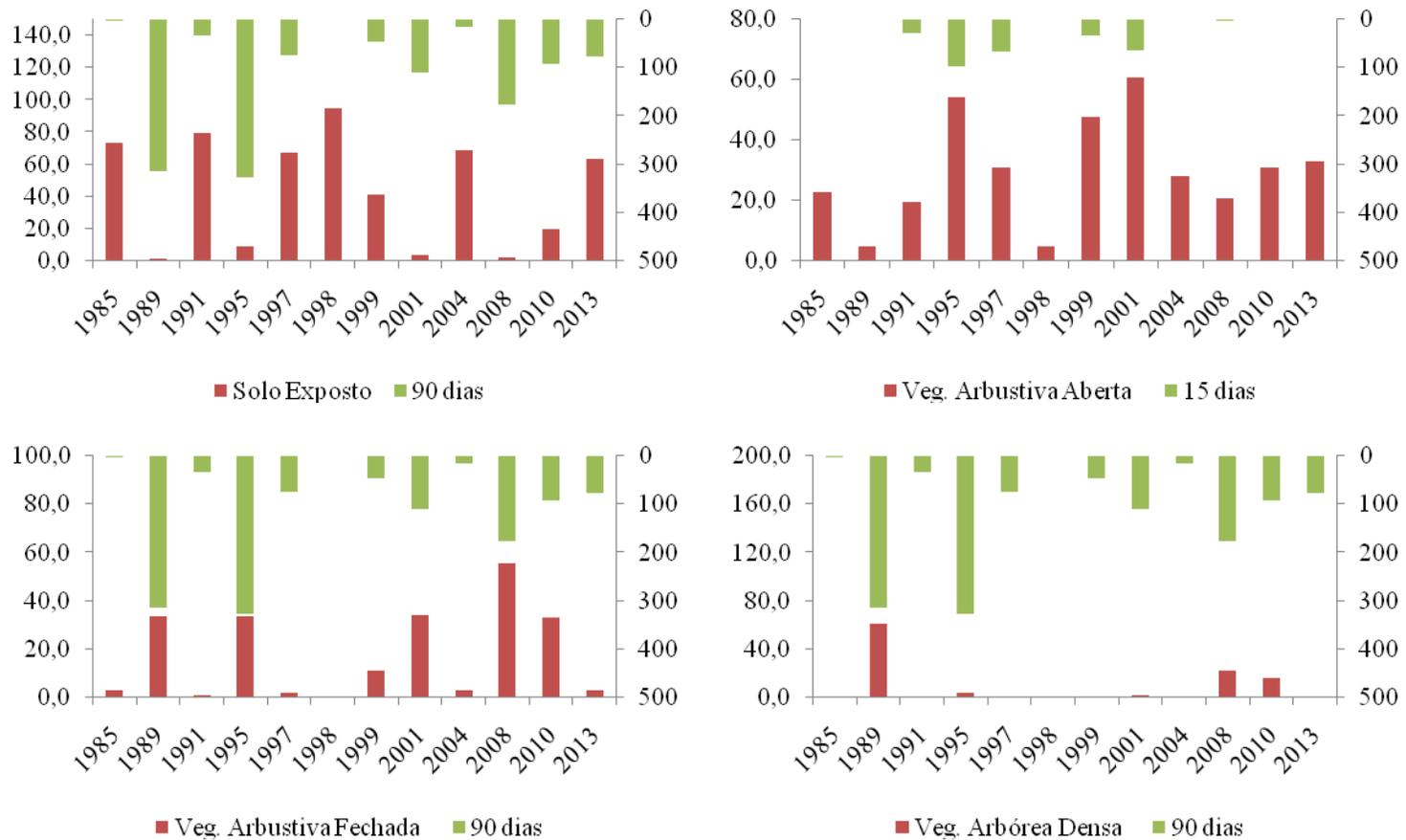
**Figura 23.** Análise Temporal do NDVI e das precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens, considerando as correlações mais representativas.



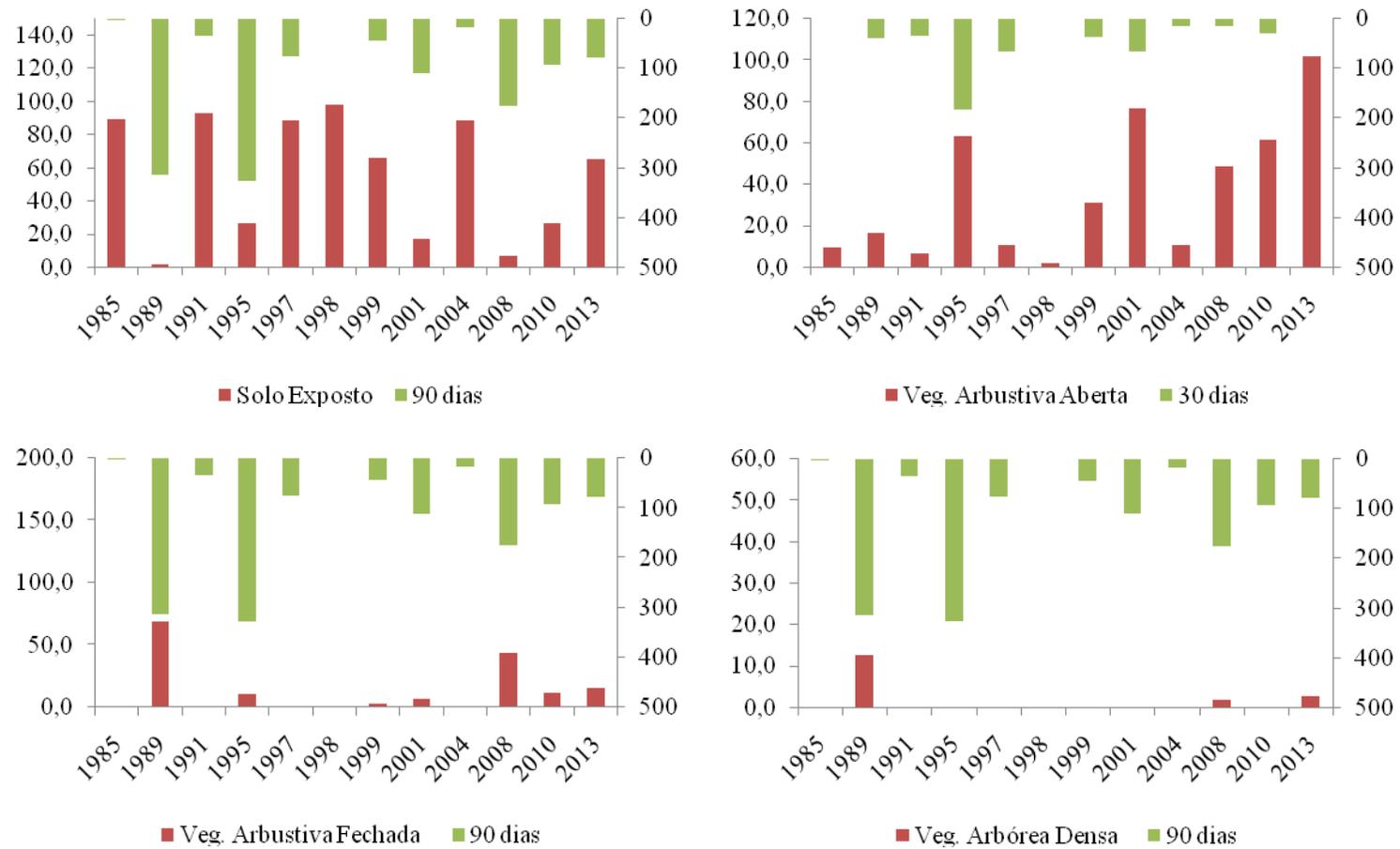
**Figura 24.** Análise Temporal SAVI L=0.1 e das precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens, considerando as correlações mais representativas.



**Figura 25.** Análise Temporal SAVI L=0.5 e das precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens, considerando as correlações mais representativas.



**Figura 26.** Análise Temporal SAVI L=1 e das precipitações antecedentes (mm) em 15 dias, 30 dias, 60 dias e 90 dias às datas das imagens, considerando as correlações mais representativas.



## 7. Conclusões

A utilização de imagens TM - Landsat 5 e OLI – Landsat 8 possibilitaram, ao longo de 24 anos, a elaboração de mapas de vegetação da bacia do Alto Ipanema, semiárido pernambucano.

Através da técnica de quantis classificou-se as precipitações acumuladas nos anos em cinco categorias: Muito Seco; Seco; Normal, Chuvoso; e Muito Chuvoso. As precipitações entre 640,4 mm e 838,4 ocorreram com maior frequência na bacia durante o período estudado, considerando a série histórica entre 1984 e 2013. Essa precipitação contribuiu na dinâmica de vegetação da bacia ao longo dos anos.

Nesse estudo, os índices de vegetação que melhor representaram a dinâmica de vegetação da bacia, foram o NDVI e o SAVI (L=0,5), confirmados pela correlação entre o mapa de uso e cobertura vegetal do ano de 2010 e ambos os índices de vegetação, que apresentaram correlações respectivas de 0,93 e 0,69.

Para esses índices, apesar da bacia apresentar grande percentual de solo exposto em 7 dos 12 anos estudados, não se observou aumento gradativo da classe. Entretanto, no ano de 2013 houve aumento considerável do percentual de área de solo exposto, quando comparado a 2010. Sugerindo assim, degradação da vegetação dessas áreas no ano de 2013.

O ano que apresentou maior percentual de solo exposto foi 1998, com valores percentuais de 95,5% representado no mapa de NDVI e 94,9% no mapa do SAVI (L=0,5).

A área da bacia que mais sofre com a exposição do solo é a região noroeste (nascente), fazendo-se necessárias ações de manejo e proteção ambiental, evitando processos evolutivos e que possam conduzir a degradação permanente da área.

A dinâmica da vegetação na bacia do Alto Ipanema não se dá em função apenas do regime pluviométrico anual da região, variações intra-aneais são relevantes nesse aspecto, em particular das chuvas antecedentes dentro de 90 dias.

## **Considerações Finais**

Outros estudos podem ser desenvolvidos visando investigar possível degradação na bacia do Alto Ipanema, relacionando alguns parâmetros biofísicos com índices de vegetação em avaliações sazonais.

Estudos que priorizem o período seco, relacionados a parâmetros hidrológicos do solo associados aos índices de vegetação e a precipitação poderão auxiliar numa melhor compreensão da dinâmica da vegetação da bacia.

## 8. Referências Bibliográficas

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithm for land (SEBAL) - Advanced training and users Manual. Version 1.0. Idaho, 2002. 97p.

ALMEIDA, H.A.; FREITAS, R.C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis. **Revista de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 217–232, 2013.

AMANAJÁS, J.C.; BRAGA, C.C. Padrões espaço-temporal Pluviométrico na Amazônia Oriental utilizando análise em Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), v. 27, p. 423-434, 2012.

BACKES, K.S. **Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor Modis associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Florestal. 63 f. 2010.

BAUERMANN, G.C. **Uso de imagens de sensores remotos na estimativa de características dendrométricas de povoamentos de eucalipto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. 78p, 2008.

BARBOSA, H.A.; KUMAR, V.L.; SILVA JUNIOR, I.W. Analysis of the NDVI Temporal Dynamics in Semi-arid Ecosystems: Brazilian Caatinga and African Western Sahel. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 02, p. 200-306, 2011.

BEZERRA, J.M.; MOURA, G.B.A.; SILVA, B.B.; LOPES, P.M.O.; SILVA, E.F.F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), v. 18, p. 73-84, 2014.

BIELENKI, C.J.; BARBASSA, A.P. **Geoprocessamento e Recursos Hídricos: Aplicações Práticas**. 1. ed. São Carlos: EDUFSCar, 2012. v. 1, 257p.

BRAGA, C.C.; DANTAS, F.R.C.; NEVES, D.G. Estimativa da cobertura vegetal no setor leste de Pernambuco utilizando dados do AVRHH/NOAA. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, p. 99-107, 2009.

BRITO, J.I.B.; SANTOS, C.A.C. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 303-312, 2007.

CALDAS, A.M. Solos, antropização e morfometria da microbacia do Prata, Recife, PE. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. 134 f., 2007.

CHAGAS, M.G.S.; GALVÍNCIO, J.D.; PIMENTEL, Mendonça, R.M. Avaliação da Dinâmica Espectral da Vegetação de Caatinga em Arcoverde, Pernambuco. **Revista de Geografia**, v. 25, p. 45-60, 2008.

CHANDER, G. MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v, 41, n. 11, 2003.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n. 5, p. 893-903, 2009.

COELHO, A.L.N.; CORREA, W.S.C. Temperatura de superfície celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, p. 31-45, 2013.

COURA, S.M.C. **Mapeamento de vegetação do estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS**. Dissertação (mestrado). São José dos Campos: INPE, 2006, 129p.

CUNHA, J.E.B.L.; RUFINO, I.A.A.; SILVA, B.B.; CHAVES, I.B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, v. 16, p. 539-548, 2012.

DANTAS, F.R.C.; NASCIMENTO, F.C.A.; BRAGA, C.C. Análise comparativa do SAVI sobre regiões da caatinga brasileira obtida por dados remotos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, p. 46-49, 2012.

DEMARCHI, J.C.; PIROLI, E.L.; ZIMBACK, C.R.L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP usando imagens Landsat-5. **Ra'e ga (UFPR)**, v. 21, p. 234-271, 2011.

DUARTE, C.C.; GALVÍNIO, J.D.; CORRÊA, A.C.B.; ARAÚJO, M.S.B. Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Tapacurá- PE. **Revista de Geografia**. v. 24. p. 50 - 64. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

EPIPHANIO, J.C.N.; GLERIANI, J.M.; FORMAGGIO, A.R.; RUDORFF, B.F.T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesq. agrop. bras.**, v.31, n.6, p.445-454, 1996.

FECHINE, J.A.L. & GALVÍNIO, J.D. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada das cidades de Salgueiro, Mirandiba, Carnaubeira da Penha e Floresta, localizadas no Semiárido Pernambucano. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. II, p. 60-67, 2008.

FELTRAN FILHO, A.; LIMA, E.F. Considerações morfométricas da Bacia do Rio Uberabinha- Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, v. 19, p. 65-80, 2007.

FIGUEIREDO, J.V. **Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em caatinga preservada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, 2011, 84 p.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011, 128 p.

FRANCISCO, C.N.; ALMEIDA, C.M. Interpretação de imagens orbitais por meio de sistema especialista para o mapeamento de cobertura da terra em região montanhosa. **Sociedade & Natureza** (UFU. Online), v. 24, p. 283-301, 2012.

FREITAS, J.V.; ROSA, C.M.M.; URBANO, E.; CRUVINEL, E.B.F.; MELO, I.D.F.; CANTO, J.L.; VALGA, R.A. **Brazilian Forest at a glance**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009, 124p.

GALVÍNCIO, J.D.; DANTAS, L.G.; FERNANDES, J.G.; SILVA, J.B.; MOURA, M.S.B.; MACHADO, C.C.C. Análise da temperatura do ar e da superfície no Sítio Boa Felicidade em São José do Sabugi-PB no Semi-Árido do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 26, n. 2, p. 124-141, 2009.

GIONGO, P.R. Mapeamento do balanço de energia e evapotranspiração diária por meio de técnicas de sensoriamento remoto. **Tese** (Doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2011, 122 p.

GIRARD, C.M.; GIRARD, M.C. **Processing of Remote Sensing Data**. Taylor Print on Dema. 2003. 508 p.

GIULIETTI, A.M., DU BOCAGE NETA, A.L., CASTRO, A.A.J.F., GAMARRA-ROJAS, C.F.L., SAMPAIO, E.V.S.B., VIRGÍNIO, J.F., QUEIROZ, L.P., FIGUEIREDO, M.A., RODAL, M.J.N., BARBOSA, M.R.V. & HARLEY, R.M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. **In Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação** (SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T.; LINS, L.V. ORGS.). MMA, UFPE, Conservation International do Brasil, Fundação Biodiversitas, Embrapa Semi-Árido, Brasília, 2004, p.48-131.

GOMES, H.B.; SILVA JUNIOR, R.S.; PACE, F.T.; LIMA, D.K.C.; CASTRO, P.H.; SANTOS, F.B.; CABRAL, S.L.; FERREIRA, R.A. Mapeamento Temático da Cobertura Vegetal na Microrregião do Sertão do São Francisco Alagoano, Utilizando Imagens TM Landsat 5. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 05, p. 1121-1132, 2012.

GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J.; LUIZ, A.J.B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**. V. 25, p. 295-309, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 01 out. 2011.

IZIPPATO, F.J.; PIRES, E.V.R.; SILVA, R.A.; MIRANDOLA, P.H. Análise ambiental no sistema bacia hidrográfica do Córrego Rio Branco com fins de planejamento ambiental com uso de geotecnologias (1985/2011) Três Lagoas/MS. **Revista GeoNorte**, v. 01, p. 1180-1194, 2012.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v.11, n.3-4, p.185-200, 1991.

JOSHI, P.C. Performance evaluation of vegetation indices using remotely sensed data. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 2, n. 1, p. 231-240, 2011.

LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. **Ecologia e conservação da caatinga** Recife : Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p.

LIBOS, M. et al. Covariabilidade interanual entre a vegetação e o clima na bacia hidrográfica do rio Cuiabá - MT. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE. Natal, 4739-4746, 2009.

LIRA, V.M.; SILVA, B.B.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C.A.V.; FRANCO, E.S. Variação sazonal da cobertura vegetal em áreas do submédio São Francisco a partir de dados NDVI e imagens TM-LANDSAT 5. **Enciclopédia biosfera**, v. 7, p. 1-9, 2011.

MARCUSSI, A.B.; BUENO, C.R.P.; MIQUELONI, D.P.; ARRAES, C.L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Caminhos de Geografia** - Revista online: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>, v. 11, n. 35, 2010, p. 41-53.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.

MIRANDA, J.D.; ARMAS, C.; PADILLA, F.M.; PUGNAIRE, F.I. Climatic change and rainfall patterns: Effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p.1302-1309, 2011.

MIRANDA, J.R.; NASCIMENTO, C.R. Análise de índices espectrais na avaliação de terraceamento em pastagem cultivadas no norte de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17, p. 128-148, 2012.

MONTEIRO, J.B. Chover, mas chover de mansinho: desastres naturais e chuvas extremas no Estado do Ceará. 2011. Ceará: UEC, 2011.199 p. **Dissertação** (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Ceará, 2011.

MONTEIRO, J.B.; ROCHA, A.B.; ZANELLA, M.E. Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): baixo curso do Apodi-Mossoró/RN. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 23, p. 232-249, 2012.

MONTENEGRO, A.A.; MACKAY, R.; MONTENEGRO, S. Coupled unsaturated-saturated modelling of salinization risk in an alluvial irrigated area of north-east Brazil. **Acta Universitatis Carolinae**, v. 46, n.2, p. 593-597, 2002.

MONTENEGRO, A.A.A.; RAGAB, R. Hydrological response of a Brazilian semiarid catchment to different land use and climate change scenarios: modelling study. **Hydrological Processes**, v. 24, p. 2705-2723, 2010.

MOREIRA FILHO, J.C.C. Modelagem geográfica tridimensional na bacia hidrográfica do rio Ipanema, uma comparação entre os métodos de Triangulação e inverso do quadrado da distância com uso de SRTM. **In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2011, Curitiba-PR. São José dos Campos : INPE, 2011. v. XV. p. 1295-1302.

MOTOMIYA, A.V.A.; MOLIN, J.P.; MOTOMIYA, W.R.; BAILO, F.H.R. Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 42, n. 1, p. 112-118, 2012.

NASCIMENTO, R.S.; BRITO, J.I.B. Modelo de Vegetação Potencial para a região nordeste decorrente da precipitação pluvial. **Bragantia** (São Paulo), v. 66, p. 511-519, 2007.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Landsat Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World. 2013. Disponível em: <[http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission\\_details.html](http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html)>. Acesso em: 03 mar 2014.

NICACIO, R.M.; ARAUJO, L.L.; GONZAGA, E.P.; LIBOS, M.I.P.C.; OLIVEIRA, L.M.T. Relação NDVI e precipitação na bacia do rio Coxim-MS. **Geografia**, v. 34, p. 667-680, 2009.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed., São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 387p.

OLIVEIRA, T.H.; GALVÍNCIO, J.D. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó – PE usando sensoriamento remoto termal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 30-49, 2008.

PEREIRA, G; TAKEDA, M.M.G.; SHIMABUKURO, Y.O.E.; CARDOZO, F.S.; SILVA, G.B.S.; MORAES, E.C.; SILVA, F.B.; COURA, S.M.C. The use of remote sensing products for environmental analysis in the South America. **Revista Ambiente & Água**, v. 5, p. 157-171, 2010.

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area**. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966. (Hidrology papers, n. 12).

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. v. 1, 176p.

RÊGO, S.C.A.; LIMA, P.P.S.; LIMA, M.N.S; MONTEIRO, T.R.R.; SOUZA, B.I. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no Município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista GeoNorte (UFAM)**, v. 1, p. 1217-1229, 2012.

ROCHA, P.C. Indicadores de Alteração Hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações na Dinâmica do Ambiente Fluvial. **Sociedade & Natureza**, n. 22, v. 1, p. 191-211, 2010.

RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.M.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, B.B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 452-465, 2009.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2009, 264 p.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. and DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In: 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I**, 309–317, 1973.

SANTOS, A.M.; GALVÍNCIO, J.D. Mudanças climáticas e cenários de susceptibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.13, p. 66-83, 2013.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 871-880, 2012.

SILVA, L.G.; GALVÍNCIO, J.D. Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 1446-1456, 2012.

SILVA, J.J.N.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, E.F.F.; FONTES JUNIOR, R. V.P.; SILVA, A.PN. Variabilidade espacial de parâmetros de crescimento da mamoneira e de atributos físico-químicos em Neossolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 921-931, 2010.

SILVA, R.A.; PIRES, E.V.R.; IZIPPATO, F.J.; MIRANDOLA, P.H. Geoprocessamento aplicado a análise do uso e ocupação da terra e APPs de nascentes no rio Indáia Grande Chapadão do Sul/Cassilândia/Inocência (MS). **Revista Geo Norte**, v. 2, p. 1497-1508, 2012.

SILVA JUNIOR, V.P.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, T.P.N.; GUERRA, S.; SANTOS, E.S. Produção de água e sedimentos em bacia representativa do semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Impresso), v. 15, p. 1073-1081, 2011.

TEIXEIRA, A.C.O. Alterações no uso da terra das bacias do baixo rio de contas e Gongogi e regime hidrológico do rio Gongogi – BA. **Dissertação** (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA. 2009. 120p.

VAEZA, R.F.; MAIA, A.G.; OLIVEIRA FILHO, P.C. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, p. 23-29, 2010.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975, 245p.

XAVIER, T. de M. B. S. **Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional**. Fortaleza: ABC Editora, 2001.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S. Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil, **Revista Brasileira de Engenharia** - Caderno de Recursos Hídricos, v. 5, n. 2, p. 7-31, 1987.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S. Caracterização de Períodos Secos ou Excessivamente Chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n.2, p. 63-78, 1999.

## Apêndices

**Apêndice 1.** Dados da Imagem - Sensor TM – Satélite Landsat 5, órbita/ponto, das datas estudadas.

Data de Passagem	29/09/2010	23/09/2008	17/12/2004	22/10/2001	17/10/1999	01/12/1998	27/10/1997	09/12/1995
Revolução	41373	30654	10616	93841	83122	78462	72637	62615
Latitude Norte	-7.77298	-7.77311	-7.7782	-7.75552	-7.7652	-7.75656	-7.75708	-7.75715
Longitude Oeste	-37.8021	-37.7853	-37.8023	-37.815	-37.8377	-37.7538	-37.759	-37.7797
Latitude Sul	-9.58062	-9.58094	-9.57569	-9.59823	-9.58843	-9.59688	-9.5966	-9.59637
Longitude Leste	-36.4191	-36.4101	-36.4244	-36.4379	-36.4554	-36.372	-36.3866	-36.409
Tempo Central(GMT)	12:25:44	12:20:27	12:21:22	12:15:30	12:12:14	12:14:37	12:09:13	11:36:16
Orientação da Imagem	8.19998	8.19998	8.19998	8.19998	8.19998	8.19998	8.19998	8.19998
Ângulo Nadir	0	0	0	0	0	0	0	0
Azimute Sol	78.5999	75.3687	120.471	97.0756	92.9746	117.716	100.435	114.761
Elevação do Sol	61.6167	59.3244	57.5121	61.4562	60.3887	58.2431	60.0261	48.691

**Apêndice 2.** Estatística descritiva anual dos índices de vegetação na bacia do Alto Ipanema.

<b>Estatística Descritiva</b>	<b>1995</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2001</b>	<b>2004</b>	<b>2008</b>	<b>2010</b>	<b>2013</b>
<b>NDVI</b>									
<b>Mínimo</b>	-0,608	-0,487	-0,535	-0,370	-0,695	-0,989	-0,989	-0,961	-0,587
<b>Máximo</b>	0,772	0,714	0,794	0,740	0,961	0,795	0,805	0,789	0,819
<b>Média</b>	0,465	0,323	0,224	0,364	0,481	0,327	0,597	0,513	0,376
<b>Desvio Padrão</b>	0,110	0,083	0,065	0,101	0,089	0,089	0,113	0,114	0,094
<b>CV(%)</b>	23,67	25,80	29,04	27,82	18,46	27,10	18,95	22,13	24,90
<b>SAVI 0.1</b>									
<b>Mínimo</b>	-0,316	-0,227	-0,256	-0,324	-0,388	-0,361	-0,406	-0,382	-0,350
<b>Máximo</b>	0,696	0,638	0,673	0,682	0,737	0,716	0,736	0,724	0,765
<b>Média</b>	0,394	0,268	0,189	0,311	0,405	0,272	0,499	0,421	0,320
<b>Desvio Padrão</b>	0,090	0,079	0,051	0,083	0,072	0,070	0,095	0,092	0,077
<b>CV(%)</b>	22,91	29,44	26,97	26,80	17,88	25,90	18,99	21,84	23,97
<b>SAVI 0.5</b>									
<b>Mínimo</b>	-0,157	-0,117	-0,164	-0,245	-0,185	-0,181	-0,191	-0,217	-0,168
<b>Máximo</b>	0,574	0,527	0,552	0,563	0,626	0,596	0,606	0,604	0,653
<b>Média</b>	0,282	0,186	0,136	0,224	0,286	0,190	0,350	0,287	0,231
<b>Desvio Padrão</b>	0,063	0,048	0,034	0,058	0,051	0,048	0,069	0,066	0,055
<b>CV(%)</b>	22,28	25,59	25,26	26,04	17,82	25,21	19,87	22,86	23,94
<b>SAVI 1</b>									
<b>Mínimo</b>	-0,116	-0,095	-0,146	-0,209	-0,169	-0,135	-0,140	-0,167	-0,124
<b>Máximo</b>	0,512	0,470	0,491	0,503	0,567	0,542	0,544	0,542	0,600
<b>Média</b>	0,236	0,154	0,115	0,189	0,238	0,158	0,290	0,236	0,195
<b>Desvio Padrão</b>	0,052	0,040	0,029	0,049	0,043	0,040	0,059	0,056	0,048
<b>CV(%)</b>	22,25	26,08	25,25	26,08	18,06	25,34	20,47	23,52	24,54

SE = solo exposto; VAA = vegetação arbustiva aberta; VAF = vegetação arbustiva fechada; VAD = vegetação arbórea densa.

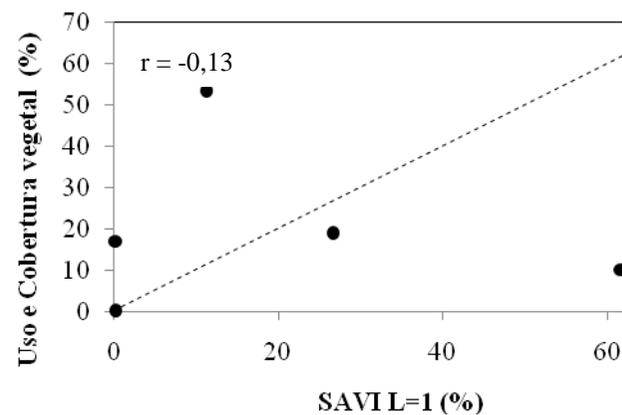
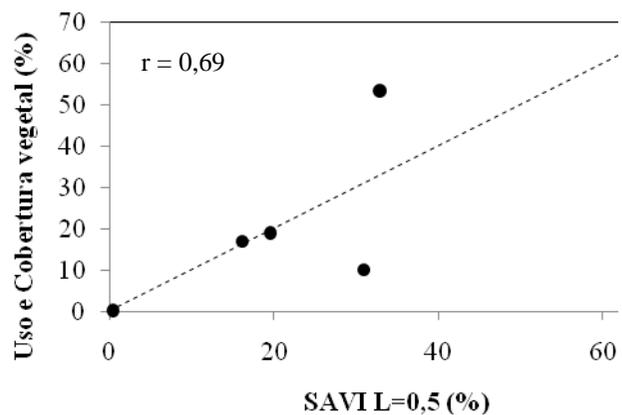
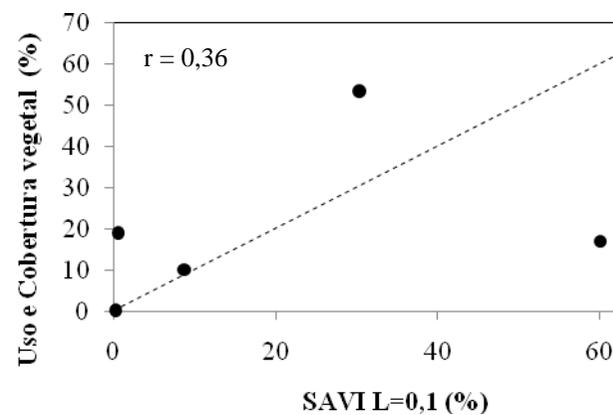
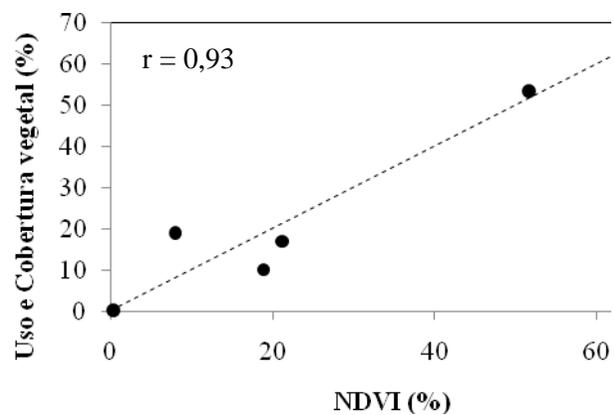
**Apêndice 3.** Percentual e área (km<sup>2</sup>) das classes de uso e cobertura vegetal, por meio de índices de vegetação, que compõem a bacia do Alto Ipanema.

Classes	1985		1989		1991		1995		1997		1998		1999		2001		2004		2008		2010		2013	
	%	Km <sup>2</sup>																						
<b>NDVI</b>																								
CA	0,2	0,4	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,6	0,0	0,1
SE	74,2	137,7	1,0	1,9	83,2	154,4	16,9	31,3	68,8	127,7	95,5	177,3	49,4	91,7	8,3	15,3	69,8	129,6	2,1	3,9	8,0	14,8	48,6	90,2
VAA	18,1	33,5	2,3	4,3	13,9	25,7	30,0	55,7	24,3	45,0	3,2	5,9	32,0	59,3	25,7	47,7	22,0	40,8	8,3	15,4	18,9	35,1	34,8	64,6
VAF	6,1	11,3	16,7	31,0	2,9	5,4	42,0	77,9	6,3	11,6	1,1	2,0	16,6	30,9	59,9	111,3	7,0	12,9	34,4	63,9	51,6	95,8	13,6	25,2
VAD	1,4	2,7	79,7	147,9	0,0	0,1	11,2	20,7	0,4	0,8	0,2	0,3	2,0	3,7	6,0	11,1	1,0	1,8	54,8	101,8	21,2	39,3	2,9	5,5
<b>SAVI 0.1</b>																								
CA	0,2	0,4	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,5	0,0	0,1
SE	8,2	15,2	0,2	0,4	13,0	24,2	1,1	2,1	12,2	22,6	73,7	136,9	6,9	12,7	0,5	1,0	9,3	17,2	0,3	0,6	0,6	1,1	35,3	65,5
VAA	70,0	130,0	0,9	1,6	72,0	133,6	15,2	28,2	61,1	113,5	22,4	41,7	45,0	83,5	7,2	13,4	65,5	121,6	2,0	3,7	8,7	16,1	54,8	101,8
VAF	16,4	30,4	3,1	5,7	13,3	24,7	37,6	69,7	22,4	41,7	3,0	5,5	33,6	62,3	38,8	72,0	19,8	36,7	12,2	22,7	30,4	56,3	8,3	15,5
VAD	5,2	9,6	95,6	177,5	1,6	3,0	46,1	85,6	3,9	7,3	0,7	1,4	14,6	27,0	53,3	99,0	5,2	9,6	85,1	158,0	60,1	111,5	1,5	2,8
<b>SAVI 0.5</b>																								
CA	0,2	0,4	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,4	0,8	0,0	0,1
SE	73,4	136,3	0,8	1,5	79,5	147,5	9,0	16,7	66,8	124,0	94,9	176,2	41,0	76,2	3,8	7,0	68,6	127,4	1,7	3,1	19,6	36,4	63,6	118,0
VAA	22,9	42,5	4,6	8,6	19,5	36,2	54,2	100,7	30,8	57,2	4,6	8,5	47,7	88,5	60,6	112,5	27,9	51,8	20,6	38,2	31,0	57,5	33,1	61,3
VAF	2,9	5,4	33,7	62,5	1,0	1,8	33,5	62,3	2,0	3,7	0,4	0,8	10,8	20,1	34,1	63,3	3,0	5,5	55,5	103,0	32,9	61,0	3,0	5,6
VAD	0,5	1,0	60,6	112,6	0,0	0,0	3,2	5,9	0,1	0,2	0,0	0,0	0,4	0,8	1,4	2,7	0,2	0,4	22,0	40,8	16,2	30,0	0,3	0,5
<b>SAVI 1</b>																								
CA	0,2	0,4	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,5	0,0	0,1
SE	89,2	165,6	1,7	3,1	93,2	173,0	26,1	48,4	88,5	164,2	98,1	182,2	66,2	123,0	16,6	30,8	88,2	163,7	6,4	11,8	26,7	49,5	0,6	1,1

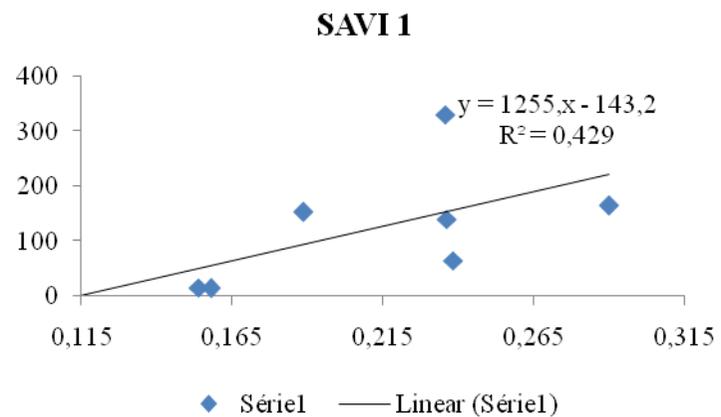
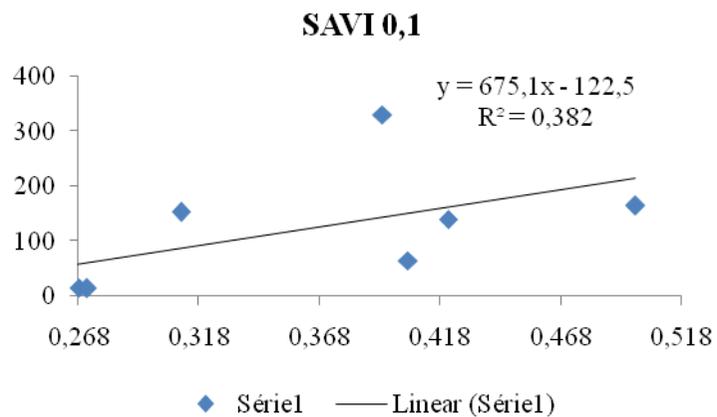
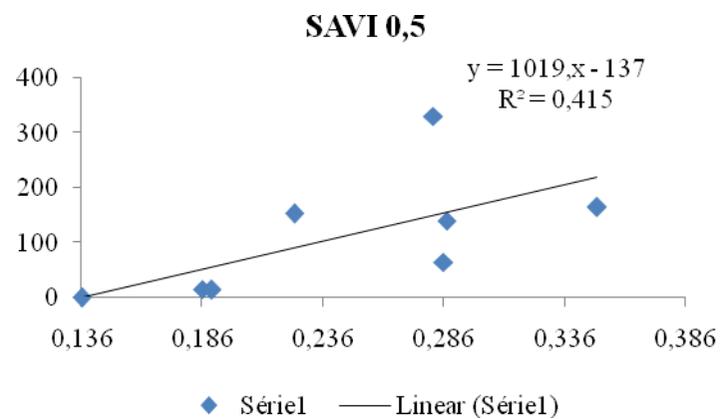
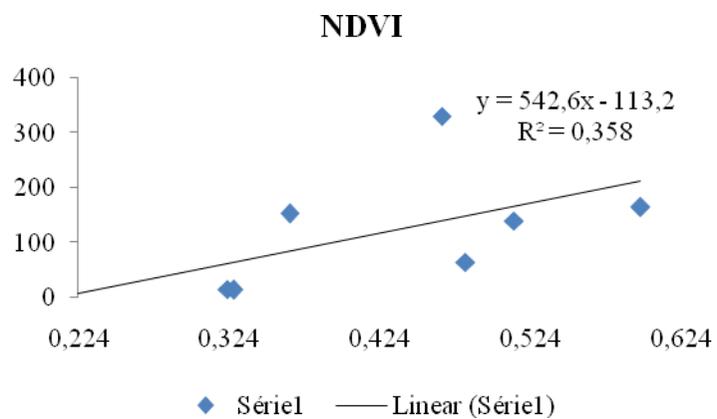
VAA	9,3	17,2	16,6	30,7	6,7	12,4	63,0	116,9	10,9	20,2	1,7	3,1	31,1	57,7	76,4	141,9	10,8	20,1	48,6	90,1	61,5	114,2	49,7	92,3
VAF	1,2	2,3	68,8	127,8	0,1	0,2	10,8	20,0	0,4	0,7	0,1	0,1	2,6	4,9	6,8	12,6	0,7	1,3	43,1	80,0	11,3	21,0	37,1	68,9
VAD	0,0	0,0	12,7	23,5	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	1,7	3,1	0,2	0,3	12,5	23,2

SE = solo exposto; VAA = vegetação arbustiva aberta; VAF = vegetação arbustiva fechada; VAD = vegetação arbórea densa.

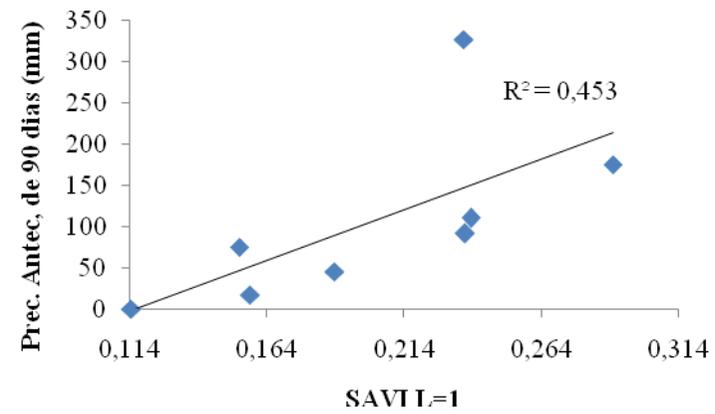
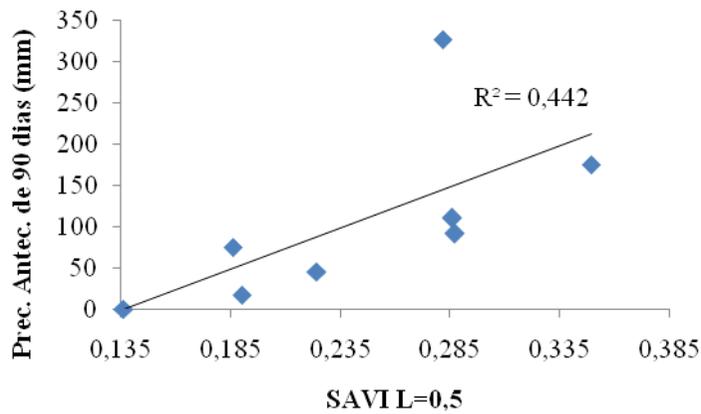
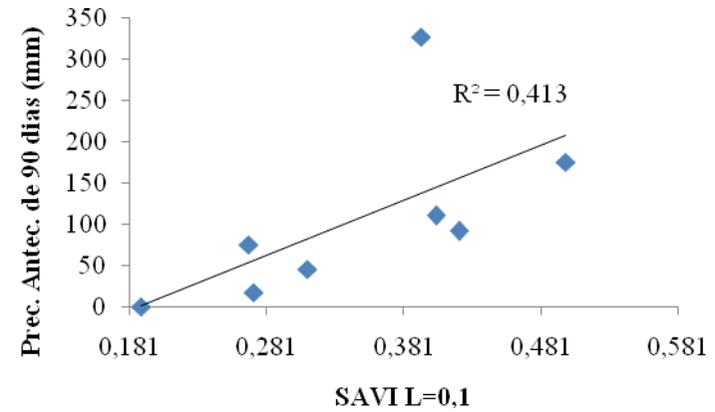
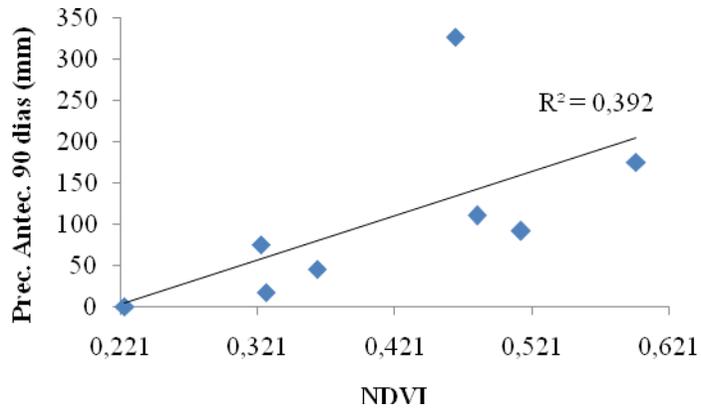
**Apêndice 4.** Correlação entre a percentagem de área ocupada pelas classes do mapa de uso e cobertura vegetal e os índices de vegetação para a imagem de 29/09/2010, na bacia do Alto Ipanema.



**Apêndice 5.** Regressão entre as médias dos índices de vegetação e a precipitação anual (mm) na bacia do Alto Ipanema.



**Apêndice 6.** Regressão linear entre as médias dos índices de vegetação e a precipitação acumulada (mm) antecedente às datas das imagens em 90 dias na bacia do Alto Ipanema.



**Apêndice 7.** Classificação de cada ano da série histórica utilizada, de acordo com os valores estabelecidos para cada classe quantílica.

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total Anual	Classificação
1984	9,6	21,6	39,6	408,6	158,7	27,5	103,5	73,1	23,2	21,0	84,4	0,0	970,8	CHUVOSO
1985	26,0	264,8	142,4	266,1	14,7	99,2	105,5	55,5	2,0	1,4	0,0	8,3	985,9	CHUVOSO
1986	30,3	60,6	252,7	90,1	113,2	63,9	94,3	31,4	76,0	3,6	9,2	14,9	840,2	CHUVOSO
1987	3,1	15,3	216,3	118,8	23,9	106,3	54,1	19,8	3,4	11,4	0,0	0,0	572,4	SECO
1988	4,2	101,5	154,9	136,4	39,7	54,4	133,0	14,6	14,3	8,4	35,0	32,6	729,0	NORMAL
1989	0,5	0,0	54,0	177,8	265,4	158,5	128,9	40,3	32,7	16,1	0,0	0,0	874,2	CHUVOSO
1990	0,0	66,0	51,4	0,0	39,6	43,6	0,0	44,6	8,4	0,0	0,0	0,0	253,6	MUITO SECO
1991	0,0	73,0	26,4	38,6	66,0	50,4	39,2	29,8	0,0	0,0	34,6	0,0	358,0	MUITO SECO
1992	211,6	115,0	68,2	31,8	0,0	44,4	63,0	84,2	18,4	0,0	0,0	0,0	636,6	SECO
1993	6,5	0,0	0,0	6,0	36,5	34,0	32,0	32,5	0,0	111,0	0,0	23,4	281,9	MUITO SECO
1994	157,4	84,8	52,2	72,2	102,1	51,7	25,9	30,9	2,5	2,6	2,9	32,3	617,5	SECO
1995	38,8	176,3	96,6	74,0	37,4	63,1	9,1	6,0	0,0	140,8	178,8	10,2	831,1	NORMAL
1996	19,1	3,4	17,4	181,6	165,7	49,3	41,4	38,5	0,0	7,1	16,7	1,8	542,0	SECO
1997	74,3	27,9	200,0	39,0	122,4	41,3	59,7	37,8	0,8	0,5	14,8	66,8	685,3	NORMAL
1998	61,1	0,0	18,9	43,9	6,1	34,6	32,0	31,8	0,0	0,0	0,0	0,0	228,4	MUITO SECO
1999	6,0	14,0	97,4	0,0	45,4	31,0	60,8	11,3	6,6	35,7	81,6	35,4	425,2	SECO
2000	134,0	74,0	54,0	110,0	22,0	66,9	63,2	57,2	58,3	9,8	24,4	67,8	741,6	NORMAL
2001	0,0	184,6	104,2	120,3	0,0	222,5	126,0	37,0	0,0	65,0	0,0	0,0	859,6	CHUVOSO
2002	193,5	101,0	181,0	52,0	59,5	114,5	44,0	31,0	6,0	0,0	4,0	26,5	813,0	NORMAL
2003	26,5	75,5	59,5	30,0	52,5	46,0	45,0	4,5	23,5	16,5	14,0	0,0	393,5	MUITO SECO
2004	141,0	208,0	128,0	61,5	92,5	232,0	95,5	90,0	11,0	0,0	14,0	0,0	1073,5	MUITO CHUVOSO
2005	127,5	0,0	189,7	34,9	122,8	124,8	35,8	130,0	0,0	0,0	0,0	122,0	887,5	CHUVOSO

<b>2006</b>	0,0	47,0	184,0	177,5	82,5	158,5	69,5	32,0	47,0	0,0	6,0	0,0	804,0	NORMAL
<b>2007</b>	0,0	134,8	234,6	66,4	72,8	157,4	53,4	99,9	37,9	3,7	9,4	18,8	889,1	CHUVOSO
<b>2008</b>	0,0	88,4	163,1	101,8	154,3	54,5	107,0	46,8	12,4	5,7	0,0	21,2	755,2	NORMAL
<b>2009</b>	83,0	89,3	122,0	305,0	230,7	105,7	80,5	97,7	2,3	6,1	4,8	36,1	1163,2	MUITO CHUVOSO
<b>2010</b>	143,3	90,1	66,6	0,0	34,7	210,6	53,5	47,7	38,5	62,1	0,0	29,6	776,7	NORMAL
<b>2011</b>	146,1	53,0	29,3	82,6	161,0	113,2	128,8	36,4	37,5	49,0	17,0	0,0	853,9	CHUVOSO
<b>2012</b>	96,0	40,0	0,0	20,2	17,5	55,5	60,0	41,0	4,0	0,0	7,9	46,0	388,1	MUITO SECO
<b>2013</b>	10,0	0,0	150,0	122,0	37,0	67,0	169,0	30,0	0,0	78,0	0,0	50,0	713,0	NORMAL

**Apêndice 8.** Precipitação mensal média (mm) e acumulada (mm) nos anos correspondentes às datas das imagens de satélite e respectivas categorias de precipitação acumulada no ano (mm).

<b>Ano</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Precipitação Acumulada (mm)</b>	<b>Classificação</b>
<b>1985</b>	26,0	264,8	142,4	266,1	14,7	99,2	105,5	55,5	2,0	1,4	0,0	8,3	985,9	CHUVOSO
<b>1989</b>	0,5	0,0	54,0	177,8	265,4	158,5	128,9	40,3	32,7	16,1	0,0	0,0	874,2	CHUVOSO
<b>1991</b>	0,0	73,0	26,4	38,6	66,0	50,4	39,2	29,8	0,0	0,0	34,6	0,0	358,0	MUITO SECO
<b>1995</b>	38,8	176,3	96,6	74,0	37,4	63,1	9,1	6,0	0,0	140,8	178,8	10,2	831,1	NORMAL
<b>1997</b>	74,3	27,9	200,0	39,0	122,4	41,3	59,7	37,8	0,8	0,5	14,8	66,8	685,3	NORMAL
<b>1998</b>	61,1	0,0	18,9	43,9	6,1	34,6	32,0	31,8	0,0	0,0	0,0	0,0	228,4	MUITO SECO
<b>1999</b>	6,0	14,0	97,4	0,0	45,4	31,0	60,8	11,3	6,6	35,7	81,6	35,4	425,2	SECO
<b>2001</b>	0,0	184,6	104,2	120,3	0,0	222,5	126,0	37,0	0,0	65,0	0,0	0,0	859,6	CHUVOSO
<b>2004</b>	141,0	208,0	128,0	61,5	92,5	232,0	95,5	90,0	11,0	0,0	14,0	0,0	1073,5	MUITO CHUVOSO
<b>2008</b>	0,0	88,4	163,1	101,8	154,3	54,5	107,0	46,8	12,4	5,7	0,0	21,2	755,2	NORMAL
<b>2010</b>	143,3	90,1	66,6	0,0	34,7	210,6	53,5	47,7	38,5	62,1	0,0	29,6	776,7	NORMAL
<b>2013</b>	10	0	150	122	37	67	169	30	0	78	0	50	713,0	NORMAL