



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

LUCIANA MAYLA DE AQUINO FRANÇA

**IMPACTO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS E DO CLIMA NO USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ**

**RECIFE
2017**

LUCIANA MAYLA DE AQUINO FRANÇA

**IMPACTO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS E DO CLIMA NO USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Josiclêda Domiciano Galvêncio

Coorientadora: Valéria Sandra de Oliveira
Costa

**RECIFE
2017**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262

F814i França, Luciana Mayla de Aquino.
Impacto das ações antrópicas e do clima no uso e ocupação do solo na
Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú / Luciana Mayla de Aquino França. –
2017.

78 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profª. Drª. Josiclêda Domiciano Galvêncio.

Coorientadora: Profª. Drª. Valéria Sandra de Oliveira Costa

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente,
Recife, 2017.

Inclui Referências.

1. Meio ambiente. 2. Solos – Degradação. 3. Bacias hidrográficas. 4.
Solos – Umidade – Medição. 5. Solo – Uso. 6. Meteorologia. I. Galvêncio,
Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Costa, Valéria Sandra de Oliveira
(Coorientadora). III. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2017-159)

LUCIANA MAYLA DE AQUINO FRANÇA

**IMPACTOS DAS AÇÕES ANTRÓPICAS E DO CLIMA NO USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Aprovada em: 22 / 02 / 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Josicleda Dominiano Galvínio (Orientadora)
Departamento de Ciências Geográficas – UFPE

Prof. Dr^a. Weronica Meira de Souza
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Dr^a. Magna Soelma Bezerra de Moura
Embrapa-Semiárido

Dr^a. Zilurdes Fonseca Lopes
Agência Pernambucana de Águas e Cima - APAC

“A minha família,

Por todo incentivo e apoio ao longo desta jornada...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda a oportunidade que me foi dada ao longo da vida.

Aos meus pais, Luciano França e Maria do Socorro, e ao meu irmão Luciano Bruno, por todo o auxílio, amor e dedicação me dados ao longo da vida que foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

Aos amigos que me acompanham desde a graduação, em especial a Taynã Lins, Juliane Sales, Alcione Santana, Caio Cesar, Rodrigo Oliveira e Bruno Silva pela amizade, carinho e momentos de descontração, por todo o conhecimento e aprendizado compartilhado, ajuda nos momentos difíceis e compreensão nos momentos de apreensão durante a elaboração desta pesquisa.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – SERGEO, em especial a Ygor Cristiano, Rodrigo Miranda, Pedro Paulo, Viviane Gomes, Pedro Ferreira, Wladimir Queiroz e Jadson Freire, por me auxiliarem nos momentos de dúvidas e pela disposição em compartilhar conhecimento.

À Rodrigo Miranda pelos ensinamentos, conselhos e disponibilidade em ajudar sempre que eu precisasse.

À Professora Josiclêda Domiciano Galvêncio pelos momentos de dedicação, orientação e ensinamentos compartilhados ao longo da minha vida acadêmica.

À Valéria Costa pela dedicação, compreensão e paciência a mim dedicadas durante a elaboração desta pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pós-graduação

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, indireta ou diretamente.

RESUMO

Desde o início da ocupação humana sob a terra as bacias hidrográficas são as regiões que mais favorecem o desenvolvimento humano, principalmente em áreas semiáridas, onde ficar próximo ao rio era questão de sobrevivência. Com isso e a intensificação de fatores climáticos, o uso e ocupação do solo dessas áreas tem sofrido grandes mudanças. Neste sentido, o objetivo desde estudo é analisar como os impactos das ações antrópicas e do clima vem afetando a dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú. Para isso, foram utilizadas imagens do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA, referente ao produto MCD12Q1 para o período compreendido entre os anos de 2001 e 2013 para a realização de treze mapas de uso e ocupação do solo de forma a realizar uma análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo na área de estudo. Para o estudo climático, foram utilizados dados anuais de 8 estações meteorológicas no período de 1998 a 2013, para estimar o índice de anomalia de precipitação. Os resultados apontam que ao longo dos anos ocorreram mudanças principalmente referentes a diminuição de cobertura vegetal densa e aumento de áreas sem vegetação, bem como diminuição de terras férteis e aumento de áreas de vegetação seca. O Índice de Anomalia de Chuva-IAC mostra que a precipitação é fator fundamental para a análise da variação espacial e temporal do uso e ocupação do solo em áreas semiáridas. Com relação a correlação, não foram encontrados valores significantes estatisticamente para a comparação entre uso e ocupação do solo e índice de anomalia de chuva, porém para a classe vegetação arbustiva aberta foi encontrado valor de r de -4.888.

Palavras chave: Semiárido. Análise temporal. Índice de Anomalia de Chuva. Imagens MODIS.

ABSTRACT

Since the beginning of human occupation under ground river basins are the regions that most favours human development, especially in semi-arid areas, where to stay near the River was a matter of survival. With that and the intensification of climatic factors, use and soil occupation of these areas has undergone major changes. In this sense, the objective since study is to analyze how the impacts anthropogenic and climate actions comes affecting the dynamics of the use and occupation of the ground in the catchment area of the river Pajeú. For this, we used images from the MODIS sensor aboard the TERRA satellite, for the MCD12Q1 product to the period between the years of 2001 and 2013 for the implementation 13 maps of soil use and occupation in order to achieve a spatio-temporal analysis of the use and occupation of the soil in the study area. For climate study, monthly data were used 8 seasons weather in 1998 to 2013 period, to estimate the index of precipitation anomaly. The results show that over the years occurred changes mainly related to the decrease of dense vegetation cover and increased areas without vegetation, as well as decrease of fertile lands and increase areas of dry vegetation. The Rain Anomaly index-IAC shows that precipitation is factor central to the analysis of spatial and temporal variability of use and occupation of the soil in semi-arid areas. In relation to the correlation, no significant values were found statistically for the comparison between usage and occupation of the soil and the index of rainfall anomaly, but for the open Bush vegetation class was found value of $R=4,888$.

Key words: Semi-arid. Temporal analysis. Rainfall anomaly index. MODIS image.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú.....	26
Figura 2 - Altimetria da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.....	27
Figura 3 - Vegetação da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.....	28
Figura 4 - Precipitação mensal no período 1965-2013.....	29
Figura 5 - Mapa de solos para a bacia hidrográfica do Rio Pajeú-PE.....	30
Figura 6 – Modelo de processamento elaborado no software ArcGis.....	33
Figura 7 – Fisionomias predominantes de acordo com o International Geosphere-Biosphere Programme (IBGP) na bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.....	36
Figura 8 - Representação em porcentagem da classe caatinga arbustiva fechada.....	38
Figura 9 - Representação em porcentagem da classe caatinga arbustiva aberta.....	39
Figura 10 – Representação em porcentagem da classe caatinga arborizada.....	40
Figura 11 - Representação em porcentagem da classe caatinga gramíneo-lenhosa.....	41
Figura 12 - Representação em porcentagem da classe área urbana/construções.....	41
Figura 13 – Representação em porcentagem da classe irrigação e/ou terra fértil.....	42
Figura 14 - Distribuição das classes de uso e ocupação do solo.....	43
Figura 15 - Porcentagem de aumento/diminuição por tipo de uso e ocupação do solo 2001-2013.....	44
Figura 16 – Alterações ano a ano na porcentagem de cada classe de uso e ocupação do solo.....	44
Figura 17 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2001.....	45
Figura 18 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2002.....	46
Figura 19 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2003.....	47
Figura 20 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2004.....	48
Figura 21 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2005.....	49
Figura 22 - Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2006.....	50
Figura 23 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2007.....	51
Figura 24 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2008.....	52
Figura 25 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2009.....	53
Figura 26 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2010.....	54

Figura 27 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2011.....	55
Figura 28 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2012.....	56
Figura 29 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2013.....	57
Figura 30 – Índice de anomalia de chuva para a estação Afogados da Ingazeira.....	60
Figura 31 – Índice de anomalia de chuva para a estação Floresta.....	61
Figura 32 – Índice de anomalia de chuva para a estação Igaraci.....	63
Figura 33 – Índice de anomalia de chuva para a estação Itapetim.....	64
Figura 34 – Índice de anomalia de chuva para a estação São Jose do Egito.....	66
Figura 35 – Índice de anomalia de chuva para a estação Serra Talhada.....	67
Figura 36 – Índice de anomalia de chuva para a estação Triunfo.....	69
Figura 37 – Índice de anomalia de chuva para a estação Tuparetama.....	70
Figura 38 – Dispersão dos dados entre uso e ocupação do solo e índice de anomalia de chuva.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Descrição das camadas do produto MODIS Land Cover Type product (MDC12Q1).....	32
Tabela 2- Descrição da banda Land Cover Type 1, IGBP.....	32
Tabela 3- Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva - IAC.....	34
Tabela 4 – Porcentagens anuais e índice de correlação entre uso do solo e precipitação.....	58
Tabela 5 – Meses secos e úmidos para a estação Afogados da Ingazeira.....	60
Tabela 6 – Meses secos e úmidos para a estação Floresta.....	61
Tabela 7 – Meses secos e úmidos para a estação Iguaraci.....	63
Tabela 8 – Meses secos e úmidos para a estação Itapetim.....	64
Tabela 9 – Meses secos e úmidos para a estação São José do Egito.....	66
Tabela 10 – Meses secos e úmidos para a estação Serra talhada.....	67
Tabela 11 – Meses secos e úmidos para a estação Triunfo.....	69
Tabela 12 – Meses secos e úmidos para a estação Tuparetama.....	71
Tabela 13 – Valores de r para a correlação entre IAC e uso e ocupação do solo.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Climas

APP – Área de Preservação Permanente

CCMs – Complexo Convectivo de Mesoescala

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

GLCC – Global Land Cover Characterization

HDF - Hierarchical Data Format

IAC – Índice de anomalia de chuva/precipitação

ISIN - Integerized Sinusoidal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MCD12C1 – Land Cover Type Product

MLCCA – Modis Land Cover Classification Algorithm

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA – National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço).

NEB – Nordeste Brasileiro

SIG – Sistema de Informações Geográficas

VCAS – Vórtices Ciclônico de Ar Superior

VCANs – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
3.1	HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO HUMANA E IMPACTOS INICIAIS.....	17
3.2	ALTERAÇÕES NO USO DO SOLO E SEUS IMPACTOS SOB O REGIME HIDROLÓGICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	18
3.3	PRINCIPAIS SISTEMAS PRODUTORES DE CHUVA NA REGIÃO NORDESTE E BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ.....	20
3.4	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA.....	23
3.5	UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS MODIS PARA ESTUDOS AMBIENTAIS.....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1	CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
4.1.1	Relevo.....	27
4.1.2	Vegetação.....	27
4.1.3	Clima.....	28
4.1.4	Solos.....	30
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
4.2.1	Mapas de uso e ocupação do solo.....	31
4.3	ÍNDICE DE ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO.....	33
4.3.1	Regressão linear.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36

5.1	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	36
5.1.1	Correlação precipitação x uso e ocupação do solo.....	58
5.2	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA.....	59
5.3	CORRELAÇÃO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO X IAC.....	71
6	CONCLUSÕES.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos o homem vem ocupando a superfície do planeta e dominando-a de acordo com as suas necessidades, sendo, os locais mais povoados aqueles que possuíam recursos hídricos ilimitados. Ao longo dos séculos essas ocupações começaram a crescer de forma desordenada, acelerando a taxa de urbanização e causando impactos no ambiente. Segundo Tucci (2002), o desenvolvimento urbano é um processo geográfico, desde que, em muitas cidades, o desenvolvimento ocorre de jusante para montante na bacia e da costa para o interior nas cidades costeiras.

Mudanças no sistema de uso e ocupação do solo vêm ocorrendo com bastante frequência após a revolução industrial, afetando diretamente o comportamento do ciclo hidrológico da bacia e a disponibilidade de água para as necessidades básicas da humanidade.

O homem, a partir da ocupação do espaço geográfico tem influenciado, direta ou indiretamente, alterações no meio ambiente. Talvez, hoje sejam as cidades as formas mais agressivas de alteração do ambiente natural e, conseqüentemente, este local torna-se palco de diferentes impactos ambientais, que muitas vezes trazem consequência para a população. Dentre as alterações no ambiente, citam-se: as alterações no ciclo hidrológico e nas características naturais da drenagem, o que pode acarretar problemas como inundações, assoreamento e erosão (GUERRA; MENDONÇA, 2010; TUCCI, 2002).

No Brasil, país que possui a maior quantidade de água doce do mundo, os recursos hídricos são mal distribuídos, ocorrendo excesso em alguns locais e déficit em outros. Uma das regiões que mais sofre com a falta de água é a Região Nordeste do Brasil, em especial o Semiárido, devido, principalmente, a escassez de água precipitada e as altas temperaturas, que ocasionam grandes índices de evaporação.

No Semiárido, o uso e ocupação do solo podem ser diretamente afetados de diversas formas, sejam elas por fatores humanos, como o desmatamento e pecuária ou ambientais, como as mudanças climáticas. Geralmente, vem ocorrendo o desmatamento de áreas de caatinga para a implantação de agricultura irrigada e pastagens, além disso, devido a baixa precipitação, áreas que antes eram de mata fechada passam a ser de vegetação seca ou descampada.

A bacia hidrográfica do rio Pajeú é a maior do estado, compreendendo cerca de 16% da área, sendo considerado o principal afluente do rio São Francisco, dessa forma, é de grande importância compreender como ocorrem as mudanças no uso do solo em seu entorno. Ao longo

do seu curso, existem diversas barragens que servem para o abastecimento de água para a população e subsistência para as atividades ribeirinhas (APAC, 2016).

Diversos autores vem estudando os impactos das alterações no uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, como Chuerubim e Pavanin (2013) que estudaram as alterações no uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica de Minas Gerais, e Coelho et al. (2014) que estudaram as dinâmicas do uso e ocupação do solo em uma micro bacia hidrográfica do Semiárido pernambucano.

Dessa forma, mostra-se de grande importância o estudo do uso do solo em bacias hidrográficas do Semiárido brasileiro, para que através da compreensão dos fatores que afetam essa dinâmica possam ser formulados meios de desacelerar esse processo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os impactos das ações humanas e da precipitação no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Pajeú-PE.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os diferentes tipos de ocupação do solo e sua variação espaço-temporal;
- Determinar o índice de anomalia de chuva;
- Relacionar o uso e ocupação do solo com a precipitação de áreas semiáridas;
- Relacionar o índice de anomalia de chuva com a variação espaço-temporal do uso e ocupação do solo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO HUMANA E IMPACTOS INICIAIS

A ocupação da espécie humana sob a Terra sempre esteve muito ligada a necessidade de água. Devido a isso, essa ocupação começou a ocorrer dentro das bacias hidrográficas, nas margens dos rios de maior volume de água para que esse recurso pudesse ser utilizado para suprir as necessidades básicas e irrigação de alimentos. Nesse contexto, pode-se destacar a civilização egípcia, que começou a se desenvolver nas margens do rio Nilo, os mesopotâmicos, que se abrigaram nos vales dos rios Tigre e Eufrates, os chineses que se desenvolveram as margens dos rios Yang-Tse e Huang Ho, os hebreus na bacia hidrográfica do rio Jordão e os hindus nas planícies dos rios Indo e Ganges. Com isso, quase nenhum ambiente terrestre escapou das interferências antrópicas.

A água tem fundamental importância para a manutenção da vida no planeta, e, portanto, falar da relevância dos conhecimentos sobre a água, em suas diversas dimensões, é falar da sobrevivência da espécie humana, da conservação e do equilíbrio da biodiversidade e das relações de dependência entre seres vivos e ambientes naturais (BACCI; PATACA, 2008).

Partindo desse princípio, o nordeste do Brasil é a região de ocupação mais antiga do país, onde, de início, a ocupação ocorreu nas formas de vilas e cidades ao longo do litoral. Assim, foi nessa parte litorânea que iniciou os processos de transformação da terra.

Ao longo do século XVI, a região nordestina esteve diretamente ligada a produção canavieira, que foi responsável pelo bom desenvolvimento econômico da região. Em contrapartida, a cultura foi implantada em áreas onde antes predominavam a Mata Atlântica. Dessa cultura veio a necessidade de implantação de meios de transporte e de carga. Surgem nesse momento as áreas de pastagens para a criação de gado. Com o tempo, esse gado começou a ser criado em áreas longínquas, onde o solo não era fértil e o clima pouco favorável à produção agrícola, inserindo dessa forma a degradação do solo ao longo da região. Devido a forma extensiva da produção de gado, sem tomar cuidados necessários com o solo, tornou a pecuária a atividade responsável pelo povoamento do sertão.

Nesse contexto, entra a degradação ambiental no Semiárido brasileiro, tendo seu início com a redução da mata nativa, a Caatinga. Conforme Araújo (2010), a partir do ano de 1635, com o sistema de sesmarias, inicia-se a ocupação no Semiárido exercendo, fundamentalmente, as atividades de agricultura e pecuária extensiva, que fazem uso do desmatamento e queimada, e

do sobrepastejo, dando início ao antropismo na região. As ações antrópicas têm gerado grandes impactos nas paisagens através do intenso processo de substituição das áreas naturais por diversos tipos de uso do solo e da fragmentação das áreas com cobertura florestal (MATSUSHITA; XU; FUKUSHIMA, 2006).

Nessa região a ocupação se deu num contexto de ocupação desordenada. Segundo Silva et al., (2004), a própria forma histórica de agricultura nômade, ou seja, itinerante, desenvolvida no Semiárido, já se constitui num fator de contribuição para a redução da biodiversidade da caatinga, pois os agricultores desmatam, queimam e plantam num período (em torno de dois ou três anos), e mudam para outras áreas repetindo a mesma prática. O processo histórico de ocupação da caatinga teve como principais atividades produtivas a pecuária e a agricultura de subsistência (ANDRADE, 1995; PRADO JÚNIOR, 1981). Com isso, o desmatamento e a degradação da caatinga é tão avançado que é difícil encontrar áreas de mata nativa, ocasionando os processos degradativos que serão analisados ao longo dessa pesquisa.

Com o contato de diversas culturas na colonização regional do Brasil, as ocupações humanas receberam novas influências. Segundo Pádua (2005), as técnicas e relações com os recursos naturais estabelecidas pelas populações nativas foram pouco consideradas, e de acordo com Olic (2003), a degradação ambiental na região nordeste teve início já na época colonial com a derrubada indiscriminada da vegetação florestal nativa para a retirada do pau-brasil.

No contexto moderno a degradação do solo vem ocorrendo através da implantação em larga escala de perímetros irrigados, que precisam do abastecimento constante de água e que vem redirecionando grande parte desse recurso para a sua manutenção.

Dessa forma, a degradação ambiental, cada vez mais presente nos dias atuais, leva-nos a procurar formas, possíveis soluções que faça diminuir ou tentar estabilizar estes processos degradatórios, que causa uma série de danos muitas das vezes irreparáveis ao meio ambiente, devido à ação antrópica e a exploração de forma errônea dos recursos naturais (OLIVA JÚNIOR; SOUZA, 2012).

3.2 ALTERAÇÕES NO USO DO SOLO E SEUS IMPACTOS SOB O REGIME HIDROLÓGICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Frequentemente utilizado na literatura, o termo ‘uso e cobertura da terra’ pode ser dividido em: I) ‘Uso da terra’, que se refere às atividades antropogênicas ou ações imediatas de modificação e conversão de coberturas vegetais, englobando áreas urbanas e rurais, áreas

agrícolas, áreas de preservação permanente (APP), unidades de conservação, entre outras e II) ‘Cobertura da terra’, que diz respeito aos tipos de cobertura vegetal natural de uma determinada área, como, por exemplo, floresta ombrófila, cerrado, caatinga, savanas, tundra, entre outros (DE-SHERBININ, 2002).

No passado, a ocupação do homem na terra era realizada com pouco planejamento, tendo como objetivo o mínimo custo e o máximo benefício de seus usuários, sem maior preocupação com o meio ambiente. Com o crescimento demográfico, especialmente das áreas urbanas e da intensificação das atividades humanas, tais como a industrialização, a agropecuária, a extração de minérios, a construção de obras hidráulicas e outras ações degradadoras, os recursos naturais tem se deteriorado. Cada um desses usos em conjunto, através das pressões impostas no sistema solo-vegetação-água resultam em impactos (TUCCI, 1987). Segundo a Agenda 21 (1992), na medida em que as populações e as atividades econômicas crescem, muitos países estão atingindo rapidamente condições de escassez de água ou se defrontando com limites para o desenvolvimento econômico.

Em regiões semiáridas as alterações no uso e ocupação do solo são constantes e podem ocorrer de diversas formas, sendo as principais a substituição da vegetação nativa por outros tipos de culturas, por pastagens, ou devido as intempéries climáticas.

Para Setti et al. (2001) os problemas de escassez hídrica no Brasil decorrem, fundamentalmente, da combinação entre o crescimento exagerado das demandas localizadas e da degradação da qualidade das águas. Esse quadro é consequência dos desordenados processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola. Sendo da agricultura a maior demanda por água no país, especialmente a irrigação, com quase 69% da demanda das vazões efetivamente consumidas (ANA, 2005; SETTI et al., 2001).

Em regiões onde as precipitações ocorrem concentradas durante apenas alguns meses do ano o impacto da mudança de cobertura vegetal é diferente se a época de chuvas coincide com a época de maior ou menor evapotranspiração (COLLISCHONN; TUCCI, 2001). De acordo com Guerra e Mendonça (2010), a região semiárida tende a concentrar um regime de chuvas irregulares agravando o processo de erosão. Por sua vez, as áreas desmatadas ligadas à extração de madeira ou agricultura implica na incidência de chuvas diretamente sobre o solo. É nesse momento que começa o splash, que pode causar a ruptura dos agregados, selando o topo do solo.

Os ecossistemas naturais, portanto, destacando-se os recursos hídricos, vem sofrendo extenso processo de degradação devido às atividades antrópicas, através da poluição do meio

ambiente e ocupação indevida de áreas de preservação em consequência do elevado crescimento populacional (CABANELAS; MOREIRA, 2007).

Ainda nesse contexto, Roig (2005) afirma que o crescimento populacional no Brasil nas últimas décadas, aliado ao crescente processo de desenvolvimento urbano e industrial tem exercido impactos sobre os recursos naturais, principalmente sobre a água e o solo, acentuando processos erosivos, assoreamento e poluição de mananciais e reservatórios, afetando, dessa maneira, a qualidade e a quantidade de água destinada a populações. Além disso, o crescimento populacional eleva a demanda por água, causando ainda mais escassez e acelerando o processo de degradação.

Assim, os impactos hidrológicos devido à alterações no uso e cobertura dos solos podem ser determinados experimentalmente através do monitoramento de bacias hidrográficas com características semelhantes em termos de declividade, solos, área, clima e vegetação (BROWN et al., 2005). Entretanto, a compreensão do conjunto de processos físicos que ocorrem na bacia é imprescindível para interpretação dos resultados obtidos, suas limitações e sua aplicabilidade a outras regiões (McCULLOCH; ROBINSON, 1993).

Alguns autores demonstraram que mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, principalmente a retirada da cobertura vegetal aliado ao crescimento urbano, podem trazer grandes consequências no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica (BROWN et al., 2005; HELLER; PÁDUA, 2006; TUCCI, 2007; SETTI et al., 2001).

3.3 PRINCIPAIS SISTEMAS PRODUTORES DE CHUVA NA REGIÃO NORDESTE E BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ

Segundo Diniz (2013), a precipitação pluviométrica é uma das variáveis meteorológicas de maior importância para a sociedade, por influenciar diretamente as atividades humanas, em que o seu excesso (enchentes) ou escassez (secas) ocasionam danos socioeconômicos e ambientais significativos (Alves et al., 2016).

Na região nordeste do Brasil existem seis sistemas atmosféricos que causam efeito sob o regime de chuvas da região. São eles: A Zona de convergência intertropical (ZCIT), as frentes frias, os vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS), as linhas de instabilidade, as ondas de leste e os complexos convectivos de mesoescala. De acordo com Ferreira e Mello (2005), esses sistemas tem as seguintes características:

Zona de convergência intertropical - é a mais importante para indicar se vai ocorrer deficiência ou excedente hídrico, principalmente na porção norte da região. A ZCIT pode ser

definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, em baixos níveis (o choque entre eles faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação das nuvens), baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação. Entre agosto e outubro ela encontra-se mais ao norte e entre fevereiro-abril mais ao sul, sendo esse o período em que ela ocasiona chuva.

Frentes Frias - São bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido suba, forme as nuvens e, conseqüentemente, as chuvas. São bem características entre os meses de novembro a janeiro, atingindo principalmente a porção sudeste, podendo alcançar o centro.

Vórtices ciclônicos de ar superior (VCAN) – Os VCANs são um conjunto de nuvens que, observado pelas imagens de satélite, têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsistência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens. Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que penetram na região Nordeste do Brasil formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro.

Linhas de instabilidade (LI) – As Linhas de Instabilidade são bandas de nuvens causadoras de chuva, normalmente do tipo cumulus, organizadas em forma de linha, daí o seu nome. Sua formação se dá basicamente pelo fato de que com a grande quantidade de radiação solar incidente sobre a região tropical ocorre o desenvolvimento das nuvens cumulus, que atingem um número maior à tarde e início da noite, quando a convecção é máxima, com conseqüentes chuvas. Outro fator que contribui para o incremento das LI, principalmente nos meses de fevereiro e março, é a proximidade da ZCIT.

Ondas de leste – As ondas de leste são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de oeste para leste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil. Ele provoca chuvas principalmente na Zona da Mata que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, mas, quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis, as Ondas de Leste também provocam chuvas no estado do Ceará nos meses de junho, julho e agosto, principalmente na parte centro-norte do estado.

Complexos convectivos de mesoescala (CCM) - Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) são aglomerados de nuvens que se formam devido às condições locais favoráveis como temperatura, relevo, pressão, etc., e provocam chuvas fortes e de curta duração, normalmente acompanhadas de fortes rajadas de vento. Os CCMs, na região subtropical, ocorrem preferencialmente durante os meses de primavera e de verão no hemisfério sul, formando-se no período noturno com um ciclo de vida entre 10 e 20 horas.

Dentre desse contexto, o estudo da variabilidade climática em regiões semiáridas se faz de grande importância. A principal manifestação da variabilidade climática no Nordeste brasileiro é a seca. O Semiárido tem no passado uma história de secas que afetam, de forma drástica, sua população rural. A região é um enclave de escassa precipitação que abrange desde os litorais do Estado do Ceará e do Rio Grande do Norte até o médio do Rio São Francisco, com uma vegetação de tipo caatinga. Historicamente, a região sempre foi afetada por grandes secas ou grandes cheias (MARENGO, 2008).

Na região Nordeste e em particular no Semiárido é grande a variabilidade da precipitação, sendo frequente a ocorrência de períodos secos durante a estação chuvosa que, dependendo da intensidade e duração, provocam intensos danos na agricultura. Segundo Marengo (2008), as chuvas do Semiárido nordestino apresentam enorme variabilidade espacial e temporal. Anos de secas e chuvas abundantes se alternam de formas erráticas, e grandes são as secas de 1710-11, 1723-27, 1736-57, 1744-45, 1777-78, 1808-09, 1824-25, 1835-37, 1844-45, 1877-79, 1982-83, 1997-98, assim como secas menores em 2003 e 2005.

De acordo com Noronha, Hora e Silva (2016), a análise da variabilidade climática reveste-se de importância quando avaliados os impactos do clima em áreas de interesse socioeconômico e ambiental, como, por exemplo, a prática inadequada de utilização do solo em bacias rurais, a partir da remoção da cobertura vegetal nativa para inserção de pastagens ou outras culturas exóticas. É por meio de estudos que se torna possível conhecer os problemas da região e ao mesmo tempo tentar solucioná-los ou minimizá-los por meio de planejamento de ações (SILVA et al., 2010; SOUZA; MELO; SILVA, 2013).

Os períodos de seca e chuva podem ser classificados por meio de índices, como o de de Rooy (1965). Segundo Freitas (2005), a categorização dos períodos secos e úmidos são úteis em projetos de irrigação, abastecimento de água, culturas dependentes da regularidade da chuva e em locais onde o uso de água subterrânea é pequena em relação às águas superficiais (NORONHA; HORA; SILVA, 2016).

3.4 ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA

Dentre a infinidade de índices que podem ser utilizados para avaliação da precipitação, existe o índice de anomalia de chuva (IAC) proposto por Rooy em 1965. O IAC se destaca por ser um índice que analisa períodos distintos. Segundo Alves et al., (2016) outra vantagem do IAC é que, diferentemente de outros índices, ele necessita apenas de dados de precipitação e é de fácil estimativa. Sendo uma informação que contribui para estudos de verificação dos impactos do clima global sobre a vulnerabilidade da distribuição pluviométrica no planeta (ARAÚJO; MORAES NETO; SOUSA, 2009; REPELLI et al., 1998) relatam que o IAC desenvolvido pelo pesquisador Rooy em 1965, possui boa aplicação para uso em regiões semiáridas. Conforme Alves et al. (2016), isso é possível devido a sua capacidade de fornecer informações sobre a ocorrência, gravidade e impacto da seca. Segundo Sanches et al. (2014), a utilização do IAC tem se revelado uma importante ferramenta de análise das precipitações considerando-se sua simplicidade procedimental, graças aos recursos computacionais e a determinação qualitativa de anomalias extremas.

O IAC é uma metodologia que vem sendo aplicada e difundida no Nordeste do Brasil para caracterizar os períodos extremos (secos e chuvosos), assim como as diferentes intensidades desses eventos no tempo e no espaço. Um ponto crucial no emprego de um índice como esse, assim como de qualquer outro índice climático, reside na escolha do patamar a ser estabelecido para a definição de um período de seca.

Diversos autores trabalharam o índice para áreas semiáridas e obtiveram sucesso na análise da precipitação, como Alves et al. (2016) que analisou o índice para diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco e constatou que é excelente para elaborar um planejamento agrícola mais adequado nessas áreas. Já os pesquisadores Alves et al. (2015) usaram o índice para a análise do regime hídrico de Patos-PB obteve resultados comprovando a irregularidade da precipitação, visto que ocorre em poucos meses do ano, causando deficiência hídrica nos demais. Moraes et al. (2016), utilizaram o IAC para a análise de eventos extremos em Petrolina-PE e constatou que na maior parte do período analisado a região pode ser classificada como muito seca. Enquanto Silva, Souza e Kayano (2010) utilizaram o índice para a análise das variações da precipitação na bacia hidrográfica do rio Mundaú. Eles constataram que em áreas distintas da mesma bacia, a variabilidade da precipitação é definida por multiescalas temporais, sendo influenciada diretamente pelo El Niño. Já Noronha, Hora e Silva (2016) utilizaram o IAC na microbacia de Santa Maria /Cambiocó, no Rio de Janeiro e não foram constatadas alterações na tendência do regime pluviométrico.

3.5 UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS MODIS PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), a bordo das plataformas TERRA e AQUA, tem como características: cobertura global, alta resolução radiométrica, intervalos dinâmicos nas bandas do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho termal (ROJAS; SCHOWENGERDT; BIGGAR, 2002).

Dentre os produtos MODIS, existem alguns que podem ser utilizados para o acompanhamento do uso e cobertura do solo, como o MCD12Q1, o MCD12Q2 e o MCD12C1 (Land Cover Type Product). Devido ao sistema de classificação utilizado (IGBP - International Geosphere-Biosphere Programme), que corresponde a 16 classes de tipos de uso e ocupação do solo como pode ser visto na tabela 1, o produto MCD12Q1 é o mais indicado para o tipo de estudo realizado neste trabalho, já que ele é um produto com resolução de 500 metros originado a partir de uma classificação supervisionada da superfície da terra, apresentando 16 bandas espectrais, cada uma com suas particularidades. Sendo as principais a camada Land Cover Type 1 (IGBP) se refere à classificação do Programa Internacional Geosfera-Biosfera com 16 tipos de uso e ocupação da terra. A segunda camada, Land Cover Type 2 é a classificação da Universidade de Maryland com 14 tipos de uso e ocupação. A terceira camada, Land Cover Type 3 (LAI/FPAR), é uma classificação com 10 tipos de uso e ocupação, usada pelo algoritmo LAI/FPAR do MODIS. A quarta camada, Land Cover Type 4 apresenta uma classificação com oito tipos de biomas. A quinta camada, Land Cover Type 5, apresenta uma classificação de tipo funcional das plantas com 12 classes (FRIEDL et al., 2010).

O produto MCD12Q1 (FRIEDL et al., 2002, 2010) é gerado usando um algoritmo de classificação supervisionado, estimado usando um banco de dados de áreas de treinamento de cobertura de terreno de alta qualidade. O banco de dados das áreas de treinamento foi desenvolvido usando imagens de alta resolução com dados auxiliares (MUCHONEY et al., 1999). A elaboração das imagens se baseiam em observações semanais ao longo de um ano, incluindo o ajuste da reflectância para o NADIR e a função BRDF (Nadir BRDF-Adjusted Reflectance, NBAR) (SCHAAF et al., 2002)

Segundo Gonçalves e Sousa Júnior (2009), esses produtos são gerados conforme o algoritmo MODIS Land Cover Classification Algorithm (MLCCA), que utiliza o algoritmo C4.5 (um algoritmo de árvore de decisão univariada) e a arquitetura ARTMAP (um tipo de rede neural artificial para reconhecimento de categorias e mapas multidimensionais). O algoritmo gera a classificação a partir da reflectância da superfície, do índice de vegetação, do ajuste de reflectância, da máscara de neve e gelo, da temperatura da superfície e da textura. Além desses

dados do próprio MODIS, o algoritmo utiliza o limite terrestre e marinho e a topografia, ambos da USGS (United States Geological Survey).

Diversos autores vem utilizando o produto MCD12Q1 com finalidades de estudos ambientais. Santos et al. (2015), utilizaram o produto com sucesso para identificação de áreas de regeneração espontânea na da floresta amazônica. Já Pereira, Silva e Moraes (2013) fizeram uso do produto para a atualização dos dados do *Global Land Cover Characterization* (GLCC).

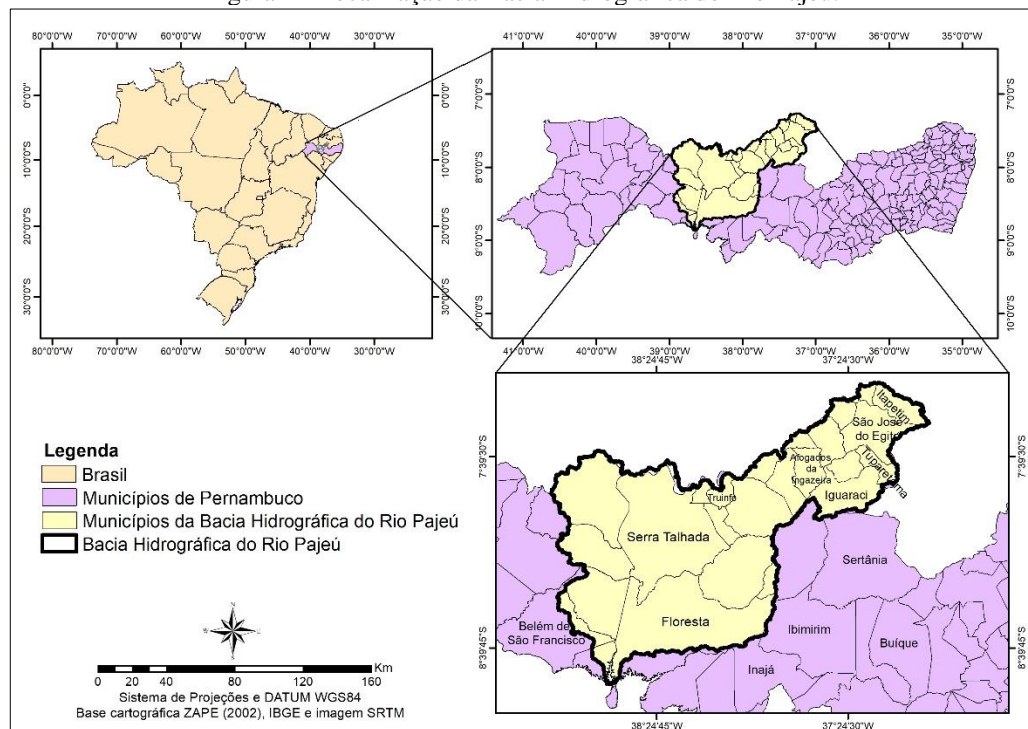
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Pajeú (Figura 1) está localizada entre 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul e 36° 59' 00" e 38° 57' 45" de longitude oeste, formando a Unidade de Planejamento Hídrico UP9, sendo considerada a maior bacia do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.726 km², correspondendo a 16,97% da área do Estado. Limita-se ao norte com os estados do Ceará e Paraíba, ao sul com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3 (UP22), a leste com a bacia do rio Moxotó (UP8) e o estado da Paraíba, e a oeste com a bacia do rio Terra Nova (UP10) e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 4 - GI4 (UP23), tendo municípios que fazem parte da mesorregião do sertão pernambucano e da mesorregião do sertão do

do São Francisco (APAC, 2016).

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú.



Fonte: elaborada pelo autor.

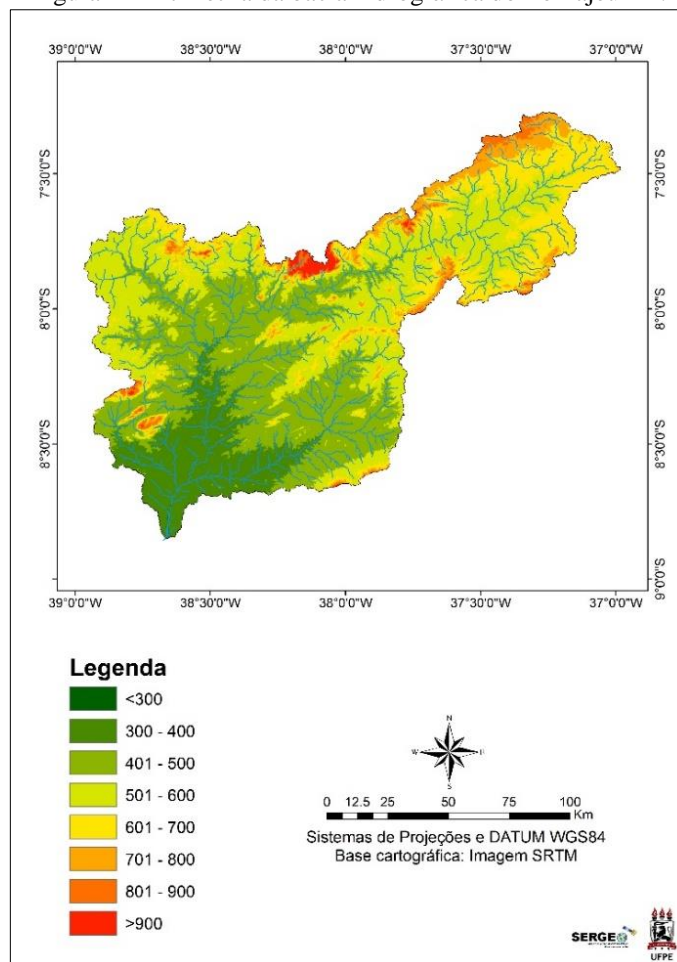
O rio Pajeú nasce no município de Brejinho e percorre uma extensão de aproximadamente 353 km. Inicialmente apresenta sentido nordeste-sudoeste, até desaguar no lago de Itaparica, no rio São Francisco. Seu regime fluvial é intermitente e, ao longo do seu curso, margeia as cidades de Itapetim, Tuparetama, Ingazeira, Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Flores, Calumbi, Serra Talhada e Floresta. Seus afluentes principais são: pela margem direita, os riachos Tigre,

Barreira, Brejo, São Cristóvão e Belém; e, pela margem esquerda, os riachos do Cedro, Quixabá, São Domingos, Poço Negro e do Navio (CBHSF, 2014).

4.1.1 Relevo

A bacia hidrográfica do Rio Pajeú apresenta relevo plano e suave-ondulado (Figura 2), cortada por vales estreitos com vertentes dissecadas. A altitude varia de 250 m a mais de 1000m. Em sua maior parte, há a predominância de rochas cristalinas e alguns depósitos sedimentares (APAC, 2016).

Figura 2 - Altimetria da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.



Fonte: elaborada pelo autor

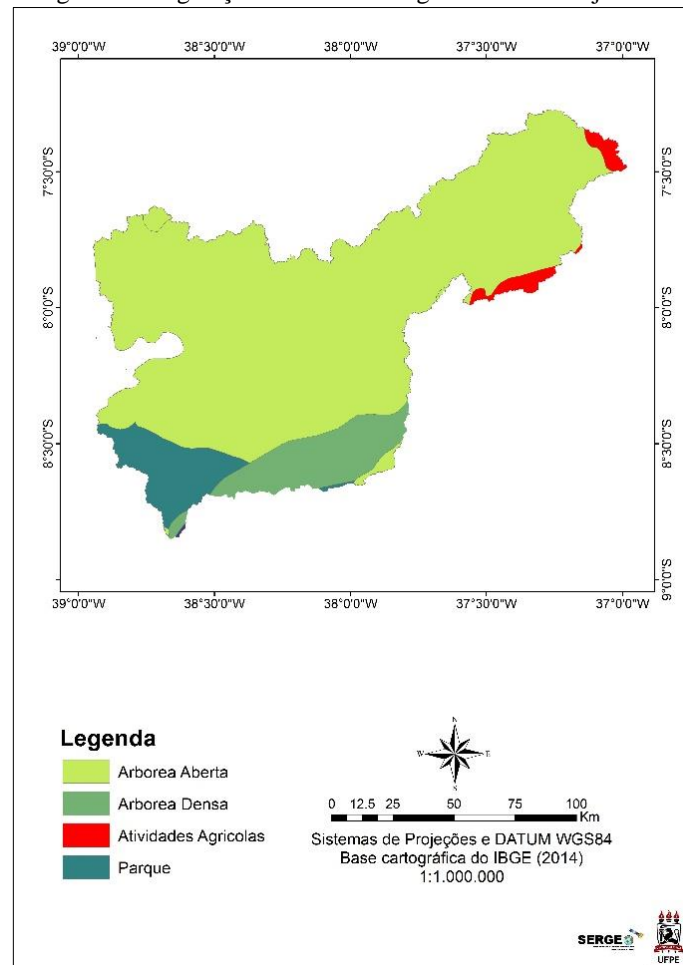
4.1.2 Vegetação

A vegetação da área de estudo é a de Caatinga, típica do Semiárido brasileiro. É caracterizada por ser resistente a escassez hídrica. Dentre das subdivisões, a vegetação em questão pode ser considerada caatinga hiperxerófila com trechos de floresta caducifólia, ou seja, é uma vegetação de baixo e médio porte que perde as folhas durante o período de estiagem (Figura 3). É uma vegetação bastante característica de solos rasos que estão sob rochas

cristalinas, como os granitos e gnaisses. São espécies nativas desse tipo de vegetação: a catingueira, favela, angico, juazeiro, marmeleiro, jurema preta e branca, mandacaru, umbuzeiro e aroeira.

Já nas áreas de maiores altitudes (Triunfo, Santa Cruz da Baixa Verde, Flores), a caatinga é chamada de subcaducifólia, caracterizada pela região apresentar climas amenos durante todo o ano.

Figura 3 - Vegetação da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.3 Clima

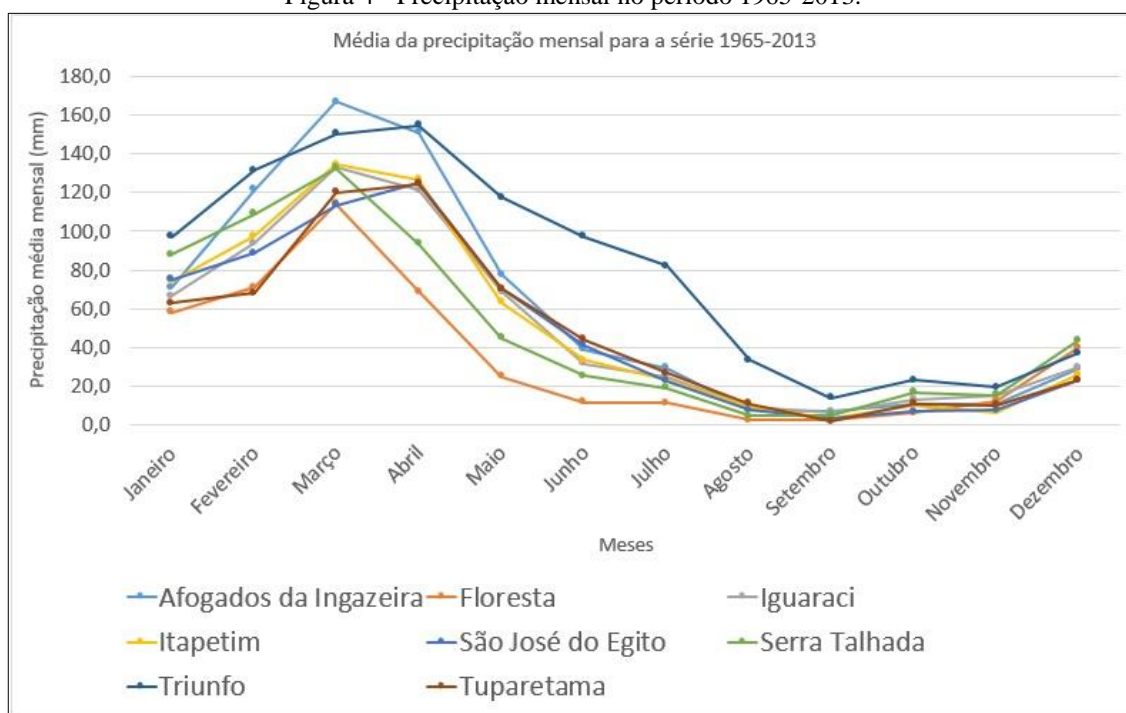
A bacia hidrográfica do Rio Pajeú, em sua maior parte apresenta características de clima Semiárido (BSh, segundo a classificação climática de Köppen), com baixa precipitação (entre 600 e 800 mm anuais), mal distribuída ao longo do ano. As chuvas ocorrem geralmente no verão, combinadas com as altas temperaturas e radiação solar, ocasionando evaporação rápida e elevada evapotranspiração, ocasionando mesmo no período chuvoso, secas severas.

Porém, devido a variação do relevo, nas áreas mais elevadas predominam os chamados “brejos de altitude” que são áreas em que, mesmo localizada em áreas semiáridas, devido a altitude, apresenta clima frio e maior quantidade de precipitação. Como exemplo podem ser citados os municípios de Triunfo, Flores, Santa Cruz da Baixa Verde. Nessas áreas a condensação do vapor d’água presente no ar aumenta a nebulosidade, diminuindo a insolação, consequentemente a temperatura também diminui em conjunto com a evapotranspiração potencial.

Segundo Salgueiro e Montenegro (2008), o principal sistema de produção das chuvas do Sertão é a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, que atua durante os meses de dezembro a maio, atingindo o máximo de precipitação durante março e abril. A variabilidade espacial e temporal da precipitação submete a produção agropecuária a níveis de incertezas bastantes altos, uma vez que o uso e ocupação do solo da bacia consistem na predominância dessa atividade.

Na Figura 4 está descrito a média da precipitação mensal durante o período de 1965 a 2013, onde, pode ser notado nitidamente que a área estudada, mesmo tendo regimes pluviométricos diferentes, apresenta um regime irregular de precipitação, pois a maior parte das chuvas ocorrem entre os meses de fevereiro a abril e durante o resto do ano a precipitação não ultrapassa os 50 mm mensais.

Figura 4 - Precipitação mensal no período 1965-2013.



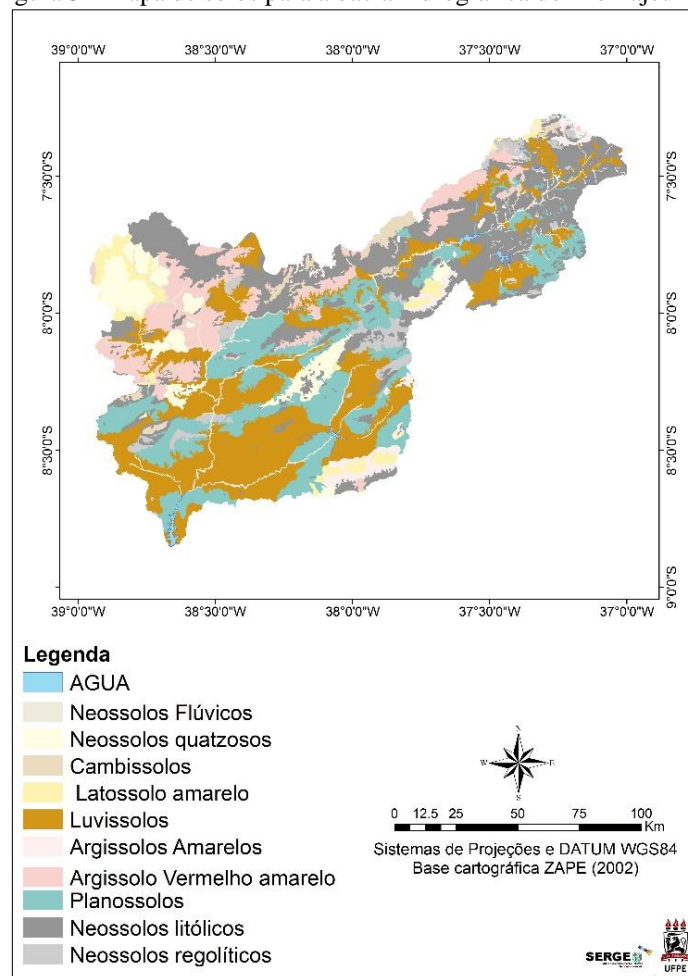
Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados da APAC, ANA e INMET.

4.1.4 Solos

A região possui uma grande diversidade de solos, decorrente principalmente dos fatores que influenciam sua formação, como o clima e a geologia. Os solos nessa região, são formados principalmente através de intemperismo físico, que basicamente consiste na ação direta do sol sob as rochas fazendo com que ocorra a dilatação durante o dia e a noite, com temperaturas amenas, ocorresse a fragmentação, dando origem aos vários tipos de solo da região. Esse fato em conjunto com o clima Semiárido, influenciou no desenvolvimento dos solos e na lixiviação de base.

Os principais solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Pajeú são os Planossolos, Luvissolos, Neossolos Litólicos, e Argissolos (Figura 5). Também são encontrados os cambissolos, neossolos fúvicos e os latossolos, porém em menor quantidade. Segundo a EMBRAPA (2006), eles possuem as seguintes características:

Figura 5 - Mapa de solos para a bacia hidrográfica do Rio Pajeú-PE.



Fonte: elaborada pelo autor.

Planossolos – São solos rasos, pouco profundos, o horizonte subsuperficial (B) é muito duro, o que dificulta a penetração de raízes e da água, podendo no período chuvoso, apresentar-se com excesso de umidade. Em locais onde o clima é mais seco, são bastante utilizados como pastagens e palma forrageira, sendo, em alguns casos especiais, cultivados com mandioca, batatinha, batata doce, tomate e melancia.

Luvisolos – Esse tipo de solo é raso e pouco profundo, bem característicos de áreas semiáridas. Muito vulnerável a erosão e salinização. No Sertão, são cultivados com palma e algodão, sendo que, na bacia do São Francisco, têm apresentado elevada produtividade, quando usado com irrigação.

Neossolos Litólicos – São solos rasos e pouco desenvolvidos, bastante característico de áreas com pedregosidade e afloramentos rochosos. Geralmente são utilizados para o plantio de algodão, milho, feijão e palma forrageira.

Argissolos – Os Argissolos na área de estudo, de modo geral, são caracterizados pela pouca profundidade e ocorrência de pedregosidade, somando-se as condições de clima semi-árido. Quando estes solos são profundos e sem pedras apresentam bom potencial para irrigação. Nos conhecidos brejos de altitude os Argissolos ocorrem com frequência e de modo geral são distróficos e estão sob uma vegetação mais úmida. O relevo movimentado e a presença de afloramentos de rocha constituem, nesses ambientes, as maiores limitações ao uso.

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.2.1 Mapas de uso e ocupação do solo

Os mapas de uso e ocupação do solo foram elaborados através da obtenção de imagens MODIS, referentes ao produto MCD12Q1 (Tabela 1) obtidas gratuitamente através do portal NASA Land Processes Distributed Active Archive Center utilizando o USGS EarthExplorer. Esse produto fornece dados caracterizando cinco sistemas de classificação de cobertura da terra. Além disso, fornece avaliações sobre a cobertura da terra e controle de qualidade. As imagens são anuais com resolução de 500 m.

As imagens foram obtidas no formato .hdf (*Hierarchical Data Format*), rota h14v09, para os anos com disponibilidade de dados (2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013) na projeção ISIN (*Integerized Sinusoidal*) sendo necessária a importação para extração das bandas Land_Cover_Type_1 (Tabela2), Land_Cover_Assessment, Land_Cover_Secondary, e reprojeção utilizando o software Modis

Reprojection Tool, obtido também gratuitamente através do site (https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool).

Tabela 1- Descrição das camadas do produto MODIS Land Cover Type product (MDC12Q1).

<i>Camadas</i>	<i>Unidade</i>	<i>Tipo de dado</i>	<i>Preenchimento</i>	<i>Faixa válida</i>
<i>Land Cover Type 1 (IGBP)*</i>	Classe	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 2 (UMD)*</i>	Classe	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 3 (LAI/fPAR)*</i>	Classe	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 4 (NPP/BGC)*</i>	Classe	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 5 (PFT)</i>	Classe	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 1 Assessment</i>	Inteiro	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 2 Assessment</i>	Sem dado	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 3 Assessment</i>	Sem dado	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 4 Assessment</i>	Sem dado	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 5 Assessment</i>	Sem dado	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover QC</i>	Flags	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 1 Secondary</i>	Classe	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Type 1 Secondary %</i>	Sem dado	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Property 1</i>	Sem dado	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Property 2</i>	Sem dado	8-bit unsigned	255	0 – 254
<i>Land Cover Property 3</i>	Sem dado	8-bit unsigned	255	0 – 254

Fonte: adaptada do portal LP DAAC (2014).

Tabela 2- Descrição da banda Land Cover Type 1, IGBP.

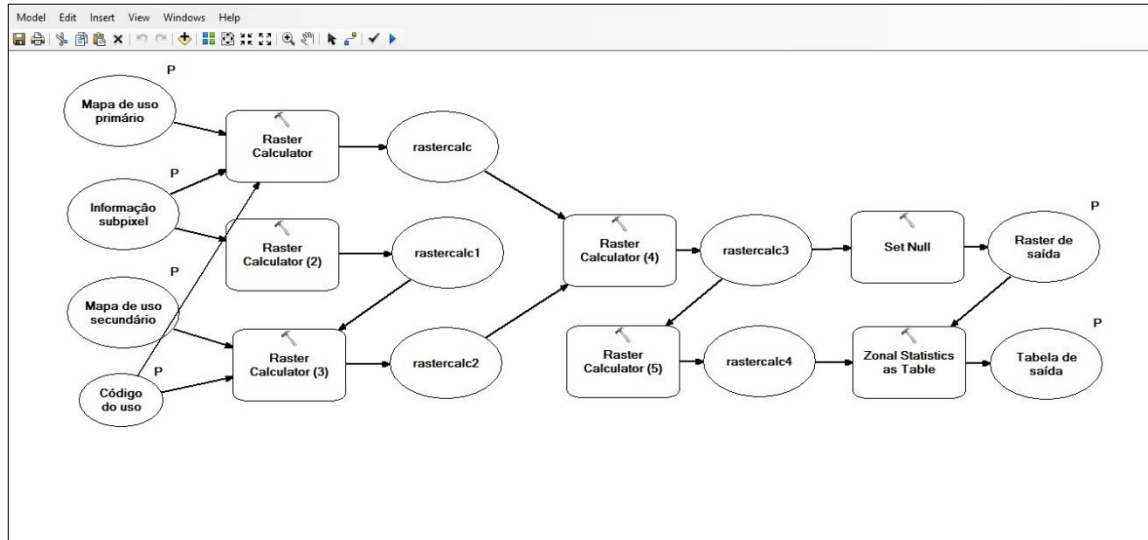
CLASSE	IGBP	CLASSE	IBGP*
0	Água	9	Caatinga gramíneo-lenhosa
1	Floresta perene	10	Pradarias
2	Floresta latifoliada	11	Vegetação permanente de zonas úmidas
3	Floresta decídua	12	Terra fértil
4	Floresta decídua de folhas largas	13	Área Urbana / construções
5	Floresta mista	14	Terra fértil e/ou mosaico de vegetação natural
6	Caatinga arbustiva fechada	15	Neve e gelo
7	Caatinga arbustiva aberta	16	Áreas estéreis ou com pouca vegetação
8	Caatinga arborizada		

* International Geosphere-Biosphere Programme.

Fonte: adaptada do portal LP DAAC (2014).

O processamento das imagens para a extração das informações subpixel e identificação dos pixels de cada classe foi realizado no software ArcGis através da utilização da ferramenta ModelBuilder, onde foi montado um modelo de processamento conforme a Figura 6.

Figura 6- Modelo de processamento elaborado no software ArcGis.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.3 ÍNDICE DE ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO

O IAC é um índice que permite analisar os extremos climáticos, dessa forma, é bastante eficaz para caracterização de períodos secos e úmidos. Como dados de entrada para a realização do IAC foram utilizados dados de oito estações meteorológicas (Afogados da Ingazeira, Floresta, Igaraci, Itapetim, São José do Egito, Serra Talhada, Triunfo e Tuparetama) das agências ANA (Agência Nacional de Águas), APAC (Agência Pernambucana de Águas e Climas) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) durante o período de 1998 à 2013 para correlacionar com os mapas de uso e ocupação do solo.

O índice de anomalia de precipitação para a área de estudo foi calculado em escala mensal. Para isso, foram utilizadas as Equações 1 e 2:

- Para anomalias positivas

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(M - \bar{N})} \right] \quad (1)$$

- Para anomalias negativas

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(X - \bar{N})} \right] \quad (2)$$

Onde, N se refere a precipitação total (em mm) do mês que será gerado o IAC; \bar{N} corresponde a média geral (mensal) da série histórica (mm); M representa a média das dez maiores precipitações mensais da série história e X a média das dez menores. As anomalias positivas são representadas por valores acima da média e as negativas, abaixo da média e seus graus de intensidade podem ser avaliados conforme a tabela abaixo.

Tabela 3- Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva - IAC.

CLASSES	IAC
Extremamente umido	$\geq 4,00$
Umidade alta	3,00 a 3,99
Umidade moderada	2,00 a 2,99
Umidade suave	0,5 a 1,99
Normal	-0,49 a 0,49
Seca suave	-1,99 a -0,5
Seca moderada	-2,00 a -2,99
Seca alta	-3,00 a -3,99
Extremamente seco	$\leq -4,00$

Fonte: Adaptado de Fernandes et al. (2009)

4.3.1 Regressão Linear

Modelos de regressão são modelos matemáticos que relacionam o comportamento de uma variável Y com outra X . Quando a função f que relaciona duas variáveis é do tipo $f(X) = a + bx$ temos o modelo de regressão simples. A variável X é a variável independente da equação enquanto $Y = f(X)$ é a variável dependente das variações de X . Primeiramente, deve-se calcular o beta (coeficiente angular da reta de ajuste) e o alfa (ponto em que a reta toca o eixo y) da equação. Para esse procedimento foram utilizados dados diários e posteriormente calculadas as médias mensais. O beta e o alfa podem ser obtidos seguindo as equações:

$$\beta = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i - \beta \sum x_i}{n} \quad (4)$$

Onde n é a quantidade de dados na amostra.

Após isso é necessário calcular a reta e a Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) da reta. Os dois podem ser obtidos seguindo as seguintes equações:

$$Reta = \alpha + \beta * x \quad (5)$$

$$SQD = (reta - \sum reta)^2 \quad (6)$$

Após esses procedimentos foi calculado o r , que é basicamente o quanto o modelo foi capaz de explicar os dados. Ele pode ser obtido através da seguinte equação:

$$r = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum y^2 - n(\bar{y})^2} \quad (7)$$

Onde \hat{y} é o valor estimado pelo modelo da reta de ajuste, \bar{y} é a média dos valores estimados pelo modelo e n é a quantidade de dados na amostra.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Análise do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas é extremamente importante para compreender os processos físicos que ocorrem nesse tipo de ambiente. Na bacia hidrográfica do rio Pajeú, com base na análise das imagens pixel a pixel, existe a predominância de alguns tipos de uso e ocupação do solo de acordo com a classificação IGBP presente nas imagens MODIS que correspondem a 98% da ocupação da área. Essas classes foram redefinidas e renomeadas de acordo com os conceitos presentes no Manual Técnico da Vegetação Brasileira (2012) e visualizadas na Figura 7.

Figura 7 – Fisionomias predominantes de acordo com o International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) na bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.

(Continua...)

Caatinga
arbustiva
fechada
Coordenadas:
38°20'14,68"O/
8°21'4.17"S
Município:
Floresta



Closed shrublands

Caatinga
arbustiva aberta
Coordenadas:
38°40'59,36"O/
8°44'25,18"S
Município:
Itacuruba






Open shrublands

Caatinga
arborizada
Coordenadas:
38°32'23,08"O/
7°47'10,76"S
Município:
Serra Talhada



Woody savannas

Figura 7 – Fisionomias predominantes de acordo com o International Geosphere-Biosphere Programme (IBGP) na bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. (conclusão)

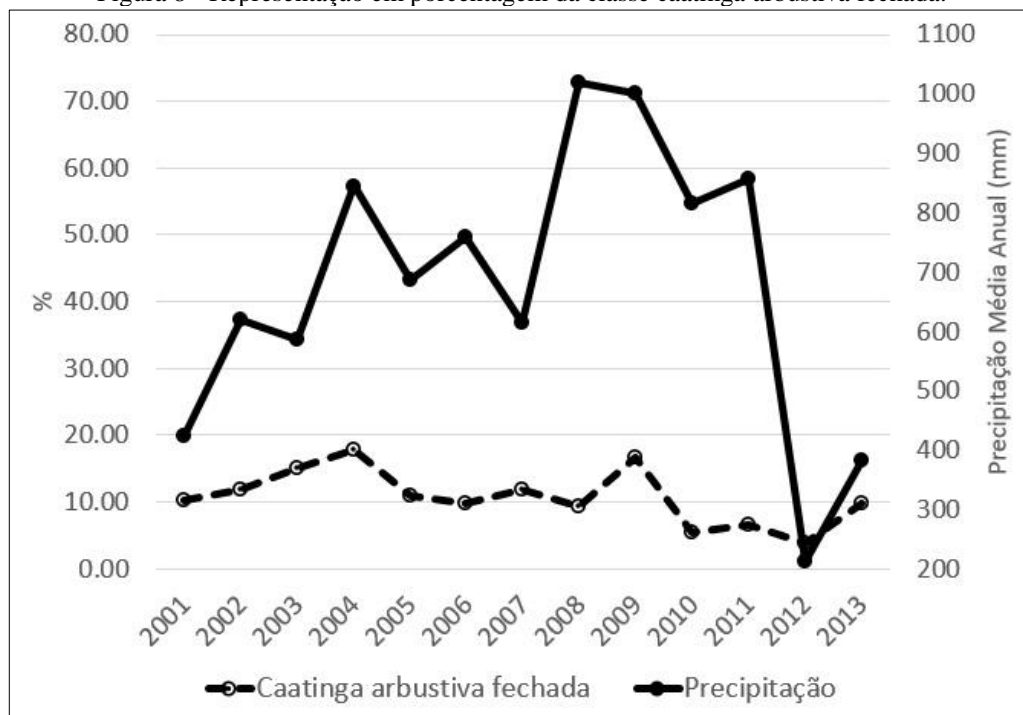
<p>Caatinga gramíneo- lenhosa Coordenadas: 37°18'33,51"O/ 7°20'9,14"S Município: Brejinho</p>		Savannas
<p>Área urbana/ construções Coordenadas: 38°17'51.87"O/ 7°59'23"S Município: Serra Talhada</p>		Urban and built-up
<p>Agricultura / terra fértil Coordenadas: Imagem 1 – 38°02'54,62" O/ 7°50'26,84"S Município: Triunfo Imagem 2 – 38°30'47,66"O / 8°35'7,51"S Município: Floresta</p>		Croplands / Natural vegetation mosaic

Fonte: Google Earth Pro.

Durante o período estudado (2001-2013), o uso e ocupação do solo apresentou diferenças e oscilações ao longo do tempo. Assim, começou-se a investigar quais as variáveis que estavam influenciando nessas diferenças e oscilações do uso e ocupação do solo, com especial ênfase aos impactos do clima e das ações antrópicas. A primeira classe analisada é a caatinga arbustiva fechada (Figura 8), que pode ser considerada aquela em que a vegetação é predominantemente

de arbustos, pouco espaçados entre si. No início do período de estudo essa classe representa aproximadamente 10% da bacia hidrográfica do rio Pajeú, atingindo o pico em 18% no ano de 2004 com oscilações até obter uma queda brusca após o ano de 2009, voltando a crescer no último ano analisado (2013), porém ainda não ultrapassou os 10%. Quando analisado em conjunto com a precipitação surge um padrão, principalmente após períodos com menos chuva, como em 2002 e 2003, fazendo com que a precipitação mais elevada em 2004 tenha impacto positivo nessa classe.

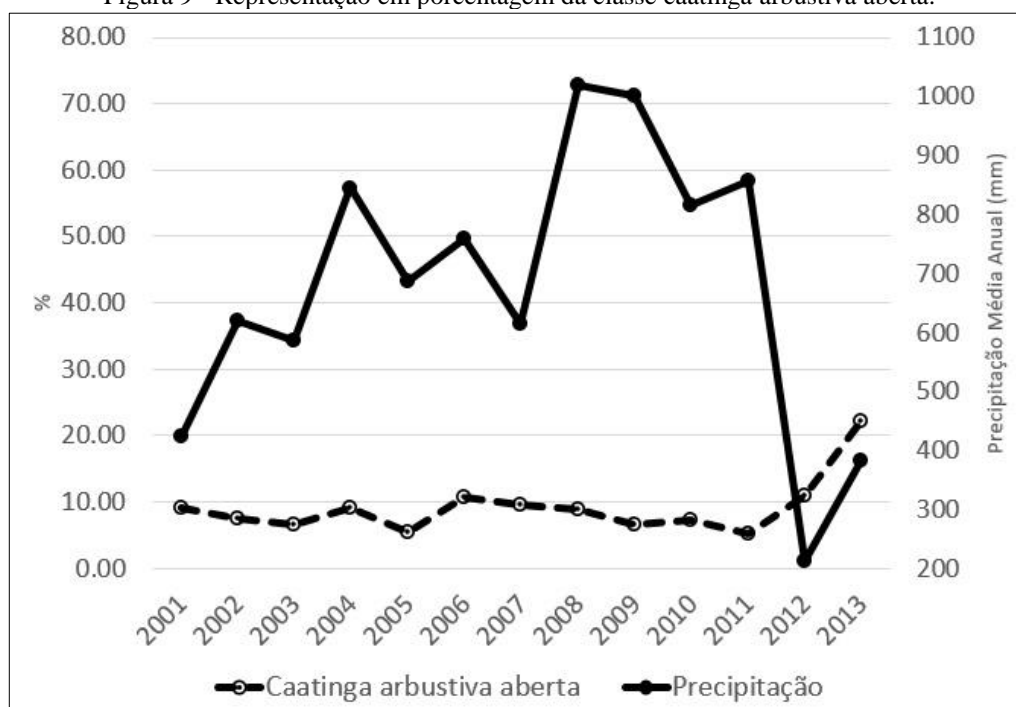
Figura 8 - Representação em porcentagem da classe caatinga arbustiva fechada.



Fonte: Dados da pesquisa.

A segunda classe foi denominada caatinga arbustiva aberta (Figura 9), por possuir vegetação arbustiva espaçada com grande presença de campos abertos com rala cobertura vegetal. Essa classe é a que apresenta melhor regularidade ao longo do período em estudo, porém a partir do ano de 2011 ocorre um crescimento vertiginoso principalmente em áreas próximas a foz do rio Pajeú, que devido à queda acentuada da precipitação entre 2011 e 2012 houve diminuição do volume de água do rio, fazendo com que áreas que antes eram do leito do rio ficassem expostas, mostrando aumento de gramíneas na região e arbustos espaçados, fato corroborado por Coelho et al., (2014) em seu estudo na bacia do riacho São Paulo em Serra Talhada, onde ele comprovou que entre os anos de 2000 e 2010 ocorreu diminuição acentuada de mata ciliar e aumento de pastagens.

Figura 9 - Representação em porcentagem da classe caatinga arbustiva aberta.

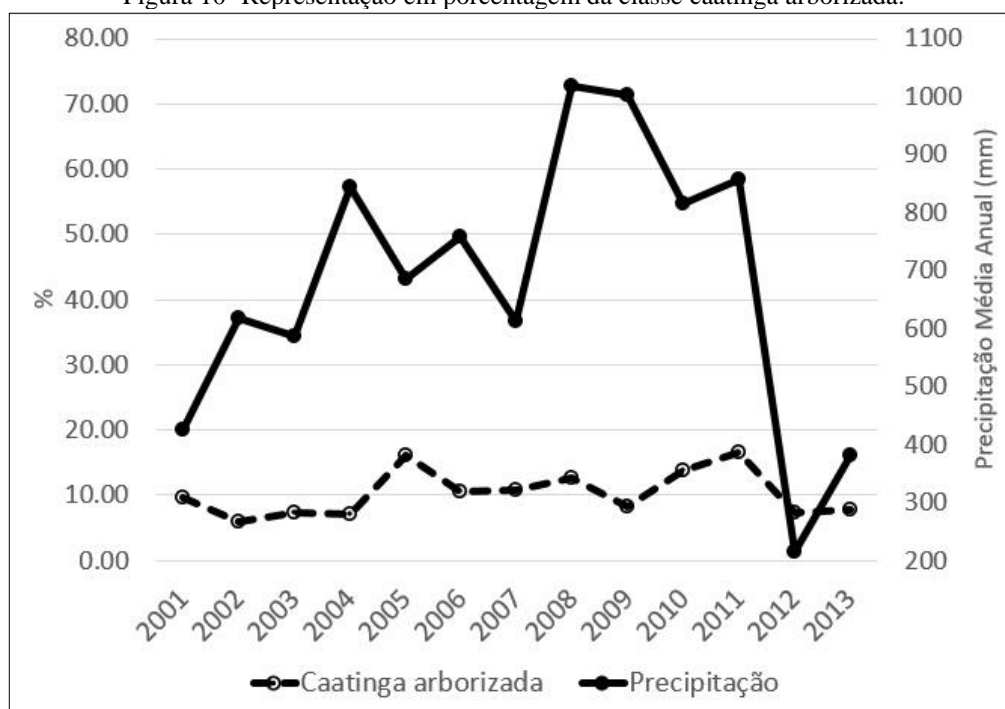


Fonte: Dados da pesquisa.

A terceira classe (Figura 10) foi denominada de caatinga arborizada, ou seja, aquela em que possui árvores de grande porte, bem como vegetação verde e saudável ao longo do ano. Esse tipo de vegetação é encontrada principalmente em áreas de altitude elevada (ver mapa de altimetria (Figura 2) onde a junção de clima mais ameno e precipitação distribuída auxiliam o crescimento da vegetação e faz com que ela permaneça sempre com o mesmo aspecto. É encontrada principalmente a leste e sudeste da área de estudo. No início do período de estudo, a cobertura é de quase 10% na bacia hidrográfica, chegando a 17% em 2005 e tendo algumas oscilações até o ano de 2013. É um tipo de vegetação que responde mais lentamente aos estímulos da precipitação, principalmente devido já possuir uma característica mais arbórea, mesmo em épocas mais secas.

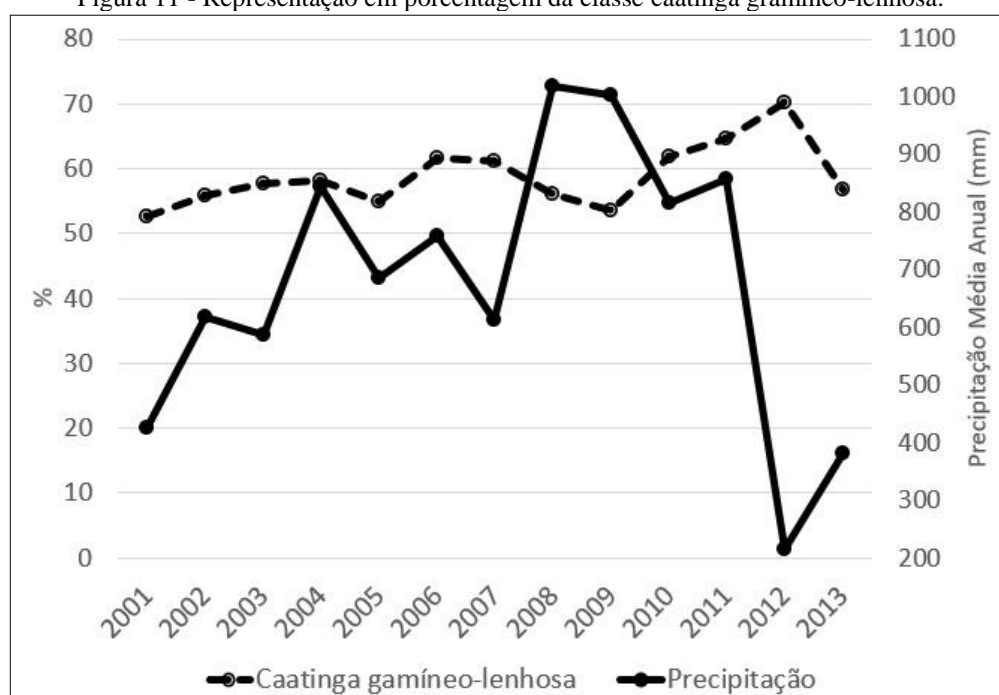
A quarta classe (Figura 11) foi denominada de caatinga gramíneo-lenhosa, sendo a mais característica da região e assim a mais representativa. Pode ser representada como a vegetação mais seca, onde a maior parte das plantas já perdeu as folhas devido a algum fator climático. Ao longo do período estudado esse tipo de vegetação cobre mais de 50% da bacia hidrográfica do rio Pajeú comparada as demais, é bastante constante em sua representação, atingindo um pico de 70% em 2012, ano mais seco, e caindo abaixo de 60% no último ano. Com relação a precipitação é visto que essa classe mesmo em períodos mais chuvosos, sua extensão permanece crescente, o que pode significar áreas de desmatamento ou vegetação já morta que não responde mais aos efeitos da precipitação, conforme Coelho et al., (2014).

Figura 10- Representação em porcentagem da classe caatinga arborizada.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 11 - Representação em porcentagem da classe caatinga gramíneo-lenhosa.

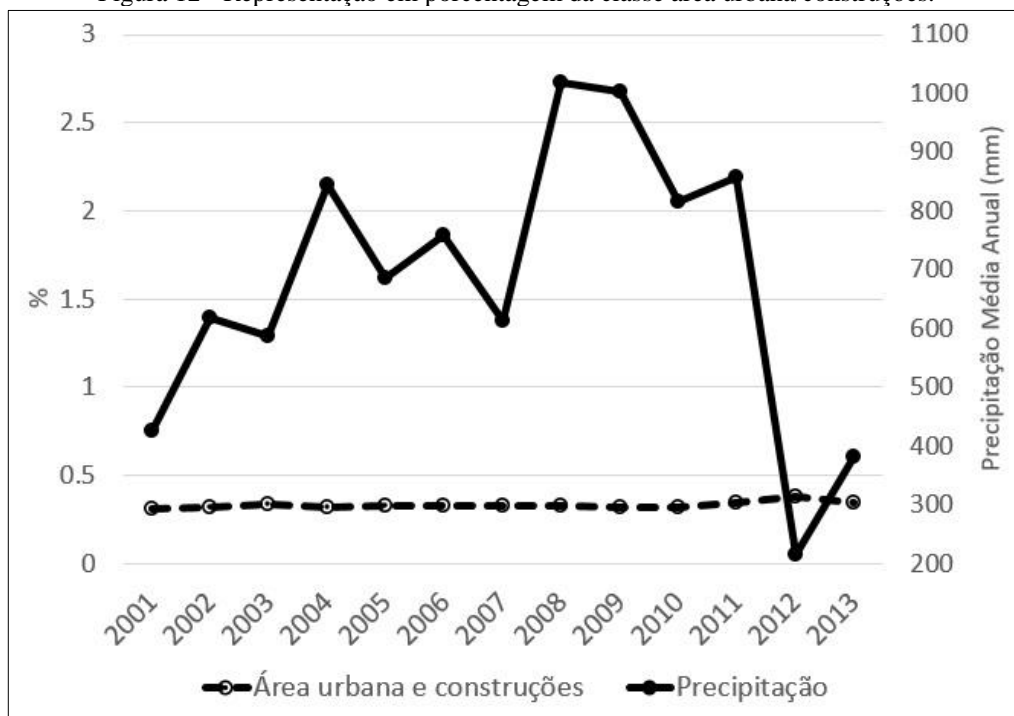


Fonte: Dados da pesquisa.

A quinta classe foi denominada de Área urbana/construções e é a menos representativa na área de estudo, devido, principalmente, ser uma região interiorana, onde a maioria das cidades são de pequeno/médio porte (Figura 12). É uma classe que se mantém constante ao longo dos anos, mesmo com o crescente crescimento de áreas interioranas, principalmente devido a

implantação de polos industriais e descentralização de atividades de ensino e pesquisa. Representa cerca de 0,3 a 0,35% da área de estudo, sendo mais evidente no município de Serra Talhada, maior centro urbano da região. A bacia hidrográfica do rio Pajéu conta com mais de 400 mil habitantes distribuídos em seu território.

Figura 12 - Representação em porcentagem da classe área urbana/construções.

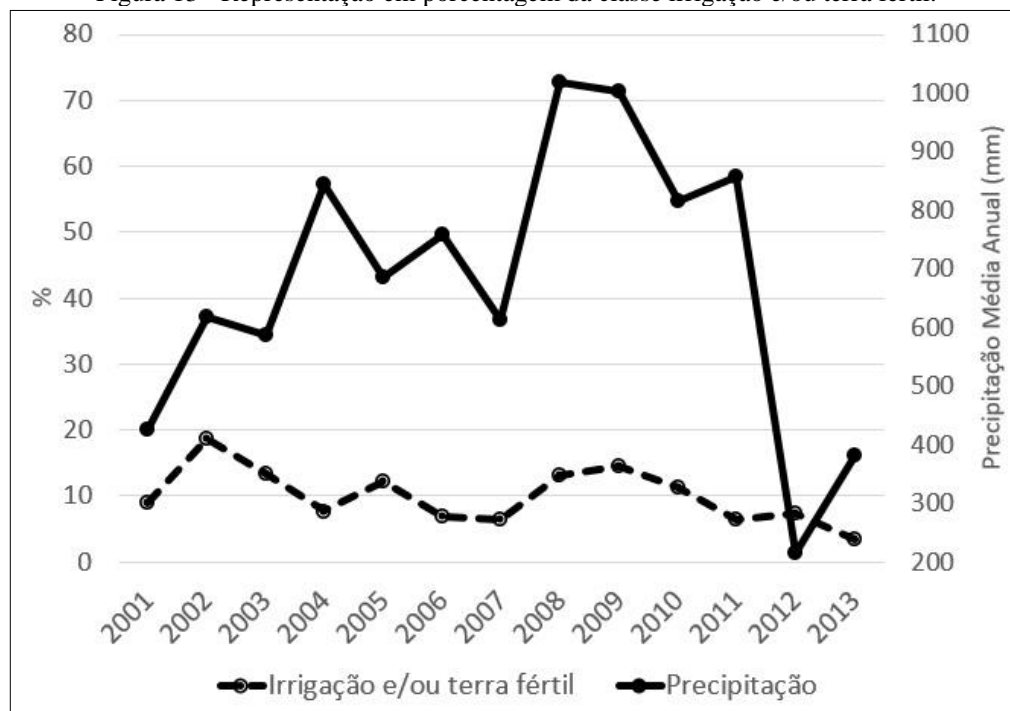


Fonte: Dados da pesquisa.

A sexta e última classe foi nomeada de irrigação e/ou terra fértil (Figura 13). A princípio seriam duas classes diferentes, porém, devido as semelhanças encontradas entre elas e a localização espacial serem próximas, foram comprimidas em uma única classe. Durante o período estudado foi a classe em que mais ocorreu a diminuição da porcentagem de cobertura, iniciando em cerca de 9% em 2001 e terminando com menos de 4%. É a classe que mais responde a precipitação, pois, nos anos em que ocorre aumento na média de chuva também aumenta a representatividade da classe na área analisada, isso se deve principalmente a fatores como agricultura irrigada próxima a corpos hídricos, maior umidade presente no solo devido a água precipitada. Na área de estudo, o município mais característico dessa classe é Triunfo, conhecido por sua altitude elevada e clima ameno, possui segundo o IBGE cerca de 20% da sua área territorial voltada para a agricultura, sendo em sua maior parte as que sobrevivem ao longo do ano e dão mais de uma safra como a banana, o tomate e o feijão. Como pode ser visto no gráfico, a partir de 2007, com o aumento da precipitação média há uma pequena recuperação no índice, porém a partir de 2009 com a queda acentuada das chuvas essa classe entra em

declínio até atingir seu menor valor em 2013. Alves et al. (2016) comprovou em seu estudo de alguns municípios do estado de Pernambuco espalhados em diferentes mesorregiões que a irregularidade climática influencia de forma significativa a agricultura, caracterizando a região instável para a agricultura de sequeiro.

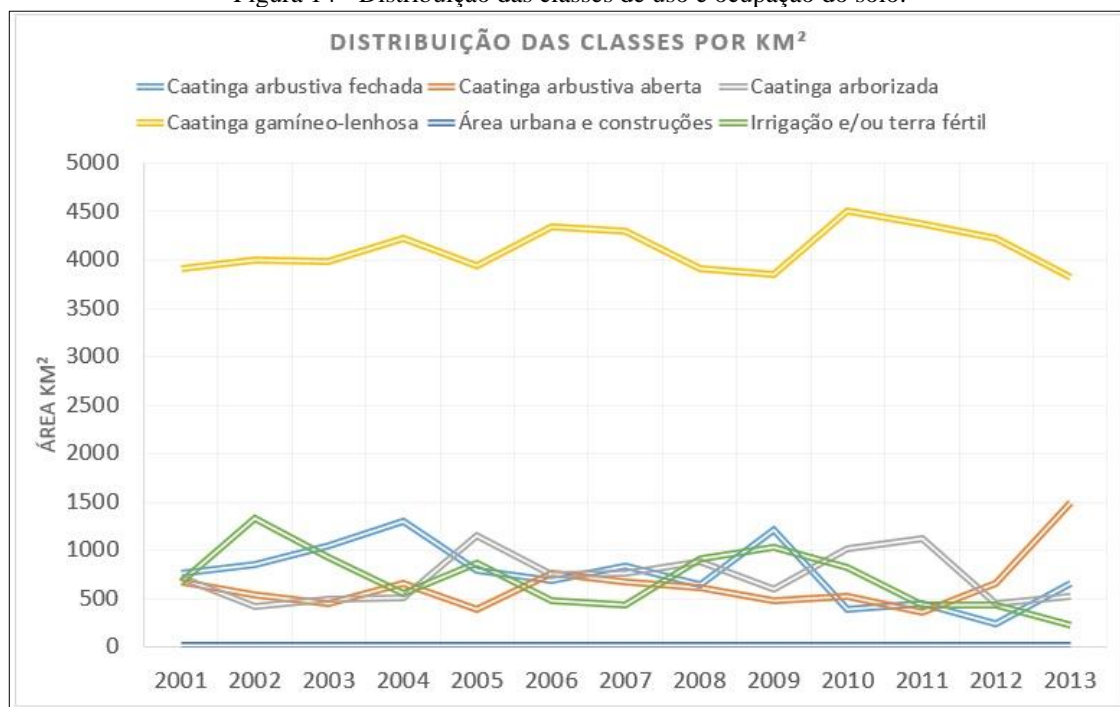
Figura 13 - Representação em porcentagem da classe irrigação e/ou terra fértil.



Fonte: Dados da pesquisa.

Como forma de representar a realidade da distribuição espacial, os resultados serão apresentados por Km². Verifica-se que no período compreendido entre 2001 e 2013 a área de estudo sofre alterações significativas no uso e ocupação do solo (Figura 14). Entra em destaque a classe da caatinga gramíneo-lenhosa por ser a vegetação típica da região, apresentando sempre mais de 3500km² em sua distribuição e embora tenha alguns oscilações, se mantém constante em distribuição por área. As demais classes se mantêm aproximadas entre 500 e 1500km², ressaltando a classe caatinga arbustiva aberta que se destaca pelo crescimento nos dois últimos anos de estudo devido principalmente a degradação ambiental na área visto que em sua maior parte, essa classe pode ser encontrada próxima as sedes urbanas, ocorrendo a constante retirada da vegetação para construção de novas moradias e comércio, transformando áreas de vegetação arbustiva fechada em campos abertos.

Figura 14 - Distribuição das classes de uso e ocupação do solo.



Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando a Figura 15 em conjunto com a anterior (Figura 14), vemos o quanto cada classe aumentou e diminuiu ao longo dos anos em porcentagem. Deve-se dar destaque a classe “caatinga arbustiva aberta” que teve um aumento de quase 13% quando comparado os mapas de uso e ocupação do solo dos anos de 2001 e 2013, aumento em aproximadamente 1000km² sua área de extensão. Isso se deve, principalmente a degradação para implantação de maiores áreas destinadas as pastagens e ampliação das cidades. Outra classe com aumento significativo é a de caatinga gramíneo-lenhosa com pouco mais de 4%, em sua maior parte nos últimos três anos analisados, que pode ser relacionada a constante seca que ocorre na região nos últimos anos visto que a classe de caatinga arborizada teve uma queda de aproximadamente 2% e diminuição brusca de cobertura entre os anos de 2011 e 2012. A área urbana cresceu apenas 0,03%, em sua maior parte nos municípios de Serra Talhada e Triunfo, o primeiro, importante centro comercial e o segundo com força turística. Embora tenha ocorrido um aumento significativo de áreas irrigadas no sertão de Pernambuco, a classe irrigação/terra fértil apresentou uma diminuição de aproximadamente 5,61%, pois, com a crescente degradação, seca e irrigação inadequada, o quantitativo de terras férteis vem diminuindo. Analisando em conjunto os mapas de uso e ocupação do solo (Figuras 16 a 28) e o de altimetria (Figura 2), vemos que as áreas ainda classificadas como terra fértil, estão localizadas em ambientes mais elevados, consequentemente mais úmidos e com maior cobertura vegetal ainda não explorada. Além disso, com a análise desses mapas (Figuras 17 a 29), nota-se que ano a ano as alterações são

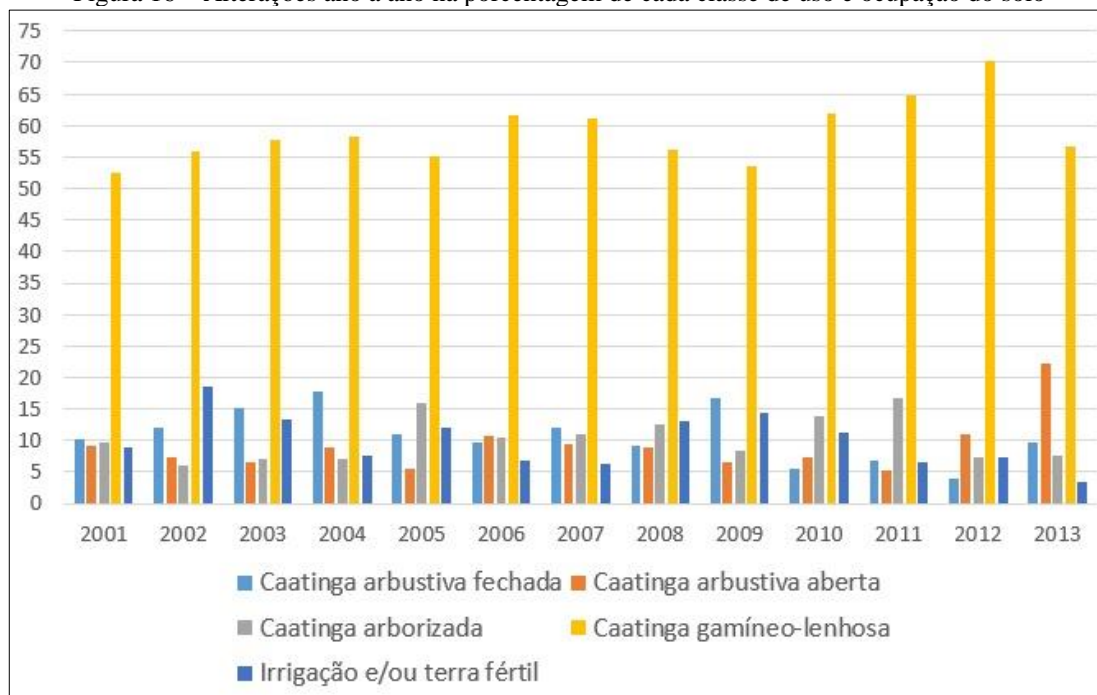
sempre significativas (Figura 16), principalmente nas classes de caatinga arbustiva aberta e fechada, como pode ser visto na tabela 4.

Figura 15 - Porcentagem de aumento/diminuição por tipo de uso e ocupação do solo 2001-2013.



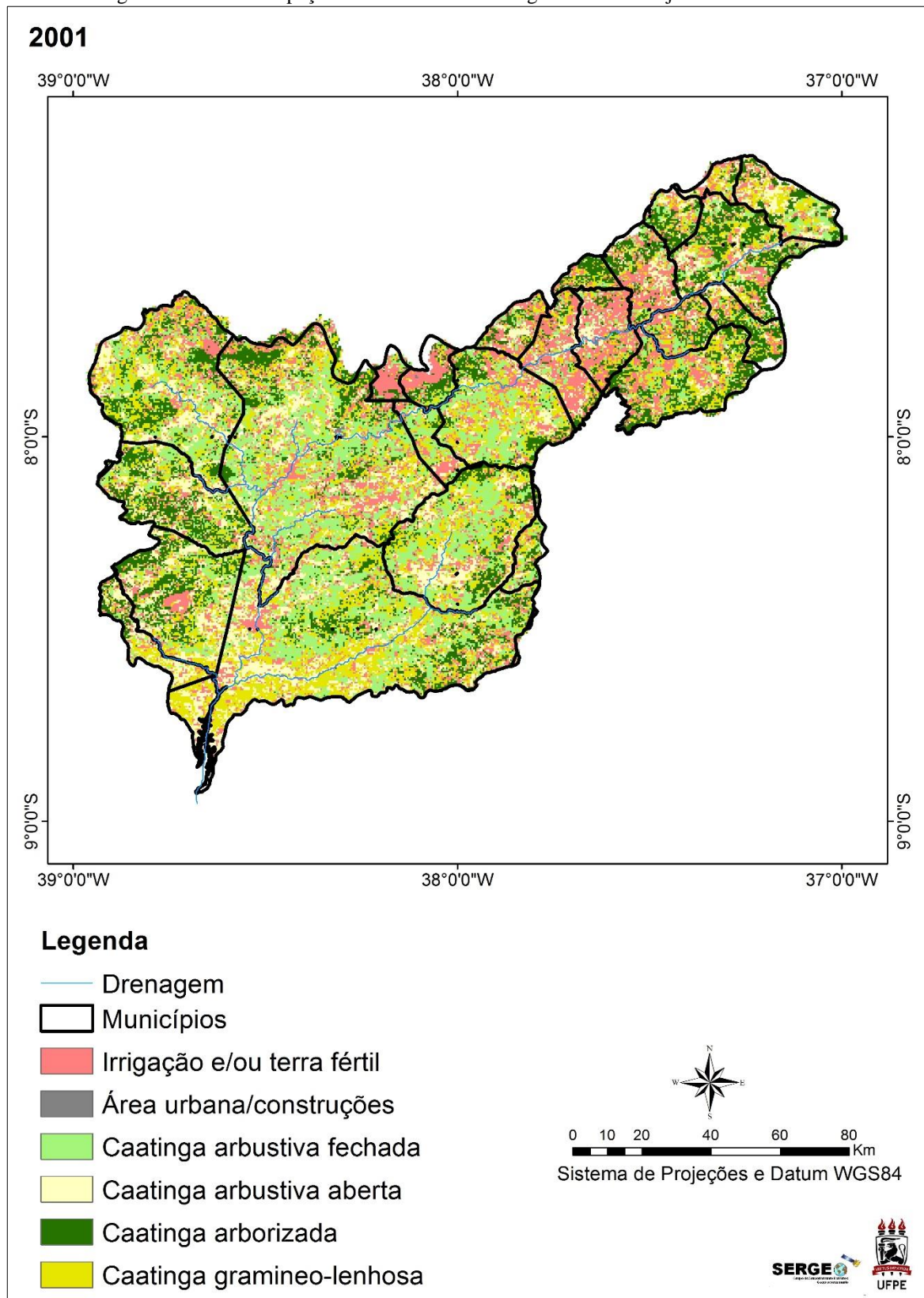
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 16 – Alterações ano a ano na porcentagem de cada classe de uso e ocupação do solo



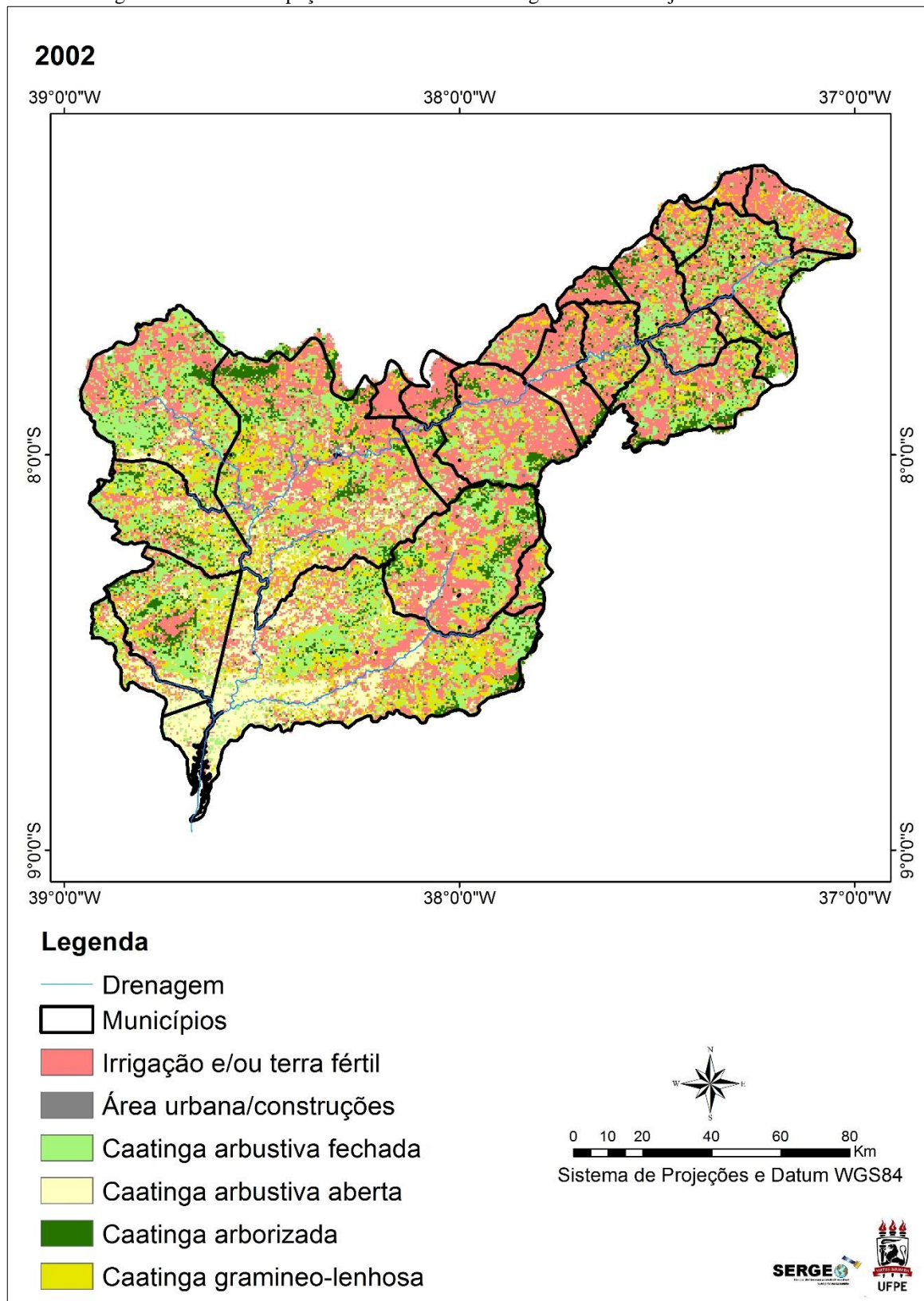
Fonte: Dados da pesquisa

Figura 17 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2001.



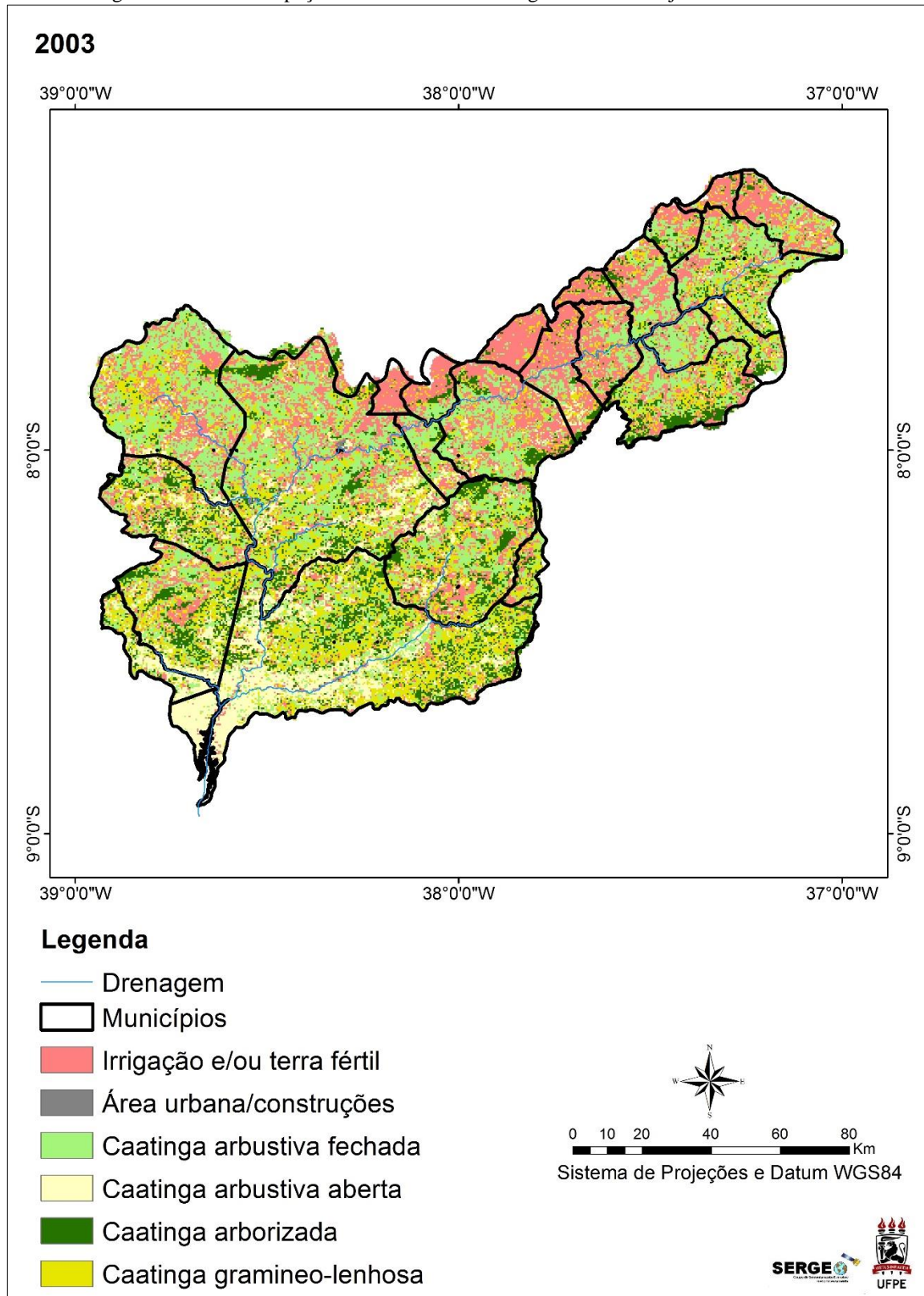
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 18 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2002.



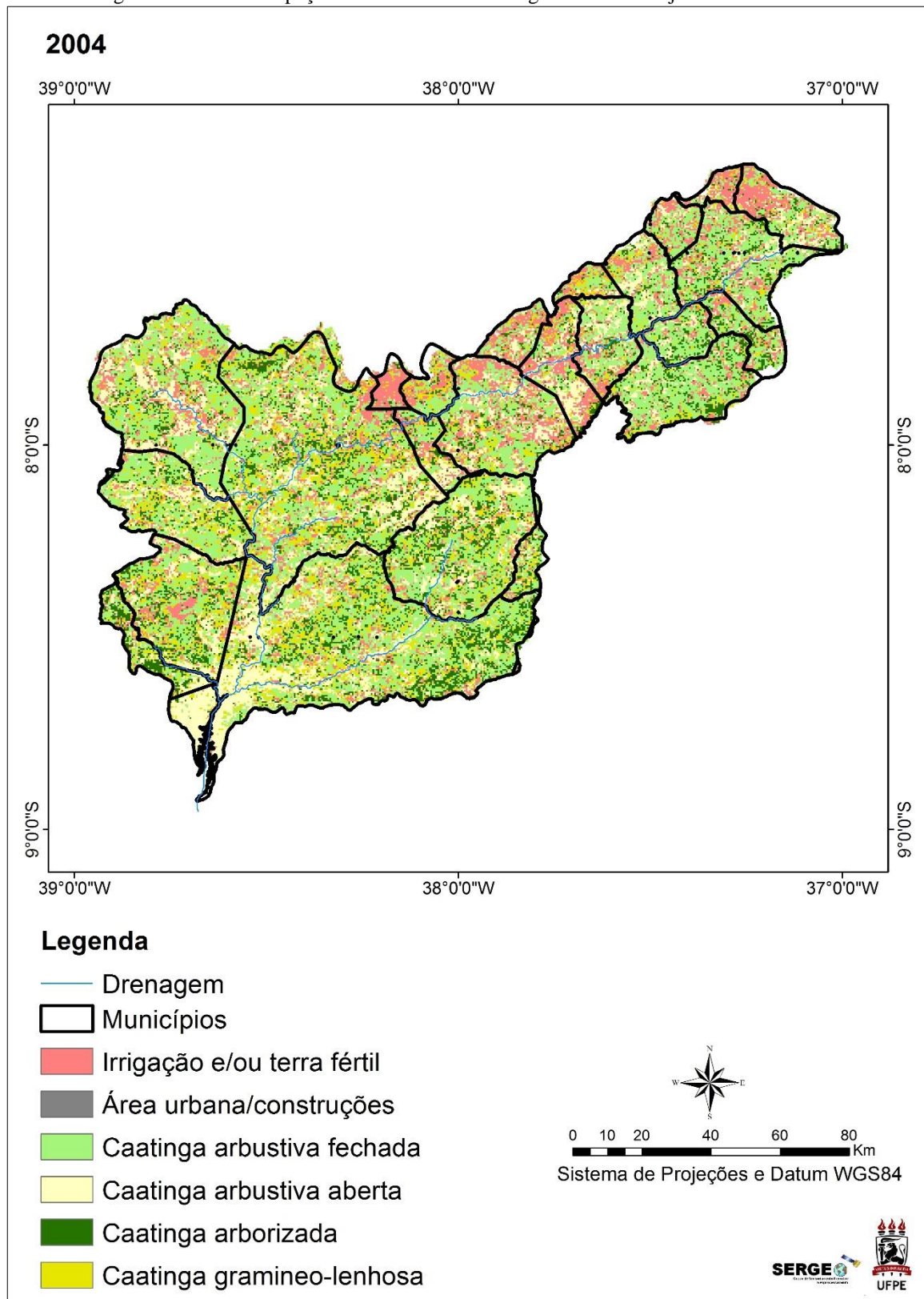
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 19 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2003.



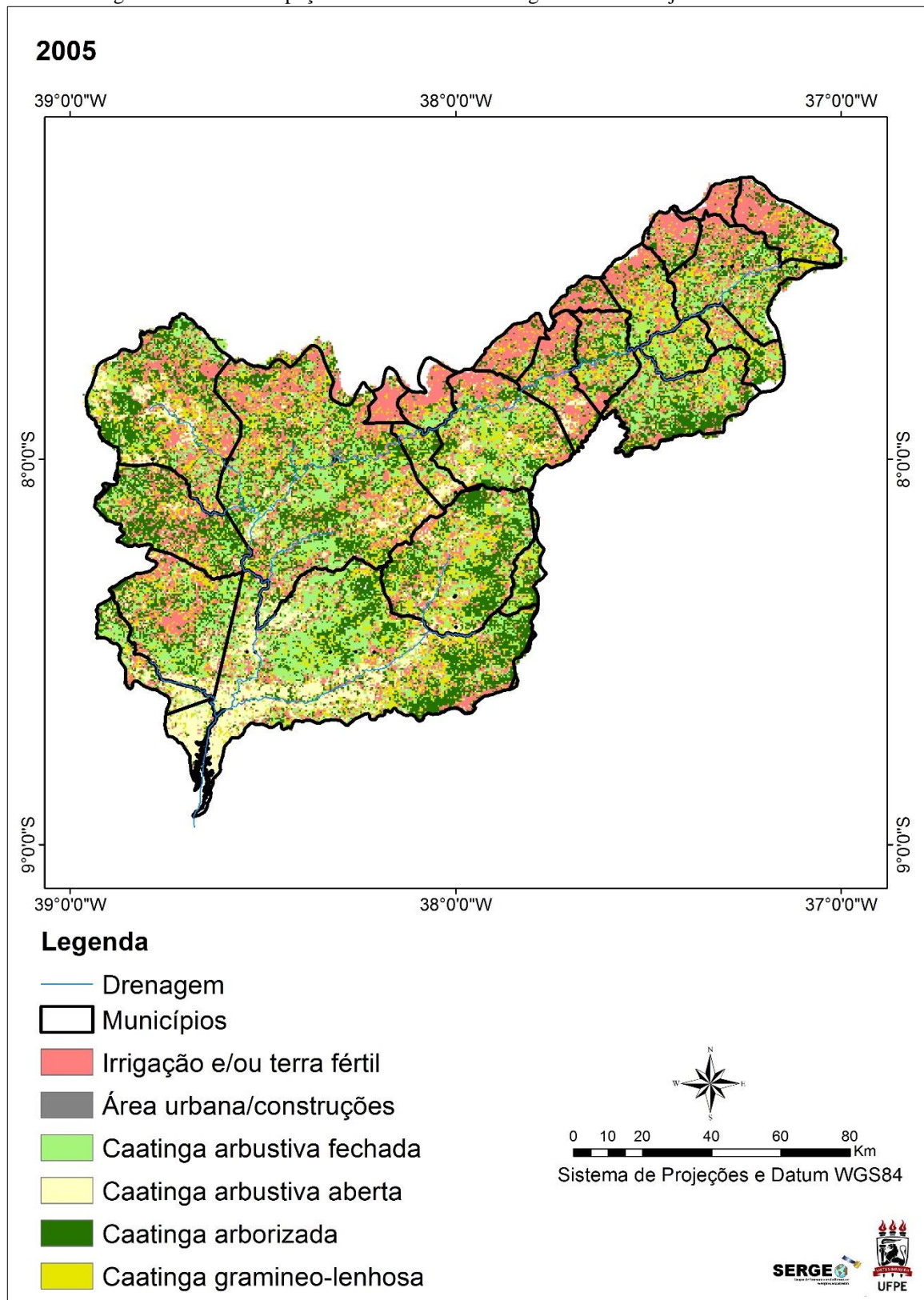
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 20 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2004.



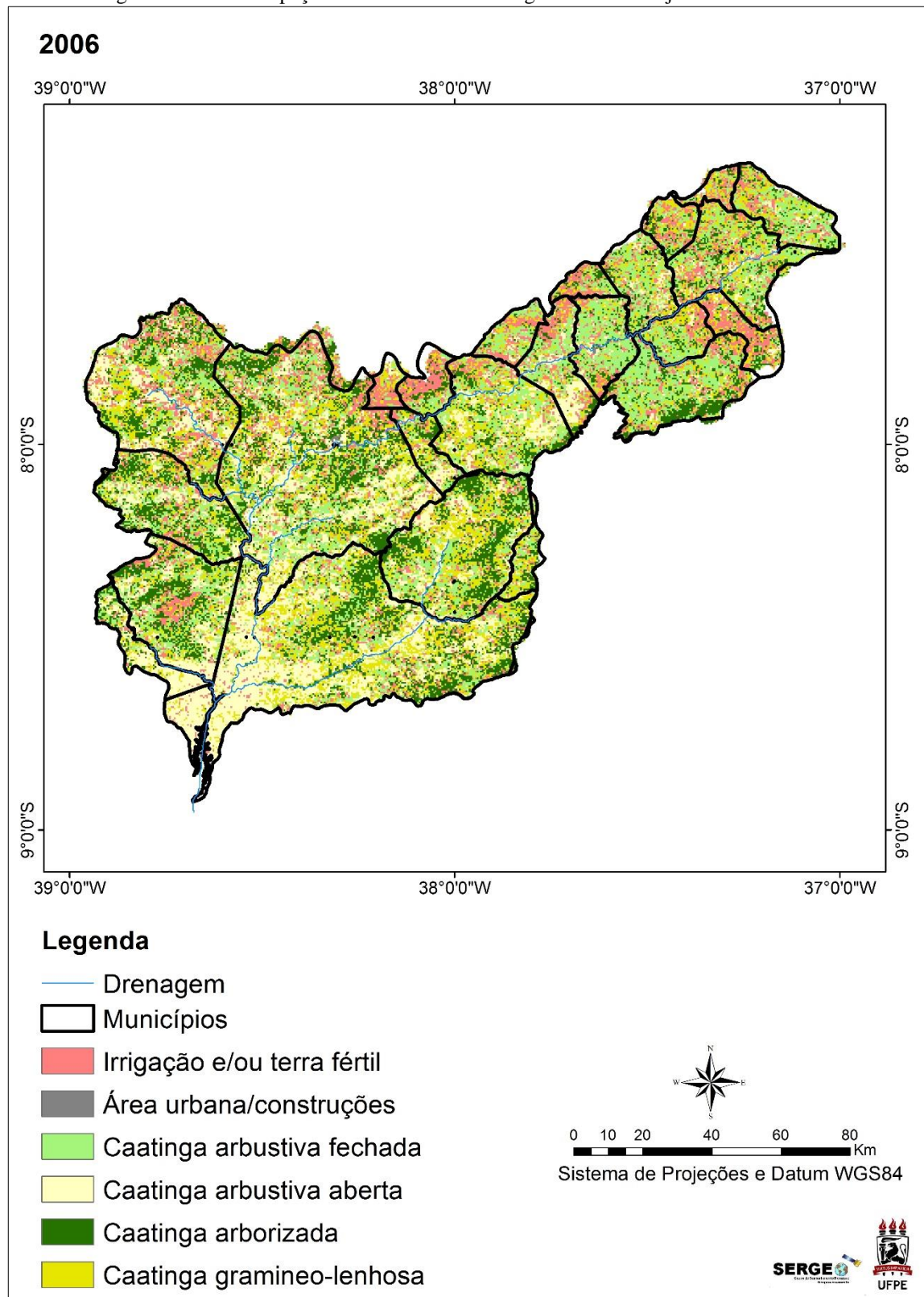
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 21 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2005.



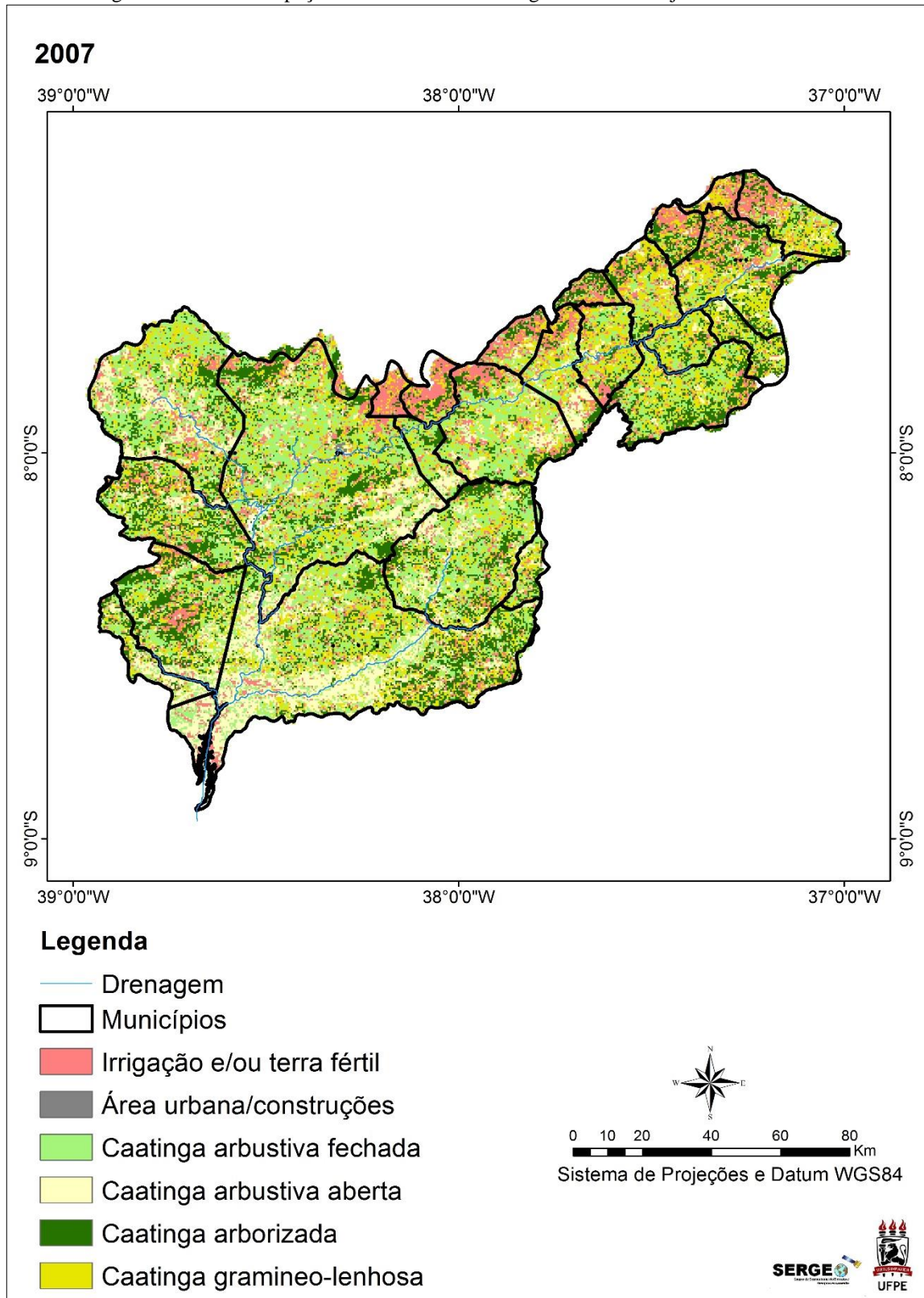
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 22- Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2006.



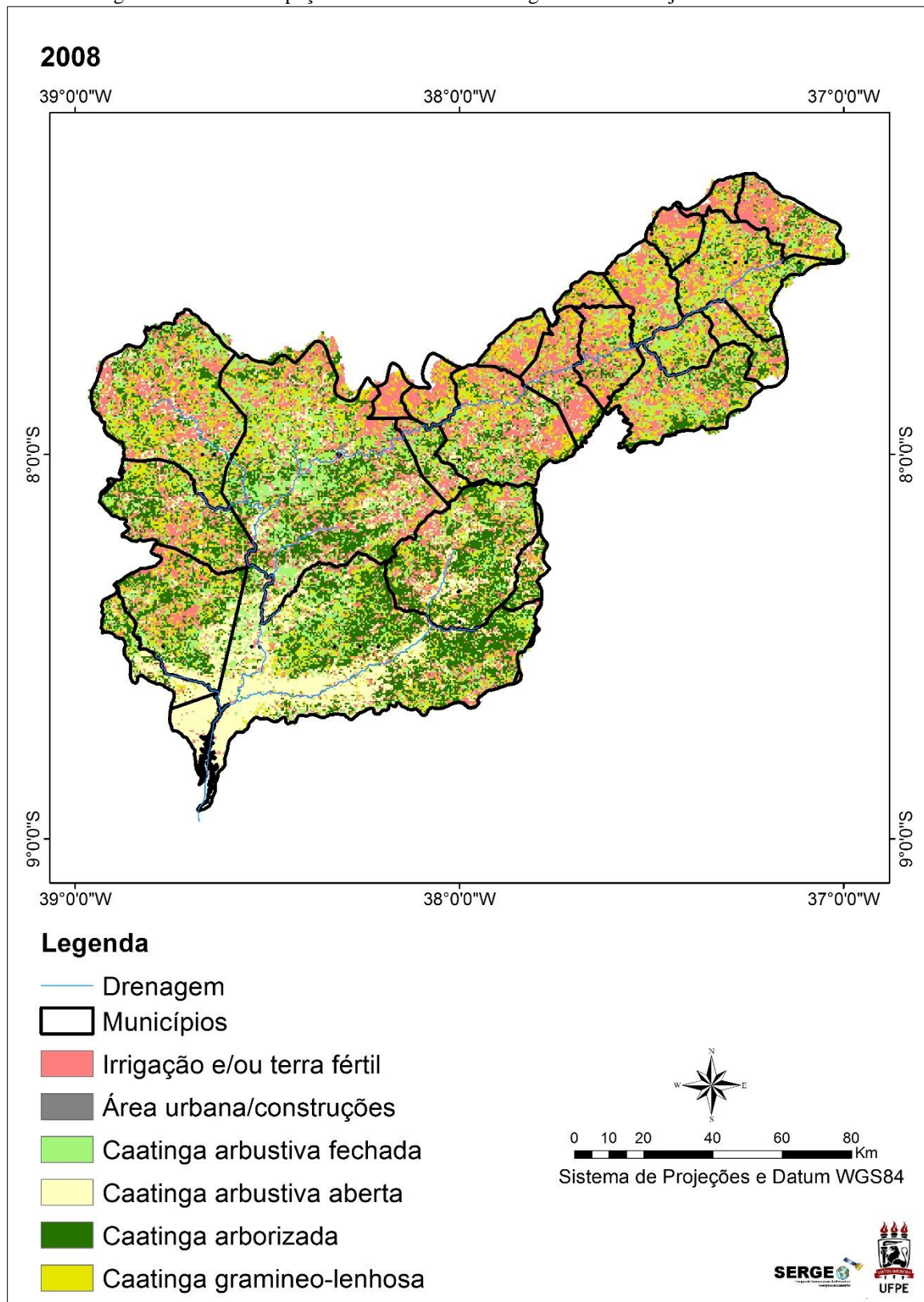
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 23 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2007.



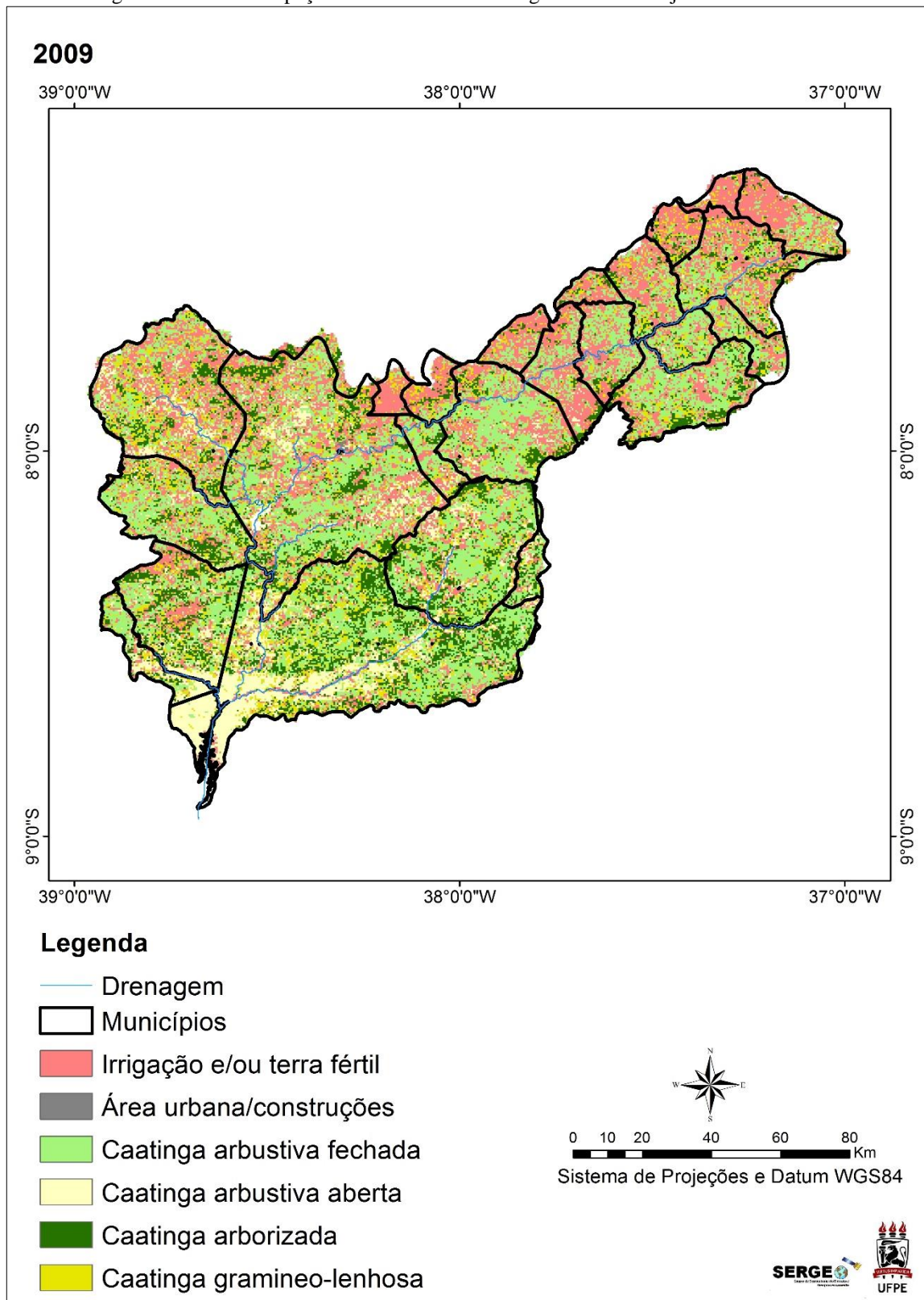
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 24 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2008.



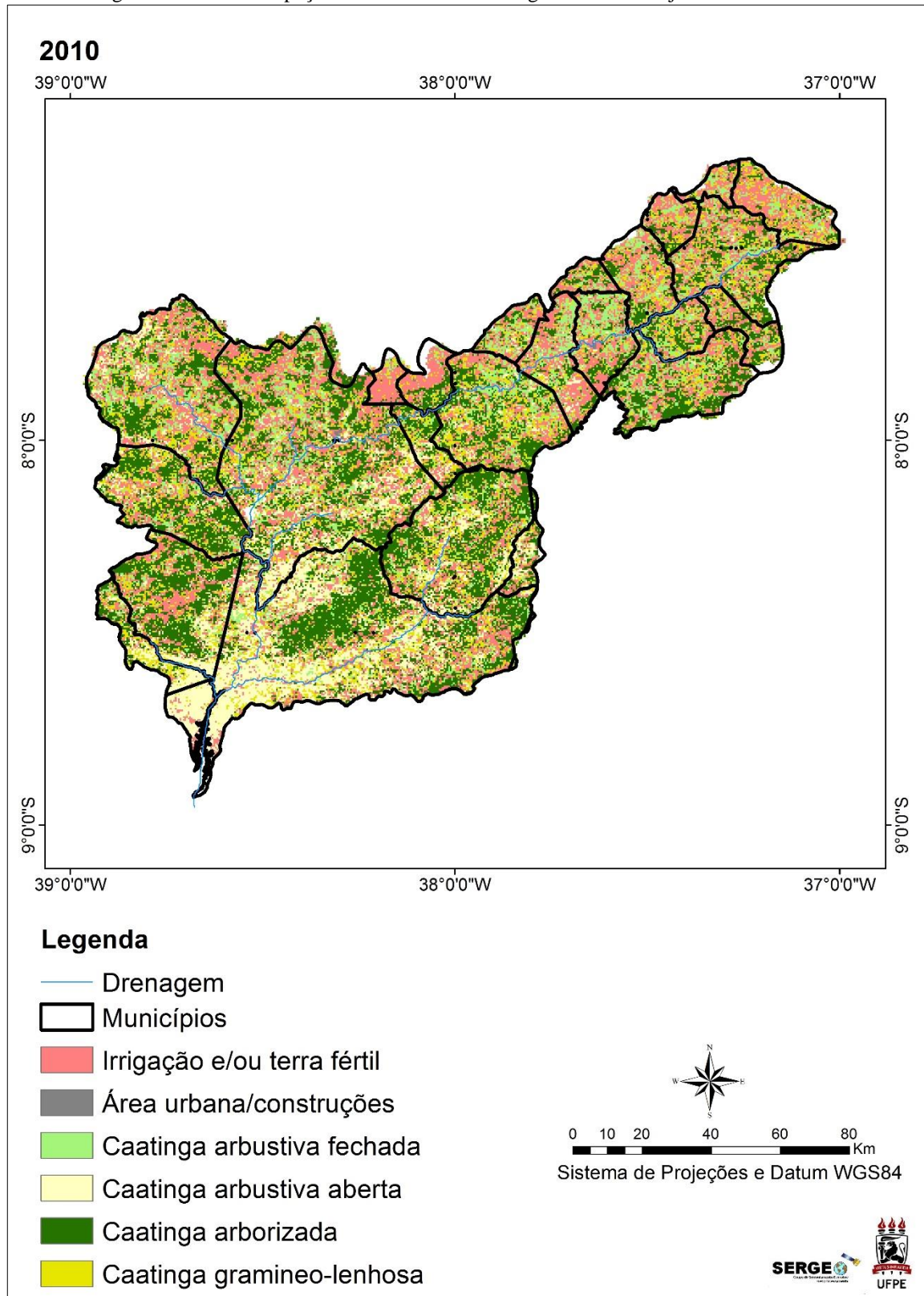
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 25 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2009.



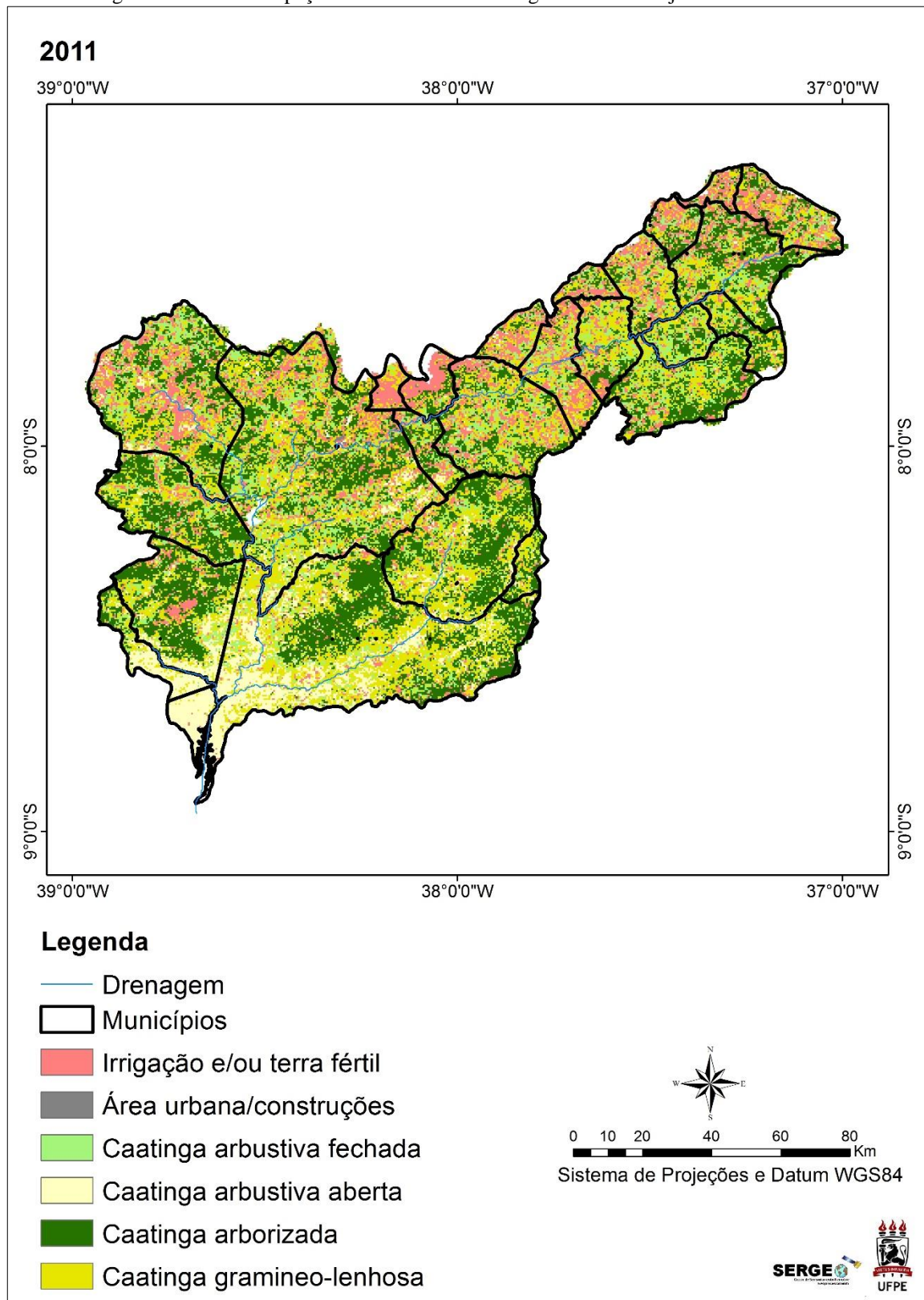
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 26 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2010.



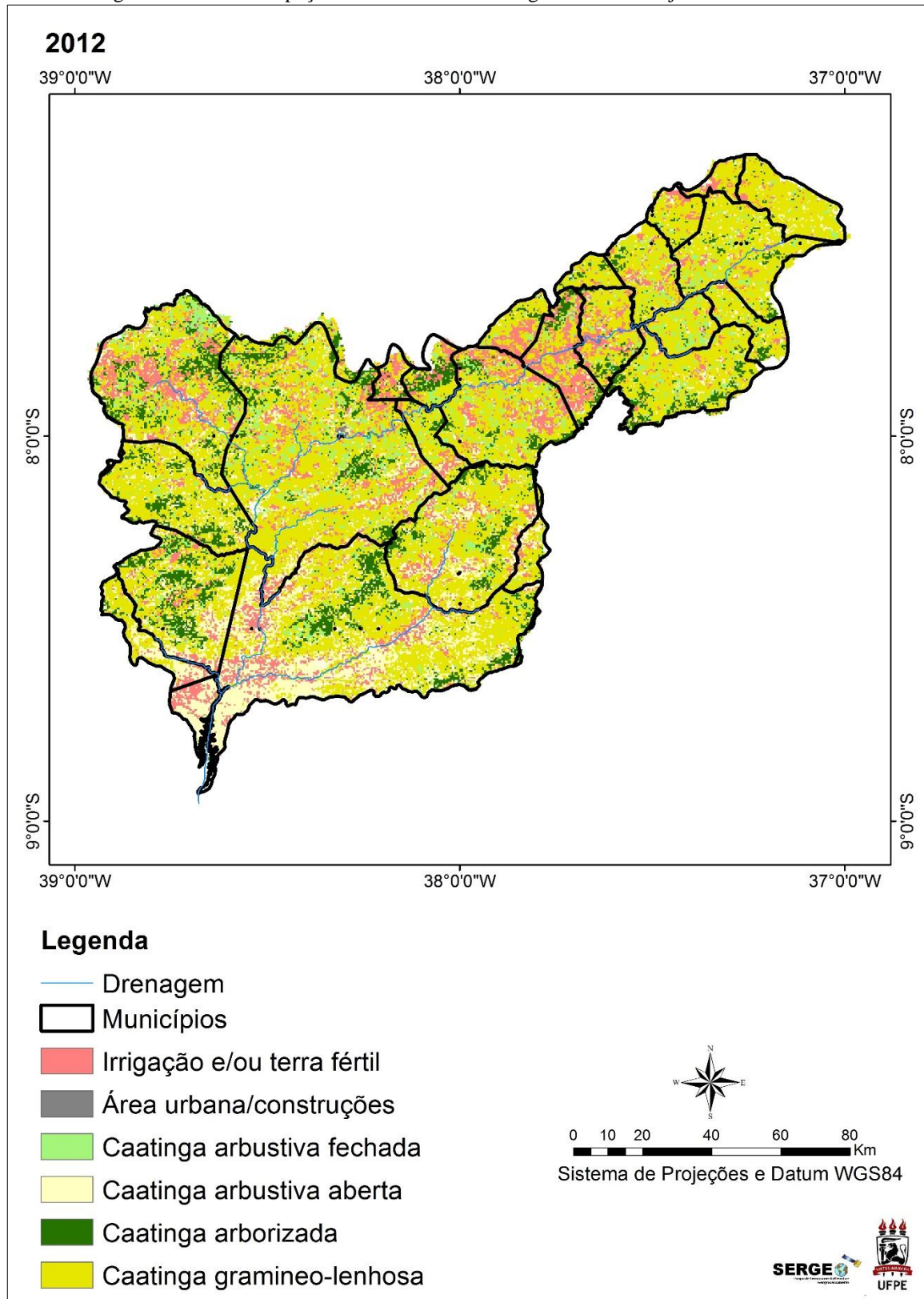
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 27 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2011.



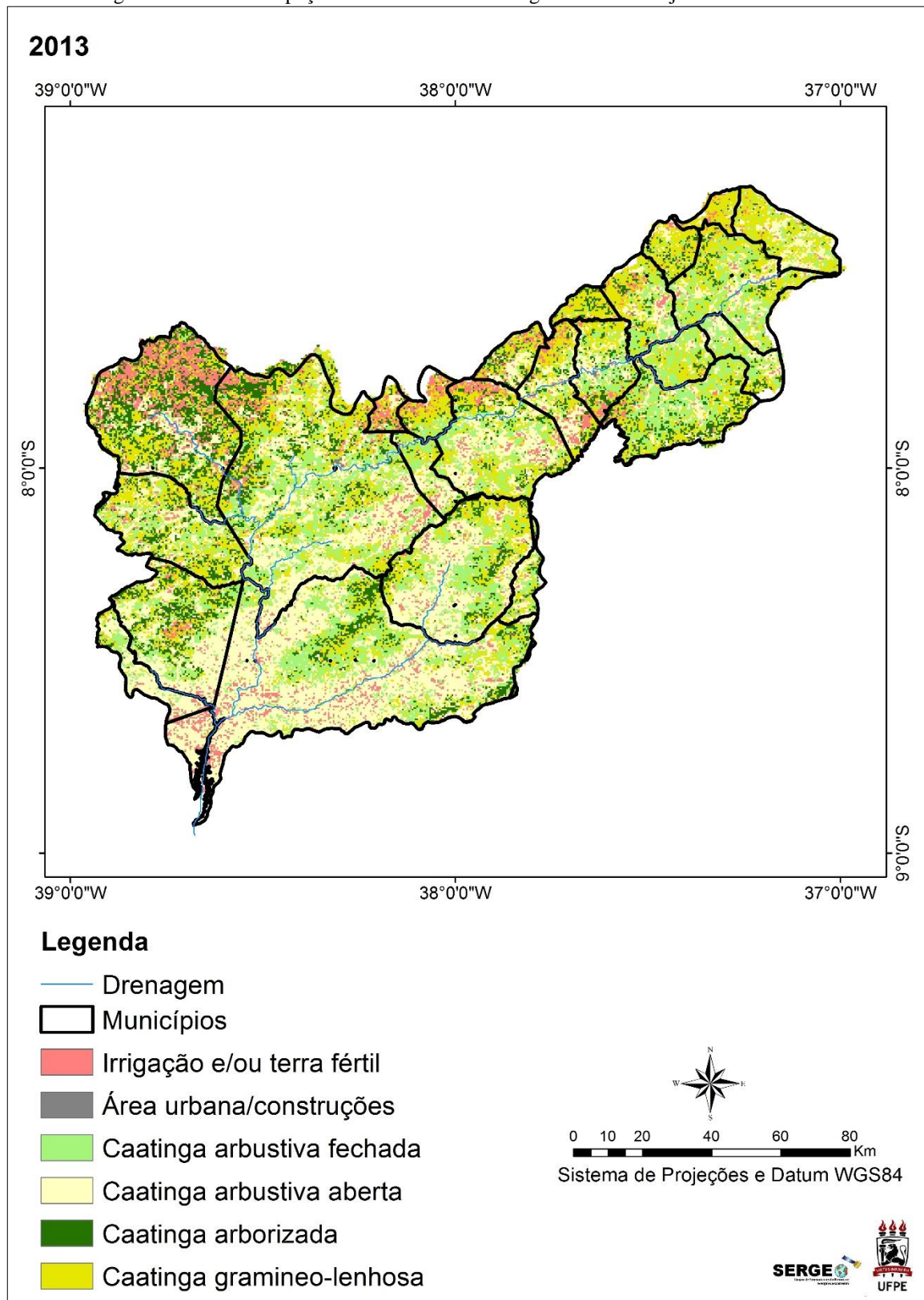
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 28 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2012.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 29 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú no ano de 2013.



Fonte: Dados da pesquisa.

5.1.1 Correlação precipitação x uso e ocupação do solo

Na tabela 4 contém as porcentagens de cada classe dentro da área de estudo ano a ano e a precipitação total anual em mm que foi realizada através de uma média de 8 estações contidas na área. Em alguns casos, como já citados anteriormente, quando analisados a precipitação com os mapas de uso e ocupação do solo e a extensão das classes em Km², visualmente, elas de correlacionam, porém de acordo com os valores tabelados de r (Barbetta, 2010), após a realização da regressão linear, para ser estatisticamente significativa a 95%, o r deveria ser maior que 0.553, com isso, nota-se que nenhuma das classes analisadas apresenta esse valor de correlação. Já a 90%, com valor tabelado de 0.476, a classe caatinga arbustiva aberta pode ser considerada estatisticamente significativa quando analisada em conjunto com a precipitação pois apresenta valor de $r=-0.4959$.

Tabela 4 – Porcentagens anuais e índice de correlação entre uso do solo e precipitação

	Caatinga arbustiva fechada	Caatinga arbustiva aberta	Caatinga arborizada	Caatinga gamíneo- lenhosa	Área urbana e construções	Irrigação e/ou terra fértil	Precipitação (mm)
2001	10.28	9.11	9.62	52.63	0.31	9.02	424.67
2002	11.95	7.41	5.94	55.81	0.32	18.57	618.29
2003	15.04	6.51	7.20	57.60	0.33	13.33	587.11
2004	17.83	9.02	7.01	58.19	0.32	7.64	844.95
2005	11.01	5.48	16.05	55.00	0.32	12.15	685.75
2006	9.79	10.78	10.55	61.68	0.33	6.87	758.29
2007	11.95	9.52	10.87	61.07	0.33	6.26	613.58
2008	9.24	8.81	12.55	56.03	0.33	13.05	1019.30
2009	16.78	6.64	8.28	53.56	0.32	14.42	1002.11
2010	5.43	7.28	13.84	61.83	0.32	11.31	816.48
2011	6.71	5.26	16.62	64.65	0.34	6.42	855.69
2012	3.95	10.96	7.38	70.12	0.38	7.21	213.38
2013	9.74	22.09	7.72	56.70	0.34	3.41	381.99
r	0.3488	-0.4959	0.3966	-0.2850	-0.5290	0.3547	

5.2 ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA

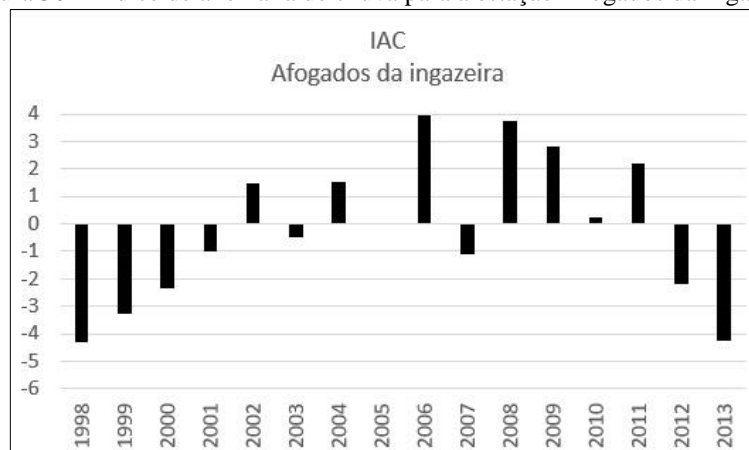
Em locais em que ocorre acentuada ação antrópica, qualquer alteração no ambiente, uso da terra ou eventos climáticos acarretam mudanças significativas sob o comportamento hidrológico e recursos naturais de uma bacia hidrográfica. Devido a isso, é importante a análise do uso e ocupação do solo aliado a dados climáticos. Nesse caso foi realizado o índice de anomalia de precipitação para analisar a frequência que ocorrem anos secos e chuvosos e suas intensidades e ver como isso se relaciona com o uso e ocupação do solo.

Para a estação afogados da Ingazeira (Figura 30), nota-se que dentro do período analisado (2001-2013), a maior parte dos anos podem ser considerados secos (Tabela 5) e isso reflete diretamente na característica da vegetação. Nos primeiros anos de estudo (2001-2003), o IAC se mantém equilibrado entre úmido e seco, não apresentando diferenças significativas no uso e ocupação do solo (Figuras 17-19) nessa área. Nos anos de 2004, 2005, 2008, 2009 e 2011 ocorre o efeito contrário, em alguns meses do ano as anomalias de precipitação são positivas, ocasionando uma diferença menor entre a porcentagem de meses úmidos e secos, oscilando entre úmido e extremamente úmido, dessa forma, as classes de vegetação mais exuberante apresentam maior espacialização e maior porcentagem na área de estudo. É o caso da vegetação arborizada, que entre os anos de 2004 e 2005 obtém um acréscimo de 9%, atingindo o pico de 17% em 2011. Caso semelhante ocorre com a classe irrigação e/ou terra fértil e caatinga gramíneo-lenhosa, onde no período de 2004-2005 e 2008-2009 ocorrem aumentos quando comparados com o período antecedente. Já para 2006, mesmo sendo úmido em sua maior parte, ainda acontece a diminuição da vegetação arborizada e da agricultura e/ou terra fértil na área, devido principalmente ao déficit hídrico acumulado ao longo dos dois anos anteriores, fator que ocorre também no ano de 2007 (Figura 22), onde a classe caatinga gramíneo-lenhosa substitui áreas de predominância de caatinga arbustiva fechada. Com relação a classe irrigação e/ou terra fértil, na região predomina a agricultura de sequeiro, que depende bastante da precipitação, isso ocasionada a falta de aptidão da terra fazendo com que poucas culturas sejam produzidas satisfatoriamente, porém quando irrigadas, essas áreas conseguem produzir mandioca, melancia, amendoim, etc.

Como período mais seco, destacam-se os anos de 2012 e 2013. 2012 foi o ano mais seco dentro do período analisado, e isso é agravado devido aos anos de 2010 e 2011 serem bem equilibrados. Quando analisamos o uso e ocupação do solo do ano de 2013 (Figura 29), nota-se que em Afogados da Ingazeira a classe caatinga arbustiva aberta se destaca. Além disso, também se pode destacar que, como nesse município as maiores precipitações ocorrem nos

meses de março e abril (Figura 4) e o IAC mostra isso através dos valores encontrados para esses meses.

Figura 30 – Índice de anomalia de chuva para a estação Afogados da Ingazeira.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 5 – Meses secos e úmidos para a estação Afogados da Ingazeira.

Ano	% (meses úmidos)	% (meses secos)
1998	8%	92%
1999	17%	83%
2000	8%	92%
2001	50%	50%
2002	50%	50%
2003	25%	75%
2004	42%	58%
2005	42%	58%
2006	67%	33%
2007	25%	75%
2008	50%	50%
2009	67%	33%
2010	42%	58%
2011	50%	50%
2012	8%	92%
2013	17%	83%

Fonte: Dados da pesquisa.

Para a estação Floresta (Figura31) a maior parte dos anos dentro do período analisado também são considerados secos e três anos são bastante normais entre si (2006-2008) (Tabela 6), mesmo assim, nesses anos a classe caatinga gramíneo-lenhosa cresce constantemente (Figura 11), o que comprova que quando acontece anos anteriores mais secos, mesmo com

precipitação em torno da normalidade nos anos analisados, a vegetação perde o seu vigor. Silva et al. (2013), comprovaram em seu estudo sobre o município que no ano de 2008 ocorreu um aumento significativo de corpos hídricos nesse município devido a construção de açudes e que mesmo assim houve perda de vegetação densa.

Figura 31 – Índice de anomalia de chuva para a estação Floresta.

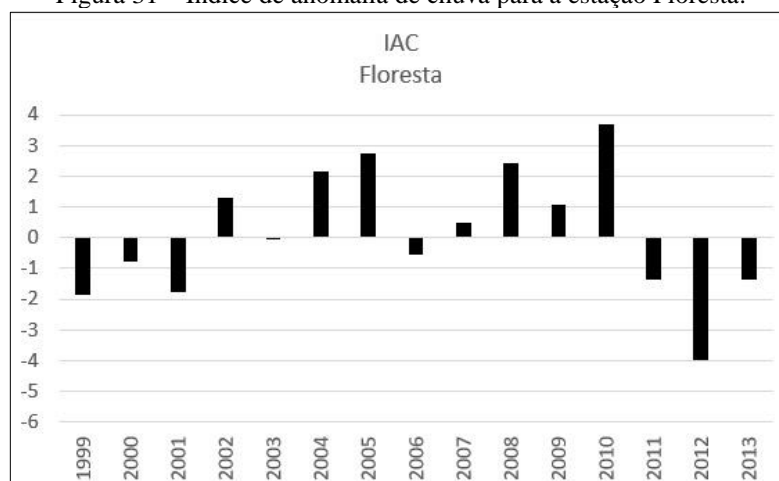


Tabela 6 – Meses secos e úmidos para a estação Floresta.

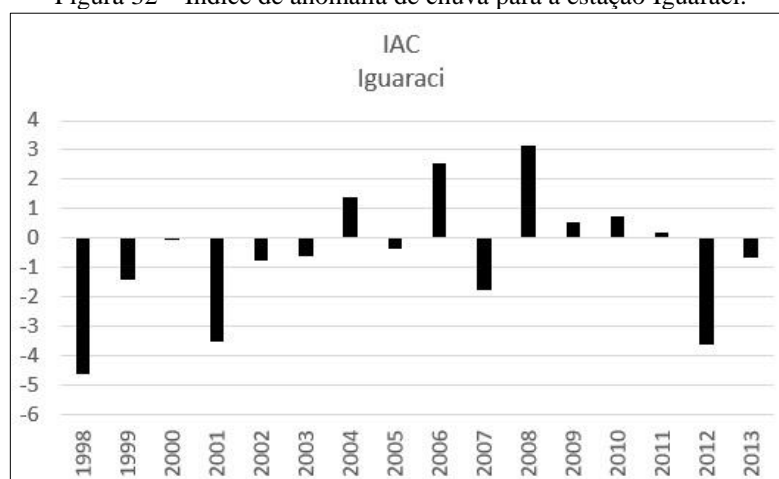
Ano	% (meses úmidos)	% (meses secos)
1998	0%	100%
1999	42%	58%
2000	42%	58%
2001	25%	75%
2002	33%	67%
2003	42%	58%
2004	33%	67%
2005	58%	42%
2006	50%	50%
2007	50%	50%
2008	50%	50%
2009	67%	33%
2010	83%	17%
2011	67%	33%
2012	8%	92%
2013	25%	75%

Quando analisado a primeiro ano da série (2001), nota-se que apenas 25% do ano possui IAC considerado úmido, embora na área analisada (Figura 17) ocorra a presença significativa

das classes caatinga arborizada e caatinga arbustiva fechada a leste do município. Porém em áreas próximas a foz do rio Pajeú, predomina a classe caatinga gramíneo-lenhosa. Nesse contexto deve ser levado em consideração que em anos precedentes como 1997 e 1998, ocorreu um forte El Niño no oceano pacífico e como já vem sendo discutido na literatura, é um sistema que afeta a distribuição das chuvas no Semiárido nordestino. Nos anos de 2012 e 2013, ocorrem as anomalias negativas de precipitação mais fortes, isso acaba ocasionando estresse hídrico na vegetação mais exuberante, fazendo com que ela se adeque a outra classe em floresta, normalmente para caatinga arbustiva aberta). Também foram nesses anos que as classes de irrigação e/ou terra fértil, caatinga arborizada e caatinga gramíneo-lenhosa sofreram com queda em % de representação (Figuras 10 e 11). Outro período que se destaca nessa área é o de 2005 a 2011, sendo todos com mais meses úmidos. Isso reflete diretamente no uso e ocupação do solo na área (Figuras 21-27), nota-se claramente que com o passar dos anos a classe caatinga arborizada entra cada vez mais em destaque, atingindo sua maior extensão no município de Floresta no ano de 2011, principalmente nas áreas mais a leste da bacia. Nas áreas de menores altitudes a predominância é de caatinga arbustiva fechada e nas áreas mais ao sul, devido a proximidade do rio Pajeú e de seu principal afluente, o riacho do Navio, podem ser encontradas pequenas áreas de agricultura e/ou terra fértil e caatinga gramíneo-lenhosa.

A estação Iguaraci é a segunda que apresenta o IAC mais baixo da série analisada (Figura 32). Dos 13 anos analisados, 11 apresentaram mais meses secos do que úmidos (Tabela 7), porém devido a uma faixa de elevação mais alta a leste do município (Figura 2) a classe caatinga arborizada se mantém presente nessa região ao longo dos anos. Analisando o uso e ocupação do solo na área, nota-se que a classe que mais oscila ao longo do tempo é a de agricultura/terra fértil, pois em alguns anos é bem predominante na área, como em 2002 (Figura 18) e em outros praticamente inexistente, como em 2004 (Figura 20) e 2013 (Figura 29). Assim como nos municípios analisados anteriormente, os anos mais secos foram os de 2012 e 2013, porém, no ano de 2012 o uso e ocupação do solo no município atinge uma área maior de caatinga gramíneo-lenhosa. Já 2006, como o único ano úmido da região de acordo com a % de meses úmidos e secos (Tabela 7), no uso e ocupação do solo (Figura 22) predominam as classes caatinga arbustiva fechada e agricultura e/ou terra fértil.

Figura 32 – Índice de anomalia de chuva para a estação Iguaraci.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 7 – Meses secos e úmidos para a estação Iguaraci.

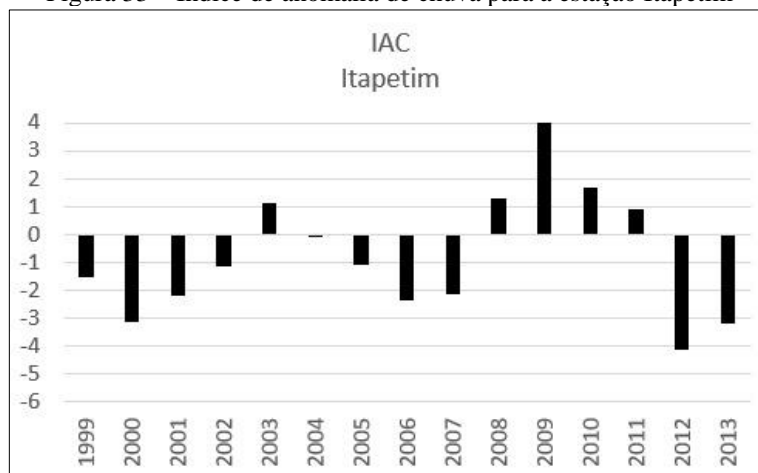
Ano	% (meses úmidos)	% (meses secos)
1998	8%	92%
1999	42%	58%
2000	58%	42%
2001	17%	83%
2002	17%	83%
2003	33%	67%
2004	25%	75%
2005	33%	67%
2006	58%	42%
2007	8%	92%
2008	50%	50%
2009	42%	58%
2010	33%	67%
2011	42%	58%
2012	8%	92%
2013	25%	75%

Fonte: Dados da pesquisa.

Itapetim é o município mais ao norte da bacia hidrográfica, segundo o IAC para a estação presente no município (Figura 33), ele é o mais seco da área de estudo, onde dos 13 anos analisados, 12 foram considerados secos em sua maioria (Tabela 8). Deve-se destacar logo o primeiro ano de estudo, 2001, pois, mesmo que a % de meses secos foi de 75%, em anos anteriores como 1998 e 2000 esses valores ultrapassaram os 100%, gerando um período prolongado de seca e afetando diretamente a vegetação. Embora ainda sendo considerado um

ano seco, 2003 é o que mais possui precipitação em torno da normalidade para essa estação dentre os analisados, e isso pode ser refletido no uso e ocupação do solo no mesmo período (Figura 19), pois há um aumento significativo da classe irrigação e/ou terra fértil. A situação mais crítica nesse município são os anos de 2012 e 2013, em que a quantidade de meses secos superam os 80%. Quando analisados os mapas de uso e ocupação desses anos (Figuras 28 e 29) vemos que ocorre a predominância de classes características de climas mais secos como a caatinga arbustiva aberta e a caatinga gramíneo-lenhosa.

Figura 33 – Índice de anomalia de chuva para a estação Itapetim



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 8 – Meses secos e úmidos para a estação Itapetim.

Ano	% (meses úmidos)	% (meses secos)
1998	0%	100%
1999	33%	67%
2000	8%	92%
2001	25%	75%
2002	25%	75%
2003	42%	58%
2004	17%	83%
2005	25%	75%
2006	8%	92%
2007	17%	83%
2008	33%	67%
2009	75%	25%
2010	42%	58%
2011	33%	67%
2012	8%	92%
2013	17%	83%

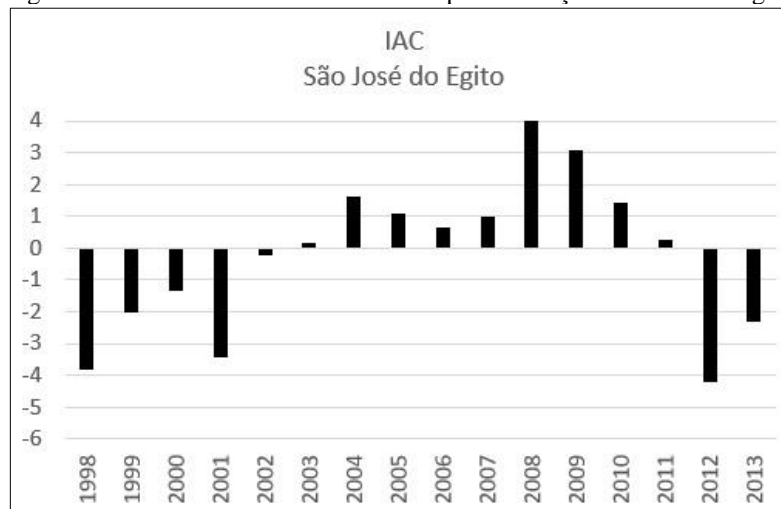
Fonte: Dados da pesquisa.

São José do Egito é um município localizado no alto Pajeú, e assim como Itapetim, a maior parte dos anos analisados apresentam IAC de áreas secas (Figura 34), porém em menor intensidade que na avaliação anterior (Tabela 8). Devido a isso, em alguns casos como nos anos de 2006 a 2009 a porcentagem de meses úmidos e secos se igualam (2006 e 2007) e nos anos de 2008 e 2009 existem mais meses úmidos (Tabela 9), isso faz com que ocorra um período maior do ano com umidade mais alta e água no solo, que pode ser evidenciado através dos mapas de uso e ocupação do solo (Figuras 22 a 25), onde em 2006 predomina a classe de caatinga arbustiva fechada e pequenas áreas de irrigação e/ou terra fértil.

Em 2007, áreas de caatinga arbustiva fechada dão espaço para a caatinga arborizada e também ocorre um ligeiro aumento da classe irrigação e/ou terra fértil. Em 2009 ocorre a diminuição de caatinga arborizada, porém segue crescendo as áreas irrigadas e férteis. Nesse período é praticamente inexistente a classe caatinga gramíneo-lenhosa na região. Em 2009, com a sequência de um ano mais úmido as áreas de caatinga arbustiva fechada aumentam consideravelmente em toda a área de estudo e irrigação e/ou terra fértil domina todo o norte do município.

Acontece algo semelhante com os anos de 2010 e 2011, apesar de 2010 ter sido um ano mais seco, como os anteriores foram mais úmidos, as duas classes já mencionadas continuam bastante representativas e em 2011, mais úmido que o anterior, a classe caatinga arborizada se torna a mais representativa da região. A seca acumulativa que impacta no uso e ocupação do solo também pode ser comprovada analisando os dados de 2001 a 2005, onde com a sequência de anos com meses mais úmidos, o uso e ocupação do solo (Figuras 17 a 21) tende a ir se alterando principalmente entre as classes caatinga arbustiva fechada e caatinga arborizada. Já o ano de 2012 se destaca por ser o único ano da série analisada para o município a ser 100% seco, isso reflete no uso e ocupação do solo (Figura 28) que nesse ano predomina a classe caatinga gramíneo-lenhosa, e em 2013, que apesar de também ser seco, é mais ameno que o ano anterior, fazendo com que a vegetação gramíneo-lenhosa dê espaço a arbustiva aberta.

Figura 34 – Índice de anomalia de chuva para a estação São Jose do Egito.



Fonte: Dados da pesquisa

. Tabela 9 – Meses secos e úmidos para a estação São José do Egito.

Ano	% (meses úmidos)	% (meses secos)
1998	0%	100%
1999	17%	83%
2000	25%	75%
2001	25%	75%
2002	33%	67%
2003	25%	75%
2004	33%	67%
2005	33%	67%
2006	50%	50%
2007	50%	50%
2008	58%	42%
2009	58%	42%
2010	42%	58%
2011	58%	42%
2012	0%	100%
2013	33%	67%

Fonte: Dados da pesquisa.

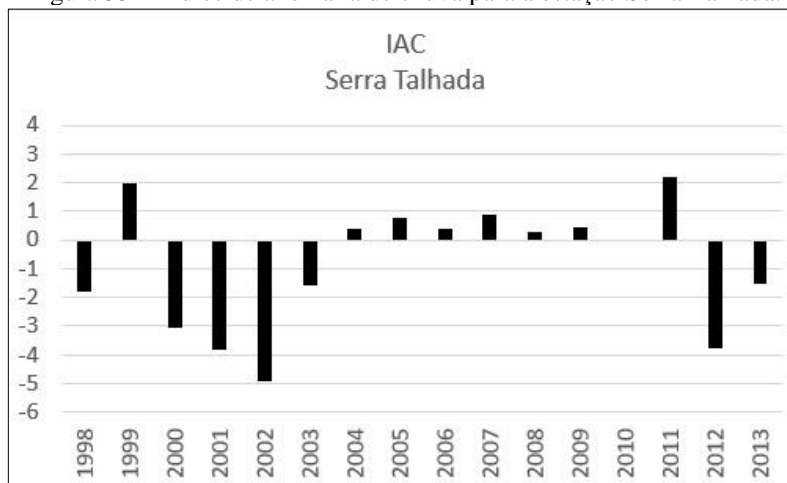
Através da análise do IAC para o município de Serra Talhada (Figura 35), nota-se que a maior parte dos anos possui uma quantidade maior de meses secos, os anos de 2001 a 2004 se destacam por apresentar porcentagens altas de meses secos (Tabela 10), mesmo assim, devido a área apresentar altitudes mais elevadas, nos anos de 2001, 2003 e 2004 a classe caatinga arbustiva fechada ainda predomina no município (Figuras 18-20), embora no ano de 2002 (Figura 18) comecem a surgir áreas de caatinga gramíneo-lenhosa. Esse padrão também se

repete nos anos de 2005-2008. Os anos de 2009 e 2010, apesar da porcentagem igual de meses secos, apresentam características distintas quando analisados os usos e ocupações do solo (Figuras 25 e 26).

No ano de 2009 (Figura 25), se destaca a classe caatinga arbustiva fechada enquanto no de 2010 (Figura 26) se destaca a de agricultura e terra fértil. Coelho et al. (2014) estudou o uso e ocupação do solo num afluente do rio Pajeú e constatou que entre os anos de 1991 e 2010 ocorreu uma dinâmica acelerada no comportamento da cobertura vegetal com a substituição progressiva das áreas de caatinga aberta e caatinga densa, pelas de pastagem/agricultura. Ele ainda afirmou que em 2010 a classe representada pelas atividades agropecuárias e agrícolas continuou crescendo em área, chegando a ocupar 36% da bacia hidrográfica enquanto, por sua vez, as áreas de caatinga aberta e densa foram reduzidas para 39 e 21%, além disso, os resultados deles também apontaram que houve aumento significativo de áreas com presença de água, demonstrando resultados semelhantes a essa pesquisa.

Nos anos de 2012 e 2013, assim como nos municípios já analisados, o IAC atinge picos negativos, comprovando a seca que se alastrou nessa região nesses anos. O uso do solo (Figuras 28 e 29) se distinguem entre si principalmente devido a intensidade da seca. Em 2012 predomina a classe de caatinga gramíneo-lenhosa e em 2013 a de caatinga arbustiva aberta.

Figura 35 – Índice de anomalia de chuva para a estação Serra Talhada.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 10 – Meses secos e úmidos para a estação Serra talhada.

Ano	% (meses úmidos)	% (meses secos)
1998	33%	67%
1999	42%	58%
2000	42%	58%

2001	0%	100%
2002	8%	92%
2003	25%	75%
2004	25%	75%
2005	42%	58%
2006	50%	50%
2007	17%	83%
2008	33%	67%
2009	42%	58%
2010	42%	58%
2011	58%	42%
2012	0%	100%
2013	25%	75%

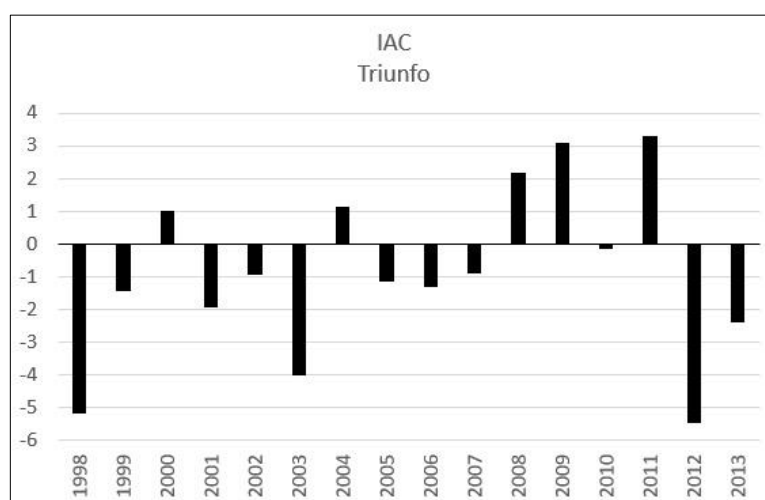
Fonte: Dados da pesquisa

O índice de anomalia de precipitação analisado em escala mensal permite ver detalhes maiores da variabilidade climática no Semiárido. É bastante comum um ano apresentar IAC extremamente seco e no ano seguinte ser mais úmido. Esse tipo de situação de destaca bastante no município de Triunfo (Figura 36) onde nos anos de 2001-2003 e 2005-2007 o IAC é mais seco, e nos anos seguintes desses períodos o IAC se apresentar positivo. Fica claro que nesse município, que os anos de forte escassez hídrica foram os de 1998, 2003 e 2012, que são onde os valores do IAC atingem seus picos negativos, também é possível analisar os anos que se agrupam, e que no geral, possuem a mesma característica, mostrando que teve influência de algum sistema meteorológico, além disso, esses anos também possuem mais de 75% de meses secos (Tabela 11), evidenciando a forte escassez. Na área se destaca o ano de 1998 como predominantemente seco, e segundo dados do NOAA, nesses anos ocorreram o fenômeno El Niño, que já é bastante conhecido por influenciar no regime de chuvas na região nordeste do Brasil.

Conferindo as anomalias de Triunfo (Figura 36) em conjunto com os mapas de uso e ocupação do solo (Figuras 17 a 29), o mapa de solos (Figura 5) e o mapa de altimetria (Figura 2) vemos que nos primeiros anos com anomalias negativas ocorre a predominância de caatinga arborizada, bem como agricultura e terras férteis nas áreas de maior altitude no município em questão e nos municípios vizinhos, Santa Cruz da Baixa Verde, Quixabá e Solidão, visto que as áreas classificadas como terras férteis estão diretamente relacionadas com áreas em que o solo possui maior umidade. Também está presente nesses municípios plantações de feijão, banana, hortaliças e etc sob o predomínio dos neossolos litólicos, que embora rasos e pouco profundos, quando irrigados corretamente é sensível a produção de vegetais de pequeno porte.

Nos últimos anos de anomalia negativa (2012 e 2013) devido a intensificação e a ser dois anos seguidos, as classes já mencionadas sofrem uma queda abrupta, ficando difícil em alguns casos, sua identificação nos mapas de uso e cobertura. Nesses dois últimos anos as classes predominantes de uso e cobertura são as de caatinga gramíneo-lenhosa e a de caatinga arbustiva aberta. Triunfo se difere dos demais municípios analisados por ser o único a apresentar a classificação de seca mais ríspida do estudo. Como esse município é o mais chuvoso dentre os analisados, foi constatado que nos meses classificados como extremamente secos, a precipitação mensal não ultrapassou os 40 mm, bastante atípico para a região, em alguns meses como em janeiro de 2016 e 2017, a precipitação foi de 0 mm. Nas demais áreas é bastante comum a precipitação mensal ser igual a 0, então os valores médios são mais baixos para o cálculo do IAC, não gerando valores tão alarmantes quanto em Triunfo.

Figura 36 – Índice de anomalia de chuva para a estação Triunfo.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 11 – Meses secos e úmidos para a estação Triunfo.

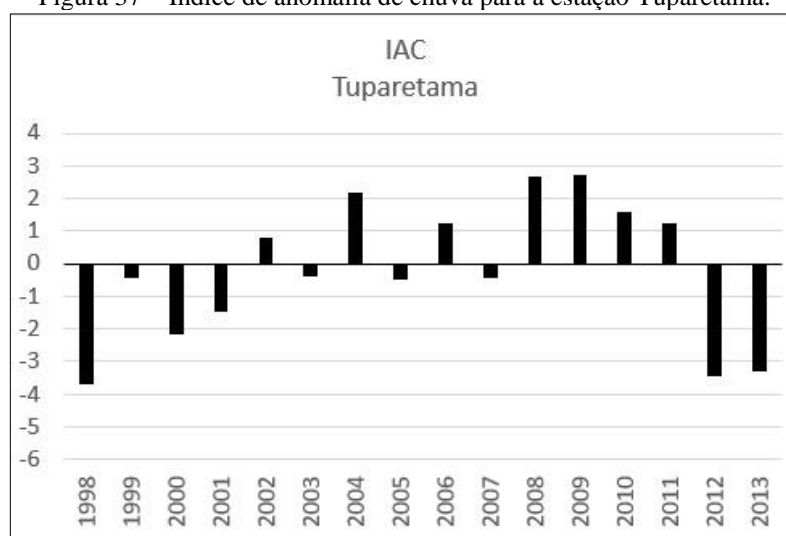
Ano	% (meses úmidos)	% (meses secos)
1998	8%	92%
1999	42%	58%
2000	67%	33%
2001	42%	58%
2002	17%	83%
2003	25%	75%
2004	42%	58%
2005	42%	58%
2006	33%	67%
2007	58%	42%
2008	42%	58%

2009	50%	50%
2010	58%	42%
2011	92%	8%
2012	8%	92%
2013	25%	75%

Fonte: Dados da pesquisa.

Em contraste com o município anterior e seu IAC (Figura 36), o município de Tuparetama apresenta IAC dez anos mais secos entre o período de estudo (Figura 37).

Figura 37 – Índice de anomalia de chuva para a estação Tuparetama.



Fonte: Dados da pesquisa.

Com isso, nota-se que mesmo com períodos de seca constante, a caatinga arborizada e a arbustiva fechada predominam em quase todos os anos, a situação só difere em 2012 (Figura 28), quando a classe caatinga gramíneo-lenhosa prevalece praticamente em todo o município, esse também é o ano em que todos os meses apresentaram IAC negativo (Tabela 12). Enquanto isso, o ano de 2006 e 2009 se destacam por serem os mais úmidos dentre os analisados, apresentando 66,66% de meses úmidos, isso reflete no uso e ocupação do solo, visto que nesses anos (Figuras 22 e 25) predominam as classes de agricultura e/ou terra fértil e caatinga arbustiva fechada.

Tabela 12 – Meses secos e úmidos para a estação Tuparetama.

Ano	% (meses úmidos)	% (meses secos)
1998	0.00%	100.00%
1999	16.66%	83.34%
2000	0.00%	100.00%

2001	25.00%	75.00%
2002	41.66%	58.33%
2003	25.00%	75.00%
2004	33.33%	66.67%
2005	41.66%	58.33%
2006	66.66%	33.34%
2007	25.00%	75.00%
2008	41.66%	58.33%
2009	66.66%	33.34%
2010	41.66%	58.33%
2011	58.33%	41.66%
2012	0.00%	100.00%
2013	8.33%	91.67%

Fonte: Dados da pesquisa.

5.3 CORRELAÇÃO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO X IAC

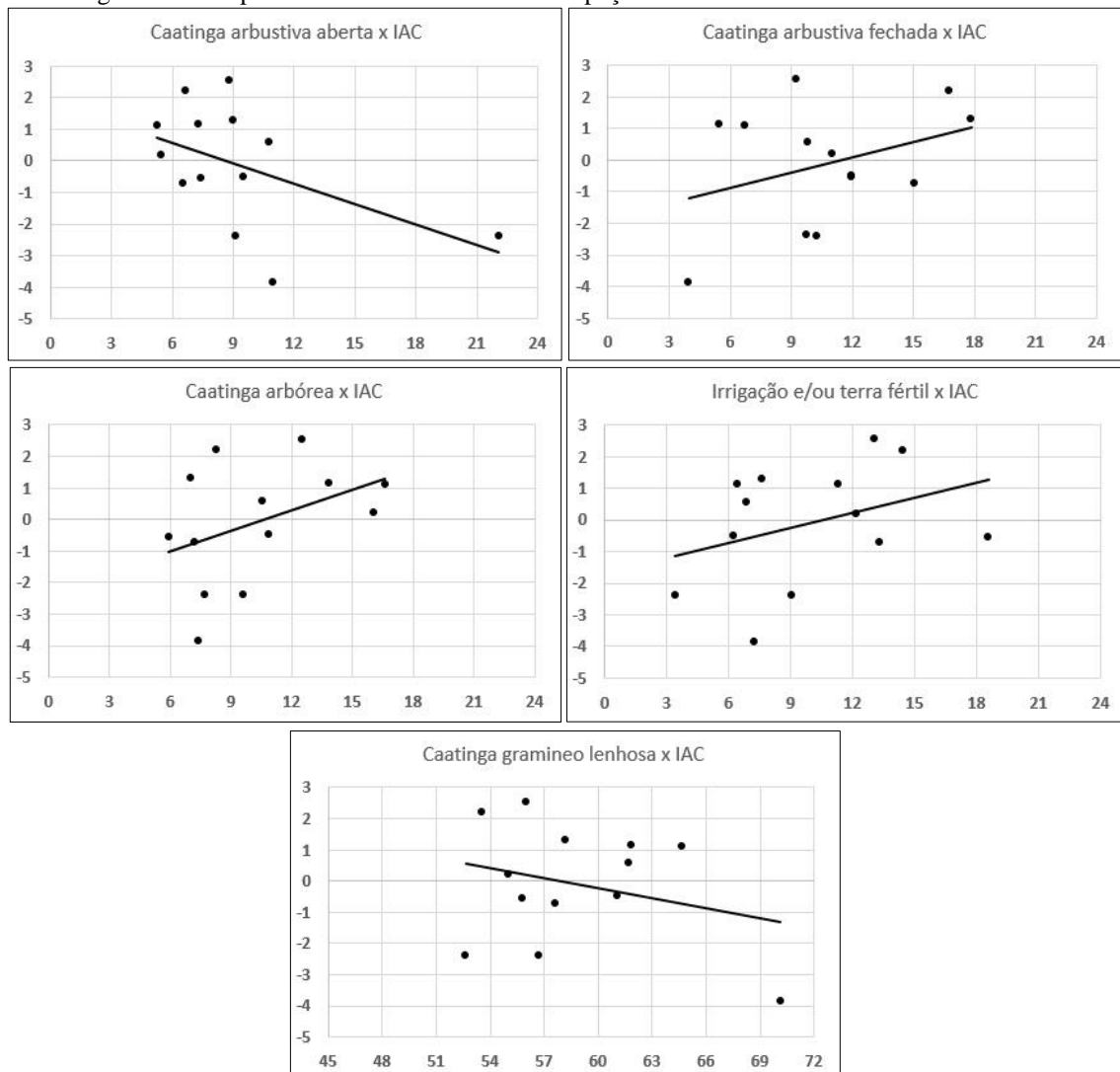
Como já mostrado anteriormente em alguns casos o uso e ocupação do solo podem ser correlacionados visualmente com o IAC, mas quando observamos os dados através de uma regressão linear, vemos que as correlações não possuem significância estatística quando analisados apenas os 13 anos de dados amostrados (Tabela 13). O valor de r mais significativo foi encontrado para a relação entre caatinga arbustiva aberta e IAC, assim como na correlação dessa classe com a precipitação anual (Tabela 4). Blain e Brunini (2005), encontraram forte correlação estatística quando analisaram dois índices de precipitação, o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) para o estado de São Paulo, porém não foram encontrados na literatura pesquisas que relacionassem o uso e ocupação do solo com índices climáticos.

Os gráficos de dispersão (Figura 38) elaborados comprovam o que já foi discutido. Fica evidente que a série analisada não possui significância, mostrando valores dispersos e linha de tendência pouco inclinada.

Tabela 13 – Valores de r para a correlação entre IAC e uso e ocupação do solo

IAC x Uso e ocupação do solo	
r	
Caatinga arbustiva fechada	0.3523
Caatinga arbustiva aberta	-0.4888
Caatinga arbórea	0.4061
Caatinga gramíneo lenhosa	-0.2781
Irrigação e/ou terra fértil	0.3548

Figura 38 – Dispersão dos dados entre uso e ocupação do solo e índice de anomalia de chuva



6 CONCLUSÕES

- A densidade da cobertura vegetal não depende unicamente das chuvas ocorridas no próprio ano, é também consequência das condições climáticas de anos anteriores.
- Na área estudada o tipo de vegetação que mais se destaca é a de caatinga gramíneo lenhosa.
- A caatinga arbustiva aberta foi a que se mostrou mais susceptível a alterações devido as condições climáticas.
- A vegetação de caatinga pode assumir características distintas na mesma área de acordo com as condições climáticas, indo de caatinga arborizada em anos mais úmidos e chegando a caatinga gramíneo-lenhosa em anos mais secos.
- Para o índice de anomalia de chuva, em geral, foram encontrados valores negativos, evidenciando que a área sofre com condições extremas de seca.
- Apesar de em alguns casos terem sido encontrados valores de r com boa correlação para a comparação entre uso e ocupação do solo e índice de anomalia de chuva, eles não possuem significância estatística dentro do conjunto de dados analisados. Dessa forma, sugere-se que seja analisado uma série maior para observar se a situação persiste.
- A identificação, quantificação e análise das alterações ocorridas no uso e ocupação do solo no período analisado são essenciais para a elaboração de futuros cenários paisagísticos que simulam as condições ambientais para períodos futuros.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. **Caderno de recursos hídricos**. ANA-CDOC, 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2015.
- ALVES, J. O. et al. Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco. **Pensar Acadêmico**, Manhuaçu, v. 14, n. 1, p. 37-47, 2016.
- ALVES, M. F. A. et al. Análise do regime hídrico de Patos-PB por meio do índice de anomalia de chuvas (IAC). **Revista Verde**, Pombal, v. 10, n. 4, p. 42-46, 2015.
- ANDRADE, M. C. Formação territorial do Brasil. In: BECKER, B.; CHRISTOFOLETTI, A. (Org.). **Geografia e meio ambiente no Brasil**. São Paulo/Rio de Janeiro: Hucitec, 1995.
- ARAÚJO, J. A. **Caatinga, antropismo, impactos e mitigação**. Seminário: Pacto pela convivência com o Semiárido. Fortaleza: Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos da Assembléia Legislativa do Estado do Ceará, 2010.
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise Climática da Bacia do Rio Paraíba - Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 508-523, 2009.
- ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na Bacia do Rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, Recife, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2007.
- BACCI, D. L. C.; PATACA, E. M. Educação para a água. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 211-226, 2008.
- BARBETTA, P. A. - Estatística aplicada às Ciências Sociais. 7 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2010
- BICALHO, C. C. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto**. 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- BROWN, A. E. et al. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 310, n.1-4, p. 28-61, 2005.
- CABANELAS, I. T. D.; MOREIRA, L. M. A. Estudo sobre o estado de preservação das nascentes do rio Sapato, Lauro de Freitas-BA. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, Salvador, v. 6, n. 2, p.160-162, 2007.
- CBHSF. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO. **O tal do rio Pajeú que despeja no São Francisco**. 2014. Disponível em: <

<http://cbhsaofrancisco.org.br/o-tal-do-rio-pajeu-que-despeja-no-sao-francisco/>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

CHUERUBIM, M. L.; PAVANIN, E. V. Análise do uso e ocupação do solona bacia hidrográfica do córrego Barbosa no ano de 2011. **GEOUSP – espaço e tempo**, São Paulo, n. 33, p. 229-238, 2013.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira da Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, p. 95-118, 2001.

DE-SHERBININ, A. **A CIESIN thematic guides to land-use and land-cover change**. Palisades: Center for International Earth Science Information Network of Columbia University, 2002. Disponível em: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/binaries/web/sedac/thematic-guides/ciesin_lucc_tg.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2016.

DINIZ, J. M. T. Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba, **Holos**, Rio Claro, v. 3, p. 171-180, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presente Prudente, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FRIEDL, M. A. et al. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, n. 1, p. 287-302, 2002.

FRIEDL, M. A. et al. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 114, n. 1, p. 168-182, 2010.

GONÇALVES, D. M.; SOUSA JÚNIOR, W. C. Análise de dados sistemáticos de uso e cobertura da terra para modelagem dinâmica espacial na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5843-5850.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2010. p. 225-251.

HELLER, L.; PÁDUA, W. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. p. 859.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275 p.

INSTITUTO GEOLÓGICO MINEIRO. **Água subterrânea: conhecer para preservar o futuro**. 2001. Disponível em: <http://www.ineg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea>. Acesso em: 23 jul. 2015

LP DAAC Land Processes Distributed Active Archive Center. **Land cover type yearly L3 Global 500 m SIN Grid**. 2014. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mcd12q1>. Acesso em: 20 ago. 2015.

MAEDA, E. E. **Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na Região da Bacia do Alto Rio Xingu**. São José dos Campos: INPE, 2008. 104 p.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no Semiárido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, Brasília, DF, n.27, 2008.

MATSUSHITA, B.; XU, M.; FUKUSHIMA, T. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura, Japan using a high-quality GIS dataset. **Landscape and Urban Planning**, v. 78, p. 241-250, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Ciclo hidrológico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

McCULLOCH, J. S. G.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 150, p. 189-216, 1993.

MORAIS, Y. C. B. et al. Climate variability and extreme events occurrence in Petrolina-PE municipality. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 6, n. 4, p. 175-183, 2016.

MUCHONEY, D. et al. The IGBP DISCover confidence sites and the system for terrestrial ecosystem parameterization: tools for validating global land-cover data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 65, n. 9, p. 1061-1067, 1999.

NORONHA, G. C.; HORA, M. A. G. M.; SILVA, L. P. Análise do índice de anomalia de chuva para a microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 1, 74-81, 2016.

OLIVA JÚNIOR, E. F. de; SOUZA, I. S. Os impactos ambientais decorrentes da ação antrópica na nascente do rio Piauí – Riachão do Dantas/SE. **Revista Eletrônica da Faculdade José Augusto Vieira**, Lagarto, v. 5 n. 7, 2012.

OLIC, N. B. **Recursos hídricos das regiões brasileiras: aspectos, usos e conflitos**. 2003. Disponível em: <http://www.clubemundo.com.br/pages/revistapangea/show_news.asp?n=188&ed=4>. Acesso em: 23 jul. 2015.

PÁDUA, J. A. Arrastados por uma cega avareza: as origens da crítica à destruição dos recursos naturais amazônicos. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 133-146, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; Impactos na simulação atmosférica devido a mudança do uso e cobertura da terra na América do Sul. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 85-100, 2013.

PRADO JÚNIOR, C. **História econômica do Brasil**. 26. ed. São Paulo: Brasiliense, 1981. 364 p.

REPELLI, C. A. et al. Índice de anomalia de precipitação para o Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA e CONGRESSO DA FLLSMET, 10., e 8., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília, 1998.

ROIG, H. L. **Modelagem e integração de processos erosivos e do transporte de sedimentos – o caso da bacia do rio Paraíba do Sul**. 2005. 215 f. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

ROJAS, F.; SCHOWENGERDT, R. A.; BIGGAR, S. F. Early results on the characterization of the Terra MODIS spatial response. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, n. 1-2, p. 50-61, 2002.

ROOY, M. P V. A rainfall anomaly index independent of time and space. Notes. **Weather Bureau of South Africa**, Erasmusrand, v. 14, p. 43-48, 1965.

SANCHES, et al. O índice de anomalia de chuva (iac) na avaliação das precipitações anuais em alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 51, p. 73–84, 2014.

SANTOS, R. D. B. et al. Avaliação da dinâmica da vegetação em áreas desmatadas na floresta amazônica. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 4, p. 512-523, 2015.

SCHAAF, C. B. et al. First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, n. 1, p. 135–148, 2002.

SAHIN, M. J.; HALL, M. J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n. 1178, p. 239-309, 1996.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise de distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. In: ENCONTRO NACIONAL DE HIDROINFORMÁTICA, 1., 2008, Fortaleza. **Anais...** CD ROM.

SETTI, A. A. et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional da Água, 2001. 225 p.

SILVA, D. F.; SOUZA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.25, n.3, p.324-332, 2010.

SILVA, E. A. et al. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta, PE. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 611-620, 2013.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 35-51.

SOUZA, A. B.; MELO, R. A.; SILVA, D. F. Avaliação climática e de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe (CE). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, p. 1115-1140, 2013.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: Tucci, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007. cap. 11, p. 391-442.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.

TUCCI, C. E. M. Modelos determinísticos. In: ABRH (Org.) **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel, 1987. p. 213-324.

ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G. R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water Resources Research**, Tucson, v. 37, n. 3, p. 701-708, 2001.

WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. **Journal de Hydrology**, Amsterdam, v. 145, p. 217-230, 1993.