



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**MARIA DA CONCEIÇÃO DE SOUSA**

**DINÂMICA DE DISTÚRBIOS ANTROPOGÊNICOS NO SEMIÁRIDO**  
**BRASILEIRO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE - CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2020**

MARIA DA CONCEIÇÃO DE SOUSA

DINÂMICA DE DISTÚRBIOS ANTROPOGÊNICOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO:  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE - CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Teogenes Senna de Oliveira.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S697d Sousa, Maria da Conceição de.  
Dinâmica de distúrbios antropogênicos no semiárido brasileiro: bacia hidrográfica do rio Jaguaribe -Ceará / Maria da Conceição de Sousa. – 2020.  
56 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Teogenes Senna de Oliveira.

1. MapBiomias. 2. uso e ocupação do solo. 3. análise pixel a pixel. I. Título.

CDD 577

---

MARIA DA CONCEIÇÃO DE SOUSA  
DINÂMICA DE DISTÚRBIOS ANTROPOGÊNICOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO:  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE - CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em: 04/08/2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Teogenes Senna de Oliveira (Orientador)  
Universidade Federal de Viçosa (UFV)

---

Prof. Dr. Elpídio Inácio Fernandes filho  
Universidade Federal de Viçosa (UFV)

---

Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus e a minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a Deus pela sua presença constante em minha vida.

Aos meus pais, Maria Bezerra Carlos e Rosemiro Maciel de Sousa, por serem exemplo de amor, companheirismo, dedicação e responsabilidade. Eles que não mediram esforços em me apoiar em todos os momentos e situações.

Aos meus irmãos, Rosean, Roseilson, Rosimar, Maria do Carmo e Reudson pelo apoio nas minhas decisões pessoais e profissionais.

Ao meu orientador e coordenador do Laboratório de Matéria Orgânica (UFV), Prof. Dr. Teogenes Senna de Oliveira, pela paciência e dedicação para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Elpídio Inácio Fernandes filho, coordenador do Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO – UFV), pela acolhida, paciência, amizade, orientação e dedicação.

Ao Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira pelo aceite em participar da banca de dissertação.

Ao meu noivo, Ricardo Mendes, pelo amor, companheirismo e carinho.

Ao grupo de trabalho no LABGEO. A ajuda de vocês foi fundamental para a realização desse trabalho, em especial a Gustavo Veloso pela ajuda no processamento dos dados.

Aos meus amigos da pós-graduação, Neilson, Jorge e Anaclaudia pelo companheirismo.

Por fim, agradeço a Universidade Federal do Ceará (UFC) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela disponibilização e manutenção da bolsa para mestrado e suporte financeiro.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

## RESUMO

As mudanças no uso e cobertura do solo (*Land Use and Land Cover Change -LULC*) tem gerado grandes transformações na paisagem, afetando diretamente os recursos naturais e a biodiversidade em escala local e global. Tendo em vista que os efeitos negativos das mudanças de uso e cobertura do solo podem ser potencializados em áreas áridas e semiáridas, o presente trabalho tem como objetivo analisar as mudanças espaço-temporais detalhadas do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe (BHRJ), Ceará, durante um período de 34 anos. Os objetivos específicos incluem: (i) identificar a dinâmica das mudanças de uso e cobertura do solo de 1985 a 2018; (ii) detectar as principais conversões de uso e ocupação do solo durante este período e (iii) identificar qual sub-bacia foi mais afetada pelas mudanças históricas de uso e cobertura do solo. Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas imagens anuais do projeto Mapbiomas (projeto de mapeamento anual de cobertura e uso e cobertura do solo do Brasil) e os softwares ArcGIS e R (R Core Team). As conversões de uso/cobertura do solo foram determinadas através das análises de tabulação cruzada e diagrama de fluxo e, para avaliar a dinâmica de uso/cobertura do solo, foi utilizada a análise de concordância pixel a pixel. Nas últimas três décadas vem ocorrendo uma significativa conversão de áreas de vegetação natural (áreas de caatinga arbórea densa e de caatinga herbácea arbustiva) e a expansão de áreas agrícolas e da pecuária, evidenciando que as perturbações resultantes de atividades antrópicas constituem os maiores fatores de mudança na paisagem na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. As sub-bacias mais afetadas pelas mudanças históricas de uso e cobertura do solo foram o Médio Jaguaribe e o Baixo Jaguaribe. As características da paisagem na sub-bacia do Médio Jaguaribe revelam que essa área foi e continua sendo bastante impactada pela interferência antrópica, visto que, a classe de pastagens e a classe caatinga herbácea arbustiva detém áreas semelhantes desde 1985. A sub-bacia Baixo Jaguaribe vem sendo continuamente impactada principalmente pela expansão das culturas anual e perene e, conseqüentemente, redução de áreas de vegetação natural. As análises da dinâmica revelam que a sub-bacia do Baixo Jaguaribe detém maior porcentual de áreas alteradas, o menor porcentual de frequência da moda, o maior número de usos por pixel e o maior número de mudanças de uso.

**Palavras-chave:** MapBiomass; uso e ocupação do solo; análise pixel a pixel.

## ABSTRACT

Changes in land use and land cover have generated major changes in the landscape, directly affecting natural resources and biodiversity on a local and global scale. Bearing in mind that the negative effects of changes in land use and land cover can be enhanced in arid and semi-arid areas, the present work aims to analyze the detailed spatio-temporal changes in the dynamic use and land cover of the Jaguaribe River basin (BHRJ), Ceará, for a period of 34 years. Specific objectives include: (i) identifying the dynamics of land use and land cover changes from 1985 to 2018; (ii) detect the main preferences for land use and occupation during this period and (iii) identify which sub-basin was most affected by historical changes in land use and cover. For the development of the research were the images used annually from the Mapbiomas project (project of annual mapping of coverage and use and land cover in Brazil), and the software ArcGIS and R (R Core Team). The proposals for land use/cover were determined by means of cross-tabulation analysis and flow diagram and to evaluate the dynamics of use/land cover, the pixel by pixel concordance analysis was used. In the last three decades, there has been a decrease in the areas of natural vegetation (areas of dense arboreal and herbaceous scrubland) and the expansion of agricultural and livestock areas, showing that the disturbances occur from the largest anthropogenic activities of landscape change in the hydrographic basin of the Jaguaribe River. The sub-basins most affected by historical changes in land use and land cover were the Middle Jaguaribe and the Low Jaguaribe. The characteristics of the landscape in the Middle Jaguaribe sub-basin reveal that this area has been and continues to be quite impacted by anthropic interference, since the pasture class and the caatinga class have had similar areas since 1985. The Low Jaguaribe sub-basin being continuously impacted by the expansion of the annual and perennial culture and the consequent reduction of areas of natural vegetation. Dynamics analyzes reveal that a sub-basin in the Low Jaguaribe has a higher percentage of altered areas, a lower percentage of fashion frequency, a higher number of uses per pixel and a greater number of changes in use.

**Keywords:** MapBiomas; land use and cover; análise pixel a pixel.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) e sub-bacias no estado do Ceará.....	18
Figura 2 -	Mudanças de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe-Ceará (BHRJ), durante um período de 34 anos (1985–2018) (a e b).....	24
Figura 3 -	Variação das principais classes de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) de 1985 a 2018 (a). Porcentual de perdas e ganhos em relação a área inicial (b).....	25
Figura 4 -	Variação anual das principais classes de uso do solo nas sub-bacias (1985 a 2018). Sub-bacia do Alto Jaguaribe (a). Sub-bacia do Médio Jaguaribe (b). Sub-bacia do Baixo Jaguaribe. (c) Sub-bacia do Salgado (d). Sub-bacia do Banabuiú (e).....	27
Figura 5 -	Porcentual de perdas e ganhos de áreas em cada classe de uso e cobertura do solo por sub-bacias (1985 a 2018). Sub-bacia do Alto Jaguaribe (a). Sub-bacia do Médio Jaguaribe (b). Sub-bacia do Baixo Jaguaribe. (c) Sub-bacia do Salgado. (d) Sub-bacia do Banabuiú (e).....	28
Figura 6 -	Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018.....	32
Figura 7 -	Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Alto Jaguaribe entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018.....	33
Figura 8 -	Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Médio Jaguaribe entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018.....	34
Figura 9 -	Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Baixo Jaguaribe entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018.....	34
Figura 10 -	Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo na sub-bacia do Salgado entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018.....	36

Figura 11 - Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Banabuiú entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018.....	36
Figura 12 - Distribuição espacial das áreas alteradas e não alteradas pelo uso do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) (1985 – 2018).....	37
Figura 13 - Classes modais de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) (1985 a 2018). ....	38
Figura 14 - Porcentual de frequência da moda na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) no período de 1985 a 2018.....	42
Figura 15 - Número de usos do solo da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) no período de 1985 a 2018.....	43
Figura 16 - Mudanças de usos na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe - BHRJ (1985-2018).....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classes de mapeamento identificadas pelo MapBiomas na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ), entre os anos 1985 e 2018, e as respectivas classes de agrupamento utilizadas.....	21
Tabela 2 -	Sub-bacias que compõe a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) e suas respectivas áreas.....	26
Tabela 3 -	Áreas alteradas e não alteradas pelo uso do solo entre os anos de 1985 e 2018 na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ).....	38
Tabela 4 -	Distribuição das classes de uso modais em áreas alteradas e não alteradas da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) no período de 1985 a 2018.....	40
Tabela 5 -	Distribuição das classes de uso modais em áreas alteradas e não alteradas da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) no período de 1985 a 2018 (Continuação).....	41
Tabela 6 -	Porcentual de frequência das classes modal nas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ).....	43
Tabela 7 -	Número de usos por sub-bacia bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) (1985-2018).....	44
Tabela 8 -	Número de mudanças de uso por sub-bacia (1985 a 2018).....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência nacional das águas
ANV	Área não vegetada
AF	Afloramento rochoso
ArcGIS	<i>Geographic Information System – GIS</i>
Aq	Aquicultura
AU	Área urbana
BHRJ	Bacia hidrográfica do rio Jaguaribe
CAD	Caatinga arbórea densa
CAG	Corpos D'água;
CHA	Caatinga herbácea arbustiva
CAP	Cultura anual e perene
FC	Formação campestre
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
LULC	<i>Land use and land cover</i>
MAP	Mosaico de agricultura e pastagens
MapBiomass	Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil
Ma	Mangue
NASA	<i>National Aeronautics &amp; Space Administration</i>
OC	Outras classes
Pa	Pastagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Aquisição de dados.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Pré-processamento de dados.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Conversões de uso e ocupação do solo.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5</b>	<b>Dinâmica de uso e ocupação do solo.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.1</b>	<b><i>Análise de concordância pixel a pixel.....</i></b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) entre os anos de 1985 – 2018.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Uso e cobertura do solo nas sub-bacias entre 1985 a 2018.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Principais conversões de uso e ocupação do solo.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Conversões de uso do solo entre 1985 a 1995.....</i></b>	<b>29</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Conversões de uso do solo entre 1995 a 2005.....</i></b>	<b>30</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Conversões de uso do solo entre 2005 a 2015.....</i></b>	<b>31</b>
<b>3.3.4</b>	<b><i>Conversões de uso do solo entre 2015 a 2018.....</i></b>	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>Principais conversões de uso e ocupação do solo por sub-bacias.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5</b>	<b>Dinâmica do uso e cobertura do solo entre 1985 e 2018.....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>
	<b>ANEXO A - CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE (ÁREAS EM Km<sup>2</sup> E %)......</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO B - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 1985 A 2018 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>)......</b>	<b>54</b>
	<b>ANEXO C - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 1985 A 1995 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>)......</b>	<b>55</b>

<b>ANEXO D - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 1995 A 2005 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>).....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO E -MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 2005 A 2015 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>).....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO F - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 2015 A 2018 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>).....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças no uso e cobertura do solo (*Land Use and Land Cover Change -LULC*) tem gerado grandes transformações na paisagem, afetando diretamente os recursos naturais e a biodiversidade em escala local e global, influenciando significativamente a funcionalidade dos ecossistemas (Mori et al. 2018). Os efeitos negativos das mudanças de uso e cobertura do solo podem ser potencializados em áreas áridas e semiáridas, as quais possuem condições climáticas limitantes (Terrado et al. 2014), entretanto, poucos estudos analisaram detalhadamente as mudanças de uso e cobertura do solo nessas regiões (Kouba et al. 2018; Huang et al. 2018). Dessa forma, entender as mudanças contínuas do uso do solo é fundamental para compreensão dos processos de degradação, além de servir como uma importante ferramenta para o monitoramento ambiental (Monteiro e Adami 2016).

O semiárido brasileiro, onde predomina o bioma Caatinga, maior área contínua de florestas tropicais sazonalmente secas (Miles et al. 2006), vem enfrentando um intenso processo de substituição de áreas naturais por diversos tipos de usos (Matsushita et al. 2006). O bioma Caatinga representa 70% da região Nordeste e 11% do território nacional (Bucher 1982), possui alta biodiversidade vegetal bem adaptada a sazonalidade do clima semiárido, com cerca de 1.700 espécies de árvores e arbustos, com mais de 300 delas endêmicas (Moro et al. 2014; Pagano et al. 2013). Segundo Castelletti et al. (2003), a maior parte da caatinga já foi completamente convertida ou modificada. Ainda assim, com visíveis riscos a sua integridade, menos de 2% da Caatinga está protegida em unidades de conservação de proteção integral (Tabarelli & Vicente 2003).

As ações antrópicas são apontadas como os principais fatores responsáveis pelas mudanças no bioma Caatinga (Vanzela et al. 2010; Araújo Filho et al. 2007; Matsushita et al. 2006). As atividades de subsistência como agricultura, pecuária e extração madeireira são as principais causas das mudanças da paisagem, intensificando os processos de degradação dos recursos naturais (Sampaio et al. 2005; Silva et al. 2012; Vanzela et al. 2010). A falta de registros históricos sobre mudanças de uso e cobertura do solo e a capacidade de recuperação dessa vegetação dificultam a compreensão do seu comportamento no tempo (Castelletti et al. 2003).

A modelagem de uso e cobertura da terra vem sendo largamente aplicada em pesquisas a respeito da degradação e conversões de uso do solo (Butt et al. 2015; Kouba et al. 2018; Terrado et al. 2014; Huang et al. 2018; El Baroudy 2011; El Nahry et al. 2008). A utilização de

geotecnologias permite compreender o comportamento de parâmetros biofísicos em relação às mudanças climáticas e ações antropogênicas (Bezerra et al. 2014). Nessa perspectiva, a identificação das mudanças de uso e cobertura no bioma Caatinga pode fornecer importantes informações sobre os fatores responsáveis e orientar futuras ações para a preservação desse bioma.

Nesse sentido, a utilização de dados desenvolvidos pelo projeto de mapeamento anual de cobertura e uso e cobertura do solo do Brasil (MapBiomias) é considerado um dos grandes potenciais para monitorar os processos de degradação na região do semiárido Brasileiro (Ganem 2017; Santos et al. 2018). O propósito principal do projeto é contribuir para o entendimento da dinâmica de uso da terra tendo como base o desenvolvimento e implementação de uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo no Brasil a partir de 1985 até os dias atuais (e posterior atualização anual) (MapBiomias 2019). O projeto MapBiomias utiliza as series temporal Landsat, processamento em nuvem e classificadores automatizados, desenvolvidos e operados na plataforma Google Earth Engine (GEE) para produzir mapas de uso e cobertura do solo para todos os biomas brasileiros ([www.earthengine.google.com](http://www.earthengine.google.com)).

Tendo em vista que uma melhor compreensão da dinâmica de uso e cobertura do solo é relevante para o planejamento ambiental para preservação dos recursos naturais dentro de uma bacia hidrográfica, o presente trabalho servirá como embasamento para pesquisas relacionadas a propriedades do solo, comportamento da vegetação, e biodiversidade em geral. Portanto, o principal objetivo deste estudo foi analisar as mudanças espaço-temporais detalhada da dinâmica uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, Ceará, durante um período de 34 anos utilizando dados do projeto Mapbiomas. Os objetivos específicos incluem: (i) identificar a dinâmica das mudanças de uso e cobertura do solo de 1985 a 2018; (ii) detectar as principais conversões de uso e ocupação do solo durante este período e (iii) identificar qual sub-bacia foi mais afetada pelas mudanças históricas de uso e cobertura do solo.

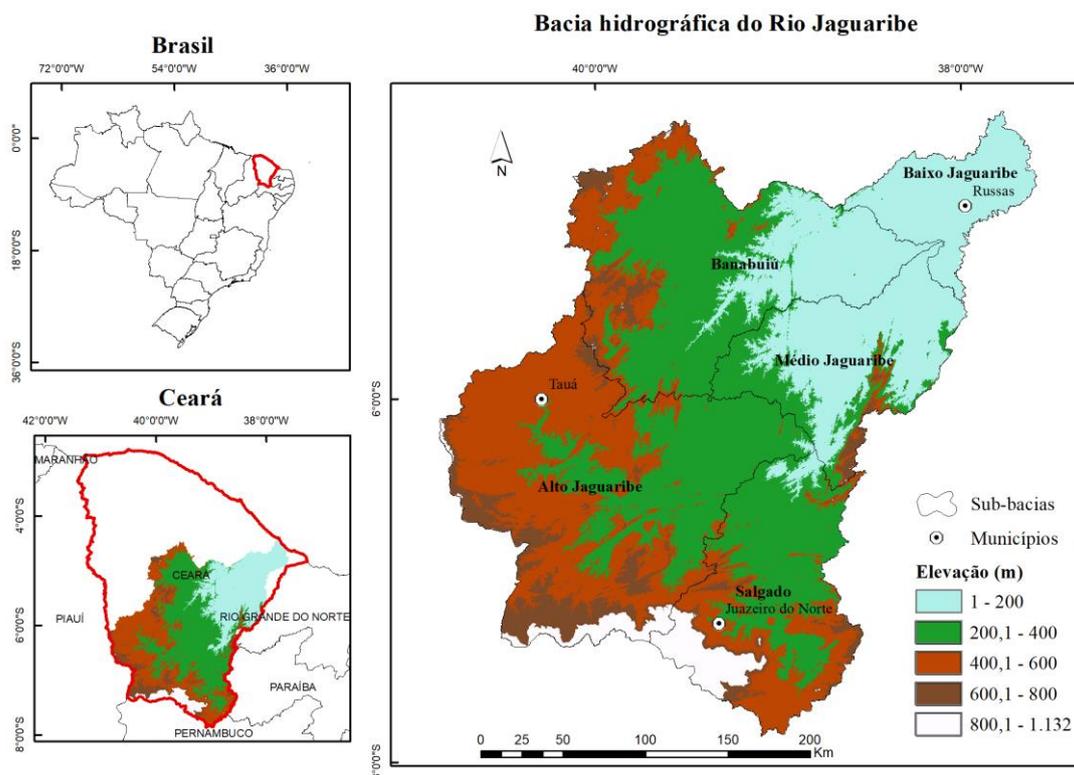
## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe situada no estado do Ceará, Brasil (Figura 1), localizada entre as coordenadas de 4°30' e 7°45' S e 37°30' e 41°00' W. Esta bacia abrange uma área total de 72.437 km<sup>2</sup>, ocupando cerca de 50% da área total do estado. A elevação da região varia de 1 metro a 1.132 metros e o relevo é composto por planaltos,

chapadas e depressões sertanejas. As maiores altitudes da bacia correspondem a unidade geomorfológica presente na área: o Planalto Sertanejo, onde está inserida a Chapada do Araripe (região Sul da bacia). A bacia é subdividida em cinco unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos, as quais correspondem a sub-bacias do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, sub-bacia do Salgado e sub-bacia do Banabuiú.

Figura 1- Localização da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) e sub-bacias no estado do Ceará



O clima da região conforme a classificação de Köppen varia entre tropical quente semiárido, tropical quente semiárido brando e tropical quente subúmido (em regiões com maior altitude), com temperatura média mensal sempre superior a 18 °C. A precipitação pluviométrica anual corresponde a um valor médio de 800 mm (IPECE, 2007), com chuvas concentradas em 4 a 5 meses (janeiro e maio), passando por um longo período de estiagem. A região apresenta grande heterogeneidade climática espaço-temporais, englobando grande parcela das regiões mais secas do Estado do Ceará, como a região dos Inhamus, com precipitação média variando de 400 a 600 mm anuais, e a região do Cariri com precipitação superior a 1.000 mm anuais (Barbosa et al. 2006).

A bacia hidrográfica do rio Jaguaribe é economicamente ativa, com destaque para a produção agropecuária de bovinocultura, caprinocultura, agricultura irrigada, e diversas

atividades de subsistência. Além disso, desempenha um papel estratégico na infraestrutura hídrica do estado, comportando os maiores reservatórios de água do estado, que, por meio do Canal do Trabalhador e do Canal da Integração, integram o sistema de abastecimento da região metropolitana de Fortaleza e do parque industrial complexo do Pecém (Medeiros et al. 2011; Araújo et al. 2007).

Para definição dos limites da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, foi utilizada a base hidrográfica otocodificada das bacias hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental, disponibilizado pela ANA - Agência Nacional das Águas (<https://www.metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>).

## **2.2 Aquisição de dados**

No presente estudo, foram utilizados os dados anuais de uso e cobertura do solo entre os anos de 1985 a 2018, desenvolvidos pelo projeto de mapeamento anual de uso e cobertura do solo do Brasil - MapBiomas (<http://www.mapbiomas.org/>). Os mapas anuais de uso e cobertura do solo do MapBiomas são produzidos a partir da classificação pixel a pixel das imagens de satélite Landsat (conjunto de satélites lançados pela NASA – *National Aeronautics & Space Administration* e operados pelo Serviço Geológico Americano). Esses dados estão disponíveis para todo o Brasil em uma resolução de 30 x 30 m.

Para o Bioma Caatinga a classificação foi realizada utilizando o mosaico de imagens Landsat obtidas durante o período chuvoso (janeiro a junho) de cada ano, devido ao comportamento da vegetação em relação a sazonalidade climática, que conseqüentemente apresenta variações nas respostas espectrais durante o ano. Logo, o período para a construção do mosaico foi definido a partir da análise dos dados de precipitação da região. A acurácia da classificação para o bioma caatinga foi de 74,3% (<http://www.mapbiomas.org/pages/accuracy-analysis>).

Além dos mapas classificados fornecidos pelo Mapbiomas, foram utilizadas informações disponíveis na literatura, no intuito de justificar as mudanças de uso e cobertura do solo detectadas.

## **2.3 Pré-processamento de dados**

Para o processamento de dados, foram utilizados o software ArcGIS 10.5 do ESRI (Environmental Systems Research) e o software R (R Core Team, 2016).

Os mapas de uso e cobertura do solo foram adquiridos diretamente do site do MapBiomas (coleção 4.0). Inicialmente, as imagens passaram por um pré-processamento no ArcGis, o qual consistiu-se na mudança de projeção e reclassificação. Na reclassificação as classes de Formação florestal e Formação savânica foram denominadas Caatinga arbórea densa (CAD) e Caatinga herbácea arbustiva (CHA), respectivamente, conforme a nomenclatura definida por Sousa (2009). As classes com baixa representatividade de área e pequena variação foram agrupadas, enquanto as demais classes, permaneceram com as denominações do MapBiomas (Tabela 1).

Tabela 1 - Classes de mapeamento identificadas pelo MapBiomias na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ), entre os anos 1985 e 2018, e as respectivas classes de agrupamento utilizadas

<b>Classificação do MapBiomias</b>	<b>Descrição</b>	<b>Reclassificação</b>
3 - Formação florestal	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo (Savana-estépica florestada, floresta estacional semi-decidual e decidual).	1 - Caatinga arbórea densa (CAD) (Sousa 2009)
4 - Formação savânica	Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo (Savana-estépica arborizada, Savana arborizada).	2 - Caatinga herbácea arbustiva (CHA) (Sousa 2009)
5 – Mangue	Formações florestais, densas, sempre-verdes, frequentemente inundadas pela maré e associadas ao ecossistema costeiro de manguezal.	3 - Mangue
12 - Formação campestre	Tipos de vegetação com predomínio de espécies herbáceas.	4 - Formação campestre
15 – Pastagem	Áreas de pastagens, naturais ou plantadas, vinculadas a atividade agropecuária.	5 - Pastagem
19 - Cultura anual e perene	Áreas predominantemente ocupadas com cultivos anuais e perenes.	6 - Cultura anual e perene (CAP)
21 - Mosaico de agricultura e pastagens	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagens e agricultura.	7 - Mosaico de agricultura e pastagens (MAP)
24 - Infraestrutura urbana	Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.	8 - Infraestrutura urbana
25 - Área não vegetada	Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.	9 - Área não vegetada
29 - Afloramento rochoso	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, com presença parcial de vegetação.	10 - Afloramento rochoso
31 – Aquicultura	Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura.	11 - Aquicultura
33 - Corpo D'água	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.	12 - Corpo D'água
23 - Praias e dunas	Cordões arenosos, de coloração branco brilhante, onde não há o predomínio de vegetação de nenhum tipo.	
30 – Mineração	Áreas referentes a extração mineral de grande porte, havendo clara exposição do solo por ação de maquinário pesado.	13 - Outras classes
32 – Apicum	Apicuns são formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada do manguezal, em geral na transição entre este e a terra firme.	

## 2.4 Conversões de uso e ocupação do solo

Logo após a reclassificação, foram determinadas as respectivas áreas ocupadas por cada classe a cada ano do período estudado, visando identificar as mudanças espaço-temporais ocorridas.

Para determinar a quantidade de conversões de uso e cobertura de solo para outra categoria de uso cobertura de solo, foi realizada uma análise de tabulação cruzada pixel a pixel no ArcGis considerando os intervalos de tempo entre os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2018, na qual foram produzidas matrizes de transição. Para a representação visual das conversões foram gerados diagramas de Sankey no R. Essas mudanças foram avaliadas considerando a área total da bacia, área inicial ocupada por cada classe e as perdas e ganhos no tempo para cada classe.

## 2.5 Dinâmica de uso e ocupação do solo

A avaliação da dinâmica de uso e ocupação do solo foi realizada a partir das análises de concordância, que consistiram na sobreposição dos mapas anuais de usos e cobertura do solo e da avaliação pixel a pixel da classe apresentada. Essa análise foi realizada no software R (R Core Team, 2016), utilizando os pacotes *raster* (Robert J. 2020), *caret* (kuhn, 2020), *ggplot* (Wickham 2016), *ggalluvial* (Brunson 2020) .

### 2.5.1 Análise de concordância pixel a pixel

As análises pixel a pixel consistiram em: (i) detecção de presença ou ausência de mudanças, de acordo com a concordância ou discordância entre as classes para um mesmo pixel; (ii) determinação da classe modal (classe mais frequente) em cada pixel e a frequência em que ocorreram (frequência da moda); (iv) determinação do número de classes de uso que ocorreram em cada pixel (variety); e (iv) quantificação do número de mudanças de uso em cada pixel (mudanças de uso).

Os resultados obtidos foram apresentados na forma de mapas, gráficos e tabelas e utilizados para análise comparativa da dinâmica do uso. Todos esses procedimentos também foram realizados para cada uma das sub-bacias que integram a BHRJ.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) entre os anos de 1985 - 2018

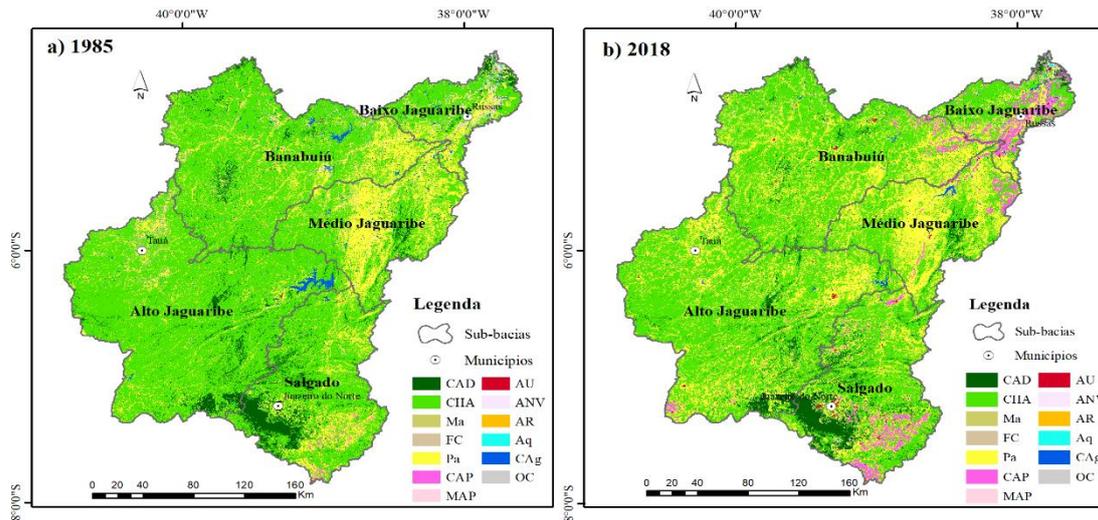
Em 1985, as classes de uso e cobertura do solo predominantes na BHRJ eram as classes de caatinga herbácea arbustiva (69,5%), pastagens (19,4%), caatinga arbórea densa (6,3%), mosaico de agricultura e pastagens (2,1%), corpos d'água (1,3%), enquanto as demais classes representavam menos de 1% da área total. Em 2018, as classes predominante na BHRJ passaram a ser caatinga herbácea arbustiva (58,4%), pastagens (28,6%), caatinga arbórea densa (5,7%), culturas anual e perene (3,8%) e mosaico de agricultura e pastagens (2,2%), enquanto as demais classes representavam menos de 1% da área total (Tabela A1).

Entre os anos de 1985 a 2018 ocorreu uma grande variação no uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (Figura 2; Tabela A2). Durante o período de 34 anos, verificou-se uma redução geral de 8,91% de caatinga arbórea densa, 15,95% de caatinga herbácea arbustiva, 36,21% de mangue, 80,51% de formação campestre, 80,89% de área não vegetada, e 48,09 de corpos d'água. Por outro lado, verificou-se um aumento expressivo de áreas de pastagens (47,03%), culturas anual e perene (1.507,86%), mosaico de agricultura e pastagens (3,87%), área urbana (391,37%), afloramento rochoso (134,89%) e de aquicultura (277,92%). Apesar do expressivo crescimento nas áreas de mosaico de agricultura e pastagens, culturas anual e perene e área urbana em relação ao seu porcentual inicial, essas áreas são pouco expressivas em relação a área da bacia.

Durante o período analisado, foi possível identificar que as mudanças de classes de uso e cobertura do solo foram mais intensas em determinados períodos e para determinadas classes de uso (Figura 3). As classes de culturas anual e perene, pastagens e área urbana apresentaram maiores crescimento em relação a área inicial. A classe de corpos d'água e o mosaico de agricultura e pastagens apresentaram dados com maiores variações. Verificou-se também, o declínio das áreas ocupadas pela caatinga herbácea arbustiva. Quando comparado o porcentual de crescimento e decréscimo em relação a era inicial (figura 3), destacam-se as classes de culturas anual e perene e áreas urbanas com porcentuais de crescimento de 1.507,86%, e 391,37%, respectivamente.

Figura 2 - Mudanças de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe-Ceará (BHRJ), durante um período de 34 anos (1985–2018) (a e b).

As barras horizontais ilustram as mudanças em km<sup>2</sup> para diferentes tipos de cobertura do solo para os anos de 1985 e 2018 (escala logarítmica) e seus respectivos percentuais (c). CAD : Caatinga arbórea densa; CHA: Caatinga herbácea arbustiva; Ma: Mangue; FC: Formação campestre; Pa: Pastagem; CAP: Cultura anual e perene; MAP: Mosaico de agricultura e pastagens; AU: Área urbana; ANV: Área não vegetada; AR: Afloramento rochoso; Aq : Aquicultura; CAg: Corpos D'água; OC: Outras classes



c)

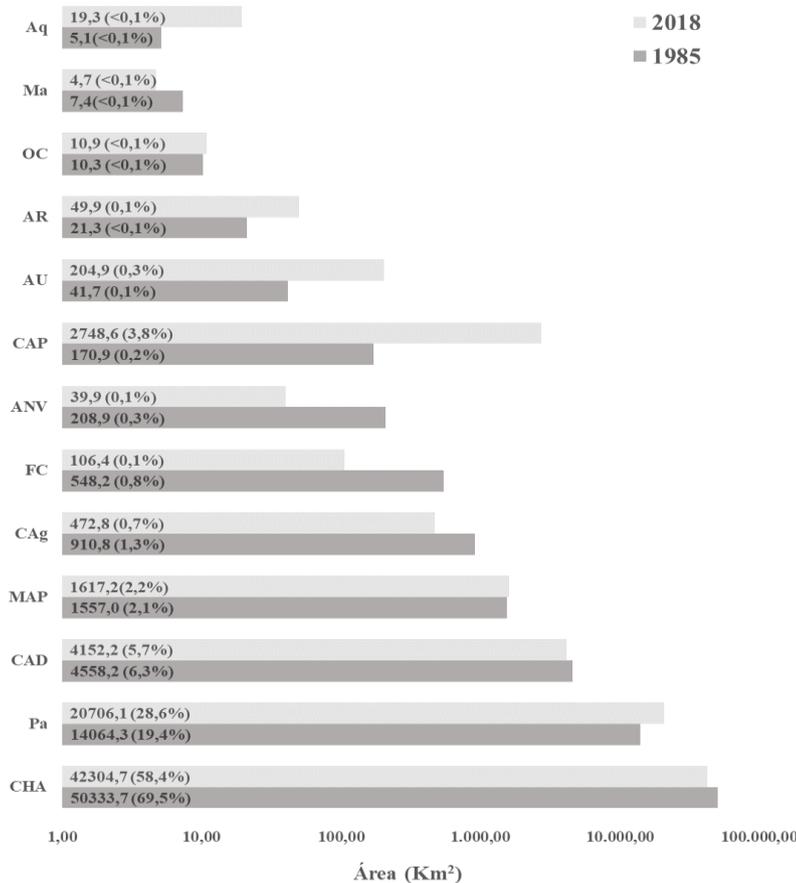
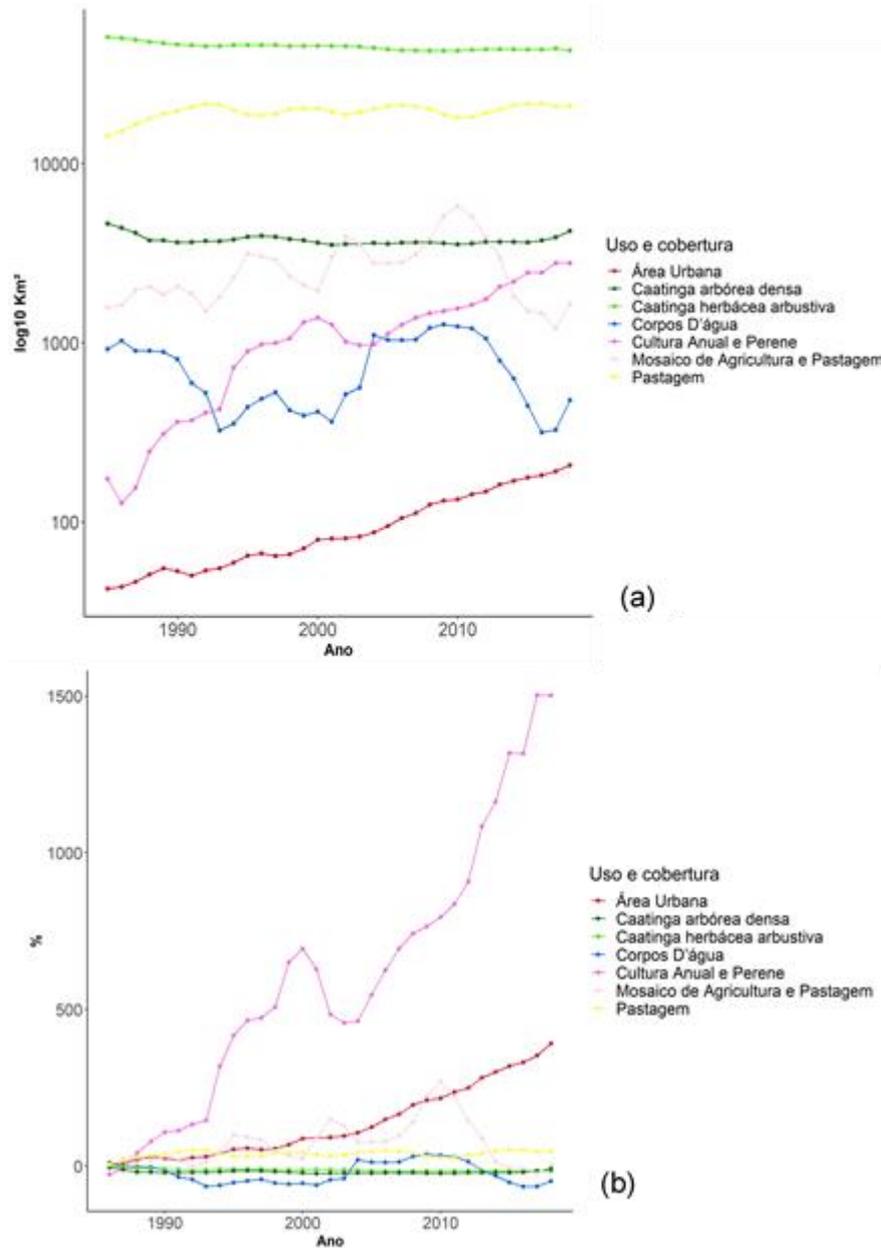


Figura 3 - Variação das principais classes de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) de 1985 a 2018 (a). Porcentual de perdas e ganhos em relação a área inicial (b).



### 3.2 Uso e cobertura do solo nas sub-bacias entre 1985 a 2018

As classes de usos mais abrangentes nas sub-bacias, tanto em 1985 quanto 2018 refletem aquelas dominantes na bacia maior, ou seja, dominam as classes de uso caatinga herbácea arbustiva, pastagens, mosaico de agricultura e pastagens, caatinga arbórea densa e culturas anual e perene. Quanto as demais classes de uso foram observadas padrões de uso semelhante ao observado na área total, com crescimento relevante, porém com pouca expressividade de área. Constatou-se que em 1985 as classes de uso e ocupação do solo já estavam definidas, ou

seja, não surgiram novas classes depois de 34 anos. Todas as análises realizadas para a BHRJ, também foram realizadas para as sub-bacias que a compõe (Tabela 2).

Tabela 2 - Sub-bacias que compõe a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) e suas respectivas áreas

Sub-bacias	Áreas (km <sup>2</sup> )	% da área total da BHRJ
Alto Jaguaribe	24.890,84	34,3%
Médio Jaguaribe	10.262	14,7%
Baixo Jaguaribe	5.209,99	7,2%
Salgado	12.798	17,3%
Banabuiú	19.270	26,3%
Total	72.437,72	100%

Na figura 4 é possível verificar as variações anuais das principais classe de uso por sub-bacias. As sub-bacias do Alto e Baixo Jaguaribe, Salgado e Banabuiú apresentaram como classe de uso predominante a caatinga herbácea arbustiva, seguido de pastagens. Na sub-bacia do Médio Jaguaribe, a ocupação de áreas de pastagens é equivalente as áreas ocupadas pela caatinga herbácea arbustiva. Outro fator de destaque é que nas sub-bacias do Médio e Baixo Jaguaribe a maioria das classes ocupam grandes áreas em relação a área das sub-bacia. Em todas as sub-bacias o crescimento das áreas urbanas segue a mesma tendência da bacia maior. A classe de mosaico de agricultura e pastagens está entre as três áreas mais representativas das sub-bacias do Médio, Baixo e Banabuiú. A classe de corpos d'água apresenta grande variabilidade em todas as sub-bacias. O crescimento da classe de culturas anual e perene foi registrado em todas as sub-bacias, porém as sub-bacias do Médio, Baixo e Banabuiú registraram maior crescimento em relação a área ocupada em 1985.

As alterações de uso implicaram em perdas e ganhos de áreas de uma ou outra classe. Entre as sub-bacias, a classe que apresentou maior ganho em relação a área inicial foi a classe de culturas anual e perene, com destaque para a sub-bacia do Banabuiú, com crescimento superior a 600.000%, seguido da sub-bacia do Médio Jaguaribe (>400.000%), Baixo Jaguaribe (40.000%), Alto Jaguaribe (3.700%) e Salgado com (433%) (Figura 5).

Figura 4 - Variação anual das principais classes de uso do solo nas sub-bacias (1985 a 2018). Sub-bacia do Alto Jaguaribe (a). Sub-bacia do Médio Jaguaribe (b). Sub-bacia do Baixo Jaguaribe. (c) Sub-bacia do Salgado (d). Sub-bacia do Banabuiú (e)

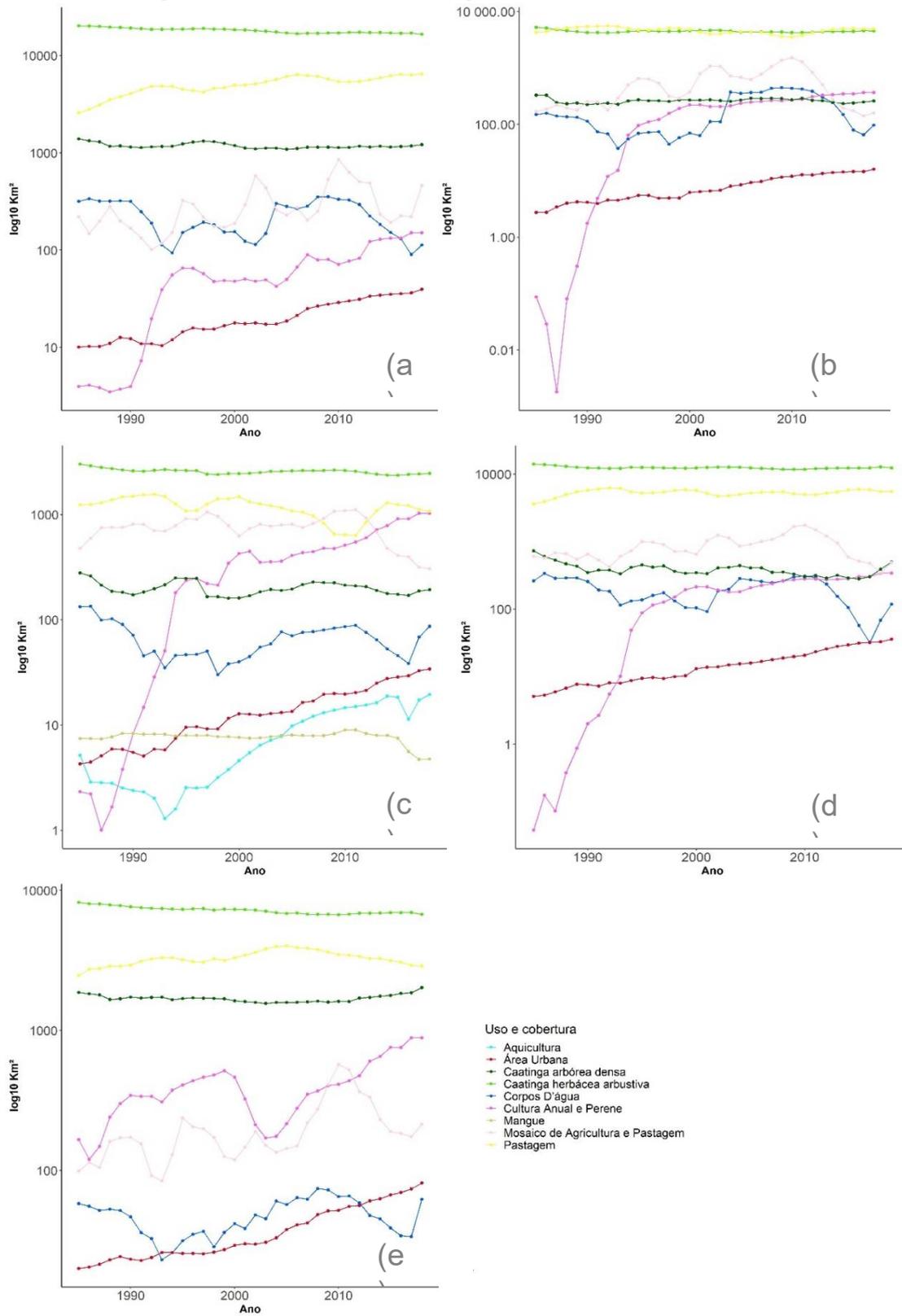
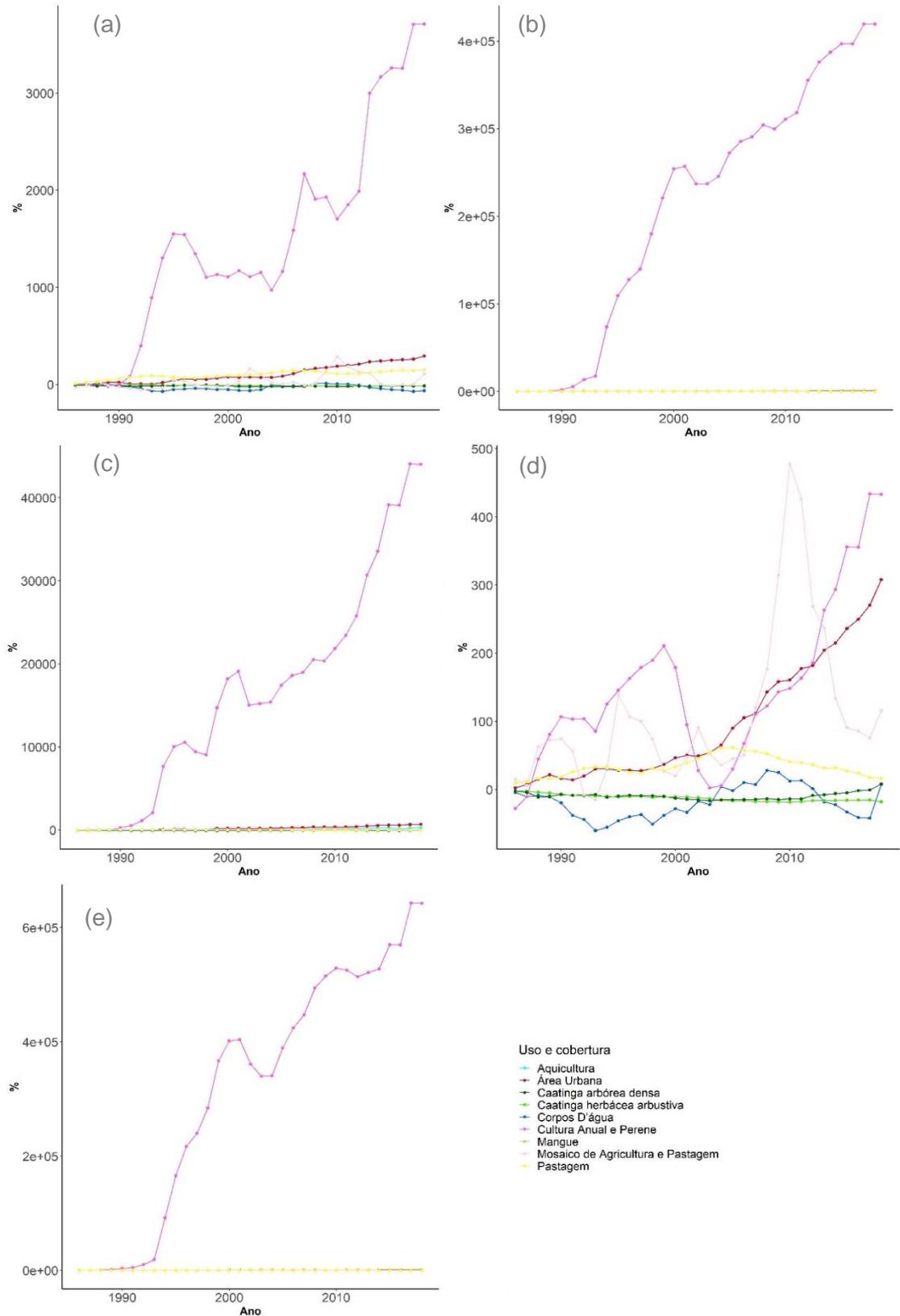


Figura 5 - Porcentual de perdas e ganhos de áreas em cada classe de uso e cobertura do solo por sub-bacias (1985 a 2018). Sub-bacia do Alto Jaguaribe (a). Sub-bacia do Médio Jaguaribe (b). Sub-bacia do Baixo Jaguaribe. (c) Sub-bacia do Salgado. (d) Sub-bacia do Banabuiú (e)



### 3.3 Principais conversões de uso e ocupação do solo

As conversões de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe foram identificadas por meio da análise de tabulação cruzada (Anexo I). A extensão dessas mudanças também pode ser verificada por meio do diagrama de Sankey (Figura 6), no qual podem ser observadas as principais alterações no uso e ocupação do solo no período de 1985 a 2018, considerando intervalos entre os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2018. As principais alterações observadas estão associadas às áreas inicialmente ocupadas pela cobertura natural que passaram a ser antropizadas.

#### 3.3.1 *Conversões de uso do solo entre 1985 a 1995*

Entre os anos de 1985 a 1995 (Tabela A1), foi registrado um decréscimo de 15% na área ocupada pela classe de caatinga arbórea densa. Em 1985 essa classe ocupava uma área equivalente a 4.558 km<sup>2</sup>, permanecendo na mesma classe em 1995, 3.153 km<sup>2</sup>. Nesse intervalo de tempo, 1.404 km<sup>2</sup> de área ocupados pela classe de caatinga arbórea densa foram convertidos principalmente em áreas de caatinga herbácea arbustiva (62%), pastagens (25%), culturas anual e perene (1%) e mosaico de agricultura e pastagens (9,9%).

Um decréscimo de 10% foi registrado nas áreas ocupadas pela caatinga herbácea arbustiva, que em 1985 ocupava uma área equivalente a 50.333 km<sup>2</sup>, permaneceram na mesma em classe em 1995, 41.607 km<sup>2</sup>. Logo, 8.726 km<sup>2</sup> foram convertidos principalmente em áreas de caatinga arbórea arbustiva (5%), pastagens (75,8%), culturas anual e perene (1,3%) e mosaico de agricultura e pastagens (16,3%).

A classe de pastagens registrou um crescimento de 31%. Dos 14.064 km<sup>2</sup> ocupados por essa classe em 1985, 10.419 km<sup>2</sup> permaneceram na mesma classe em 1995, e um total de 3.645 km<sup>2</sup> foram convertidos nas classes de caatinga arbórea densa (1,8%), caatinga herbácea arbustiva (54,3%), culturas anual e perene (15,6%) e mosaico de agricultura e pastagens (25,7%).

A classe de culturas anual e perene que ocupava uma área equivalente a 170 km<sup>2</sup> em 1985, passou a ocupar uma área de 880 km<sup>2</sup> em 1995, registrando um crescimento de 417%. A classe de mosaico de agricultura e pastagens que ocupava uma área de 1.556 km<sup>2</sup> em 1985 passou a ocupar 3.120 km<sup>2</sup> em 1995, contabilizando um crescimento de 99%. Dos 1.556 km<sup>2</sup> ocupados em 1985, permaneceram nessa mesma classe apenas 382,6 km<sup>2</sup> em 1995. Um total de 1.174 km<sup>2</sup> foram convertidos em áreas de caatinga arbórea densa (5,3%), caatinga herbácea

arbustiva (35,5%), pastagens (48,7%) culturas anual e perene (15,6%) e mosaico de agricultura e pastagens (5,3%).

Em 1995 as classes descritas ocupavam cerca de 98,9% da área total da bacia: caatinga arbórea arbustiva (3.859,3 km<sup>2</sup>), caatinga herbácea arbustiva (45.266,3 km<sup>2</sup>), pastagens (19.535,9 km<sup>2</sup>), culturas anual e perene (885,1 km<sup>2</sup>) e mosaico de agricultura e pastagens (3.102,6 km<sup>2</sup>).

### **3.3.2 Conversões de uso do solo entre 1995 a 2005**

Entre os anos de 1995 a 2005 (Tabela A2) foi contabilizado um decréscimo de 8,89% na classe de caatinga arbórea densa, 5,3% na classe de caatinga herbácea arbustiva e 11,1% na classe de mosaico de agricultura e pastagens, enquanto as classes de pastagens, culturas anual e perene apresentaram crescimento de 11,5% e 25,3%, respectivamente. Permaneceram na classe de caatinga arbórea densa 2.930 km<sup>2</sup>, ao mesmo tempo 929 km<sup>2</sup> foram convertidos nas classes de caatinga herbácea arbustiva (53,6%), pastagens (21,2%), culturas anual e perene (1,6%), mosaico de agricultura e pastagens (8,6%).

Em 2005, permaneceram na classe de caatinga herbácea arbustiva 37.967 km<sup>2</sup>, em contrapartida 7.304,7 km<sup>2</sup> foram convertidos para as classes caatinga arbórea densa (5,5%), pastagens (75,9%), culturas anual e perene (1,1%) e mosaico de agricultura e pastagens (12,5%). Continuaram como pastagens, 13.500,6 km<sup>2</sup>, enquanto 5.035,3 km<sup>2</sup> foram convertidos em áreas de caatinga arbórea densa (1,9%), caatinga herbácea arbustiva (64,9%), culturas anual e perene (8,8%), mosaico de agricultura e pastagens (16,9%).

Em relação as áreas ocupadas por culturas anual e perene, continuaram nessa classe 454,4 km<sup>2</sup>, sendo que 430,7 km<sup>2</sup> foram transformados em áreas caatinga arbórea densa (1,0%), caatinga herbácea arbustiva (5,5%), pastagens (84,0%) e mosaico de agricultura e pastagens (9,0%). Mantiveram-se na classe de mosaico de agricultura e pastagens 814,4 km<sup>2</sup>, enquanto 2.288,1 km<sup>2</sup> foram convertidos em áreas de caatinga arbórea densa (2,4%) caatinga herbácea arbustiva (44,2%), pastagens (42,0%), culturas anual e perene (4,95%).

Em 2005, as classes descritas representavam cerca de 97,8% da área da BHRJ com as respectivas áreas: caatinga arbórea densa (3.516 km<sup>2</sup>), caatinga herbácea arbustiva (42.860,1 km<sup>2</sup>), pastagens (20.675,7 km<sup>2</sup>), culturas anual e perene (1.109,7 km<sup>2</sup>), mosaico de agricultura e pastagens (2.757,1 km<sup>2</sup>).

### 3.3.3 *Conversões de uso do solo entre 2005 a 2015*

No período de 2005 a 2015 (Tabela A3) foi registrado decréscimo nas áreas de mosaico de agricultura e pastagens (46,1%) e caatinga herbácea arbustiva (0,3%), e crescimento nas áreas de caatinga arbórea densa (1,9%), pastagens (3,41%) e culturas anual e perene (119,2%). Prosseguiram na classe de caatinga arbórea densa 2.948 km<sup>2</sup> e 567,5 km<sup>2</sup> foram convertidos para as classes de caatinga herbácea arbustiva (49,4%), pastagens (30%), culturas anual e perene (5,7%), mosaico de agricultura e pastagens (12,9%). Continuaram na classe de caatinga herbácea arbustiva 37.265,8 km<sup>2</sup> e 5.594,2 km<sup>2</sup> foram convertidos nas classes de caatinga arbórea densa (7,6%), pastagens (80,5%), culturas anual e perene (2,3%), mosaico de agricultura e pastagens (8,4%).

Seguiram na classe de pastagens 14.805,7 km<sup>2</sup>, enquanto 5.869,9 km<sup>2</sup> foram convertidos em áreas de caatinga arbórea densa (2,1%), caatinga herbácea arbustiva (69,4%), culturas anual e perene (19,26%), mosaico de agricultura e pastagens (7,4%). Em relação as áreas ocupadas por culturas anual e perene, permaneceram nessa classe 985,1 km<sup>2</sup>, enquanto 124,5 km<sup>2</sup> foram transformados em áreas de caatinga arbórea densa (0,9%), caatinga herbácea arbustiva (12,9%), pastagens (77,9%) e mosaico de agricultura e pastagens (4,91%). Progrediram na classe de mosaico de agricultura e pastagens 398,4 km<sup>2</sup>, enquanto 2.358,6 km<sup>2</sup> foram convertidos em áreas de caatinga arbórea densa (1,7%) caatinga herbácea arbustiva (35,1%), pastagens (55,1%), culturas anual e perene (6,4%).

Em 2015, as classes descritas ocupavam 98,8% da bacia, com as respectivas áreas: caatinga arbórea densa (3.584,7 km<sup>2</sup>) caatinga herbácea arbustiva (42.772 km<sup>2</sup>), pastagens (21.381,4 km<sup>2</sup>), culturas anual e perene (2.433 km<sup>2</sup>), mosaico de agricultura e pastagens (1483,4 km<sup>2</sup>).

### 3.3.4 *Conversões de uso do solo entre 2015 a 2018*

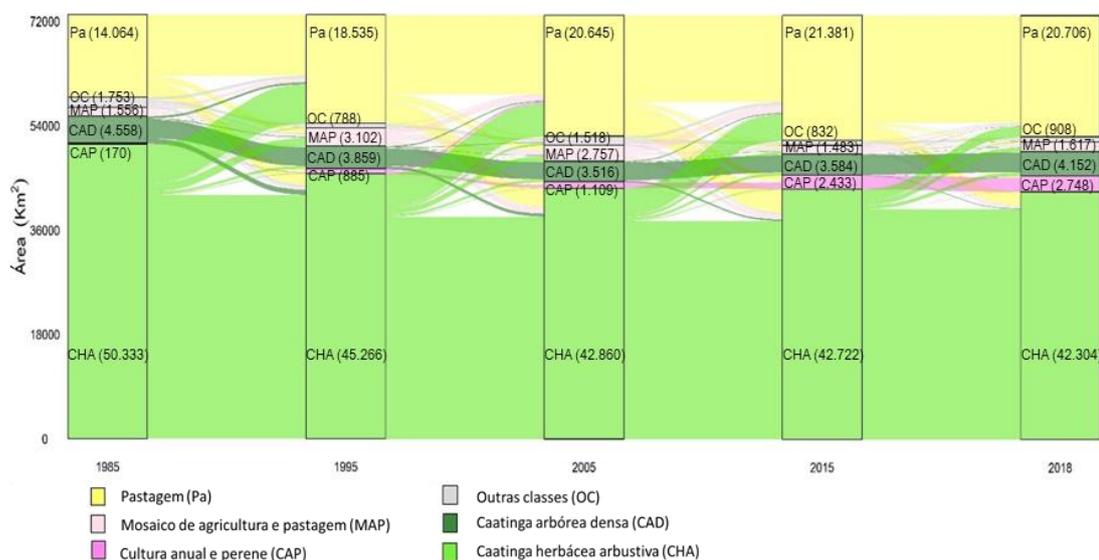
Entre os anos de 2015 a 2018 (Tabela A4) foi registrado crescimento nas classes de caatinga arbórea densa (15,8%), culturas anual e perene (12,9%), mosaico de agricultura e pastagens (8,9%). Apresentaram decréscimo, as áreas de caatinga herbácea arbustiva (0,9%) e pastagens (3,15%). Em 2018, permaneceram na classe de caatinga arbórea densa 3.334,8 km<sup>2</sup> enquanto 249,8km<sup>2</sup> foram convertidos nas classes de caatinga herbácea arbustiva (48,6%), pastagens (15,9%), culturas anual e perene (3,9%), mosaico de agricultura e pastagens (20,1%).

Seguiram na classe de caatinga herbácea arbustiva 39.354,6 km<sup>2</sup> e, em contrapartida, 3.367,4 km<sup>2</sup> foram convertidos para as classes de caatinga arbórea densa (18,4%), pastagens (53,6%), culturas anual e perene (0,8%) e mosaico de agricultura e pastagens (22,6%). Permaneceram na classe de pastagens 18.299,5 km<sup>2</sup>, enquanto 3.081,6 km<sup>2</sup> foram convertidos em áreas de caatinga arbórea densa (2,94%) caatinga herbácea arbustiva (76,8%), culturas anual e perene (8,3%), mosaico de agricultura e pastagens (8,6%).

Em relação as áreas ocupadas por culturas anual e perene, continuaram nessa classe 2.422,4 km<sup>2</sup>, e 10,5 km<sup>2</sup> foram convertidos em áreas caatinga arbórea densa (1,5%), caatinga herbácea arbustiva (7,0%), pastagens (8,8%) e mosaico de agricultura e pastagens (2,7%). Perduraram na classe de mosaico de agricultura e pastagens 500,6 km<sup>2</sup>, enquanto 983,0 km<sup>2</sup> foram convertidos em áreas de caatinga arbórea densa (8,4%) caatinga herbácea arbustiva (41,0%), pastagens (4,3%), culturas anual e perene (2,1%).

Em 2018, as classes descritas representavam cerca de 98,7% da área total da BHRJ com as respectivas áreas: caatinga arbórea densa (4.152,2 km<sup>2</sup>), caatinga herbácea arbustiva (42.304,7 km<sup>2</sup>), pastagens (20.706,1 km<sup>2</sup>), culturas anual e perene (2.749,5 km<sup>2</sup>), mosaico de agricultura e pastagens (1.617,1 km<sup>2</sup>).

Figura 6 - Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018



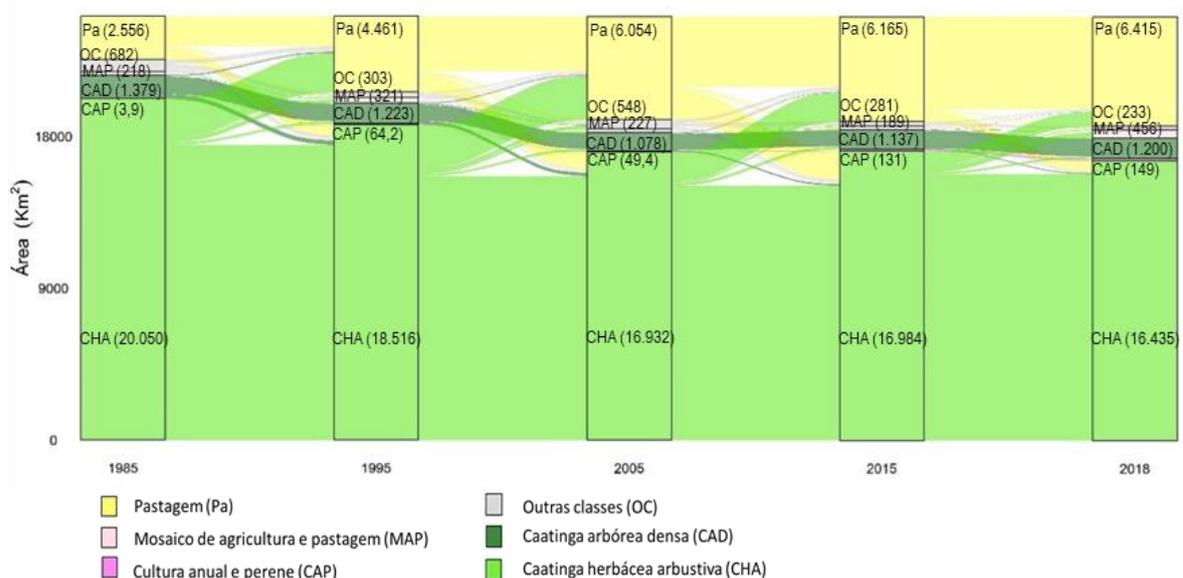
### 3.4 Principais conversões de uso e ocupação do solo por sub-bacias

No que se refere as sub-bacias que compõe a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, foi observado que as mudanças espaço/temporais apresentaram comportamentos diferentes entre

si. A sub-bacia do Alto Jaguaribe apresenta um comportamento semelhante a bacia maior a qual está inserida. É uma área com predominância da classe caatinga herbácea arbustiva, seguido de pastagens e caatinga arbórea densa. A caatinga herbácea arbustiva e a caatinga arbórea densa apresentam decréscimo ao longo dos anos e a classe de pastagens um significativo crescimento, o qual tende a ultrapassar a classe de caatinga herbácea arbustiva caso não ocorra interferência no manejo de atividades nessa sub-bacia.

Entre as principais conversões de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Alto Jaguaribe (Figura 7), tem-se que a classe de caatinga arbórea densa que foi convertida principalmente em áreas de caatinga herbácea arbustiva, pastagens e culturas anual e perene, com maior intensidade dessa mudança entre os anos de 1985 a 2005. Áreas de caatinga herbácea arbustiva foram convertidas em áreas de pastagens e essas em caatinga herbácea arbustiva continuamente durante todo o período estudado. A vegetação caatinga herbácea arbustiva também foi convertida em áreas de culturas anual e perene e mosaico de agricultura e pastagens.

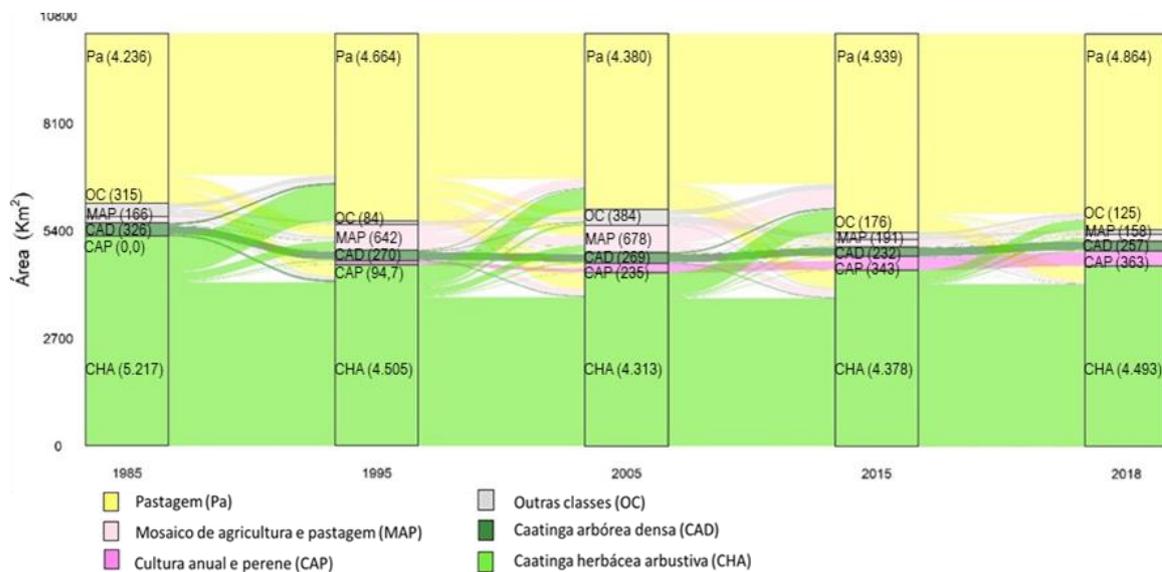
Figura 7 - Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Alto Jaguaribe entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018



As características da paisagem na sub-bacia do Médio Jaguaribe revelam que essa área é a mais impactada pela interferência antrópica, visto que, a classe de pastagens e a classe caatinga herbácea arbustiva detém áreas semelhantes desde 1985. Outro aspecto importante a se destacar nessa sub-bacia é o comportamento do uso referente a classe de mosaico de agricultura e pastagens que se sobressai em relação as outras representando a terceira maior classe em relação a área ocupada na maioria dos anos estudados.

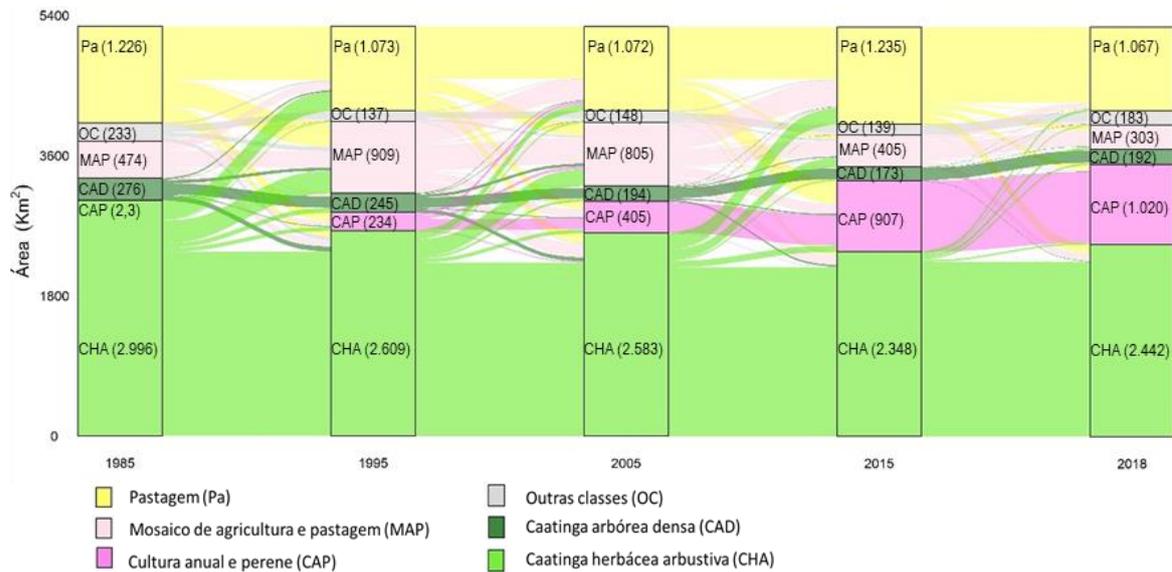
Na figura 8 é possível verificar a expressiva extensão de áreas de pastagens nessa sub-bacia. As áreas de caatinga herbácea arbustiva foram transformadas principalmente em áreas de pastagens e em mosaico de agricultura e pastagens. As áreas de pastagens foram transformadas em áreas de caatinga herbácea arbustiva, culturas anual e perene e mosaico de agricultura e pastagens. As áreas de mosaico de agricultura e pastagens ocuparam um percentual significativo até o ano de 2005 e, nos anos seguintes, foram transformadas em áreas de pastagens. Em relação as áreas de culturas anual e perene foi observado um crescimento expressivo e contínuo ao longo do tempo. Em 1985 ocupava aproximadamente 0,09 km<sup>2</sup>, e em 2018 passou a ocupar 363,05 km<sup>2</sup>, por isso um crescimento tão significativo de  $\approx 419.000\%$ .

Figura 8 - Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Médio Jaguaribe entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018



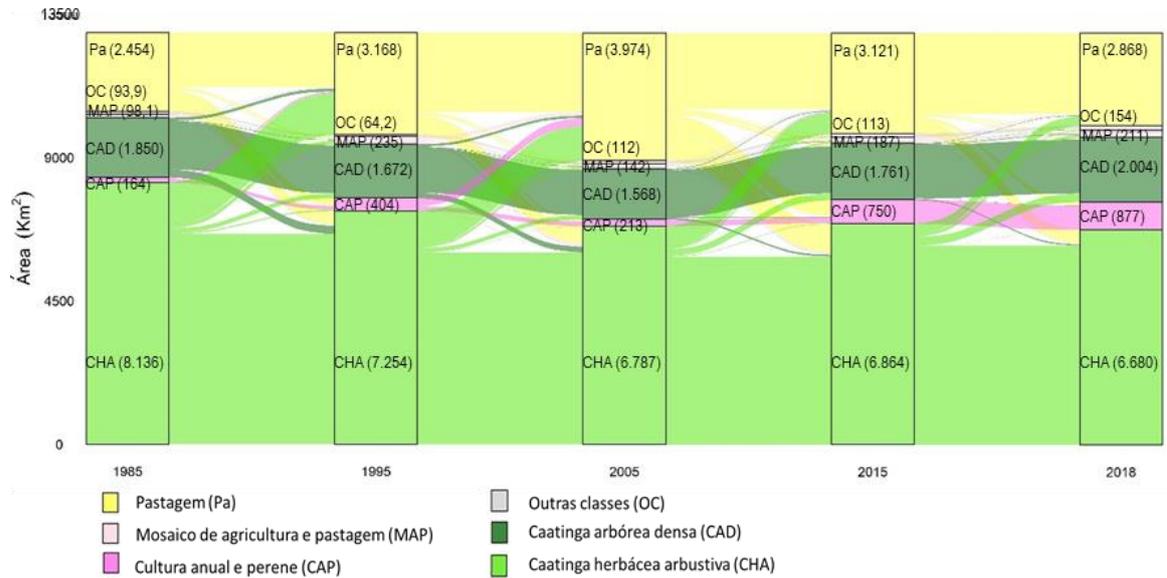
A sub-bacia do Baixo Jaguaribe é a única entre as cinco sub-bacias estudadas que apresenta as 13 classes de usos, sendo a menor sub-bacia em extensão territorial, porém de extrema importância do ponto de vista econômico e ecológico. Ao analisar o diagrama de Sankey (Figura), é possível constatar pelas classes de uso existentes e pela representatividade dessas classes, que esta área vem sendo constantemente modificada pela ação antrópica. As áreas de caatinga herbácea arbustiva foram convertidas em área de pastagens, mosaico de agricultura e pastagens, culturas anual e perene e em áreas de caatinga arbórea densa. As áreas de pastagens foram convertidas em áreas de caatinga herbácea arbustiva, mosaico de agricultura e pastagens, culturas anual e perene, enquanto as áreas de mosaico de agricultura e pastagens que ocupavam uma área significativa até 2005 foram transformadas, nos anos seguintes, em áreas de pastagens. Nessa sub-bacia a classe de culturas anual e perene exibe crescimento a partir de 1985, substituindo principalmente áreas de pastagens e caatinga herbácea arbustiva.

Figura 9 - Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Baixo Jaguaribe entre os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2018



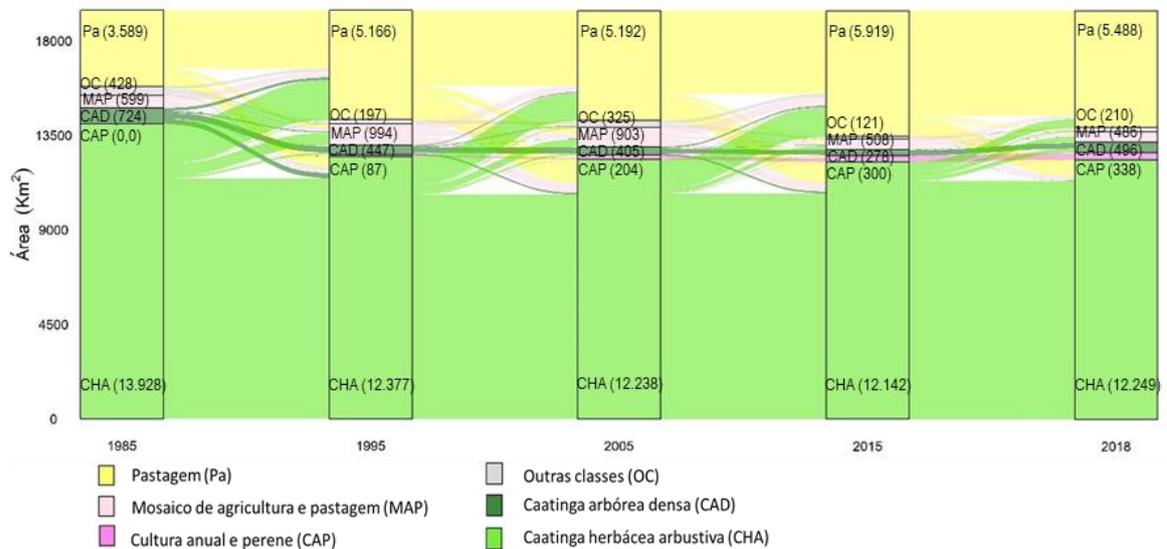
A sub-bacia do Salgado, revela um comportamento diferente das demais por registrar crescimento de áreas de caatinga arbórea densa e um pequeno crescimento em áreas de pastagens e culturas anual e perene, quando comparada com as demais sub-bacias. Ao analisar o fluxo do diagrama de Sankey (Figura 10), verificou-se que as áreas de caatinga herbácea arbustiva foram convertidas principalmente em áreas de pastagens e caatinga arbórea densa. As áreas de pastagens foram convertidas em áreas de caatinga herbácea arbustiva e em mosaico de agricultura e pastagens, enquanto a classe de caatinga arbórea arbustiva se manteve em aproximadamente 81% da área ocupada em 1985, e 19% foi substituído por áreas de caatinga herbácea arbustiva e pastagens. Em relação a classe de culturas anual e perene, a qual mostrou um crescimento porcentual inferior as demais sub-bacias, foi identificado a presença dessa classe anteriormente ao período de estudo, ocupando em 1985 uma área de 164,5 km<sup>2</sup> e em 2018 chegou a ocupar 877,4 km<sup>2</sup>.

Figura 10 - Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo na sub-bacia do Salgado entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018



Na sub-bacia do Banabuiú, tem-se o registro da diminuição de áreas de caatinga arbórea densa e caatinga herbácea arbustiva e o crescimento de áreas de pastagens. Quando verificado o fluxo das mudanças (Figura 11), os resultados constam que as áreas ocupadas inicialmente pela caatinga herbácea arbustiva foram convertidas ao longo do tempo em áreas de pastagens, mosaico de agricultura e pastagens. Áreas de pastagens foram convertidas principalmente em áreas de caatinga herbácea arbustiva e mosaico de agricultura e pastagens, enquanto as áreas de mosaico de agricultura e pastagens foram convertidas em áreas de pastagens e áreas de caatinga herbácea arbustiva.

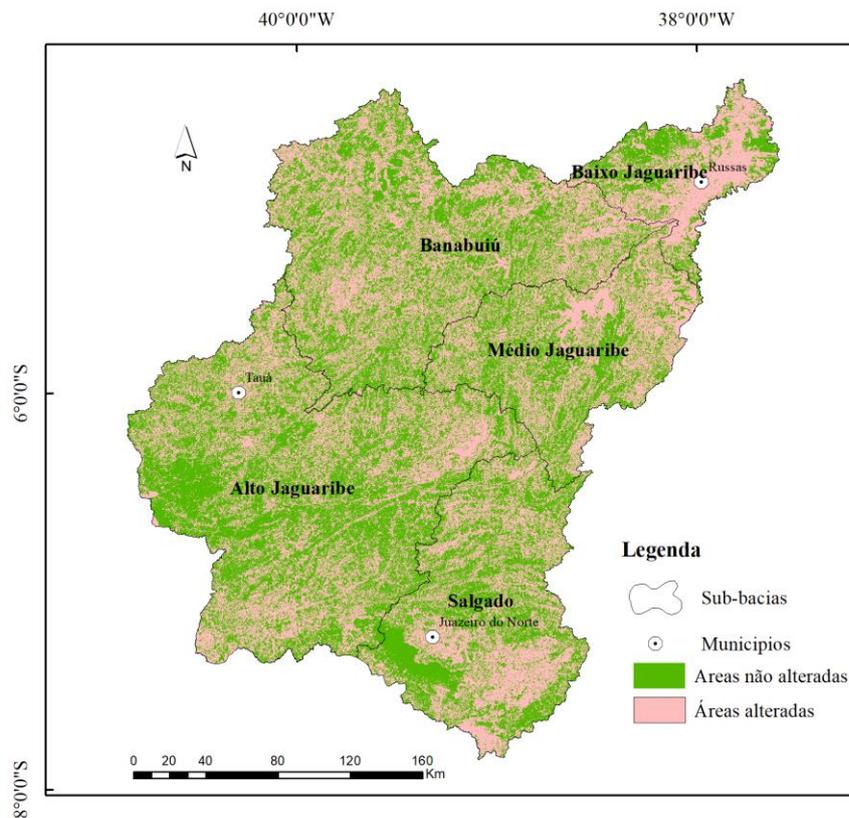
Figura 11 - Alterações das principais classes de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Banabuiú entre os anos de 1985,1995, 2005, 2015 e 2018



### 3.5 Dinâmica do uso e cobertura do solo entre 1985 e 2018

A dinâmica de uso e cobertura do solo na bacia do rio Jaguaribe e sub-bacias foi avaliada pela utilização de mapas anuais de uso e ocupação do solo. O primeiro resultado obtido relaciona a ausência ou ocorrência de alterações no uso, ou seja, quantificaram-se os pixels em que ocorreram mudanças de uso, assim como aqueles que permaneceram sem alterações de uso, nesse caso considerando o uso inicial em 1985 (Figura 12).

Figura 12 - Distribuição espacial das áreas alteradas e não alteradas pelo uso do solo na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) (1985 – 2018)



Os resultados mostraram que em 49,7% (36.001,55 km<sup>2</sup>) da área, o uso não foi alterado no período estudado, enquanto 50,3% (36.436,17 km<sup>2</sup>) foram alterados (Tabela 3). Entre as sub-bacias observou-se que a sub-bacia do Baixo Jaguaribe detém o maior percentual de áreas alteradas (61,08%), seguido pelas sub-bacias do Banabuiú (52,2%) e Salgado com (50,2%). Nas sub-bacias do Alto e Médio Jaguaribe o percentual de área com presença de mudanças foi de 45,23% e 46,43%, respectivamente.

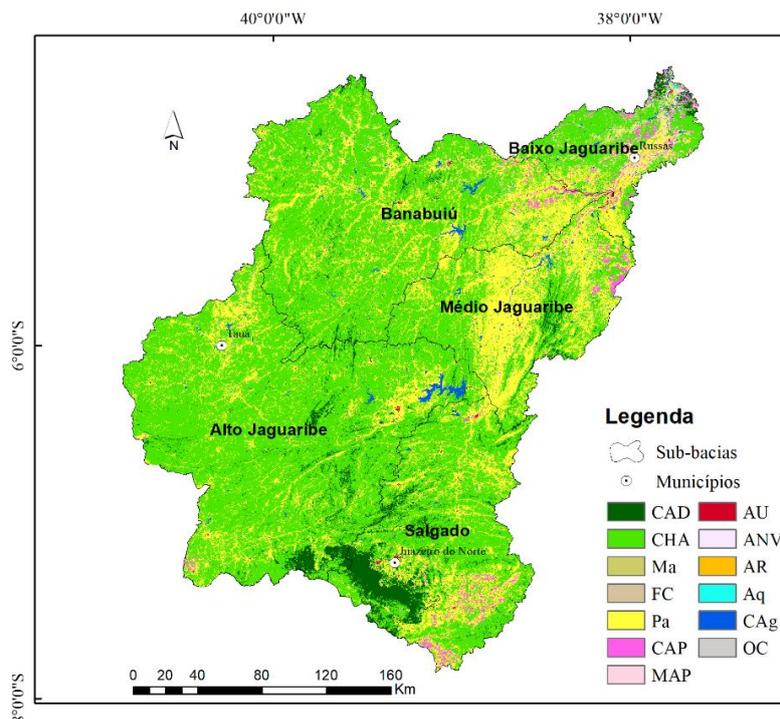
Tabela 3 - Áreas alteradas e não alteradas pelo uso do solo entre os anos de 1985 e 2018 na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ)

Bacia/sub-bacia	Áreas alteradas e não alteradas			
	Não alterada		Alteradas	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
BHRJ	36.001,55	49,7	36.436,17	50,3
Alto Jaguaribe	13.630,5	54,8	11.260,3	45,2
Médio Jaguaribe	5.496,9	53,6	4.765,1	46,4
Baixo Jaguaribe	2.278,8	38,9	3.182,2	61,1
Salgado	6.425,6	48,8	6.372,9	50,2
Banabuiú	9.209,3	47,8	10.060	52,2

A aplicação da segunda análise permitiu a identificação espacial da frequência da classe de uso nos 34 anos de avaliação, ou seja, a moda (Figura 13). Obteve-se como resultado que 64,8% da área apresentou como valor de moda a classe vegetação caatinga, seguido por pastagens com 25,87%, formação florestal com 4,84%, mosaico de agricultura e pastagens com 1,7% e culturas anual e perene com 1,5%.

Figura 13 - Classes modais de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) (1985 a 2018). CAD: Caatinga arbórea densa; CHA: Caatinga herbácea arbustiva; Ma: Mangue;

FC: Formação campestre; Pa: Pastagem; CAP: Cultura anual e perene; MAP: Mosaico de agricultura e pastagens; AU: Área urbana; ANV: Área não vegetada; AF: Afloramento rochoso; Aq: Aquicultura; CAg: Corpos D'água; OC: Outras classes



Quando os valores de moda foram relacionados com as áreas alteradas ou não alteradas (Tabela 4), verificou-se que de 46.905,7 km<sup>2</sup> apresentaram classe modal como caatinga herbácea arbustiva e que 18.920,4 km<sup>2</sup> passaram por alguma alteração, enquanto 27.985,4 km<sup>2</sup> permaneceram inalteradas em 34 anos. Áreas com classe modal de pastagens ocupavam 18.736,9 km<sup>2</sup>, desse total 13.395,5 km<sup>2</sup> já passaram por outros usos e apenas 5.341,4 km<sup>2</sup> permaneceram na mesma classe de uso durante o período avaliado. Quanto a classe modal de caatinga arbórea densa e que corresponde a 3.506,5 km<sup>2</sup>, 2.546 km<sup>2</sup> permaneceram inalteradas, enquanto 906 km<sup>2</sup> passaram por outros usos. Em relação a classe modal de mosaico de agricultura e pastagens que ocupava cerca de 1.206 km<sup>2</sup>, apenas 10,0 km<sup>2</sup> desse total permaneceram inalteradas, seguido pela classe modal de culturas anual e perene, que ocupava cerca de 1.082 km<sup>2</sup> e apenas 11,0 km<sup>2</sup> desse total permaneceram inalteradas.

Em relação a frequência da moda nas sub-bacias, a classe de formação florestal foi o uso frequente em 12,81% da área da sub-bacia do Salgado, 4,48% na sub-bacia do Alto Jaguaribe, 3,56% no Baixo Jaguaribe, seguido das sub-bacias do Médio Jaguaribe e do Banabuiú que apresentaram 2,2% e 1,7%. A classe de vegetação caatinga foi a mais frequente em 76% dos pixels da sub-bacia do Alto Jaguaribe, 68,2% na sub-bacia do Banabuiú, 58,3% na sub-bacia do Salgado, 51,30% na sub-bacia do Baixo Jaguaribe e em 45,46% na sub-bacia do Médio Jaguaribe.

A classe de pastagens foi o uso mais frequente na sub-bacia do Médio Jaguaribe com 46,9%, seguido pela sub-bacia do Banabuiú com 26,35%, Salgado com 25,06%, Baixo Jaguaribe 23,19% e Alto Jaguaribe com 17,75%. A classe modal de culturas anual e perene registrou maior frequência nas sub-bacias do Baixo Jaguaribe (7,23%), e do Salgado (2,52%). A classe de mosaico de agricultura e pastagens foi um uso frequente em 12,13% da sub-bacia do Baixo Jaguaribe, enquanto nas demais sub-bacias foi registrado como uso frequente em menos de 2%.

Tabela 4 - Distribuição das classes de uso modais em áreas alteradas e não alteradas da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) no período de 1985 a 2018

Classes de uso	Áreas alteradas		Áreas não alteradas		Total		
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	
BHRJ	Caatinga arbórea densa	960,38	1,33	2.546,09	3,51	3.506,47	4,84
	Caatinga herbácea arbustiva	18.920,36	26,12	27.985,36	38,63	46.905,72	64,75
	Mangue	4,73	0,01	3,38	0,00	8,10	0,01
	Formação campestre	76,04	0,10	2,39	0,00	78,44	0,11
	Pastagem	13.395,53	18,49	5.341,38	7,37	18.736,91	25,87
	Cultura anual e perene	1.071,05	1,48	11,45	0,02	1.082,49	1,49
	M. de agric. e pastagens	1.205,96	1,66	10,42	0,01	1.216,39	1,68
	Área urbana	51,82	0,07	36,8	0,01	88,61	0,12
	Área não vegetada	33,97	0,05	1,2	0,05	35,16	0,05
	Afloramento rochoso	20,94	0,03	0,7	0,00	21,59	0,03
	Aquicultura	8,24	0,01	0,7	0,00	8,94	0,01
	Corpos D'água	676,58	0,93	61,4	0,08	737,93	1,02
	Outras classes	3,04	0,00	7,9	0,01	11,97	0,02
	Total	36.428,64	50,29	36.009,1	49,71	72.437,72	100
Sub-bacia do Alto Jaguaribe	Caatinga arbórea densa	300,89	1,21	815,96	3,28	1.116,85	4,49
	Caatinga herbácea arbustiva	7.149,37	28,72	11.791,91	47,37	18.941,28	76,10
	Formação campestre	65,54	0,26	2,38	0,01	67,92	0,27
	Pastagem	3.441,23	13,83	978,63	3,93	4.419,85	17,76
	Cultura anual e perene	37,98	0,15	0,11	0,00	38,09	0,15
	M. de agric. e pastagens	25,16	0,10	0,07	0,00	25,23	0,10
	Área urbana	10,30	0,04	8,46	0,03	18,76	0,08
	Área não vegetada	6,93	0,03	0,05	0,00	6,97	0,03
	Afloramento rochoso	2,57	0,01	0,00	0,00	2,57	0,01
	Corpos D'água	220,36	0,89	32,94	0,13	253,30	1,02
	Outras classes	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Total	11.260,34	45,24	13.630,50	54,76	24.890,84	100,00	
Sub-bacia do Médio Jaguaribe	Caatinga arbórea densa	73,59	0,72	164,56	1,6	238,15	2,32
	Caatinga herbácea arbustiva	2.058,20	20,06	2.607,21	25,4	4.665,42	45,46
	Formação campestre	0,25	0,00	0,00	0,0	0,25	0,00
	Pastagem	2.831,81	27,60	1.989,56	19,4	4.821,374	46,98
	Cultura anual e perene	186,39	1,82	0,00	0,0	186,39	1,82
	M. agric. e pastagens	192,87	1,88	0,09	0,0	193,96	1,88
	Área urbana	5,06	0,05	2,58	0,0	7,63	0,07
	Área não vegetada	9,46	0,09	0,11	0,0	9,56	0,09
	Afloramento rochoso	0,39	0,00	0,00	0,0	0,39	0,00
	Corpos D'água	138,85	1,35	1,00	0,0	139,85	1,36
	Outras classes	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00
Total	5.496,87	53,57	4.765,11	46,4	10.261,98	100,00	

Continua.

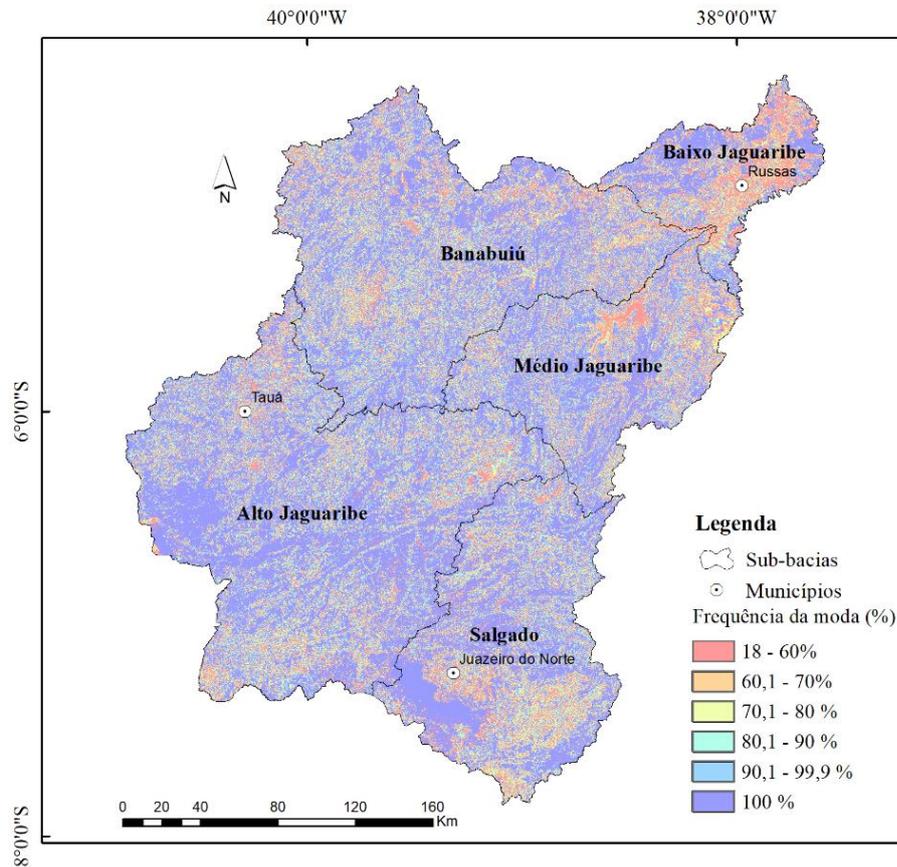
Tabela 5 - Distribuição das classes de uso modais em áreas alteradas e não alteradas da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) no período de 1985 a 2018 (Continuação)

Classes de uso	Áreas alteradas		Áreas não alteradas		Total		
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	
Sub-bacia do Baixo Jaguaribe	Caatinga arbórea densa	91,91	1,76	94,05	1,81	186,96	3,57
	Caatinga herbácea arbustiva	970,39	18,63	1.702,67	32,68	2673,06	51,31
	Mangue	4,73	0,09	3,38	0,06	8,10	0,16
	Formação campestre	7,70	0,15	0,00	0,00	7,70	0,15
	Pastagem	1.011,83	19,42	196,37	3,77	1.208,19	23,19
	Cultura anual e perene	376,69	7,23	0,23	0,00	376,92	7,23
	M. de agric. e pastagens	624,04	11,98	8,36	0,16	632,39	12,14
	Área urbana	9,64	0,19	3,96	0,08	13,60	0,26
	Área não vegetada	8,88	0,17	0,42	0,01	9,30	0,18
	Afloramento rochoso	0,29	0,01	0,00	0,00	0,29	0,01
	Aquicultura	8,24	0,16	0,70	0,01	8,94	0,17
	Corpos D'água	64,89	1,25	9,78	0,19	74,67	1,43
	Outras classes	2,99	0,06	7,87	0,15	10,86	0,21
	Total	3.182,22	61,08	2.027,78	38,92	5.209,99	100,00
Sub-bacia do Salgado	Caatinga arbórea densa	356,77	2,79	1.282,59	10,02	1.639,36	12,81
	Caatinga herbácea arbustiva	3.113,46	24,33	4.365,43	34,11	7.478,89	58,44
	Formação campestre	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
	Pastagem	2.518,71	19,68	689,88	5,39	3.208,59	25,07
	Cultura anual e perene	312,08	2,44	11,10	0,09	323,18	2,53
	M. de agric. e pastagens	58,85	0,46	0,85	0,01	59,70	0,47
	Área urbana	17,20	0,13	17,14	0,13	34,34	0,27
	Área não vegetada	3,59	0,03	0,10	0,00	3,69	0,03
	Afloramento rochoso	0,08	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
	Corpos D'água	44,75	0,35	5,82	0,05	50,57	0,40
	Outras classes	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Total	6.425,56	50,21	6.372,92	49,79	12.798,47	100,00	
Sub-bacia do Banabuiú	Caatinga arbórea densa	137,08	0,71	188,54	0,98	325,62	1,69
	Caatinga herbácea arbustiva	5.627,50	29,20	7.515,23	39,00	13.142,73	68,20
	Formação campestre	2,45	0,01	0,00	0,00	2,45	0,01
	Pastagem	3.591,15	18,64	1486,81	7,72	5.078,96	26,35
	Cultura anual e perene	157,64	0,82	0,00	0,00	157,64	0,82
	M. de agric. e pastagens	304,92	1,58	1,05	0,01	305,97	1,59
	Área urbana	9,62	0,05	4,65	0,02	14,28	0,07
	Área não vegetada	5,11	0,03	0,52	0,00	5,63	0,03
	Afloramento rochoso	17,62	0,09	0,65	0,00	18,27	0,09
	Corpos D'água	207,72	1,08	11,82	0,06	219,55	1,14
	Outras classes	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Total	10.060,82	52,21	9.209,28	47,79	19.270,10	100,00	

Ao analisar o percentual de frequência da moda, foi constatado que as classes modais descritas anteriormente variaram de 18% a 100%. As áreas definidas como não alteradas anteriormente apresentaram frequência da moda de 100%, ou seja, a frequência da moda foi

100% em 49,7% da área da bacia maior, 54,5% da sub-bacia do Alto Jaguaribe, 53,6% no Médio Jaguaribe, 58,8% no Salgado, 57,8% no Banabuiú e 38,9% no Baixo Jaguaribe.

Figura 14 - Porcentual de frequência da moda na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) no período de 1985 a 2018



A frequência da moda variando de 90 a 99,9% foi registrada em 5,7% no Alto Jaguaribe, 6,6% no Salgado, 5,9% no Banabuiú, 4,1% Baixo Jaguaribe e 0,6% no Médio Jaguaribe. No intervalo de frequência entre 18 a 60% a moda ocorreu na sub-bacia do Baixo Jaguaribe (28,03%), seguido pela sub-bacia do Salgado (18,94), Alto Jaguaribe (18,9%), Médio Jaguaribe (16,62%) e Banabuiú (14,87%). Entre os demais intervalos as sub-bacias apresentaram comportamento semelhante (Tabela 5).

Tabela 6 - Percentual de frequência das classes modal nas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ)

Sub- bacias	Percentual de frequência da moda					
	100%	91 a 99%	80 a 90%	70 a 80%	60 a 70%	18 a 60%.
Alto Jaguaribe	54,8%	5,7%	10%	10%	0,7%	18,9%
Médio Jaguaribe	53,6%	0,6%	9,6%	11,1%	8,36%	16,62%
Baixo Jaguaribe	38,9%	4,1%	7,8%	11,1%	10,06%	28,03%
Salgado	48,8%	6,6%	9,8%	11,4%	8,2%	18,94%
Banabuiú	47,8%	5,9%	11,3%	11,9%	8,12%	14,87%

A análise do variety permitiu verificar o número de usos em cada pixel durante 34 anos, na qual foi detectado a ocorrência de pixel com variação de 1 a 10 usos (Figura 15). Constatou-se que 49,7% da bacia apresentou somente um único tipo de uso, enquanto 50,3% da área ocorreram variações de 2 a 10 usos, sendo que 26,3% da bacia registrou dois usos, 19,5% três usos e 4,5% quatro usos. O somatório dos demais números de usos representaram cerca de 1% da área total.

Figura 15 - Número de usos do solo da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) no período de 1985 a 2018

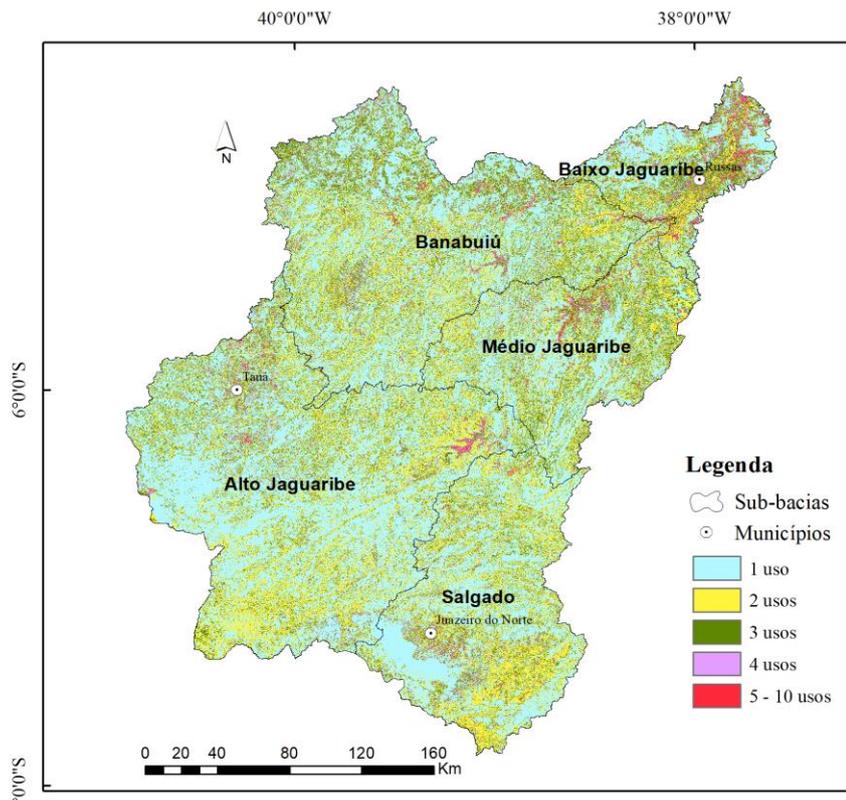


Tabela 7 - Número de usos por sub-bacia bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (BHRJ) (1985-2018)

Sub- bacias	Número de uso por pixel			
	1	2	3	4 a 10
Alto Jaguaribe	54,73%	26%	15%	≈ 1%
Médio Jaguaribe	46,43%	26,52%	21,1%	5,9%
Baixo Jaguaribe	38,9%	21,28%	26,59%	13,22%
Salgado	54,73%	30,2%	15,4%	4,5%
Banabuiú	47,79%	24,7%	21,5%	5,8%

As mudanças de usos em cada pixel poderiam variar de 0 a 34 vezes (período analisado), porém somente ocorreram registro de 0 a 25 usos (tabela 7). As áreas com zero mudanças são as mesmas descritas nas análises anteriores. Áreas com somente uma mudança de uso foram registrados em 11,2% do Alto Jaguaribe, 11,2% do Médio Jaguaribe, 6,67% do Baixo Jaguaribe, 10,06% do Salgado e 8,24% do Banabuiú. Áreas com duas mudanças de uso foram registradas entre 10,4% a 13,6% em todas as sub-bacias. Áreas com três mudanças de uso foram registradas entre 8,8% a 10,57% em todas as sub-bacias. Áreas com quatro mudanças de uso variaram entre 5,6 e 10,4% em todas as sub-bacias. Áreas com número de usos variando entre 5 e 25 foram registradas em 7,5% do Alto Jaguaribe, 7,64% do Médio Jaguaribe, 22,83% do Baixo Jaguaribe, 8,9% do Salgado e 7,8% do Banabuiú.

Figura 16 - Mudanças de usos na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe - BHRJ (1985-2018)

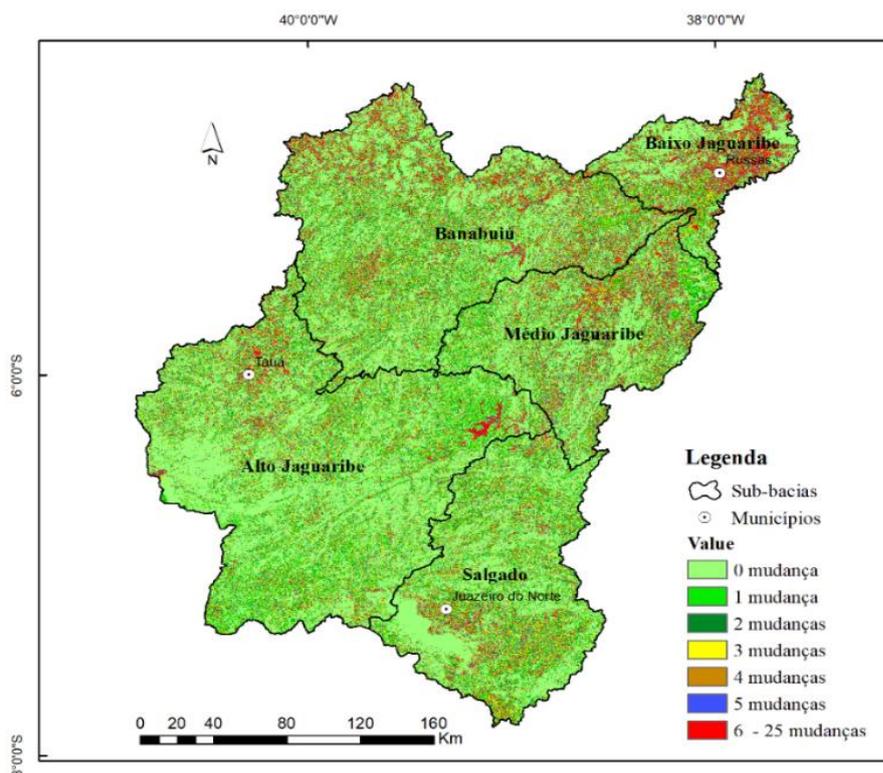


Tabela 8 - Número de mudanças de uso por sub-bacia (1985 a 2018)

Sub- bacias	Mudanças de uso					
	0	1	2	3	4	5 a 25
Alto Jaguaribe	54,7%	11,2%	11,8%	8,83%	5,6%	7,5%
Médio Jaguaribe	47,79%	11,2%	11,8%	8,8%	5,6%	7,64%
Baixo Jaguaribe	38,91%	6,67%	10,4%,	10,4%,	10,4%	22,83%
Salgado	49,7%	10,6%	13,04%	10,57%	7,02%	8,9%
Banabuiú	47,79%	8,24%	13,6%	9,1%	7,8%	7,8%

#### 4 DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, está sujeita a intervenções desde o início da colonização do Ceará visto que o rio Jaguaribe foi um dos principais facilitadores para penetração e fixação dos colonizadores (Pantalena et al. 2014). No decorrer do tempo, a região passou por vários ciclos econômicos, no qual se destacam a pecuária e o algodão.

A ocupação da bacia do rio Jaguaribe teve como expressão máxima o binômio gado - algodão, marcado por uma conjuntura econômica que trouxe riqueza para os proprietários de terras e, conseqüentemente a devastação das áreas de vegetação natural, por meio da abertura de clareiras para o assentamento do gado e, posteriormente, o desmatamento da vegetação nativa para introdução dos algodoais que se expandiram nos sertões do vale do Jaguaribe (Guerra et al. 2012).

Partindo dessa premissa, poucas áreas conservadas podem representar as condições originais da cobertura vegetal na atualidade. Entretanto, com base nos resultados obtidos, é possível encontrar áreas de vegetação natural (caatinga arbórea densa e caatinga herbácea arbustiva), que permaneceram na mesma classe há pelo menos 34 anos.

Entre 1985 e 2018, as áreas de culturas anual e perene, pastagens, mosaico de agricultura e pastagens e áreas urbanas expandiram na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Tais mudanças impulsionadas conseqüentemente por medidas governamentais de desenvolvimento econômico em escala regional, entre outros. Visto que a modernização da agricultura no Nordeste foi amplamente incentivada por diversas políticas públicas e instituição governamentais no intuito de aumentar a produção e alavancar regiões economicamente estagnadas (Pontes e Aragão, 2013). No Ceará, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, juntamente

com a Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, foram responsáveis pela excursão das políticas de irrigação, que na década de 1970/80 instalaram na bacia do rio Jaguaribe oito perímetros irrigados com área desapropriada total de 678 km<sup>2</sup>, com 42% de área irrigável e 52% destinados a agricultura de sequeiro (Gomes,1979).

Os dados apontam o rápido crescimento da classe de culturas anual e perene entre os anos de 1985 a 2000. Um fator de destaque, que alavancou o crescimento dessa classe foram as políticas públicas federais e estaduais para o desenvolvimento da fruticultura no estado, que além de incentivos fiscais, desenvolveram diversos programas com estratégias para ampliação da área irrigada e aumento da produção, assim como favorecer a demanda do setor por mão de obra, gerando empregos, e as exportações (Programa de Apoio e Desenvolvimento da Fruticultura Irrigada no Nordeste, 1997; PROCEAGRI, 2000). Para o fortalecimento desse setor também foram necessárias estratégias de investimento em infraestrutura como por exemplo a construção de reservatórios de grande porte e canais de abastecimento de água, ampliando a disponibilidade de água para a agricultura irrigada (Silva, 2006).

De acordo com o Censo Agropecuário 1995/1996, entre os anos 1985 e 1995/1996 houve declínio das principais lavouras em termos de área colhida. Porém, como a classificação do Mapbiomas não permitiu distinção entre áreas de agricultura de sequeiro, áreas irrigadas e áreas de culturas perenes, não foi possível verificar esse declínio nas análises realizadas.

O aumento significativo de 47,23% na classe de pastagens pode ser justificado por ser a forma menos onerosa para extensão de atividades pecuárias (Dias-Filho 2016). A principal consequência dessa atividade tem sido a alta incidência de pastagens degradadas no País e a estigmatização da pecuária desenvolvida a pasto, como atividade improdutiva e essencialmente danosa ao meio ambiente (Dias-Filho 2014). De acordo com dados dos censos agropecuários 2006 e 2017, no estado do Ceará ocorreu a diminuição das áreas de pastagens em geral (10%), sendo que 18% dessa redução ocorreram em áreas de pastagens naturais, enquanto houve um aumento de 265% de pastagens degradadas. A diminuição de áreas de pastagens registrada pelo censo agropecuário de 2017 foi concomitante ao registro da diminuição da produção de bovinos, e um aumento na criação de animais de menor porte como ovinos, caprinos e suínos.

Outra área em ascensão é o mosaico de agricultura e pastagens que apresentou um aumento de 391,37%. Apesar do crescimento acelerado esta área ocupava em 2018 apenas 1.617 km<sup>2</sup>, o equivalente a 2,2% do território da bacia. Nessa classe, podem estar contidos as áreas que foram inicialmente classificadas como pastagens e posteriormente abandonadas para

recuperação, ou até mesmo áreas de agricultura de sequeiro também abandonadas para recuperação. A literatura não retrata estudos nessas áreas.

O crescimento da área urbana acompanha o crescimento mundial, associada ao desenvolvimento econômico do país e da região (Vergolino 2005). Visto que, a BHRJ ocupa 50% da área total do estado o crescimento da área urbana no período estudado foi impulsionado principalmente por forças econômicas e outros diversos fatores, como por exemplo, a busca por serviços básicos de educação, saneamento e saúde, motivando o êxodo rural.

Embora a região tenha apresentado em 2018 uma porcentagem significativa de cobertura natural, com 58,4% da área de caatinga herbácea arbustiva e 5,7% de caatinga arbórea densa, os resultados apontam a degradação sistemática dessas áreas, com manchas bastante fragmentadas e consequentemente ecologicamente instáveis. De acordo com o mapa de biomas do Brasil IBGE (IBGE 2004), o estado do Ceará é totalmente coberto pelo bioma Caatinga. Essa classificação simplificada facilita o planejamento de políticas públicas para o manejo e conservação da biodiversidade em nível nacional, porém dissimula o fato de que cada domínio fitogeográfico abrange um espaço geográfico heterogêneo, onde ocorrem diferentes tipos de vegetação, o que potencializa problemas nas ações de conservação e manejo na escala local (Moro et al. 2014).

Apesar das áreas de vegetação caatinga aparecerem como a classe dominante na bacia e nas sub-bacias (exceto no Médio Jaguaribe), quando a dinâmica é analisada percebe-se que essas áreas em suas maiorias estão sob constante perturbação em todas as sub-bacias.

Outro fator analisado foi a significativa conversão de caatinga em pastagens e de pastagens em mosaico de agricultura e pastagens em áreas de vegetação caatinga (sistema de pousio). Essas transformações de cobertura/uso da terra representam uma séria ameaça aos recursos naturais da bacia, visto que, mudanças descontroladas no uso da terra juntamente com as climáticas podem causar um cenário de degradação irreversível na região da caatinga (Castanho et al. 2020, Moraes et al. 2017).

No que se refere as sub-bacias que compõe a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, foi observado que mudanças espaço-temporal ocorreram com comportamentos diferenciados. As sub-bacias com maior porcentual de interferência antrópica foram o Médio e o Baixo Jaguaribe.

As características da paisagem na sub-bacia do Médio Jaguaribe revelam que essa área foi e continuamente sendo bastante impactada pela interferência antrópica, visto que, a classe

de pastagens e a classe caatinga detém áreas semelhantes desde 1985. Os principais impactos ocorridos nessa sub-bacia ocorreram em data anterior ao período estudado e estão relacionados principalmente a atividades agropecuárias, que permanece até os dias atuais como fonte de riqueza econômica de teor agrário, passando de extensiva para semi-intensiva (Guerra 2012). Enquanto o Baixo Jaguaribe vem sendo continuamente impactado, principalmente pelas culturas anual e perene devido a disponibilidade hídrica. As análises da dinâmica de uso e ocupação do solo revelam que o Baixo Jaguaribe detém maior porcentual de áreas alteradas, menor porcentual de frequência da moda, maior número de uso por pixel e maior número de mudanças de uso.

## **5 CONCLUSÃO**

É evidente que nas últimas três décadas ocorreu uma significativa fragmentação de áreas de vegetação natural (áreas de caatinga e de formação florestal) e a expansão de áreas agrícolas e de pecuária, evidenciando que as perturbações resultantes de atividades antrópicas constituem os maiores fatores de mudança na paisagem. As sub-bacias mais afetadas pelas mudanças históricas de uso e cobertura do solo foram as sub-bacias do Médio Jaguaribe e Baixo Jaguaribe.

Embora as mudanças de uso e ocupação do solo detectadas contenham imprecisões devido a acurácia da classificação para esse bioma, a análise da dinâmica espaço-temporal de uso-ocupação do solo pode auxiliar no planejamento de ações para conservação dos recursos naturais e preservação da biodiversidade dessa bacia. Logo, é fundamental o desenvolvimento de pesquisas que integrem todos os fatores de mudança e seus efeitos na qualidade ambiental do bioma Caatinga.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. J. A.; SOUSA, F. B.; SILVA, N. L.; BEZERRA, T. S. Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.2, p.1592-1595, 2007.
- BARBOSA, F. C.; TEIXEIRA, A. S.; GONDIM, R. S. Necessidades de irrigação das culturas na Bacia do Baixo Jaguaribe. In: **Gestão sustentável do Baixo Jaguaribe, Ceará**. Editores: ROSA, MF., GONDIM, R. S.; FIGUEIREDO, M. C. B. FORTALEZA – CE, Embrapa Agroindústria Tropical. p. 301 – 369. 2006.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; DA SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, 2014.
- EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Programa de apoio e desenvolvimento da fruticultura irrigada do Nordeste**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Brasília - DF, 148 p. 1997.
- BRUNSON, J. C. G. G. Alluvial: Layered Grammar for Alluvial Plots. **Journal of Open Source Software**, v. 5, p. 49, 2017.
- BUCHER, E. H.; HUNTEY, B. J.; WALTHER B. H. Chaco and caatinga – South American arid savannas, woodlands and thickets. In: **Ecology of tropical savannas**. Ed. 1982.
- BUTT, A.; SHABBIR, R.; AHMAD, S. S.; AZIZ, N. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space**, v.18, p. 251 – 259, 2015.
- CASTANHO, A. D. A.; COE, M.; ANDRADE, E. M.; WALKER, W.; BACCINI, A.; CAMPOS, D. A.; FARINA, M. A close look at above ground biomass of a large and heterogeneous Seasonally Dry Tropical Forest - Caatinga in North East of Brazil. **An Acad Bras Cienc**, v. 92, n. 1, 2020.
- CASTELLETTI, C. H. M.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; SANTOS, A.M.M. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: Silva JMC, Tabarelli M & Fonseca MT (orgs.) **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 440p. 2003.
- CEARÁ. Secretária da Agricultura Irrigada. **Programa cearense da agricultura irrigada – PROCEAGRI: irrigando para a competitividade**. Fortaleza: SEAGRI, . p. 79. 2000. DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil – Belém, PA : **Embrapa Amazônia Oriental**, 36 p, 2014.
- DIAS-FILHO, M. B. Uso de Pastagens para a Produção de Bovinos de Corte no Brasil: Passado, Presente e Futuro – Belém, PA : **Embrapa Amazônia Oriental**, 2016
- EL BAROUDY, A. A. Monitoring land degradation using remote sensing and GIS techniques in an area of the middle Nile Delta, Egypt, **Catena**, v 87, 201- 208, 2011.

EL NAHRY, A. H.; IBRAHIM, M. M.; EL BAROUDY, A. A. Assessment of soil degradation in the northern part of Nile Delta, Egypt, using remote sensing and GIS techniques. **Egypt Journal of Remote Sensing & Space Science**, v. 11, p.139 – 154, 2008.

GANEM, K. A. **Classificação da Cobertura do Solo na Caatinga a partir de Imagens do Landsat-8 e da Ferramenta Google Earth Engine**: uma comparação entre dados com e sem correção atmosférica. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – Distrito Federal. 182p. 2017.

GOMES, G. M. **A política de irrigação no Nordeste**: intenções e resultados. Pesq. Planejamento Econômico. Rio de Janeiro: 1979. Disponível em: <https://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewFile/525/468>. Acesso em junho 2020.

GUERRA, M. D. F.; SOUZA, N. M. J.; LUSTOSA, G. J. P. A pecuária, o algodão e a desertificação nos sertões do Médio Jaguaribe - Ceará/Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 11, n. 25, p.103-112, 2012.

HUANG, L.; LIAO, F. H.; LOHSE, K. A.; LARSON, D. M.; FRAGKIAS, M.; LYBECKER, D. L.; BAXTER, C. V. Land conservation can mitigate freshwater ecosystem services degradation due to climate change in a semiarid catchment: The case of the Portneuf River catchment, Idaho, USA. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1796–1809, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil primeira aproximação**. In: IBGE (Ed), 2004. disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?edicao=16060&t=sobre>. Acesso em maio de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 1995-1996**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/20700-1995-1996-censoagro1995.html?edicao=18356&t=downloads>. Acesso em janeiro de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006-2007**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/20700-1995-1996-censoagro1995.html?edicao=18356&t=downloads>. Acesso em janeiro de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf). Acesso em janeiro de 2020.

IPECE. Tipos Climáticos. In: **Ceará em Mapas, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE)**, Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/126x.htm>. Acesso em fevereiro de 2020.

KOUBA, Y.; GARTZIA, M.; EL AICH, A.; ALADOS, C. L. Deserts do not advance, they are created: Land degradation and desertification in semiarid environments in the Middle Atlas, Morocco. **Journal of Arid Environments** v.158, p.1-8, 2018.

KUHN, M. Caret: Classification and Regression Training. **R package version**, v. 6, p. 0-86. 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=caret>. Acesso em janeiro de 2020.

MAPBIOMAS. 2019b. MapBiomas General “Handbook” **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**, Collection 4, Version 2.0. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em julho de 2019.

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.

MEDEIROS, C. N.; GOMES, D. D. M.; ALBUQUERQUE, E. L. S.; CRUZ, M. L. **Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades**. Fortaleza: IPECE p. 268, 2011.

MILES, L.; NEWTON, A. C.; DEFRIES, R. S.; RAVILIOUS, C.; MAY, I.; BLYTH, S.; KAPOV, V.; GORDON, J. E. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. **J Biogeogr**, v. 33, p. 491 - 505, 2006.

MONTEIRO, C.W.B. & ADAMI, M. **Relação entre a idade do desflorestamento e o uso e ocupação da terra das áreas desflorestadas no estado do Pará**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Belém/PA, 2016.

MORAIS, Y. C. B.; ARAUJO, M. S. B.; MOUSA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; MIRANDA, R. Q. Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 585 - 599, 2017.

MORI, A. S.; ISBELL, F.; SEIDL, R. B-DIVERSITY, Community Assembly, and Ecosystem Functioning. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 33, n. 7, p. 549 - 564, 2018.

MORO, M. F.; LUGHADHA, E. N.; FILER D. L.; ARAÚJO F. S. D.; MARTINS, F. R. A catalogue of the vascular plants of the Caatinga Phytogeographical Domain: a synthesis of floristic and phytosociological surveys. **Biotaxa**. v. 160, p. 118, 2014.

PAGANO, M. C.; ZANDEVALLI, R. B.; ARAÚJO, F. S.; Biodiversity of arbuscular mycorrhizas in three vegetational types from the semiarid of Ceará State, **Brazil. Appl Soil Ecol**, v. 67, p. 37 - 46, 2013.

PANTALENA, A. F.; MAIA, L. P. Marcas da ação antrópica na história ambiental do Rio Jaguaribe, Ceará, Brasil **Revista de Gestão Costeira Integrada RGCI**, v.14, n. 3, 2014. DOI:10.5894/rgci431.

PONTES, P. A.; ARAGÃO, K. Os Perímetros Irrigados do Ceará: Os Grandes Projetos de Irrigação têm Impacto Sobre a Renda Local? **XXXVII Encontro do ANPAD**, Rio de Janeiro, 2013.

ROBERT, J. H. Raster: Geographic Data Analysis and Modeling. **R package versio**, v. 3, p. 3 - 13. 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=raster>. Acesso em janeiro de 2020.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAUJO, M. D. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Propensão à desertificação no semiárido brasileiro. **Revista de Geografia**, v. 22, p. 59-76. 2005.

SANTOS, S. M. B.; GANEM, K.A.; BATISTA, G. M. M.; FRANCA-ROCHA, W. J. Uso do Google Earth Engine para análises espaciais e ambientais em áreas do bioma caatinga – Brasil. **II ENCONTRO LUSO-AFRO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA E AMBIENTE**. 2018.

SILVA, E. C. A.; LOPES, I. S.; SILVA, J. L. Composição florística de um fragmento de caatinga do município de Itapetim, Pernambuco. **Scientia Plena**, v. 18, n. 4, 2012.

SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o Semi-árido: transições paradimáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. Tese de doutorado - Centro de desenvolvimento sustentável, Universidade de Brasília. p. 298 2006.

SOUSA, B. F. S. **Aprendizado de máquina na detecção de uso do solo no bioma Caatinga via sensoriamento remoto**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Ceará, Ceará - Fortaleza, 2009.

TABARELLI, M.; VICENTE, A. Conhecimento Sobre Plantas Lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas, p. 101-112 In: **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. p. 101-112, 2003.

TERRADO, M.; ACUÑA, V.; ENNAANAY, D.; TALLIS, H.; SABATER, S. Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in a heavily humanized Mediterranean basin. **Ecological Indicators**. 2013. DOI:10.1016/j.ecolind.2013.01.016.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Corrégo Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.55 - 64, 2010.

VERGOLINO, J. R.; DANTAS, M. Os determinantes do processo de urbanização da região nordeste do Brasil: 1970-1996. **Economia**, v. 31 n. 2(29), p. 7-33, 2005.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. **Springer-Verlag New York**, 2016.

**ANEXO A - CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE (ÁREAS EM Km<sup>2</sup> E %).**

Classes de cobertura / uso do solo	1985		1990		1995		2000		2005		2010		2015		2018	
	Área (km <sup>2</sup> )	%														
Formação florestal	4558,2	6,3	3.591,3	5,0	3.859,4	5,3	3.566,8	4,9	3.516,0	4,9	3.497,6	4,8	3.584,7	4,9	4.152,2	5,7
Caatinga	50.333,7	69,5	45.618,0	63,0	45.266,4	62,5	44.760,7	61,8	42.860,1	59,2	42.095,2	58,1	42.722,0	59,0	42.304,7	58,4
Mangue	7,4	0,0	8,2	0,0	7,9	0,0	7,6	0,0	8,0	0,0	8,9	0,0	7,5	0,0	4,7	0,0
Formação campestre	548,2	0,8	255,6	0,4	173,1	0,2	164,3	0,2	274,3	0,4	215,8	0,3	95,3	0,1	106,4	0,1
Pastagem	14.064,3	19,4	19.538,4	27,0	18.535,9	25,6	20.064,7	27,7	20.675,7	28,5	17.895,7	24,7	21.381,5	29,5	20.706,1	28,6
Cultura anual e perene	170,9	0,2	355,9	0,5	885,2	1,2	1.361,4	1,9	1.109,7	1,5	1.534,9	2,1	2.433,0	3,4	2.748,6	3,8
Mosaico de agricultura e pastagens	1.557,0	2,1	2.041,9	2,8	3.102,6	4,3	1.937,0	2,7	2.757,2	3,8	5.743,7	7,9	1.483,7	2,0	1.617,2	2,2
Área urbana	41,7	0,1	52,3	0,1	63,8	0,1	78,4	0,1	93,5	0,1	132,0	0,2	174,8	0,2	204,9	0,3
Área não vegetada	208,9	0,3	139,2	0,2	64,6	0,1	46,2	0,1	66,1	0,1	39,9	0,1	44,6	0,1	39,9	0,1
Afloramento rochoso	21,3	0,0	25,3	0,0	32,6	0,0	27,6	0,0	30,5	0,0	30,5	0,0	41,3	0,1	49,9	0,1
Aquicultura	5,1	0,0	2,4	0,0	2,5	0,0	4,6	0,0	9,7	0,0	14,5	0,0	18,2	0,0	19,3	0,0
Água	910,8	1,3	798,4	1,1	432,2	0,6	407,7	0,6	1.026,0	1,4	1.218,9	1,7	439,8	0,6	472,8	0,7
Outras classes	10,3	0,0	10,7	0,0	11,4	0,0	10,7	0,0	10,7	0,0	10,2	0,0	11,3	0,0	10,9	0,0

**ANEXO B - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 1985  
A 2018 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>).**

		1985													
		Caatinga arbórea densa	Caatinga herbácea arbustiva	Mangue	Formação campestre	Pastagem	Cultura anual e perene	Mosaico de agricultura e pastagens	Área urbana	Área não vegetada	Afloramento rochoso	Aquicultura	Corpos D'água	Outras classes	Total
2018	Caatinga arbórea densa	3.164,00	552,95	0,20	1,55	564,10	112,62	131,47	4,62	1,44	2,42	0,57	21,53	0,69	4.558,17
	Caatinga herbácea arbustiva	707,40	38.315,86	0,01	43,56	9.363,83	748,12	978,74	31,69	12,73	17,74	4,52	109,07	0,44	50.333,71
	Mangue	1,41	0,07	3,72	1,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,15	0,00	0,01	0,59	0,34	7,39
	Formação campestre	0,50	153,40	0,00	28,20	338,81	3,75	16,70	0,65	0,60	3,76	0,34	1,41	0,05	548,18
	Pastagem	178,30	2.748,80	0,00	15,11	9.112,23	1.538,32	288,33	98,38	8,53	2,77	4,21	69,24	0,02	1.4064,25
	Cultura anual e perene	0,49	7,75	0,00	0,01	32,88	128,09	0,41	1,25	0,03	0,01	0,00	0,05	0,00	170,95
	Mosaico de agricultura e pastagens	51,64	332,59	0,01	4,80	809,16	192,97	126,42	18,15	1,77	0,98	3,90	14,20	0,39	1.556,97
	área urbana	0,06	0,13	0,00	0,00	0,73	0,28	0,18	40,20	0,07	0,01	0,00	0,03	0,01	41,69
	Área não vegetada	9,14	24,15	0,10	4,19	86,93	15,30	19,34	9,38	12,60	4,96	2,27	20,36	0,19	208,91
	Afloramento rochoso	0,01	1,34	0,00	0,03	2,59	0,00	0,22	0,05	0,02	17,01	0,00	0,00	0,00	21,26
	Aquicultura	0,08	0,17	0,04	0,50	0,22	0,13	0,12	0,03	0,42	0,00	2,86	0,55	0,00	5,12
	Corpos D'água	39,00	167,44	0,60	7,36	394,60	8,90	54,59	0,28	1,56	0,20	0,56	235,62	0,11	910,83
	Outras classes	0,16	0,03	0,05	0,05	0,03	0,13	0,65	0,18	0,02	0,00	0,11	0,19	8,68	10,29
	Total	4.152,20	42.304,70	4,72	106,43	20.706,12	2.748,59	1.617,19	204,86	39,93	49,86	19,34	472,85	10,92	72.437,72

Os valores em cada coluna equivalem a áreas de uso e cobertura do solo que foram convertidas em outras classes.

**ANEXO C - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 1985 A 1995 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>).**

		1985													
		Caatinga arbórea densa	Caatinga herbácea arbustiva	Mangue	Formação campestre	Pastagem	Cultura anual e perene	Mosaico de agricultura e pastagens	Área urbana	Área não vegetada	Afloramento rochoso	Aquicultura	Corpos D'água	Outras classes	Total
1995	Caatinga arbórea densa	3.153,93	871,91	0,80	0,35	362,98	14,48	139,25	0,14	0,80	0,44	0,00	12,70	0,38	4.558,17
	Caatinga herbácea arbustiva	437,68	41.607,58	0,04	58,06	6.619,76	119,44	1.428,64	1,19	9,88	9,50	0,08	41,70	0,16	50.333,71
	Mangue	0,71	0,00	6,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,18	7,39
	Formação campestre	0,92	183,38	0,01	50,80	287,23	0,26	23,04	0,02	0,82	0,88	0,02	0,74	0,04	548,18
	Pastagem	68,45	1.984,42	0,00	41,35	10.419,06	570,82	937,26	16,04	7,12	1,40	0,01	18,22	0,12	14.064,25
	Cultura anual e perene	0,15	2,19	0,00	0,00	52,78	114,25	1,33	0,17	0,07	0,00	0,00	0,01	0,00	170,95
	Mosaico de agricultura e pastagens	62,95	417,28	0,01	17,82	572,71	62,66	382,62	4,40	6,17	3,80	0,17	25,82	0,56	1.556,97
	Área urbana	0,02	0,18	0,00	0,00	1,29	0,03	1,02	38,21	0,92	0,02	0,00	0,00	0,00	41,69
	Área não vegetada	10,90	26,80	0,05	1,93	63,50	2,73	61,02	3,64	25,11	5,01	0,91	7,05	0,25	208,91
	Afloramento rochoso	0,09	4,70	0,00	0,76	2,67	0,00	0,67	0,01	4,35	8,00	0,00	0,01	0,00	21,26
	Aquicultura	0,22	0,51	0,03	0,33	0,09	0,00	0,59	0,00	0,41	0,45	1,03	1,46	0,00	5,12
	Corpos D'água	123,26	167,41	0,49	1,72	153,78	0,49	126,83	0,02	8,89	3,11	0,31	324,40	0,13	910,83
	Outras classes	0,08	0,01	0,07	0,01	0,11	0,02	0,34	0,00	0,06	0,01	0,00	0,02	9,57	10,29
	<b>Total</b>	<b>3.859,36</b>	<b>45.266,36</b>	<b>7,93</b>	<b>173,14</b>	<b>18.535,95</b>	<b>885,18</b>	<b>3.102,63</b>	<b>63,85</b>	<b>64,59</b>	<b>32,60</b>	<b>2,53</b>	<b>432,21</b>	<b>11,39</b>	<b>72.437,72</b>

Os valores em cada coluna equivalem a áreas de uso e cobertura do solo que foram convertidas em outras classes.

**ANEXO D - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 1995 A 2005 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>).**

		1995													
		Caatinga arbórea densa	Caatinga herbácea arbustiva	Mangue	Formação campestre	Pastagem	Cultura anual e perene	Mosaico de agricultura e pastagens	Área urbana	Área não vegetada	Afloramento rochoso	Aquicultura	Corpos D'água	Outras classes	Total
2005	Caatinga arbórea densa	2.930,27	523,11	0,70	5,07	197,10	15,77	80,23	0,27	0,97	0,58	0,32	104,75	0,24	3.859,36
	Caatinga herbácea arbustiva	405,59	37.961,62	0,03	135,18	5.547,11	80,74	917,11	2,04	25,11	7,78	1,01	182,88	0,15	45.266,36
	Mangue	0,85	0,01	6,77	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,16	7,93
	Formação campestre	0,19	33,40	0,01	33,47	89,38	0,40	14,42	0,01	0,18	0,58	0,11	0,99	0,01	173,14
	Pastagem	96,38	3.272,57	0,00	66,80	13.500,65	443,60	854,93	20,16	12,13	1,77	1,11	265,74	0,11	18.535,95
	Cultura anual e perene	4,69	24,01	0,00	0,13	361,91	454,48	39,16	0,28	0,45	0,00	0,03	0,03	0,01	885,18
	Mosaico de agricultura e pastagens	56,93	1.013,30	0,02	17,79	961,15	113,34	814,50	7,42	12,41	1,73	3,13	100,71	0,18	3.102,63
	Área urbana	0,02	0,05	0,00	0,00	2,12	0,20	1,16	59,42	0,86	0,02	0,00	0,00	0,00	63,85
	Área não vegetada	1,86	7,27	0,04	3,34	6,66	0,73	12,00	3,85	12,56	6,54	0,40	9,28	0,05	64,59
	Afloramento rochoso	0,22	6,40	0,00	2,12	2,27	0,17	5,95	0,01	0,77	11,37	0,74	2,58	0,01	32,60
	Aquicultura	0,02	0,01	0,00	0,11	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	1,77	0,56	0,00	2,53
	Corpos D'água	18,80	18,32	0,35	10,07	7,35	0,29	16,93	0,00	0,64	0,11	1,10	358,22	0,03	432,21
	Outras classes	0,22	0,02	0,08	0,22	0,02	0,01	0,73	0,00	0,03	0,06	0,03	0,15	9,81	11,39
	Total	3.516,05	42.860,11	8,00	274,35	20.675,72	1.109,74	2.757,16	93,48	66,13	30,54	9,75	1.025,98	10,73	72.437,72

Os valores em cada coluna equivalem a áreas de uso e cobertura do solo que foram convertidas em outras classes.

**ANEXO E - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 2005 A 2015 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>).**

		2005													
		Caatinga arbórea densa	Caatinga herbácea arbustiva	Mangue	Formação campestre	Pastagem	Cultura anual e perene	Mosaico de agricultura e pastagens	Área urbana	Área não vegetada	Afloramento rochoso	Aquicultura	Corpos D'água	Outras classes	Total
2015	Caatinga arbórea densa	2.948,52	280,87	0,58	0,62	170,30	32,44	73,53	0,70	0,45	0,27	0,08	7,25	0,44	3.516,05
	Caatinga herbácea arbustiva	428,58	37.265,82	0,00	17,52	4.508,44	132,65	473,70	2,27	11,61	9,64	0,99	8,50	0,40	42.860,11
	Mangue	1,01	0,01	6,55	0,02	0,00	0,01	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,08	8,00
	Formação campestre	1,87	100,33	0,07	34,99	110,26	0,66	12,08	0,10	2,29	3,50	1,60	6,41	0,17	274,35
	Pastagem	125,60	4.079,45	0,00	25,92	14.805,76	1.128,85	434,08	55,25	5,86	3,58	2,22	9,04	0,11	20.675,72
	Cultura anual e perene	1,22	16,16	0,00	0,16	97,11	985,16	6,12	2,92	0,22	0,02	0,16	0,48	0,02	1.109,74
	Mosaico de agricultura e pastagens	40,70	827,91	0,01	6,33	1.300,76	150,90	398,50	15,12	3,44	1,64	3,42	8,10	0,33	2.757,16
	Área urbana	0,01	0,04	0,00	0,00	0,71	0,20	0,38	91,50	0,60	0,01	0,00	0,00	0,03	93,48
	Área não vegetada	0,65	13,77	0,00	0,52	19,98	1,62	9,17	6,80	11,77	1,01	0,09	0,72	0,02	66,13
	Afloramento rochoso	0,15	6,36	0,00	0,23	3,91	0,04	1,94	0,03	1,70	15,91	0,19	0,09	0,02	30,54
	Aquicultura	0,03	0,03	0,00	0,27	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	8,78	0,60	0,00	9,75
	Corpos D'água	36,31	131,23	0,16	8,65	364,15	0,46	73,71	0,02	6,63	5,76	0,66	398,18	0,05	1.025,98
	Outras classes	0,05	0,04	0,08	0,06	0,08	0,01	0,38	0,13	0,03	0,00	0,02	0,19	9,67	10,73
	Total	3.584,70	42.722,00	7,46	95,28	21.381,47	2.433,00	1.483,73	174,84	44,61	41,35	18,20	439,76	11,33	72.437,72

Os valores em cada coluna equivalem a áreas de uso e cobertura do solo que foram convertidas em outras classes.

**ANEXO F - MATRIZ DE TRANSIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE DE 2015 A 2018 (ÁREA EM Km<sup>2</sup>).**

		2015													
		Caatinga arbórea densa	Caatinga herbácea arbustiva	Mangue	Formação campestre	Pastagem	Cultura anual e perene	Mosaico de agricultura e pastagens	Área urbana	Área não vegetada	Afloramento rochoso	Aquicultura	Corpos D'água	Outras classes	Total
2018	Caatinga arbórea densa	3.334,90	121,62	0,06	1,97	39,84	9,84	50,27	0,08	1,39	1,56	0,10	22,89	0,19	3.584,70
	Caatinga herbácea arbustiva	621,24	39.354,60	0,00	46,46	1.804,97	29,34	761,59	0,48	5,00	16,66	0,12	81,50	0,02	42.722,00
	Mangue	1,41	0,06	4,65	0,65	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,00	0,55	0,07	7,46
	Formação campestre	0,22	17,94	0,00	20,87	38,56	0,32	4,26	0,01	1,58	0,15	0,96	10,36	0,05	95,28
	Pastagem	90,84	2.337,91	0,00	23,78	18.299,85	257,00	266,61	22,31	5,57	3,63	0,39	73,56	0,02	21.381,47
	Cultura anual e perene	0,16	0,74	0,00	0,01	0,93	2.422,44	0,29	4,79	0,01	0,00	0,55	3,03	0,03	2.433,00
	Mosaico de agricultura e pastagens	83,13	403,80	0,00	7,49	396,24	27,63	500,68	5,47	5,30	2,22	1,01	50,60	0,17	1.483,73
	Área urbana	0,07	0,23	0,00	0,02	4,51	0,85	0,99	167,64	0,37	0,05	0,00	0,07	0,05	174,84
	Área não vegetada	0,26	6,26	0,00	0,66	5,74	0,42	2,72	3,91	17,62	3,42	0,07	3,50	0,03	44,61
	Afloramento rochoso	0,12	5,70	0,00	0,38	8,17	0,08	1,29	0,06	1,05	22,02	0,04	2,43	0,00	41,35
	Aquicultura	0,01	0,56	0,00	0,40	0,31	0,17	0,63	0,00	0,46	0,01	14,21	1,45	0,00	18,20
	Corpos D'água	19,81	55,24	0,01	3,66	106,77	0,45	27,45	0,01	1,39	0,15	1,90	222,83	0,08	439,76
	Outras classes	0,04	0,03	0,00	0,09	0,23	0,04	0,40	0,10	0,12	0,00	0,00	0,08	10,20	11,33
	Total	4.152,20	4.2304,70	4,72	106,43	20.706,12	2.748,59	1.617,19	204,86	39,93	49,86	19,34	472,85	10,92	72.437,72

Os valores em cada coluna equivalem a áreas de uso e cobertura do solo que foram convertidas em outras classes.