UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

THIAGO ANTONIO RODRIGUES FREIRE LIMA

MODELAGEM DO MAPEAMENTO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE CARBONO DECORRENTES DE MUDANÇAS NO USO DA TERRA

RECIFE
2017

THIAGO ANTONIO RODRIGUES FREIRE LIMA

MODELAGEM DO MAPEAMENTO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE CARBONO DECORRENTES DE MUDANÇAS NO USO DA TERRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Ana Lúcia Bezerra Candeias.
Coorientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

RECIFE

2017

Catalogação na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

L732m Lima, Thiago Antonio Rodrigues Freire.
Modelagem do mapeamento das emissões e remoções de carbono decorrentes de mudanças no uso da terra. / Thiago Antonio Rodrigues Freire Lima - 2017.
115 folhas, Il. Abr. e Sigl.

Orientadora: Profª Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2017.
Inclui Referências, Anexos e Apêndices.

1. Geoinformação. 2. Emissão e Estoque de Carbono. 3. Uso e Cobertura da Terra. 4. Desmatamento. 5. Folha de Venturosa. I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra (Orientadora). II. Menezes, Rômulo Simões Cezar. (Coorientador). III. Título.

UFPE

526.1CDD (22. ed.) BCTG/2017 - 211

THIAGO ANTONIO RODRIGUES FREIRE LIMA

MODELAGEM DO MAPEAMENTO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE CARBONO DECORRENTES DE MUDANÇAS NO USO DA TERRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 02 / 02 / 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof.ª Dr.ª Ana Lúcia Bezerra Candeias
(Orientadora / interno / DECART)

Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Bezerra de Araújo
(Externo / PRODEMA)

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior
(DECART / interno)

Aos meus pais.
Aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sua orientação, fidelidade e força na escolha e conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Ana Cristina Rodrigues da Silva e Francisco Freire Lima, por tudo que fizeram pra que essa conquista fosse materializada. Pela educação e conselhos que me deram, por seus valores e anseios na minha vida. Amo vocês.

A minha querida companheira Tatiene, por seu amor e apoio durante essa etapa importante que concluo. Carinhosa e atenciosa nas barreiras que enfrentei.

Aos meus familiares nas preocupações durante a caminhada e pela torcida a cada processo concluído.

A Prof.ª Dr.ª Ana Lúcia Bezerra Candeias, como orientadora, durante esse percurso novo na minha vida acadêmica e profissional. Todos os seus conselhos, tempo, paciência e ensino forjaram esta conquista em mais um degrau alcançado da vida. Obrigado por me receber sempre com um sorriso no rosto, característica sua.

Ao Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes, como coorientador, por ter aceitado e me confiado este desafio, por seus ensinamentos e orientação nesse importante caminho trilhado. Muito obrigado por ter contribuído decisivamente nessa escolha e conquista.

Aos professores João Rodrigues Tavares Junior e Maria do Socorro Bezerra de Araújo por aceitarem fazer parte da banca e por seus conselhos e críticas para o enriquecimento deste trabalho.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares por construírem o conhecimento que tenho hoje na área da pesquisa e, também, em ter me tornado um melhor pesquisador.

A todos do Departamento de Energia Nuclear no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Especificamente a Rafael Rodrigues, por seu companheirismo neste trabalho e na disponibilização dos mapas e de dados de carbono. A Diego Nascimento, Kennedy Jesus, Eliza Albuquerque e Tiago Althoff na construção dos dados de carbono e biomassa vegetal, como edificadores destes alicerces para que outros continuassem o trabalho acima, seus esforços foram fundamentais para a realização deste projeto.

Aos colegas e amigos de mestrado pelas dificuldades divididas e superadas nessa caminhada, pelos momentos alegres vividos e compartilhados. Obrigado a cada um na contribuição, do seu modo, nesta conquista ímpar de minha vida.

A Elizabeth, secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, por sua sempre boa vontade e disponibilidade para conosco do programa.

A todos que passaram por minha vida durante este mestrado e que de alguma forma contribuíram comigo.

Muito obrigado!

“Aqueles que passam por nós não vão sós,
não nos deixam sós.
Deixam um pouco de si,
levam um pouco de nós.”

– Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

A quantificação dos estoques de carbono no solo e na vegetação é um tema atual e importante na identificação dos fatores que contribuem na emissão de CO_2 para a atmosfera por ações antrópicas. Regiões semiáridas como a Caatinga, e tropicais como a Mata Atlântica, muito devastadas, não foram ainda pesquisadas de modo substancial neste tema, permitindo valiosos estudos em pesquisas ambientais e mudanças climáticas. A área de estudo, delimitada pela Folha de Venturosa, identificada como SC24-X-B-V, está localizada entre as coordenadas geográficas 36°30’ e 37°00’ de longitude oeste e 08°30’ e 09°00’ de latitude sul, abrangendo uma área de 3.044 km^2, e inclusa completamente no estado de Pernambuco na divisão político-administrativa do Agreste, com 89 % de sua área coberta pelo bioma Caatinga e 11 % pelo bioma Mata Atlântica. Na área de estudo, foram calculados os valores das trocas de carbono da vegetação e do solo entre a biosfera e a atmosfera dentre os anos de 1987 e 2013, por meio do uso e cobertura da terra em diferentes classes de solos. Os mapas usados foram obtidos da EMBRAPA Solos e correspondem aos satélites Landsat 5 TM para o ano de 1987 e Landsat 8 OLI para o ano de 2013. Os dados mostram que a classe de uso e cobertura da terra que passou a ter maior domínio de área na área de estudo foi a Pastagem, com aumento em relação a área total de 12,64 % para 32,98 % entre 1987 a 2013, respectivamente. A emissão de carbono para a atmosfera em relação à perda do carbono da biomassa vegetal foi de 1.149.153,65 Mg e do carbono do solo de 1.142.844,25 Mg, correspondendo a um total de 2.291.997,9 Mg emitidos ao longo dos 26 anos em toda a área da Folha de Venturosa. Dados de carbono do solo e da biomassa vegetal foram obtidos por equipes de pesquisadores do Departamento de Energia Nuclear (DEN) como requisito para análise nos mapas. Os resultados trazem importantes informações da influência do homem onde habita, e as consequências negativas causadas ao meio ambiente regional com projeção a um reflexo global.

Palavras-chave: Geoinformação. Emissão e Estoque de Carbono. Uso e Cobertura da Terra. Desmatamento. Folha de Venturosa.

ABSTRACT

Quantification of carbon stocks in soil and vegetation is a current and important theme in the identification of the factors that contribute to the emission of CO_2 into an atmosphere by anthropogenic actions. Semi-arid regions such as the Caatinga, and tropical as the Mata Atlântica, very devastated, have not yet been substantially researched on this topic, allowing valuable studies on environmental research and climate change. The study area, delimited by Venturosa Map, identified as SC24-X-B-V, is located between the geographic coordinates 36° 30' and 37° 00' west longitude and 08° 30' and 09° 00' south latitude, covering an area of 3,044 km^2, and completely included in the state of Pernambuco in the Agreste political-administrative division, with 89 % of its area covered by the Caatinga biome and 11 % by the Mata Atlântica biome. In the study area, the carbon exchange values of vegetation and soil between the biosphere and atmosphere between the years 1987 and 2013 were calculated, through land use and land cover in different soil classes. The maps used were obtained from EMBRAPA Solos and correspond to the Landsat 5 TM satellites for the year 1987 and Landsat 8 OLI for the year 2013. Data show that the land use and land cover class that had the greatest area dominance in the study area was Pasture, with an increase in total area from 12.64 % to 32.98 % between 1987 and 2013, respectively. The carbon emission to the atmosphere in relation to the carbon loss of the plant biomass was 1,149,153.65 Mg and the soil carbon of 1,142,844.25 Mg, corresponding to a total of 2,291,997.9 Mg emitted along the 26 years throughout the Venturosa Map area. Soil carbon data and plant biomass were obtained from by teams of researchers from the Department of Nuclear Energy (DNE) as a requirement for analysis on maps. The results bring important information about the influence of the human where he lives, and the negative consequences caused to the regional environment with projection to a global reflection.

Keywords: Geoinformation. Emission and Carbon Stock. Land Use and Coverage. Deforestation. Venturosa Map.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Modelo de Projeto do Ciclo do Carbono Ligado pelo Tempo.....	21
Figura 2 –	Biomassa florestal acima do solo.....	23
Figura 3 –	Carbono em tecidos vegetais na superfície da Terra.....	23
Fórmula 1 –	Fator de biomassa em nível de árvore.....	24
Fórmula 2 –	Fator de biomassa em nível de talhão.....	24
Fórmula 3 –	Biomassa acima do solo.....	25
Fórmula 4 –	Fator de expansão da biomassa.....	25
Fórmula 5 –	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.....	25
Fórmula 6 –	Regressão Linear.....	26
Fórmula 7 –	Erro quadrático médio.....	26
Fórmula 8 –	Parâmetro *a*.....	26
Fórmula 9 –	Parâmetro *b*.....	26
Fórmula 10 –	Notação de somatório.....	26
Figura 4 –	Variação interanual nas taxas de desmatamento no Brasil.....	27
Figura 5 –	Emissões de CO_2 da queima de combustível fóssil.....	28
Figura 6 –	Distribuição dos remanescentes do bioma Caatinga.....	32
Figura 7 –	Distribuição da Tipologia de Florestas do bioma Caatinga.....	33
Figura 8 –	Mapa do bioma da Mata Atlântica.....	35
Figura 9 –	Interseção dos polígonos.....	37
Figura 10 –	Localização da área da Folha de Venturosa em imagem do *Google Earth*.....	39
Figura 11 –	Articulação e localização da área da Folha de Venturosa em Pernambuco.....	40
Figura 12 –	Mesorregião do Agreste em Pernambuco.....	42
Figura 13 –	Classes de solos na área da Folha de Venturosa.....	43
Figura 14 –	Tabela de Atributos no ArcGIS 10.1.....	44
Figura 15 –	Demonstração da Interseção das classes de solos e de uso e cobertura da terra para os anos de 1987 e 2013.....	45
Figura 16 –	Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.....	46
Figura 17 –	Folha de Venturosa com as classes de uso e cobertura da terra..	48
Gráfico 1 –	Distribuição em (%) da área das classes de uso e cobertura da terra de 1987 a 2013.....	51

Quadro 1 –	Variação em (%) das áreas das classes de uso e cobertura da terra.....	52
Gráfico 2 –	Tendência linear correspondente aos valores referentes das classes de uso e cobertura do Quadro 1.....	54
Gráfico 3 –	Distribuição em (%) do carbono no solo de cada classe de uso e cobertura em 1987 e 2013.....	56
Quadro 2 –	Valores de área e de carbono das classes de solos e de uso e cobertura da terra de 1987.....	57
Quadro 3 –	Valores de área e de carbono das classes de solos e de uso e cobertura da terra de 2013.....	60
Quadro 4 –	Valores gerais de carbono das classes de solos e de uso e cobertura da terra de 1987 e 2013.....	63
Figura 18 –	Representação *raster* da distribuição de Mg C ha^{-1} do solo.....	64
Figura 19 –	Níveis de C do solo em Mg $Área^{-1}$.....	66
Figura 20 –	Valores percentuais de Perda, Igual e Ganho de C do solo.....	68
Figura 21 –	Calculadora de Campo do ArcGIS10.1. Condição com VBscript.....	69
Figura 22 –	Tabela de Atributos com os campos *PorCento* e *Percent*.....	70
Figura 23 –	Distribuição de Baixo, Médio e Alto de C em Mg ha^{-1}.....	71
Figura 24 –	Tabela de Atributos dos níveis de C.....	72
Figura 25 –	Mudanças de uso e cobertura em três tipos de classes.....	73
Figura 26 –	Tabela de Atributos com os campos *Classe* e *New_Classe*.....	74
Figura 27 –	Dinâmica do uso e cobertura da terra na Folha de Ventuorsa.....	75
Figura 28 –	Separação das áreas cobertas por biomassa.....	80
Figura 29 –	Tabela de Atributos com os campos *Biomass_Mg e Biomass_C*....	81
Figura 30 –	Representação *raster* da variação de C total.....	84
Figura 31 –	Tabela de Atributos com o campo *Sub_C1_C_T* que expressa os valores totais de C entre 1987 e 2013.....	85
Figura 32 –	Propriedades do *layer* da representação em *raster*.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Quantificação dos remanescentes do bioma Caatinga.....	32
Tabela 2 –	Quantificação demográfica, de área e vegetação florestal da Caatinga.....	33
Tabela 3 –	Dados de áreas em valores absolutos (ha) e relativos (%).....	50
Tabela 4 –	Dados de C em valores absolutos (Mg Área^{-1}) e relativos (%).....	55
Tabela 5 –	Dados da quantidade total em Mg de C do solo e a média geral de Mg C ha^{-1} dos anos de 1987 e 2013 em comparação com a área total em ha.....	67
Tabela 6 –	Distribuição proporcional das classes de variação em toda a área da Folha de Venturosa.....	68
Tabela 7 –	Dados da Biomassa em Área ha^{-1}, Mg Área^{-1} e do C da Biomassa em Mg Área^{-1} na Folha de Venturosa em 1987 e 2013.....	82
Tabela 8 –	Balanço Geral da biomassa vegetal e do C total (C da biomassa + C do solo) entre 1987 e 2013.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVHRR	Radiômetro Avançado de Altíssima Resolução (versão traduzida)
BAS	Biomassa Acima do Solo
bf	Fator de Biomassa em Nível de Árvore
BF	Fator de Biomassa em Nível de Talhão
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CCMLP	Modelo de Projeto do Ciclo do Carbono Ligado pelo Tempo (versão traduzida)
CH_4	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO_2	Dióxido de Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAP	Diâmetro na Altura do Peito
DEN	Departamento de Energia Nuclear
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FACEPE	Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco
FAPESP	Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
GI1	Grupos de Bacias de Pequenos Rios Interiores
GNSS	*Global Navigation Satellite System*
Gt	Gigatonelada (corresponde a 1.000.000.000 de toneladas)
GWh	Gigawatt-hora
ha	Hectare
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITRF	*International Terrestrial Reference Frame*
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
kml	*Keyhole Markup Language*
KWh	Quilowatt-hora
KWp	Quilowatt-pico

LIDAR	*Light Detection And Ranging*
Mg	Megagrama (corresponde a 1 tonelada)
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
OLI	*Operational Land Imager*
Pg	Petagrama (corresponde a 1.000.000.000 de toneladas)
RADAR	*Radio Detection And Ranging*
SAD 69	*South American Datum de 1969*
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNIF	Sistema Nacional de Informações Florestais
SPD	Sistema de Plantio Direto
SRC	Sistema de Referências de Coordenadas
TM	*Thematic Mapper*
TREES	Aplicação de Regulamentação Madeireira para Proteção do Setor de Madeira Européia (versão traduzida)
TWh	Terawatt-hora
UC	Unidade de Conservação
UH	Usina Hidrelétrica
USP	Universidade de São Paulo
VBscript	*Visual Basic Script*
WWF	*World Wide Fund for Nature*
ZAPE	Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
2. JUSTIFICATIVA 17
3. OBJETIVOS 19
3.1 OBJETIVO GERAL 19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
4.1 CARBONO GLOBAL 20
4.1.1 Fatores de medição de biomassa 24
4.1.2 Fluxo de carbono para atmosfera 27
4.2 ESTOQUES DE CARBONO EM PERNAMBUCO 28
4.3 CAATINGA E CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS 29
4.4 MATA ATLÂNTICA 34
5. ÁLGEBRA DE MAPAS 36
6. METODOLOGIA 37
6.1 MATERIAIS 45
6.2 MÉTODOS 46
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO 48
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS 89
REFERÊNCIAS 92
APÊNDICES 101
Apêndice A – Transformação do SRC 102
Apêndice B – Demografia dos municípios da área da Folha de Venturosa 105
Apêndice C – Valores em (%) de Área ha^{-1} em gráficos 106
Apêndice D – Valores em (%) de C $Área^{-1}$ em gráficos 108
ANEXOS 110
Anexo A – Matriz Energética e Meio Ambiente 111
Anexo B – Principais municípios produtores de leite 115

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas científicas sobre sequestro de Carbono (C), mudanças climáticas, aquecimento global e sustentabilidade vem sendo cada vez mais recorrente no mundo, principalmente, no âmbito científico e político. Termos estes muito próximos e que direcionam para um foco só: as ações antrópicas diretamente ligadas à degradação ambiental que podem ter efeitos a nível regional ou global.

O estoque de carbono no solo é um dos dados ligados à sustentabilidade e ao manejo florestal em um determinado ecossistema, ações humanas que trarão resultados positivos à preservação da biodiversidade e da melhoria da qualidade de vida do homem na Terra. Dentre as atividades antrópicas que mais influenciam a emissão de C e a degradação das terras, está a agricultura. Mas esse efeito negativo não se dá pela agricultura em si, pois é evidente a sua importância para a humanidade, mas de como são feitas as práticas agrícolas. Sem haver um manejo adequado dos solos, junto a um desmatamento desenfreado, o desequilíbrio biogeoquímico dos ecossistemas, nessas áreas, aumenta consideravelmente. De acordo com Janzen (2004) em um período de quatro séculos, a porcentagem de áreas dos solos agrícolas pulou de um valor insignificante para ocuparem 30 % da superfície da Terra. Segundo West et al. (2010) a cada hectare desmatado entre os trópicos são liberados em média 120 toneladas (t) de C e produzidos 1,7 t de cultura seca por ano. Para Sommer e Bossio (2014) a quantidade de carbono no solo chega a ser três vezes maior que a de biomassa vegetal acima do solo e 230 vezes maior que o total emitido pelo homem durante o ano de 2009 para a atmosfera em forma de CO e CO_2 (monóxido e dióxido de carbono, respectivamente). Qualquer manejo ligado ao estoque de carbono no solo poderia ter um impacto enorme a nível global, em outras palavras os solos poderiam ser os maiores sumidouros de CO_2 atmosférico. Por meio do estudo do sequestro e estoque de carbono pelas plantas via fotossíntese, com o aumento da sua biomassa e, posteriormente, deposição de restos vegetais na superfície do solo, o homem poderá entender melhor a dinâmica biogeoquímica do carbono e, juntamente, a buscar resultados para suprimir a emissão enorme de gases de efeito estufa (GEE) para atmosfera. Salvaguardando não só em manter equilibrados os elementos químicos vitais ligados às questões bióticas e abióticas, mas também, proporcionando longevidade e qualidade de vida as atuais e futuras gerações.

2. JUSTIFICATIVA

As mudanças no uso da terra é uma consequência, a nível global, causada pelo efeito agrícola e pelo uso da madeira através do desmatamento e impulsionadas, geralmente, pelo valor econômico dos produtos oriundos dessas ações. A falta de manejo adequado no uso da terra está acarretando implicações ao meio ambiente nos cinco continentes.

De acordo com Midgley e Bond (2015) entre 2000-2005 quase 50 % das emissões africanas, de gases de efeito de estufa como o CO e CO_2, resultaram da utilização do solo e da mudança de cobertura da terra.

Para Chazdon et al. (2016), em decorrência das mudanças de uso e cobertura da terra, em 2008 as terras agrícolas ocupavam 20 % das áreas das florestas de planícies na região tropical da América Latina, divididos em 14 % por pastagens e 6 % por culturas, tendo como um dos líderes, o Brasil.

Conforme Galindo et al. (2008) as zonas áridas, semiáridas e subúmidas são sujeitas a processos de desertificação, ocasionado tanto por efeitos climáticos como por ações antrópicas. Dentre as ações antrópicas, o extrativismo vegetal, mineral e atividades agropecuárias, onde a da vegetação nativa é substituída por culturas, atrelada ao mau uso e conservação do solo, potencializam ainda mais os efeitos erosivos na região da Caatinga Pernambucana. Tais efeitos erosivos podem tornar os solos impossibilitados de regeneração natural e, com isso, incapacitar o sequestro de C da atmosfera nessas áreas.

No estado de Pernambuco existe uma divisão político-administrativa intermediária entre a Mata Atlântica e a Caatinga, chamada de Agreste. A vegetação dessa região atende aos requisitos que caracterizam a Caatinga, ou seja, típica de regiões semiáridas, tais como a presença de espécies decíduas em grande número constituídas por espinhos e, abundância de Cactáceas (espécies vegetais com características de clima quente e seco) e Bromeliáceas (essa, mais relevante na Mata Atlântica) (LIMA, 2007). No entanto, a vegetação na região do Agreste é geralmente um pouco mais densa que a do Sertão, possui solo mais profundo e a pluviosidade mais regular e elevada, sobretudo, nas áreas limítrofes à Mata Atlântica. Provavelmente, essas características ocorrem por sua maior aproximação da Zona da Mata, sofrendo assim, influência dessa região mais úmida.

O Agreste de Pernambuco possui atividades ligadas à agricultura e pecuária, gerando renda nas comunidades rurais da região e abastecendo diversas cidades, tanto para região metropolitana da capital como para o Sertão. Vale destacar a importância socioeconômica da bacia leiteira de Pernambuco.

A partir da característica edafoclimática da área de estudo, sua susceptibilidade as intempéries ambientais, importância socioeconômica e atividades ligadas ao uso e cobertura da terra, fator esse ligado, principalmente, a agropecuária, é de grande importância o estudo na região do Agreste Pernambucano, onde as atividades antrópicas podem ter afetado, significativamente, as áreas de cobertura vegetal nativa, por processos urbanos e agropecuários.

Os estudos da quantificação do carbono na região do Agreste servirão como estudo piloto sobre a dinâmica de emissões e remoções de GEE no Bioma Caatinga em Pernambuco, baseando-se em dados passados, atuais e na geração de cenários futuros de acordo com o manejo do solo.

Dados sobre os estoques de carbono em solos na Região Nordeste do Brasil são escassos (Menezes et al., 2012; Sampaio e Costa, 2011) e não permitem estimativas confiáveis dos estoques de C nos solos e vegetação da região e, também, de estimativas de emissões e remoções decorrentes das mudanças climáticas e de uso da terra.

O presente trabalho tem em vista gerar um mapeamento temático na escala 1:100.000 da quantidade de C em diferentes classes de solos sob os principais tipos de uso e cobertura da terra, tendo como estudo de caso uma área delimitada pelas coordenadas da Folha de Venturosa, na região Agreste de Pernambuco.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Mapear e quantificar, por meio do uso de álgebra de mapas, linguagem de programação e dados obtidos em campo o fluxo de carbono do solo e vegetação na área delimitada pela Folha de Venturosa no Agreste de Pernambuco.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Gerar mapeamento de estoque de carbono por classe de solo e de uso e cobertura da terra em toda a área da Folha de Venturosa nas diferentes datas.
2. Calcular os balanços de emissões e remoções de carbono na área da Folha de Venturosa ao longo do período de estudo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CARBONO GLOBAL

Atualmente tem-se dedicado grandes estudos sobre gases de efeito estufa (GEE) responsáveis pelo aquecimento global e mudanças climáticas. Entre esses gases está o CO_2 (Dióxido de Carbono), uma molécula sintetizada, através de diversos processos, como a queima de combustíveis fósseis, da vegetação e madeira, gás metano (CH_4) liberado pra atmosfera, com sua posterior transformação em CO_2 e pela degradação dos solos com o seu mal uso e manejo por meio da agricultura convencional, ocasionando a formação do CO_2 com a oxidação do C pelo oxigênio do ar e pela respiração dos microrganismos do solo exposto.

A cada ano são emitidos no mundo aproximadamente 2 Gt (Gigatonelada) de C como CO_2 decorrente da mudança de uso da terra, incluindo o desmatamento, queima de florestas, degradação dos solos e a consequente perda de carbono orgânico do solo (COS) (SOMMER e BOSSIO, 2014).

Ainda de acordo com Sommer e Bossio (2014), o CO_2 é o GEE mais importante, e vários estudos sugerem que seu enriquecimento na atmosfera vem provocando um aumento na temperatura global, promovendo mudanças climáticas. Formas e mecanismos por meio de pesquisas científicas e políticas ambientais são de grande importância para mitigar as mudanças climáticas pela redução de emissões de GEE e, também, pelo sequestro de C na atmosfera para a biomassa vegetal acima do solo.

Segundo dados recentes, a emissão de CO_2 antropogênico para a atmosfera tem aumentado significativamente ao longo dos últimos 20 anos. Mais especificamente, as emissões anuais passaram de 6,3 Gt de C em 1994 para 8,7 Gt de C em 2008 (Boden et al., 2011), obtendo um aumento de 39 % ao longo deste período.

Conforme Saatchi et al. (2011), o desmatamento e a degradação florestal, ações humanas que afetam diretamente a biodiversidade, principalmente em regiões tropicais, foram responsáveis de 12 % a 20 % dos GEE a nível mundial, entre as décadas de 1990 e início de 2000, e esses processos podem afetar o futuro potencial das florestas na remoção de carbono da atmosfera. As estimativas das emissões de GEE, através do desmatamento, demandam informações tanto na área

relacionada à perda de floresta, bem como, o estoque de carbono da terra que foi desmatada.

O desmatamento e outras mudanças de cobertura da terra simplesmente liberam o carbono da biosfera terrestre para a atmosfera em forma de CO_2. Essas emissões podem ser revertidas, caso se recupere a vegetação em terras agrícolas abandonadas, o que irá remover o CO_2 da atmosfera, sequestrando-o e transformando-o em biomassa vegetal e carbono do solo (RAMANKUTTY et al., 2007).

Ainda para Ramankutty et al. (2007) as emissões provenientes do uso e mudanças de cobertura da terra são, talvez, os componentes mais incertos do ciclo de carbono global, com enormes implicações para o equilíbrio do atual orçamento de carbono, o que dificultas as projeções sobre a evolução futura da mudança climática.

Fearnside (2000) estimou que a mudança de cobertura da terra em áreas tropicais resultou em uma emissão líquida de 2,4 Pg (Petagrama) C ano^{-1} (1 Pg = 1 Gt = 1.000.000.000 de toneladas), durante o período de 1981-1990.

A Figura 1 faz uma intercomparação de cinco diferentes estimativas de emissões de carbono a partir de mudanças de cobertura da terra a nível global (RAMANKUTTY et al, 2007).

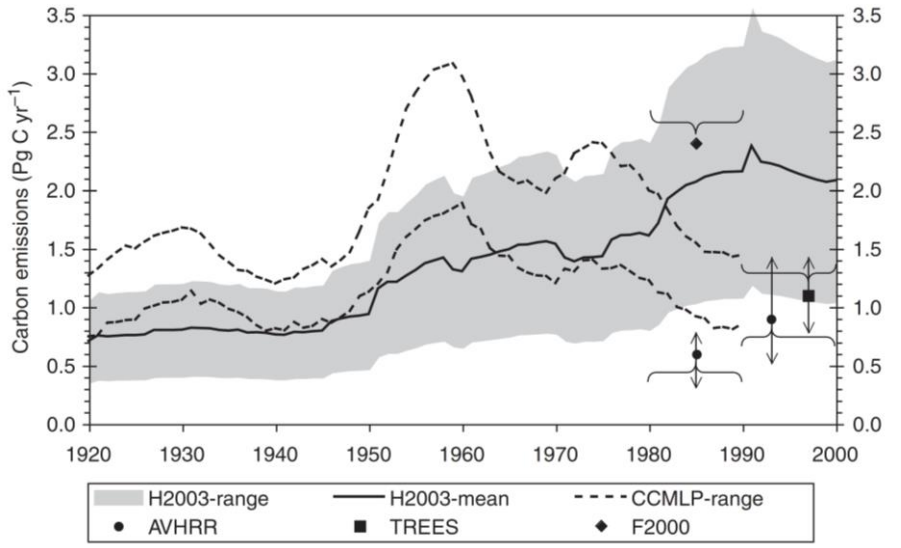


Figura 1. O estudo de CCMLP (Modelo de Projeto do Ciclo do Carbono Ligado pelo Tempo), AVHRR (Radiômetro Avançado de Altíssima Resolução), e TREES (Aplicação de Regulamentação Madeireira para Proteção do Setor de Madeira Européia), tem todas as formulações similares utilizados como o H2003 que considera o destino do carbono após desmatamento, pela mudança do uso da terra. F2000 implicitamente contabiliza as emissões de carbono a partir de remoção de lenha e carvão vegetal, utilizando valores de biomassa que não são refletidas. Fonte: Ramankutty et al. (2007).

As estimativas da distribuição de biomassa vegetal dependem de técnicas de sensoriamento remoto por causa, principalmente, da grande extensão geográfica das florestas, acessibilidade difícil, e a utilidade limitada de inventários de campo devido à variabilidade espacial natural da biomassa florestal (SAATCHI et al., 2011).

O uso de geotecnologias na análise da quantidade e qualidade da biomassa de ecossistemas é fundamental na otimização do tempo e recursos gastos, atrelando a praticidade junto com a confiabilidade dos atuais programas geoestatísticos e de geoprocessamento nos resultados obtidos.

De acordo com Vicca et al. (2016) no uso de dados de satélite para detectar e quantificar os efeitos da seca em uma escala global, precisa-se de produtos que possam capturar de forma confiável a variação no estado da vegetação (por exemplo desfolha ou escurecimento) e o seu funcionamento (por exemplo, diminuição da fotossíntese). Ambos podem mudar em resposta à seca, mas os efeitos da seca também podem ser restritos a alterações no funcionamento da vegetação, por exemplo, num evento de seca, após as árvores alcançarem seu nível máximo de folhagem, elas fecham os estômatos e, assim, reduzem fortemente a absorção fotossintética de CO_2. Quando a seca permanece abaixo do nível em que as folhas permanecem amarronzadas, o estado da vegetação permanece praticamente inalterado, enquanto que o funcionamento da vegetação é alterado e a produção de biomassa é diminuída consideravelmente.

O sensoriamento remoto envolve uma ampla gama de ferramentas e técnicas sobre os satélites em órbita e voo de aviões. Ele permite observar diretamente ecossistemas e biomas em escala larga, retratando o contexto mais amplo do ambiente para a biodiversidade, rastreamentos climáticos e outros fatores que relacionem mudanças climáticas. Fazendo observações consistentes ao longo do tempo e espaço para o monitoramento da vida vegetal e animal (TURNER, 2014).

Ainda para Saatchi et al. (2011), há novas abordagens de sensoriamento remoto utilizando *Light Detection And Ranging* (LIDAR) e *Radio Detection And Ranging* (RADAR). Estes sensores transportados por via aérea têm sido bem sucedidos no fornecimento de estimativas de alta resolução de densidade de carbono florestal para pequenas áreas. Contudo, os sensores espaciais necessários para a utilização dessas abordagens para grande escala no mapeamento e monitoramento ainda não estarão disponíveis até o final da década de 2010-2020.

Na Figura 2, é mostrada a distribuição de biomassa vegetal acima do solo em Mg ha^{-1} (Megagrama ou tonelada por hectare) em florestas tropicais a nível global. A região de estudo foi limitada entre 30° de latitude norte e 40° de latitude sul para cobrir as florestas da América Latina e da África Subsaariana e de 60° a 155° de longitude leste e oeste.

Comparativamente, na Figura 3, é mostrada a quantidade de carbono em tecidos vegetais ao longo da superfície da terra em Mg C ha^{-1}, principalmente nos trópicos. Pode ser observada a correlação entre a biomassa florestal sobre a superfície da Terra entre as latitudes e longitudes especificadas na Figura 2 e o total de carbono nas plantas sobre a mesma superfície na Figura 3.

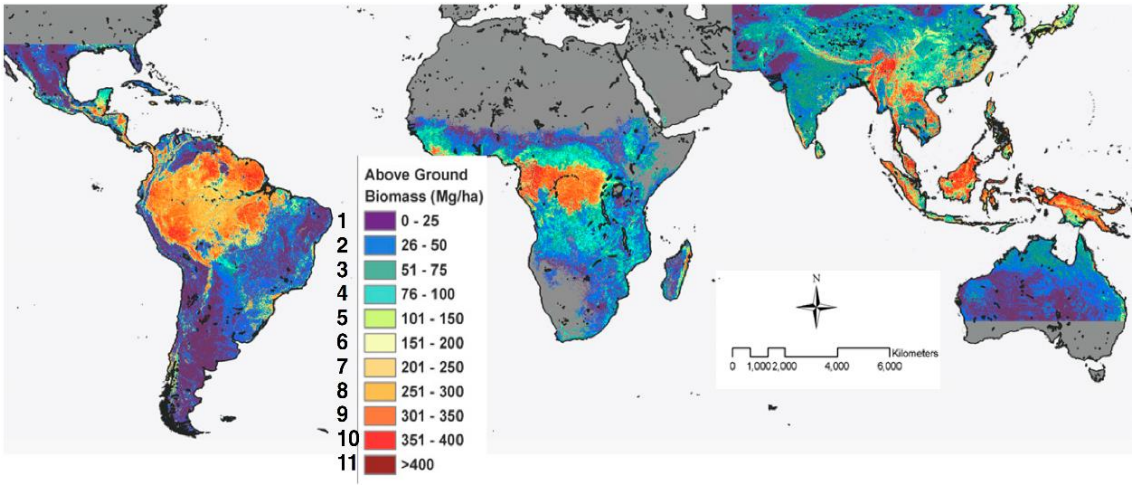


Figura 2. Biomassa florestal acima do solo. Fonte: (SAATCHI et al., 2011).

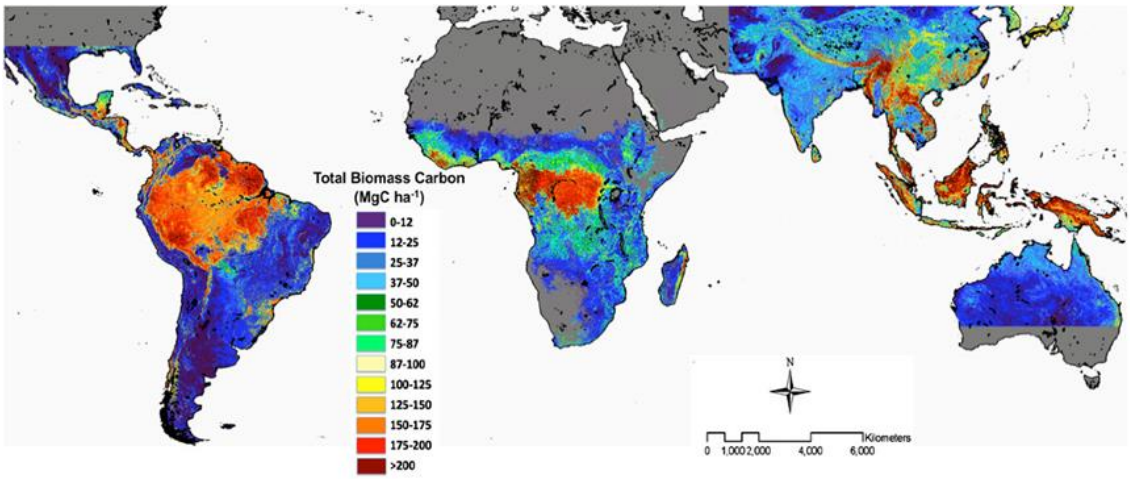


Figura 3. Carbono em tecidos vegetais na superfície da Terra. Fonte: (SAATCHI et al., 2011).

É observada, na Figura 2, a relação de onze níveis de cores quantificando a biomassa vegetal, já na Figura 3, existem treze níveis de cores que quantifica o carbono na biomassa vegetal.

De acordo com a Figura 2 e 3, a relação entre biomassa vegetal sobre a superfície do solo e a quantidade de carbono em tecidos vegetais são diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior e mais densa a cobertura vegetal na superfície da Terra maior o estoque de carbono por área. Isso se dá através do sequestro de carbono da atmosfera pelas plantas para a produção de carboidratos por meio da fotossíntese e o posterior estoque desse carbono em seus órgãos vegetais e, no solo, pela deposição da serrapilheira após a senescência.

Os estoques e sumidouros de carbono pelo uso e cobertura da terra e mudança do solo são relevantes no orçamento global do carbono (HOUGHTON et al., 2012). A contribuição, das mudanças no uso e cobertura da terra, nas emissões de carbono antropogênico foram cerca de 33 % do total de emissões ao longo dos últimos 150 anos (Houghton, 1999), 20 % das emissões totais de 1980 a 1990 (Denman et al., 2007), e 12,5 % do total emissões de 2000 a 2009 (FRIEDLINGSTEIN et al., 2010).

4.1.1 Fatores de medição de biomassa vegetal

Segundo Somogyi et al. (2006), os fatores de biomassa podem ser definidos em nível de árvores Equação (1) e em nível de talhão Equação (2).

$$bf = \frac{m_1}{m_2}\ ; \qquad (1)$$

Onde,

bf = fator de biomassa em nível de árvore.

m_1, m_2 = medidas apropriadas da árvore.

$$BF = \frac{M_1}{M_2} = \frac{\sum_i m_{1i}}{\sum_i m_{2i}}\ ; \qquad (2)$$

Onde,

BF = fator de biomassa em nível de talhão.

M_1, M_2 = medidas apropriadas do talhão.

i = índice de uma árvore.

m_1, m_2 = medidas apropriadas das árvores do talhão.

Os fatores m_1, m_2 e M_1, M_2 correspondem ao volume e densidade média da madeira, tanto para as árvores do talhão (m_i) como para todo o talhão (M_i), respectivamente.

Para estimar a biomassa acima do solo a partir de dados de volume pode ser empregado da seguinte forma, segundo Brown (1997):

$$BAS\ (t\ ha^{-1}) = V.WD.BEF\ ; \qquad (3)$$

Onde,

BAS = biomassa acima do solo.

V = volume por hectare.

WD = densidade média da madeira.

BEF = fator de expansão.

Fator de expansão da biomassa é definido como: a relação entre a densidade da aérea total da biomassa das árvores seca ao forno com o DAP (Diâmetro na Altura do Peito) mínimo de 10 cm ou mais, pela densidade de biomassa seca ao forno do volume inventariado.

$$BEF = EXP^{\{3{,}213-0{,}506*\ln(BV)\}} \text{ para BV <190 t ha}^{-1} \qquad (4)$$

Para BV ≥ 190 t ha^{-1} (BEF) = 1,74.

(Tamanho da amostra = 56, ajustado r^2 = 0,76).

BV = biomassa do volume inventariado em t ha^{-1}, calculada como o produto do volume do dossel VOB ha^{-1} ou (m^3 ha^{-1}) e a densidade da madeira em (t m^{-3}).

Para estimar a biomassa acima do solo na área de estudo, no bioma Caatinga, foi utilizado o método indireto a partir de dados empregados com uso do IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) Equação (5) e regressão linear entre o IVDN e a biomassa vegetal, calculada com uso de equações alométricas, aplicando a equação da reta Equação (6) (JÚNIOR et al., 2014):

$$IVDN = \left(\frac{P_{IVP}-P_V}{P_{IVP}+P_V}\right) \qquad (5)$$

$$Biomassa\ (t\ ha^{-1}) = a.x + b \quad (6)$$

Onde,

y = biomassa acima do solo (t ha^{-1}).

a = coeficiente angular.

x = IVDN.

b = coeficiente linear.

A Regressão Linear (ou Método dos Mínimos Quadrados) consiste em minimizar o erro quadrático médio (S) das medidas, determinando o coeficiente angular ***a*** e o coeficiente linear ***b*** da equação da reta: y = a.x + b.

Considera-se um conjunto de *N* medidas (x_i, y_i) com ***i*** assumindo valores inteiros desde 1 até *N*. *S* é definido como:

$$S = \sum_{i=1}^{N} \Delta S_i = \sum_{i=1}^{N} (y - y_i)^2 \quad (7)$$

Onde *y* é o valor da curva ajustada (y = a.x + b).

O objetivo é somar os ΔS_i das *N* medidas e traçar uma reta que torne a soma dos ΔS_i mínima. Matematicamente corresponde a $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$ e $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$.

Destas duas expressões extraímos os valores dos parâmetros *a* e *b*:

$$a = \frac{N \sum_{i=1}^{N} x_i y_i - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} y_i}{N \sum_{i=1}^{N} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{N} x_i)^2} \quad (8)$$

$$b = \frac{N \sum_{i=1}^{N} x_i^2 \sum_{i=1}^{N} y_i - \sum_{i=1}^{N} x_i y_i \sum_{i=1}^{N} x_i}{N \sum_{i=1}^{N} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{N} x_i)^2} \quad (9)$$

Sendo utilizada a notação de somatório:

$$\sum_{i=1}^{N} x_i = x_i + x_2 + \cdots + x_n. \quad (10)$$

4.1.2 Fluxo de carbono para atmosfera

O fluxo de carbono a partir das mudanças no uso e cobertura da terra não representam o fluxo líquido total de carbono entre a terra e a atmosfera. No entanto sem um devido manejo, ecossistemas terrestres também contribuem para mudanças no fluxo líquido entre terra e atmosfera (PHILLIPS et al, 2008;. LEWIS et al., 2009; PAN et al., 2011). Há grandes trocas anuais de CO_2 entre os ecossistemas (plantas e solos) e a atmosfera devido a processos naturais (fotossíntese, respiração) com variabilidade interanual considerável relacionada com a variabilidade climática. A terra tem potencial para ser um sumidouro líquido, apesar das emissões devido ao uso e cobertura da terra e mudança do solo (CANADELL et al., 2007; LE QUÉRÉ et al., 2009).

Na Figura 4 é mostrada a situação de desflorestamento em regiões tropicais entre elas, o Brasil, ao longo de treze anos em milhões de hectares. Os valores para o Brasil incluem apenas a perda de floresta intacta dentro da Amazônia Legal, enquanto que para a Indonésia que incluem a perda das florestas de toda sua área (aproximadamente metade das florestas da Indonésia estão intactas) (HOUGHTON et al., 2012).

Ainda, de acordo com Houghton et al. (2012) observações por satélite da perda da cobertura de floresta, bem como os incêndios, fornecem uma estimativa da variabilidade das taxas interanual no desmatamento, Figura 4.

Esta variabilidade pode ser impulsionada por preços de *commodities*, medidas institucionais, e condições climáticas. Durante o período 2001-2004 as taxas de desmatamento no Brasil no estado do Mato Grosso foram correlacionadas com os preços da soja (MORTON et al., 2006).

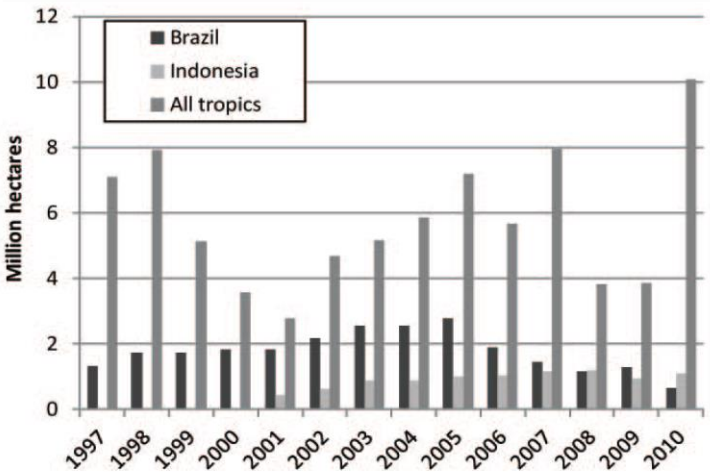


Figura 4. Variação interanual nas taxas de desmatamento no Brasil (barras escuras) na Indonésia (barras claras) e em todas as florestas tropicais do mundo Fonte: (HOUGHTON et al., 2012).

O monitoramento dos GEE na atmosfera terrestre é feito por ações internacionais através de modelos que incluem o carbono nos solos. A atmosfera armazena cerca de 750 Pg de C com taxas de aumento de 3,3 Pg C ano^{-1} a nível global. Os solos, por sua vez, armazenam cerca de 1.500-2.500 Pg C (1.5-2.5 trilhões de toneladas) até um metro de profundidade (SCHLESINGER, 1997; CAST, 2004; IPCC, 2006;). Na Figura 5, é observado por um índice gráfico o aumento da emissão de CO_2 desde a época da Revolução Industrial até a década de 2000.

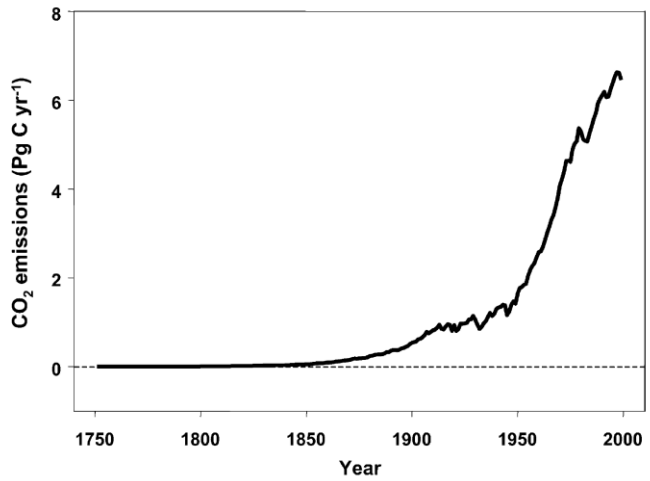


Figura 5. Emissões de CO_2 da queima de combustível fóssil e produção de cimento. Fonte: Janzen (2004).

4.2 ESTOQUES DE CARBONO EM PERNAMBUCO

O estado de Pernambuco é ocupado por dois grandes biomas brasileiros, a Mata Atlântica e a Caatinga. Entre esses dois biomas, a área de divisão político-administrativa, com transição climática, conhecida como Agreste é responsável por boa parte da agropecuária do estado. Além de possuir espécies de plantas e animais tanto da Mata Atlântica como Caatinga, o Agreste tem um volume pluviométrico médio em relação a estes dois biomas e possui solos pedregosos como característica, estando sobre o Planalto da Borborema que estende-se pelos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas.

Pouco se sabe do estoque de C em Pernambuco e no Nordeste como um todo, tendo sido feita até então coletas de solos em alguns poucos locais de amostras na Caatinga do estado e correlacionado com o uso e manejo do solo, utilizando imagens de satélites multitemporais, com o objetivo de avaliar a ação

antrópica e quantificar estoque de C em diferentes uso e cobertura da terra, como, agricultura, pastagem, desmatamento e áreas protegidas do Bioma.

Um projeto desenvolvido em parceria da Fapesp-Facepe, através do edital 02-2009 propôs atividades conjuntas para pesquisa e avaliação de mudanças climáticas oriundas do uso e cobertura da terra no estado de Pernambuco, observando potenciais cenários de risco do bioma local (MENEZES e OMETTO, 2009).

Nesse projeto, observou-se que há necessidade de estudo científico na área, diante da tênue ligação entre mudanças climáticas e o bioma de uma região, onde alterações significativas na vegetação e solo podem ocasionar variabilidade de intensidade e quantidade no espaço-tempo nas precipitações pluviométricas, atingindo diretamente as espécies vivas do local, inclusive o homem.

4.3 CAATINGA E CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

O Bioma Caatinga cobre grande parte do Nordeste brasileiro, ocorrendo praticamente em todos os seus nove estados. Existem algumas divergências em relação ao total da área da Caatinga no meio científico como pode ser verificado logo adiante. Conforme Silva et al. (2003) a Caatinga atingi um total de 734.000 km^2. Mas segundo definição do IBGE (2015a) atinge um total de 844.453 km^2 cobrindo 9,92 % do território nacional, em uma área maior que Espanha e Portugal juntos. Também, de acordo com Franca-Rocha (2007) a Caatinga possui uma área de 827.242 km^2. Não há um valor total de área igualmente definida entre os pesquisadores, mas uma divergência, talvez isto ocorra pelo ano que foi feita a pesquisa, dos métodos usados pelo pesquisador para a definição da área do Bioma e a atualização e precisão de instrumentos de tecnologias da Geoinformação, como satélites.

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro e possui espécies endêmicas, ou seja, que são únicas deste lugar, como exemplo de espécies vegetais, o *Ziziphus joazeiro* (Juazeiro), *Pilosocereus gounellei* (Xiquexique) (LEAL; TABARELLI e SILVA, 2003) e de animais, a *Anodorhynchus spix* (Ararinha-azul), da qual só se encontrou um único macho na natureza, e a *Anodorhynchus leari* (Arara-azul-de-lear), estas duas aves estão entre as mais ameaçadas do país (WWF, 2015).

Internacionalmente a Caatinga tem sido incluída como uma das florestas ou matas secas tropicais decíduas (SAMPAIO, 1995; OLIVEIRA FILHO; JARENKOV; RODAL, 2006). A extremidade mais seca da Caatinga poderia ser enquadrada como um arbustal espinhoso com suculenta (OLIVEIRA FILHO; JARENKOV; RODAL, 2006) sendo, também, denominada de vegetação caducifólia espinhosa (ALCOFORADO FILHO; SAMPAIO; RODAL, 2003).

Conforme Gariglio et al. (2010) a Caatinga está situada toda entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio (latitudes 3° a 18° S), e mantém uma intensa luminosidade ao longo do ano; e entre os meridianos 35° e 45° W (IBGE, 2004). As altitudes são relativamente baixas; exceto uns poucos pontos que ultrapassam os 2000 m na Bahia, os outros pontos extremos ficam pouco acima dos 1000 m. As temperaturas são normalmente quentes e não variam muito espacial e temporalmente, mesmo em comparação com os meses quentes e frios. As médias anuais são de 25 °C e 30 °C (GARIGLIO, et al., 2010, p. 31).

As precipitações do bioma variam entre 300 mm, nas regiões mais ao centro, a 1000 mm nas áreas limítrofes da Caatinga (REDDY, 1983). Ainda, de acordo com Gariglio et al. (2010) essas médias contrastam com as evapotranspirações potenciais, bem menos variáveis que as chuvas, situando-se, em geral, entre 1500 mm e 2000 mm anuais. Possui como características em suas chuvas, precipitações intensas, que podem ultrapassar 100 mm em um dia e sazonalidade aleatória.

A Caatinga possui solos muito variáveis, semelhantes aos do Cerrado com maior deficiência em nutrientes nas chapadas que em relevos intermediários, por estes últimos serem menos intemperizados. De forma geral, há deficiência de nitrogênio, acarretado pelo clima árido, com produção vegetal limitada e volatilização, e deficiência de fósforo, mas não de potássio, cálcio e magnésio em alguns tipos de solos como os solos de aluviões (Neossolos Flúvicos) (GARIGLIO, et al., 2010).

O maior aporte de água e nutrientes em regiões da Caatinga passa a ser fator decisivo na diversificação e características de espécies, além da radiação oriunda do sol, determinante na produção vegetal através da fotossíntese, que se torna fator limitante para espécies mais adaptadas a interceptar a luz, favorecendo-as das demais. Segundo (ANDRADE-LIMA, 1981; PEREIRA et al., 2002; ALCOFORADO FILHO; SAMPAIO; RODAL, 2003) as árvores mais altas podem atingir até 30 m de altura, embora sejam mais comuns as com 15 m a 20 m. A densidade das árvores

com diâmetros de caule maior que 3 cm está entre 500 e 1000 indivíduos por hectare, com áreas basais entre 30 $m^2\ ha^{-1}$ e 50 $m^2\ ha^{-1}$ e biomassa entre 50 Mg ha^{-1} e 150 Mg ha^{-1}. A sobreposição das copas faz com que suas projeções sejam de três a quatro vezes a área de solo correspondente, ou 30 mil a 40 mil $m^2\ ha^{-1}$ (GARIGLIO, et al., 2010, p.35).

As herbáceas têm densidades entre dez a cem indivíduos por metro quadrado, mas com distribuição agregada nos locais mais abertos (ARAÚJO et al., 2005; REIS et al., 2006). As folhas com características, em sua maioria, do tipo compostas, com limbo foliar estreito, possuem vida limitada devido à escassez de chuvas. Assim como a vegetação das matas serranas e dos vales, as caatingas das áreas mais úmidas do limite leste, praticamente desapareceram suprimidas pela agropecuária. Restam poucas no Agreste da Paraíba (PEREIRA et al., 2002) e de Pernambuco (ALCOFORADO FILHO; SAMPAIO; RODAL, 2003).

Conforme Franca-Rocha et al. (2007), existem critérios na identificação de remanescentes de Caatinga que está ligada a estrutura da vegetação e a vestígios de atividades antrópicas, como:

- Existência de vestígios de atividade antrópica (corte de árvores e arbustos, queimada recente, presença de troncos calcinados, presença de fezes de animais domésticos, presença de arbustos e ervas com a folhagem removida por pastagem do gado, presença de artefatos humanos). Para ser considerada como vegetação natural, relativamente homogênea e íntegra, os vestígios de atividade antrópica devem ser mínimos e não ultrapassar dois ou três daqueles relacionados acima;
- Estrutura da vegetação. Deve ser observada a homogeneidade estrutural do fragmento de vegetação quanto aos parâmetros: altura e densidade do dossel, presença e distribuição espacial de clareiras e estratificação. A heterogeneidade observada em nível micro (áreas inferiores a 20 x 20 m) deve se repetir em nível macro (áreas maiores do que 1-2 ha), de maneira a conferir um padrão de variação que se repita por todo o fragmento.

A Figura 6 mostra a distribuição espacial de remanescentes de Caatinga, se excluindo o norte de Minas Gerais e áreas de Mata Atlântica e Cerrado.

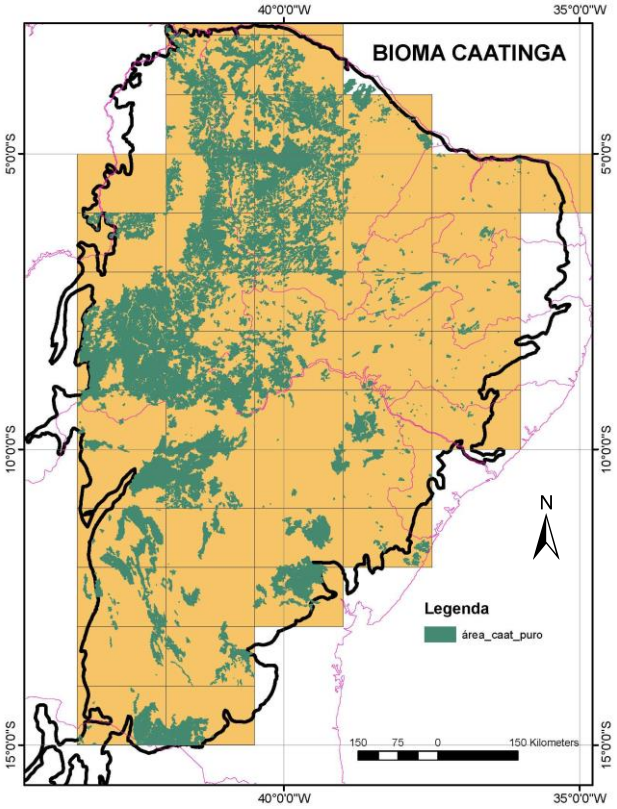


Figura 6. Distribuição dos remanescentes do Bioma Caatinga. Fonte: Franca-Rocha et al. (2007).

Tabela 1. Quantificação dos remanescentes do bioma Caatinga.

Área do Bioma (km^2)	**827.242,4574**
Total de remanescentes (km^2)	**175.066,4722**
Percentual de remanescentes	**21,16 %**

Fonte: Adaptado de Franca-Rocha et al. (2007).

Ainda, segundo Franca-Rocha et al. (2007), a Caatinga está entre os biomas brasileiros menos conhecidos e explorados cientificamente. Não é tratada com a atenção que merece, ainda mais por ser um dos biomas mais ameaçados do nosso país. Devido ao uso inadequado e insustentável dos seus solos e recursos naturais, boa parte já foi desmatada e em contrapartida possui só cerca de 1 % de remanescentes protegidos por unidades de conservação (UC).

Na Figura 7, é observada a distribuição vegetal de modo mais generalizada em comparação com o mapa anterior de Franca-Rocha et al. (2007), onde, segundo dados de outros pesquisadores é levado em consideração para o cálculo oito ecorregiões. Não só remanescentes bem conservados, mas também, remanescentes que apresentem sinais de atividades antrópicas, e que ofereçam potencial de regeneração (MMA Edital 02/2004).

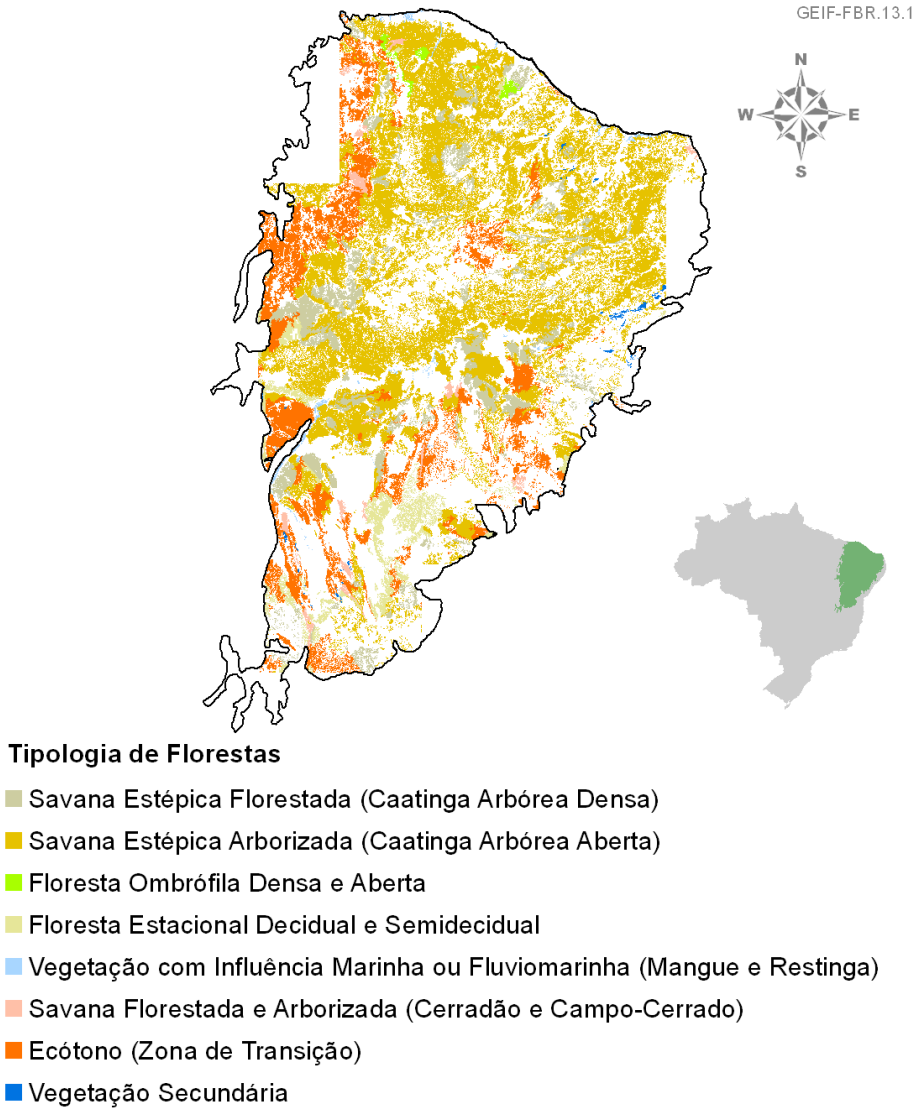


Figura 7. Distribuição da área e da Tipologia de Florestas do bioma Caatinga. Fonte: SNIF (2016).

A Tabela 2, obtida do SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais, demonstra dados de 2009 de acordo com o IBGE e MMA.

Tabela 2. Quantificação demográfica, de área e vegetação florestal da Caatinga segundo dados do SNIF.

Caatinga		
	Total	**% no Brasil**
População estimada (habitantes) (2009)	23.734.361	12,9
Área do bioma (km^2)	844.453	9,9
Cobertura florestal estimada (km^2) (2015)	405.826,71	48,1*
Área protegida em Unidades de Conservação (km^2) (2015)	63.448	7,5*

* Em relação à área do bioma.
Fonte: Adaptado do SNIF (2016).

4.4 MATA ATLÂNTICA

Segundo Tabarelli et al. (2005) e Martinelli et al. (2008) depois da Floresta Amazônica, a Mata Atlântica é a maior floresta tropical do continente americano e uma das maiores do mundo, principalmente, em diversidade de espécies. Com mais de 20.000 mil espécies entre plantas e animais e, destas, acredita-se que mais de 8.000 seja somente de espécies endêmicas (MYERS et al., 2000).

Com uma constituição vegetacional muito heterogênea de clima tropical a subtropical, a Mata Atlântica estende-se de 4º a 32º S de latitude. Elevações no nível do mar com até 2.900 m e diferentes temperaturas do ar (GALVÍNCIO et al., 2012). O índice de pluviosidade varia de 1.800 mm a 3.600 mm ano^{-1} podendo chegar a 4.000 na Serra do Mar e ter espécies de árvores que alcançam 30 m de altura (USP, 2016).

De acordo com dados do IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2012), a Mata Atlântica abrange 15 estados brasileiros com cerca de 70 % da população do Brasil sob seu domínio. Sendo composta, principalmente, por florestas ombrófilas densa, aberta e mista e florestas estacionais semideciduais e deciduais. É importantíssima para controle do microclima das metrópoles e o clima regional, abastecimento de água para as cidades pela interceptação das chuvas e irrigação dos lençóis freáticos por suas florestas, fertilização e controle erosivo do solo em áreas com relevos mais acidentados.

Conforme INPE (2015) dados obtidos por imagens de satélites das coberturas florestais entre o período 2013-2014 em escala 1:5.000.000, restam 12,5 % da cobertura original de 130.973.638 ha de Mata Atlântica no Brasil. No estado de Pernambuco os valores indicam que dos 1.688.361 ha de mata que cobriam 17 % do território do estado, restaram 200.332 ha que correspondem a 11,9 % da cobertura original do bioma.

Segundo Boddey et al. (2010) ao longo de todo o território de domínio da Mata Atlântica os principais cultivos agrícolas responsáveis pela supressão da vegetação é a pastagem com 20,9 Mha (milhões de hectares), culturas anuais com 13,8 Mha e a cana-de-açúcar com 4,8 Mha.

A capacidade de taxas de sequestro de C em Mg ha^{-1} ano^{-1} pela Mata Atlântica na Agricultura Convencional para o SPD (Sistema de Plantio Direto) é de

0,2 a 0,8; Pastagem bem manejada de 2,71; e Reflorestamento 2,42 (MELLO et al., 2010). Dados importantes no entendimento do fluxo de C para a área da Folha de Venturosa devido às mudanças de uso e cobertura da terra.

A Mata Atlântica tem um percentual importante na área de estudo deste trabalho. Dos 304.459 ha da área da Folha de Venturosa, 33.575 ha, 11 % da área, está sob domínio da Mata Atlântica, localizada na região sudeste da Folha de Venturosa (ver Figura 14). Nesta região da Folha de Venturosa os dois tipos de uso e cobertura da terra que mais dominam a área é a Pastagem e a Agricultura, isto provavelmente, devido a uma maior precipitação pluviométrica e possuir uma melhor condição climática à agropecuária.

A Figura 8 mostra o domínio original da Mata Atlântica nos estados do Brasil antes dos desmatamentos.

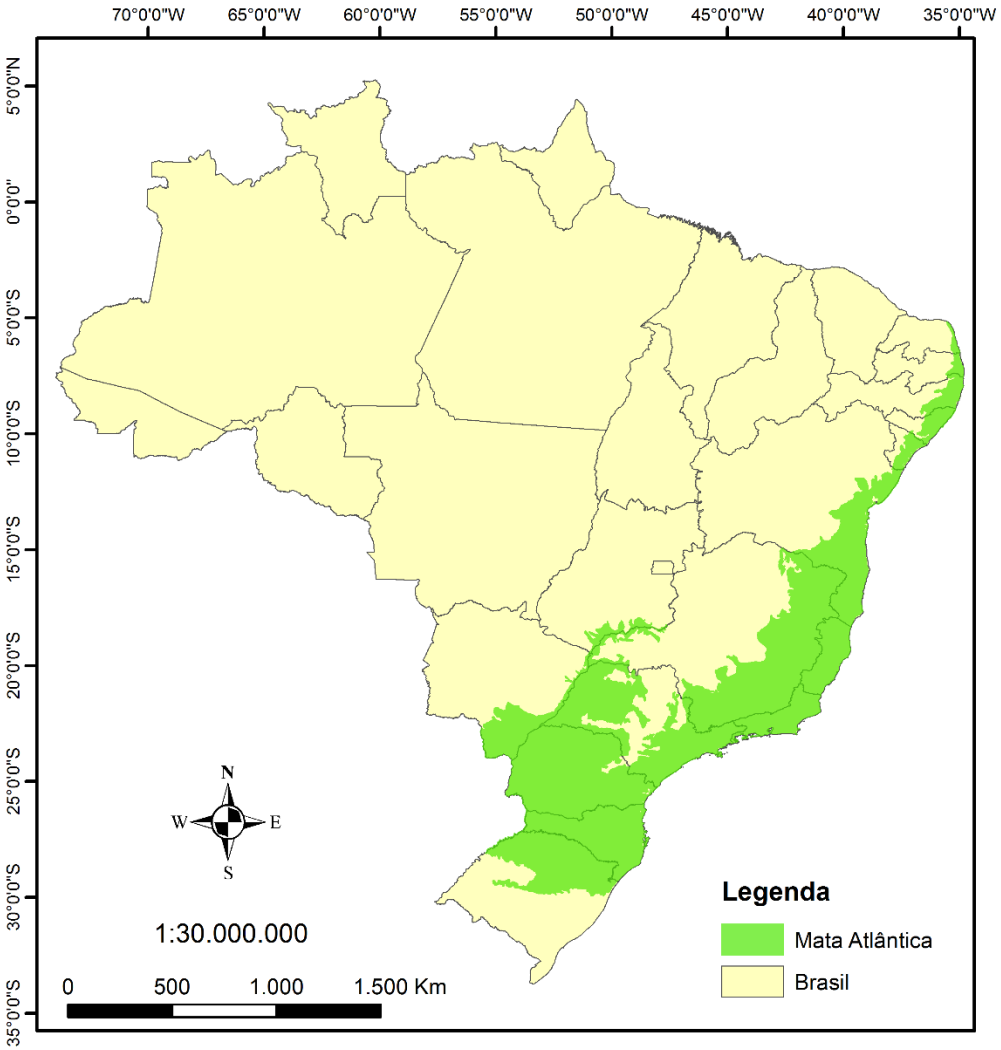


Figura 8. Mapa gerado no ArcGIS 10.1 com arquivos *shapefiles* do IBGE do bioma da Mata Atlântica no estado original ao longo do território brasileiro.

5. ÁLGEBRA DE MAPAS

Em álgebra de mapas é utilizado operações em representações matriciais e representações vetoriais. As representações matriciais são feitas com imagens *rasters* divididas célula a célula. Nas representações vetoriais a geometria das entidades geográficas usadas nas imagens é dividida em pontos, linhas e polígonos. Conforme Borges (2002) numa imagem *raster* as coordenadas geográficas (latitude e longitude) ou planas (x, y) são obtidas de forma indireta na posição da célula na matriz (linha, coluna). Nas representações gráficas vetoriais o ponto é representado por um par de coordenadas, as linhas são representadas por um conjunto de pontos que não se unem nas extremidades e os polígonos pelo conjunto de linhas que se ligam na extremidade das coordenadas inicial e final.

Para imagens *rasters* a álgebra de mapas, segundo Cordeiro e Erthal (2009), é definida a estrutura de tipos de dados que possam vir a serem números inteiros, reais ou valores lógicos “TRUE” e “FALSE”, até grandezas de variadas naturezas e dimensões, como mapas e imagens. Definindo de forma clara a representação de objetos e operações que represente em uma linguagem nítida as propriedades dessa álgebra. As operações com imagens *rasters* em álgebra de mapas são classificadas em “pontuais”, “zonais” e de “vizinhanças”.

De acordo com Matos (2008) e Silva et al. (2010), as operações pontuais são definidas em funções obtidas por combinações de valores de uma ou mais matrizes com a mesma posição da célula da matriz, onde os valores dos *pixels* são funções dos mesmos valores associados ao mesmo local. As operações zonais são funções semelhantes às funções de vizinhanças, com a diferença de que a vizinhança aqui não possui uma forma fixa, podendo a zona ser definida em outra matriz, ou seja, pode-se trabalhar com camadas de informações com outras regiões da representação matricial gerando operações espaciais diferentes em cada uma delas. As operações de vizinhança além de levar em consideração o valor de cada célula ou *pixel* isoladamente, levam também, os valores desses *pixels* situados em uma vizinhança próxima. Calcula-se a camada de saída com base na dimensão e forma de uma vizinhança em torno de cada local. Como exemplos de funções de vizinhanças têm a determinação de declives, distâncias e orientações.

Ainda, segundo Matos (2008) para as representações vetoriais a álgebra de mapas ou análise espacial, utiliza dentre as operações, as de sobreposição que divide-se em: União, Interseção, Identidade, Atualização e Corte.

Conforme Longley et al. (2013) a Interseção é uma operação a partir de uma geometria base com uma outra geometria qualquer, desde que de mesma dimensão, que retorna uma geometria com os mesmos pontos em comuns das geometrias de entrada.

Como exemplo, na Interseção são eliminados todos os polígonos que tem os atributos pertencentes a qualquer dos polígonos universo, ou seja, que estão fora da área de sobreposição. Na Figura 9, dentre os polígonos que formam a representação (c) os que estão brancos e pontilhados em preto, representam os polígonos fora da área de sobreposição, já a área em escuro representa o polígono que está dentro da sobreposição.

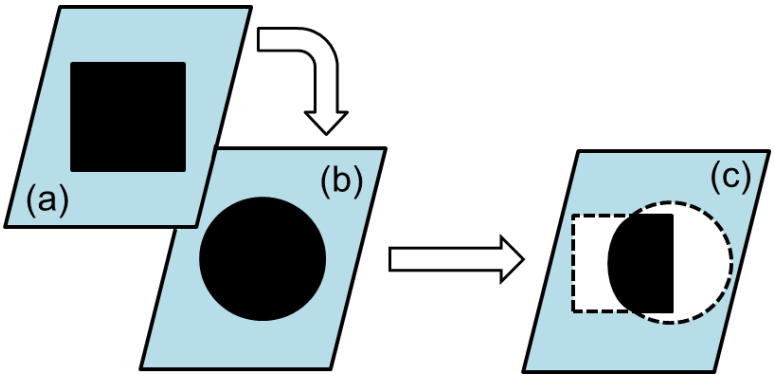


Figura 9. Interseção dos polígonos das representações (a) e (b) gerando uma representação (c).

6. METODOLOGIA

A área de estudo, contida na Folha de Venturosa, encontra-se na Mesorregião do Agreste, limitando-se, de acordo com a articulação da Folha, ao norte com os municípios de Sertânia, Pesqueira e Belo Jardim, a leste com Garanhuns, a oeste com Buíque, ao sul com Santana do Ipanema, Bom Conselho e União dos Palmares e ao centro com Venturosa. A Folha de Venturosa está localizada entre as coordenadas geográficas 36°30’ e 37°00’ de longitude oeste e 08°30’ e 09°00’ de latitude sul, abrangendo uma área de 3.044 km^2. A área de estudo a partir do município de Venturosa está a 243,4 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232

e PE-217 (CPRM, 2005). Possui característica de clima tropical semiárido, solos pedregosos, com o relevo da parte leste da Folha, que abrange o município de Garanhuns, atingindo cotas em torno de 1.000 m. A Folha encontra-se inserida, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos dos complexos Cabrobó e Belém do São Francisco e das suítes Intrusiva Leucocrática Peraluminosa e Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga (CPRM, 2008). Na Folha de Venturosa ocorrem as bacias do Rio Ipanema, afluente do Rio São Francisco, a bacia do Rio Una, que desagua diretamente no oceano Atlântico, bacia do Rio Ipojuca, bacia do Rio Mundaú e Grupos de Bacias de Pequenos Rios Interiores (GI1). Os demais rios e riachos da área são de caráter intermitente. Dentro dos aspectos socioeconômicos a maior e mais expressiva atividade econômica do Agreste Meridional, onde está inserida a Folha, é a pecuária de corte e leite.

A Figura 10 apresenta a área de estudo inserida na imagem de satélite do *Google Earth* em formato *kml* sobre o estado de Pernambuco e inserida na Mesorregião do Agreste. Os dados de C das classes de solos e das classes de uso e cobertura da terra que não foram coletadas dentro da Folha de Venturosa, mas que completam a área dela estão distribuídas fora do seu limite e espalhadas dentro do limite administrativo do Agreste sob os domínios da Caatinga e Mata Atlântica. Esses dados de C nas demais áreas serão representadas no decorrer do trabalho para a quantificação do CO_2 da Folha de Venturosa. As classes de solos da Folha de Venturosa foram classificadas com base no ZAPE – Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco, (2001). Importante relatar que segundo Jacomine (2008-2009) na nova Classificação Brasileira de Solos as ordens Podzólico Amarelo-PA, Podzólico Vermelho-Amarelo-PV, Solos Aluviais-A, Regossolo-RE e Solos Litólicos-R passaram a ser Argissolos Amarelo-PA, Argissolos Vermelho-Amarelo-PVA, Neossolo Flúvico-RY, Neossolo Regolítico-RR e Neossolo Litólico-RL, respectivamente. As classes da Folha compõe seis (06) ordens Latossolos-L, Argissolos-P, Luvissolos-T, Planossolos-S, Gleissolos-G e Neossolos-R, com duas dessas ordens (Argissolos e Neossolos) subdividida em cinco (05) subordens Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Litólico, Neossolo Quartizarênico-RQ e Neossolo Regolítico, segundo EMBRAPA (2006).

Para o presente trabalho a subordem Neossolo Flúvico não consta nos dados de Mg C ha^{-1} coletados pelos pesquisadores do Departamento de Energia Nuclear - DEN, e sim, o Neossolo Quartzarênico, apesar do Neossolo Flúvico (Solo Aluvial) estar na classificação do ZAPE (2001). Por esta razão, o ZAPE (2001) servirá como apoio para este trabalho e não como um parâmetro.

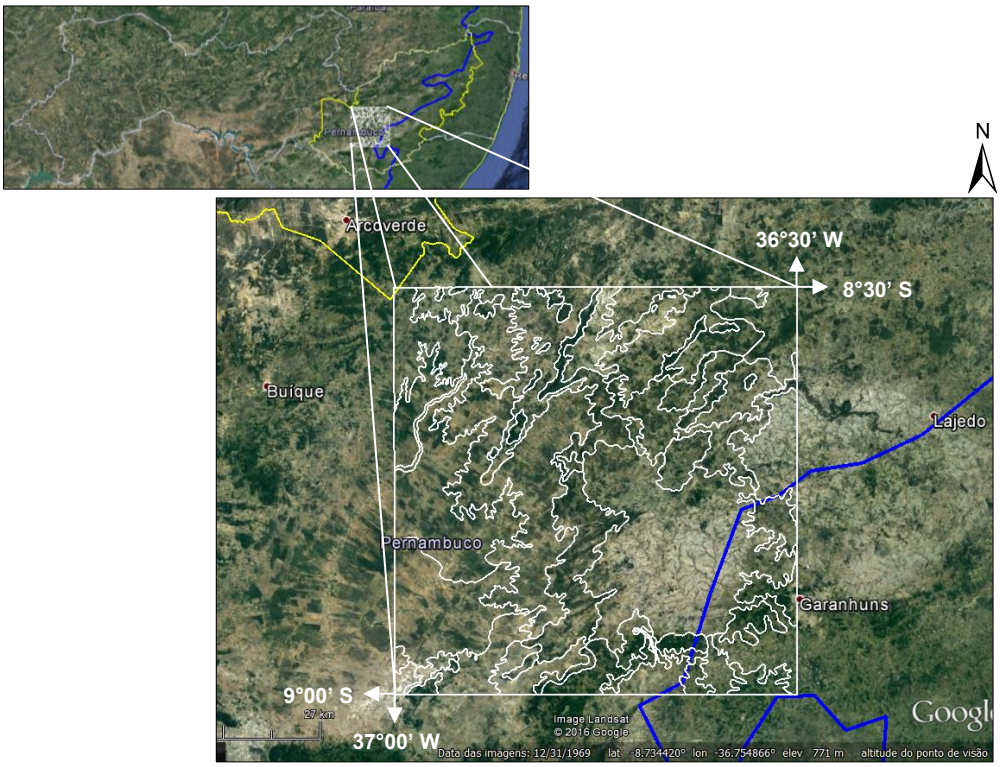


Figura 10. Localização da Folha de Venturosa em *kml* em Pernambuco na Mesorregião do Agreste delimitada em linha amarela e a Caatinga em linha azul com imagem do *Google Earth*.

A representação com as classes de solos da Folha de Venturosa sobreposta à imagem do *Google Earth*, na Figura 10, foi obtida pela conversão de arquivo *shapefile* das classes de solos da Folha de Venturosa no programa Quantum GIS 2.14.2 (QGIS) para arquivo *kml* - *Keyhole Markup Language*. E, posteriormente, adicionada à imagem do *Google Earth*, já que este programa importa formato *kml*.

A quadrícula da Folha de Venturosa identificada como SC24-X-B-V na Figura 11, foi sobreposta ao mapa dos biomas do estado de Pernambuco utilizando o *software* QGIS *Desktop* com uso de arquivos no formato *shapefile*.

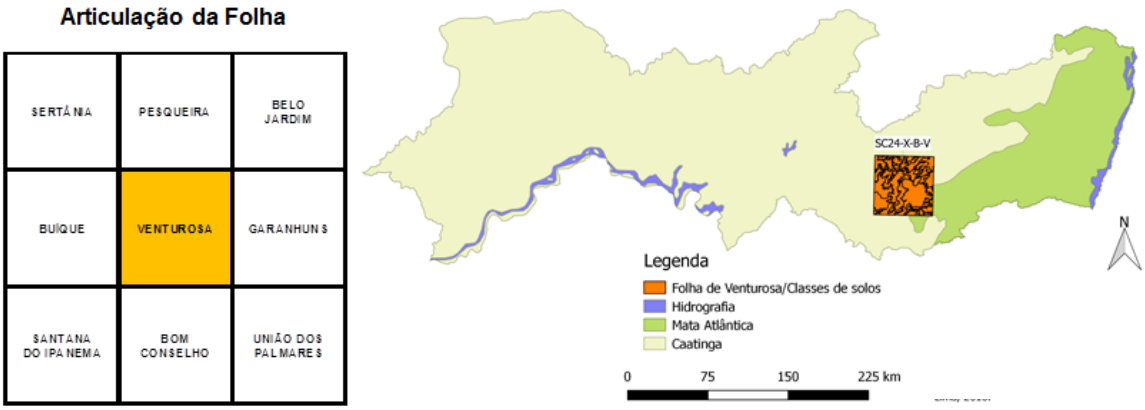


Figura 11. Articulação e localização da Folha de Venturosa em Pernambuco.

Os dados de C do solo foram obtidos no DEN com o procedimento a seguir:

Amostras de perfil de solo de 0 a 100 cm, obtidas pelo DEN e realizadas como parte do trabalho de doutorado de (Jesus, 2017), onde para a retirada das amostras de solo, foi aberta uma trincheira em cada sítio (local) com 0,7 x 0,7 x 1 m.

a) As amostras foram secas em estufa a 110 ºC por 72 horas para posterior determinação da massa. Inicialmente as amostras foram secas ao ar e tamisadas em peneira de 2 mm e, posteriormente, sub amostras foram maceradas e tamisadas em peneira de 100 mesh.

b) As sub-amostras foram submetidas às análises de C e realizadas por meio de auto analisador de C - LECO modelo CHN 600.

c) Os estoques de C em Mg C ha^{-1} (Megagrama de C por hectare), 01 Mg = 01 tonelada, foram obtidos pelo uso da expressão: teor de C ($g.kg^{-1}$) x densidade do solo ($kg.dm^{-3}$) x espessura da camada do solo (cm) / 10.

O mapeamento das classes de solos da Folha de Venturosa foi realizado na escala 1:100.000 de acordo com o ZAPE (2001). Foi avaliada as mudanças de uso e cobertura da terra na Folha dos anos de 1987 e 2013. Também, foi feita a comparação entre as classes de solos e o uso e cobertura da terra versus o estoque de C, segundo os valores dos pontos amostrados de cada classe de solo no campo.

Os mapas das camadas dos biomas Caatinga e Mata Atlântica, estado de Pernambuco, Mesorregião do Agreste, classes de solo e de uso e cobertura da terra, níveis de C e das alterações no uso e cobertura da terra foram criados no *software* QGIS 2.16.0 *Desktop* e ArcGIS 10.1. No entanto, foi seguido antes o procedimento de conversão do sistema de referência para atualização de algumas camadas.

Para as camadas com *Datum* diferente foi feito a conversão do SRC (Sistema de Referência de Coordenadas) do arquivo *shapefile*, do SAD 69 (*South American Datum de 1969*) ou (Sistema de Referência da América do Sul) para o SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) 2000, no *software* QGIS 2.16.0 *Desktop* para que convergisse com os demais *layers*.

A demonstração do procedimento da conversão do SRC no QGIS 2.16.0 é demonstrada no Apêndice A.

O SIRGAS originalmente denominado Sistema de Referência Geocêntrico da América do Sul, idealizado em 1993, culminou com duas densificações do ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*), com a realização do SIRGAS 2000 foi disponibilizado o campo de velocidade para as estações localizadas na placa litosférica sul-americana, necessário para aplicações de alta precisão. Quando um referencial é adotado convencionalmente, a próxima etapa é caracterizada pela coleta de observações a partir de pontos sobre a superfície terrestre (rede), ou próximos a ela, devidamente monumentalizados. Fazendo parte, também, o processamento, a análise e a divulgação dos resultados, além das coordenadas virem acompanhadas de suas respectivas velocidades e precisão (MONICO, 2008).

Ainda, conforme Monico (2008), até pouco tempo no mundo, um dos aspectos de levantamento geodésico era referenciado a sistemas regionais (quase geocêntrico), como na maioria dos levantamentos cartográficos. No Brasil, após ser estabelecido oficialmente em 2005, o SIRGAS 2000 substitui um dos referenciais do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) o SAD 69, o qual não é geocêntrico. Deste modo, a relação matemática entre os sistemas regionais e os usados em posicionamento com satélites deve ser conhecida.

Segundo Pino e Firkowski (2009) a existência de diferentes *Data*, plural de *Datum*, implica na transformação destes sistemas para o mais atual, entre as coordenadas referidas o SAD 69 e SIRGAS 2000, onde as mesmas não são homogêneas ao longo do território brasileiro. Em média possuem diferenças de 65 m em direção ao NE (nordeste) e erro de 0,26 mm numa escala 1:250.000, e são perceptíveis ao olho humano nas escalas iguais a maiores que essa. As definições de concepção do SAD 69 são de origem topocêntrica com aplicação de técnicas clássicas como triangulação e poligonação, enquanto que do SIRGAS 2000 é geocêntrica, com técnicas baseadas em sistemas globais como o GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Na escala dos mapas de solos e uso e cobertura para este trabalho, com a diferença média de 65 m, existente entre os dois sistemas de referência, possui erro de 0,65 mm numa escala de 1:100.000 (IBGE, 2017).

Por se tratar de um trabalho com a área de estudo toda inserida no Agreste de Pernambuco se faz importante à demonstração da Mesorregião num mapa para melhor entendimento sobre o local, Figura 12. Como já dito o Agreste é uma região intermediária entre a Caatinga e Mata Atlântica possuindo em sua maior característica, vegetação semiárida decídua, típica da Caatinga. A Folha de Venturosa é banhada pelos dois biomas, mas somente uma pequena parte de sua área, na parte leste e sudeste são cobertas originalmente pela floresta ombrófila, floresta tropical úmida, a Mata Atlântica. Neste mapa, a cor amarelada delimita a região do Agreste e, sob esta área, na parte leste existe uma delimitação, sendo a continuação da Mata Atlântica por baixo do *Layer* do Agreste.

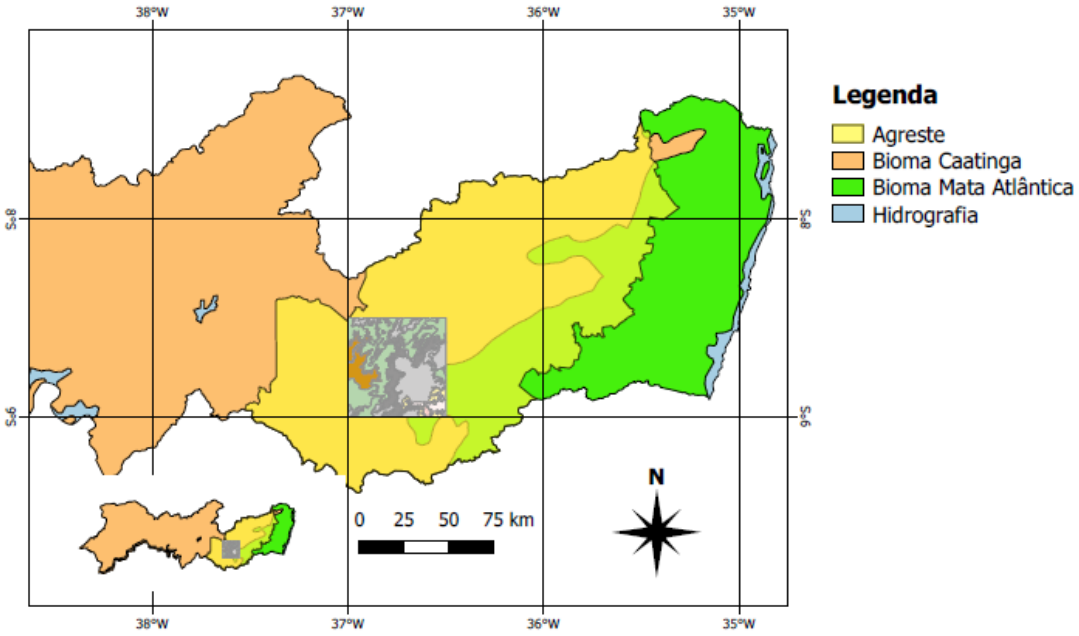


Figura 12. Limítrofes, em amarelo, da Mesorregião do Agreste em Pernambuco banhado pelos Biomas Caatinga e Mata Atlântica.

A Figura 13 mostra os tipos de solos na Folha de Venturosa com base no ZAPE (2001), com classificação dos solos feita em escala 1:100.000.

A área da Folha de Venturosa encontra-se entre as coordenadas extremas UTM 719.872 / 720.165 e 774.868 / 775.236 m E e 9.004.546 / 9.004.209 e 9.059.857 / 9.059.537 m N, no fuso 24S SIRGAS 2000.

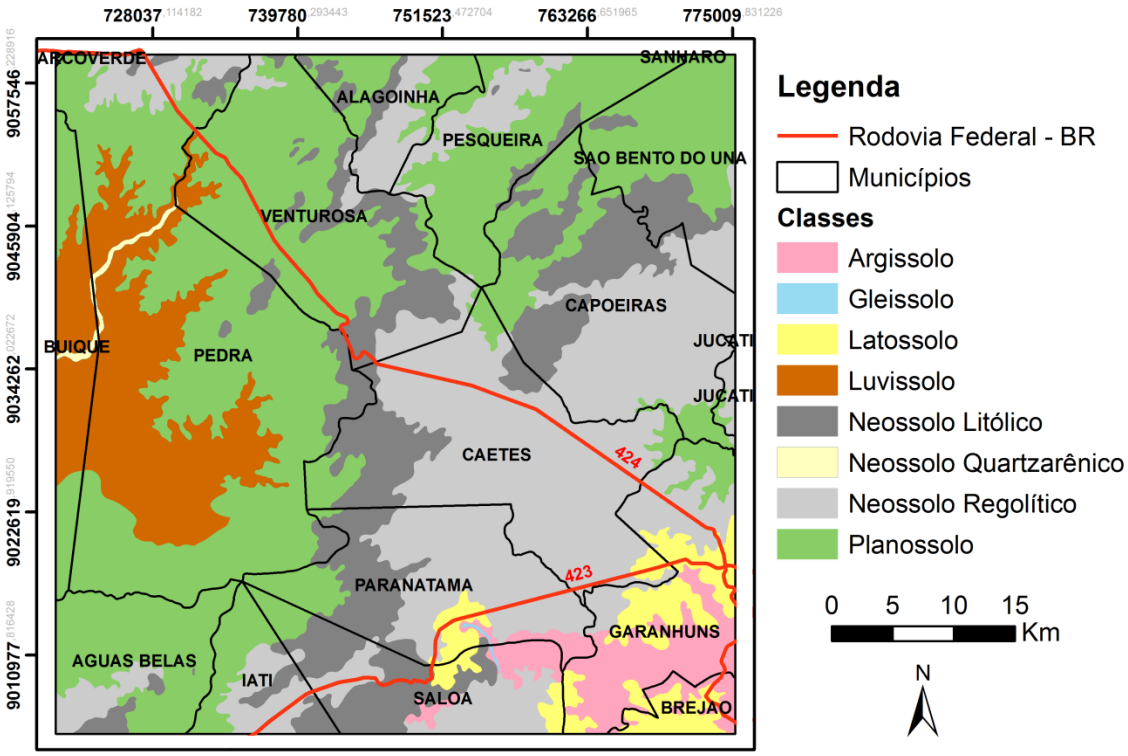


Figura 13. Classes de solos na Folha de Venturosa.

Destaque em áreas ocupadas pelos solos Planossolo e Neossolo Regolítico.

Ressalta-se que a partir da Figura 13, os mapas foram processados no ArcGIS 10.1, em substituição ao QGIS *Desktop* que vinha sendo utilizado como *software* SIG (Sistema de Informação Geográfica). Essa troca ocorreu porque o QGIS, no decorrer do trabalho, veio a apresentar problemas como travamento e perca de dados, decidindo a mudança para o ArcGIS 10.1.

A coordenada UTM que consta no canto superior direito nas figuras da Folha de Venturosa (775.009 m), não é a coordenada de Longitude (E) no limite extremo da Folha, mas sim próxima. A coordenada no limite extremo superior à direita da Folha é 775.236 m E, como dito anteriormente. Por se tratar de coordenadas UTM em metros (m) a mínima distância no mapa, numa área de aproximadamente 55 km em cada lado, pode acarretar numa diferença em dezenas ou centenas de metros.

As imagens originais da área da Folha de Venturosa foram capturadas pelos satélites Landsat 5 TM, ano de 1987, e o Landsat 8 OLI, ano de 2013. Foi realizada uma classificação visual de imagem, por pesquisadores da EMBRAPA solos, que geraram novos mapas de representação vetorial.

Para obtenção dos valores de Mg C Área^{-1} pelo uso e cobertura da terra, utilizou-se o método da Interseção para os dados dos mapas multitemporais.

Segundo Matos (2008), o método da Interseção é utilizado quando se pretende sobrepor duas imagens ou dois mapas, e manter somente na saída de dados o espaço coberto, ou seja, que está na zona de sobreposição e não fora, diferentemente da União, que mantém tanto a parte de dentro como de fora.

A Interseção se deu com a sobreposição das classes de uso e cobertura com as classes de solos da Folha de Venturosa, individualmente para as duas datas. Após isso, foi feita a multiplicação dos dados de Área ha^{-1} por C ha^{-1} formando uma coluna de valores na tabela de atributos de cada mapa.

A Figura 14 mostra a tabela de atributos do mapa de 1987 com dados de interseção e Mg C $Área^{-1}$. Onde os títulos da tabela de atributos destacado em azul como *NOVA* e *Classe* gerou através do cruzamento de ambas as camadas de classes a saída de dados no *Intersect*. O processo para *Área ha* e *C ha* foi feita pela multiplicação dos valores das duas colunas gerando dados de saída em *C Área,* destacado em vermelho. O mesmo procedimento foi feito no mapa de 2013.

NOVA	FID_Uso_co	Classe	Area_m2	Area_ha	Intersect	C_ha	C_Area
Planossolos	543	Caatinga Aberta	1772209,49876	7,962097	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	370,6173
Planossolos	562	Caatinga Aberta	27031509,5981	6,951638	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	323,5828
Planossolos	563	Caatinga Aberta	4130006,04628	189,533693	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	8822,359
Planossolos	564	Caatinga Aberta	34848282,6566	2574,050736	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	119816,1
Planossolos	567	Caatinga Aberta	3747673,61297	294,58886	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	13712,43
Planossolos	570	Caatinga Aberta	2112902,45999	3,796741	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	176,7296
Planossolos	571	Caatinga Aberta	1062785,5004	106,278559	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	4947,023
Planossolos	572	Caatinga Aberta	23284423,5413	1989,681078	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	92615,09
Planossolos	638	Caatinga Aberta	491601,375557	49,141548	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	2287,426
Planossolos	482	Caatinga Aberta	6336813,94994	33,492801	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	1559,013
Planossolos	8	Caatinga Aberta	219046,33356	14,173317	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	659,7354
Planossolos	54	Caatinga Aberta	184624,474149	15,360224	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	714,9832
Planossolos	65	Caatinga Aberta	2504055,30451	239,775869	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	11161,01
Planossolos	128	Caatinga Aberta	1125555,69788	49,864442	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	2321,075
Planossolos	156	Caatinga Aberta	1249109,23422	0,772393	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	35,95310
Planossolos	184	Caatinga Aberta	1396425,3169	33,709518	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	1569,100
Planossolos	185	Caatinga Aberta	500530,834157	50,039443	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	2329,221
Planossolos	213	Caatinga Aberta	1194861,78523	104,200234	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	4850,282
Planossolos	278	Caatinga Aberta	599704,49327	22,89241	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	1065,589
Planossolos	289	Caatinga Aberta	865408,102743	86,529699	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	4027,759
Planossolos	290	Caatinga Aberta	200751,856493	20,073326	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	934,3673
Planossolos	406	Caatinga Aberta	8695473,04071	389,842299	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	18146,26
Planossolos	447	Caatinga Aberta	112621,80184	11,262116	PlanossolosCaatinga Aberta	46,54771	524,2257

Figura 14. Tabela de Atributos no ArcGIS 10.1 do mapa de 1987 com o cruzamento dos dados destacado em azul e vermelho.

Na Figura 15, é demonstrada como ocorreu a interseção dos dois mapas de 1987 e 2013 formando um terceiro mapa no processamento do cruzamento dos polígonos. No processo se utilizou a representação vetorial da classe de solos, Figura 15 (a), e da classe de uso e cobertura da terra (b) de cada data, gerando uma representação única (c) da interseção dos dados dos dois tipos de classes.

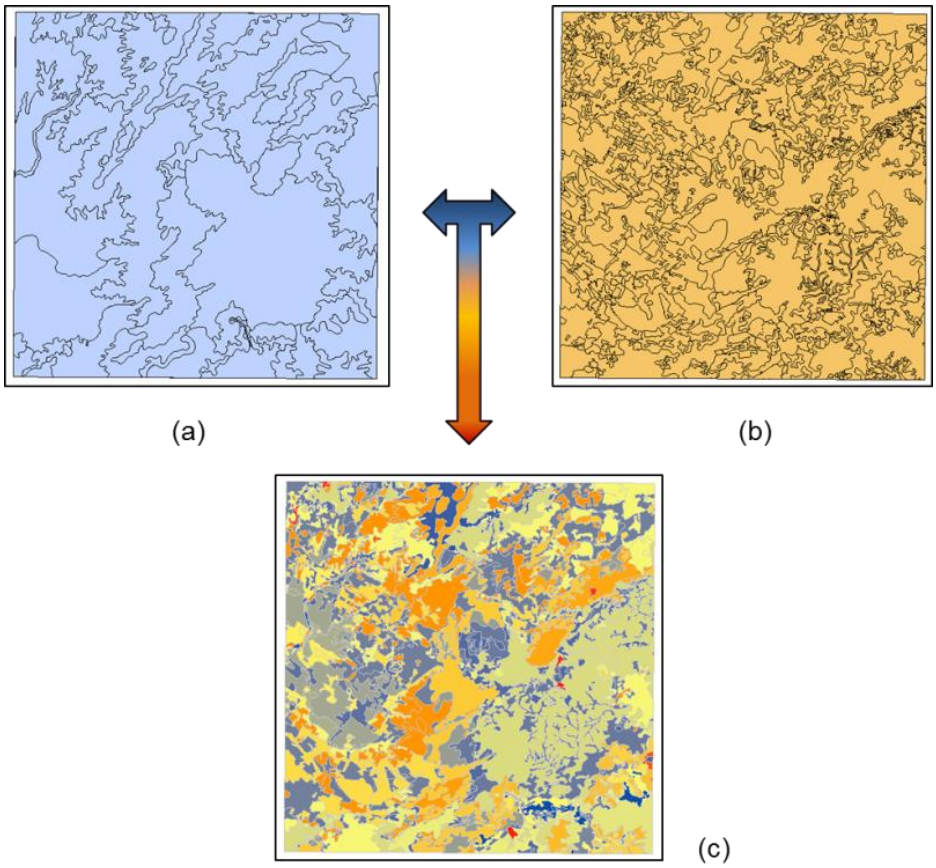


Figura 15. Demonstração da interseção de imagens feita para as datas 1987 e 2013.

6.1 MATERIAIS

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Programa Quantum GIS Nødebo 2.16.0 (QGIS) e ArcGIS 10.1.
- Notebook HP Processador Core™ i3-5005U, CPU 2.00 GHz, HD 500Gb e Memória RAM 4Gb;
- Material cartográfico;
- Mapas de solos e de uso e cobertura da terra, processados de imagens de satélite Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI. Imagem de satélite do *Google Earth* para localização;
- Dados de campo (já coletados e disponíveis no Departamento de Energia Nuclear (DEN) e caso necessário, dados a serem coletados na área).

6.2 MÉTODOS

O desenvolvimento do estudo foi realizado de acordo com o fluxograma na Figura 16 e a discussão logo abaixo.

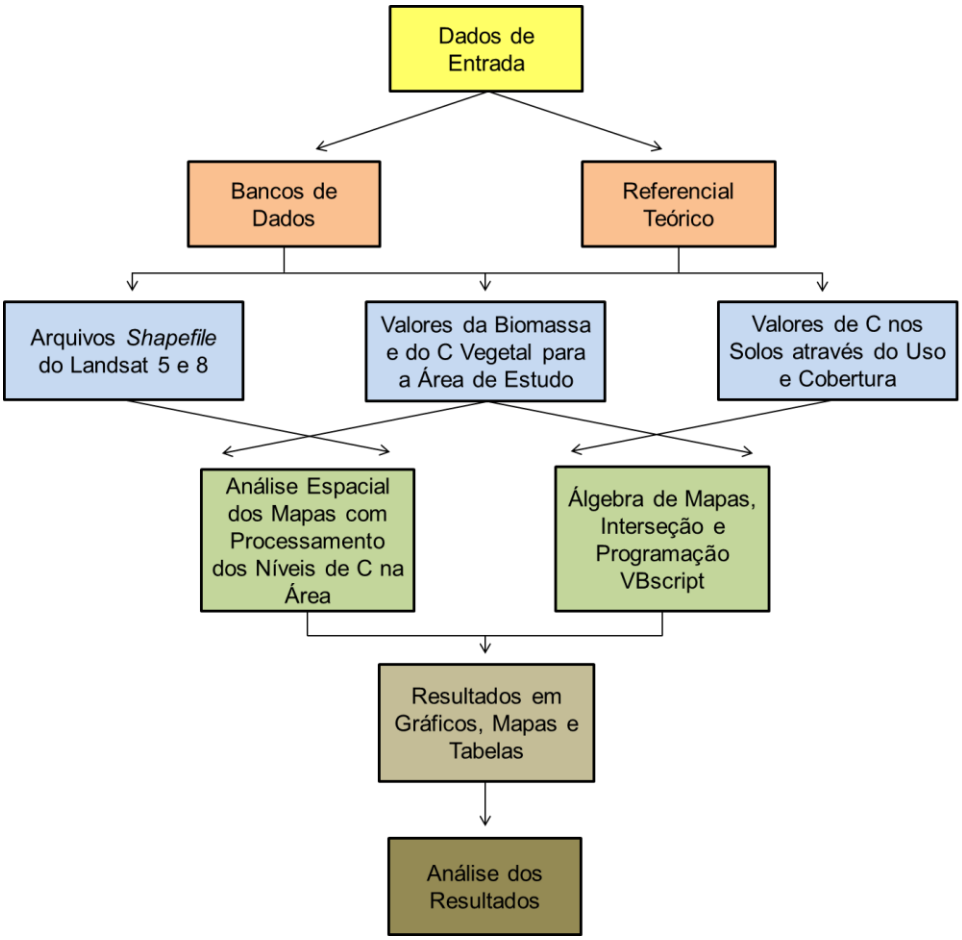


Figura 16. Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.

Dados de Entrada:

- Mapas de solo e de uso e cobertura da terra na Folha de Venturosa, estado da arte e dados da coleta de solos com valores de carbono e valores de biomassa vegetal.

Bando de Dados:

- Mapas georreferenciados dos anos de 1987 e 2013 da área da Folha de Venturosa, com as classes de solos e de uso e cobertura da terra e os valores de carbono em toneladas por hectare pra cada tipo das classes.

Referencial Teórico:

- Temas de abordagem sobre as atuais pesquisas de Sistemas de Informações Geográficas, fluxos de carbono e mudanças climáticas.

Arquivos *Shapefile* do Landsat 5 e 8 :

- Imagens procedentes dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI pela seleção das cenas órbita-ponto 215-066, com datas de passagem em 09 de maio de 1987 e 14 de abril de 2013, respectivamente. Estas imagens, nas limitações da área da Folha de Venturosa, foram transformadas em mapas de representações vetoriais de uso e cobertura da terra por pesquisadores da EMBRAPA Solos. Estes mapas, em formato de arquivo *shapefile*, foram obtidos no DEN – Departamento de Energia Nuclear.

Valores em Mg da Biomassa e do C Vegetal para a Área de Estudo:

- Dados obtidos na coleta das amostras por (ALBUQUERQUE et al., 2015; SAMPAIO et al., 2015) e sua posterior análise no laboratório do DEN.

Valores de C nos Solos através do Uso e Cobertura:

- Dados obtidos na coleta das amostras por (Jesus, 2017) e sua posterior análise no laboratório do DEN.

Análise Espacial dos mapas com Processamento dos Níveis de C na Área:

- Geração dos valores de carbono por cada classe de solo e de uso e cobertura da terra. Baseado nas análises de laboratório e tabelas, e atribuição desses valores na base de dados dos mapas em arquivos *shapesfiles*. Criação de mapas temáticos e em nível de cor de acordo com os valores de carbono e da cobertura da biomassa vegetal.

Álgebra de Mapas, Interseção e Programação VBscript:

- Dados gerados na tabela de campo dos mapas, com linguagem de programação em formato de condição, e sobreposição dos mapas de classes de solos e de uso e cobertura para os anos de 1987 e 2013.

Resultados em Gráficos e Tabelas:

- Todos os valores de carbono gerados expostos em representações gráficas e tabelas em Excel.

Análise dos Resultados:

- Discussão de todos os resultados gerados.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros resultados começam com a comparação entre os dois mapas de uso e cobertura da terra na Folha de Venturosa nos anos de 1987 e 2013, Figura 19.

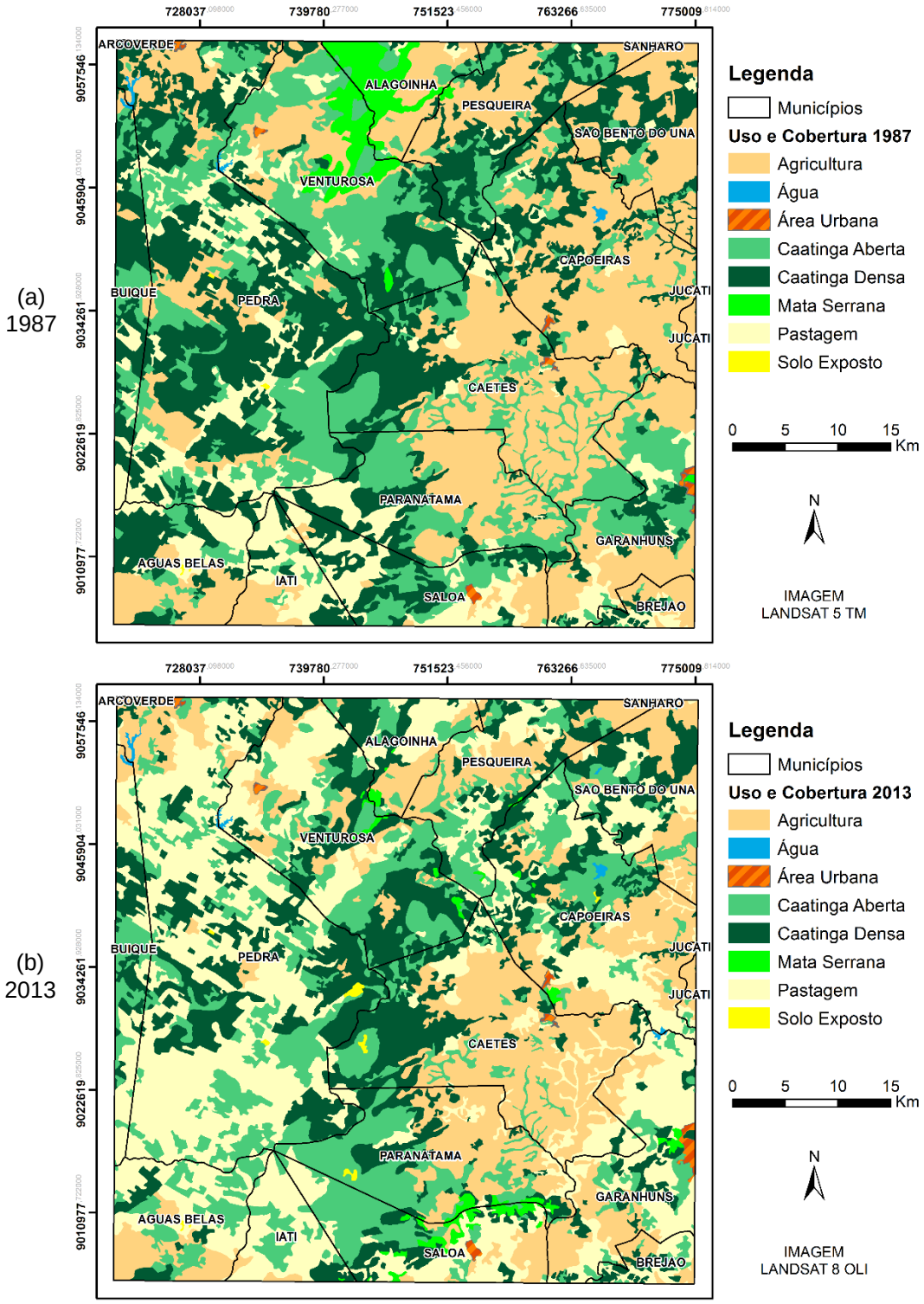


Figura 17. Folha de Venturosa com as classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas mudanças nos anos de 1987 (a) e 2013 (b).

Na parte centro-oeste do mapa na Figura 17, é claramente observado a mudança das classes de uso e cobertura de Caatinga Densa e Caatinga Aberta para Pastagem ao longo de 26 anos. A clareza da mudança de uma vegetação nativa, onde o homem não estabelece uma atividade econômica ou obtêm lucros sem que haja impactos ambientais nela, por uma classe exótica, ou seja, introduzida pelo homem, como a Pastagem, é um nítido indicativo do crescimento demográfico da região. A supressão das terras por hábitos antrópicos não ocorre na área só pela disputa de espaço físico, mas, também, pela pressão econômica para atender a demanda populacional. Hábito que se sustêm do agronegócio na geração de renda do proprietário das terras e indústrias de leite. Segundo Melo e Souza (2015) a pecuária de leite adaptou-se rapidamente a região e passou a apresentar uma ótima produtividade a um baixo custo. Essa atividade está presente no cenário agrícola do Agreste até a presente data, ocupando um papel de destaque.

A produção de leite do Brasil supera os 35 bilhões de litros por ano, sendo Pernambuco o segundo maior produtor do Nordeste com 17% da produção regional, atrás apenas da Bahia. Onde 73 % da produção de leite em Pernambuco encontra-se na bacia leiteira na região do Agreste (IBGE, 2013; CONAB, 2004, 2015).

De acordo com dados do IBGE (2016a) a população dos dezesseis municípios abrangidos pela Folha de Venturosa, não sendo exatamente os municípios da Articulação da Folha, entre os anos de 1991 e 2010, data de cada censo demográfico, houve um acréscimo de 81.922 habitantes com crescimento de 15,7 % nesse período. Ressalta-se que o município de Arcoverde não está inserido nos limites da Folha de Venturosa e nem nos dados do censo, mas consta no arquivo *shapefile* dos municípios sobre a área da Folha de Venturosa como referência de centro urbano na região. A tabela da demografia dos municípios consta no Apêndice B.

O crescimento da população também nos é avisado pelos mapas gerados com aumento da Área Urbana na região, observando o município de Garanhuns que se localiza no extremo sudeste da Folha. Apesar de ser o único aumento visível de Área Urbana nos mapas, Garanhuns se trata da maior e mais importante cidade da região. A Folha de Venturosa está completamente dentro da bacia leiteira de Pernambuco com uma forte influência para a pecuária, mais ainda que a agricultura e, isto também, se observa nos dois mapas, com uma diminuição da classe Agricultura e aumento da classe Pastagem do ano de 1987 para 2013.

Dados brutos sobre as áreas das classes de solos e de uso e cobertura da terra foram obtidos de Jesus (2017). Sendo separados os valores totais de área por cada classe, e calculadas estas áreas em porcentagem no Excel neste trabalho.

A Tabela 3 nos mostram os valores das classes de uso e cobertura da terra da Folha de Venturosa para cada ano, corroborando com os mapas gerados.

Tabela 3. Dados de áreas em valores absolutos (ha) e relativos (%).

1987		2013		
Uso e Cobertura	Área (ha)	Uso e Cobertura	Área (ha)	Variação
Agricultura	98.963,67	Agricultura	70.187,48	- 28.776,19
Água	395,05	Água	496,12	+ 101,07
Área Urbana	727,57	Área Urbana	926,83	+ 199,25
Caatinga Aberta	68.950,14	Caatinga Aberta	64.696,54	- 4.253,60
Caatinga Densa	89.533,45	Caatinga Densa	64.445,07	- 25.088,38
Mata Serrana	7.304,87	Mata Serrana	2.863,76	- 4.441,12
Pastagem	38.481,24	Pastagem	100.399,41	+ 61.918,17
Solo Exposto	103,07	Solo Exposto	443,82	+ 340,75
Total	304.459		304.459	0
Uso e Cobertura	Área (%)	Uso e Cobertura	Área (%)	Variação
Agricultura	32,50	Agricultura	23,05	- 9,45
Água	0,13	Água	0,16	+ 0,03
Área Urbana	0,24	Área Urbana	0,30	+ 0,07
Caatinga Aberta	22,65	Caatinga Aberta	21,25	- 1,40
Caatinga Densa	29,41	Caatinga Densa	21,17	- 8,24
Mata Serrana	2,40	Mata Serrana	0,94	- 1,46
Pastagem	12,64	Pastagem	32,98	+ 20,34
Solo Exposto	0,04	Solo Exposto	0,15	+ 0,12

A Tabela 3 compara os valores em ha de cada classe de uso e cobertura dos dois anos, 1987 e 2013. A última coluna a direita da Tabela 3 nos mostra a alteração sofrida entre o espaço de tempo desses dois anos no uso do solo, assumindo valores positivos ou negativos. Comparativamente os valores de mudanças com maiores perdas corresponde a Agricultura, com redução de 28.776,19 ha e que corresponde a 9,45 % de sua cobertura anterior na área para o ano de 2013, não significando que necessariamente houve uma recuperação de vegetação nativa em cima das áreas de Agricultura, mas sim ter havido uma troca por outra classe de uso antropizado. A classe de Caatinga Densa perdeu 25.088,38 com valor expresso em porcentagem de 8,24 negativos. Com um valor em ha de 20.583,31 a mais que a Caatinga Aberta em 1987 a Caatinga Densa passa agora em 2013 a ter quase o mesmo valor em ha da Caatinga Aberta. Isso talvez pela Caatinga Aberta possuir menos árvores e arvoredos e ser, com isso, uma fonte menos interessante para o corte indiscriminado de lenha no bioma. Diferentemente da Agricultura, a classe de

uso e cobertura Pastagem foi a que teve os valores mais significativos em mudanças ao longo dos 26 anos, com um aumento de 61.918,17 ha, passando em valores percentuais de ocupação de 12,64 % para ocupar 32,98 % na área da Folha de Venturosa. Este valor expressivo da Pastagem pode indicar o crescimento socioeconômico da pecuária de leite na região, não só por ser parte da bacia leiteira do estado, mas justamente ser o meio de cultivo, inicialmente, com menos custo econômico para alimentação do gado na região através da pecuária extensiva, ou seja, o uso de grandes áreas abertas para o gado, diferentemente da pecuária intensiva, onde há o confinamento do gado e uma alimentação menos dependente de pastos. Segundo dados do IBGE (2016b) há um aumento da produção do leite de 262.950 em 1987 para 788.250 em 2009 em milhões de litros no estado de Pernambuco, com crescimento de 199,8 %.

No Gráfico 1, são gerados dados no formato de colunas, onde é comparado a proporção das classes de uso e cobertura na Folha de Venturosa procedente das alterações entre 1987 e 2013. É mostrado em valores percentuais o histórico entre as duas datas sobre o uso da terra e indica as práticas socioeconômicas da região. A distribuição física de cada classe de uso e cobertura é uma representação verdadeira da atividade humana e qual o domínio dessa sociedade no âmbito econômico, assim como, seus impactos causados no meio ambiente pela destruição de vegetação nativa ou pelo aumento desta.

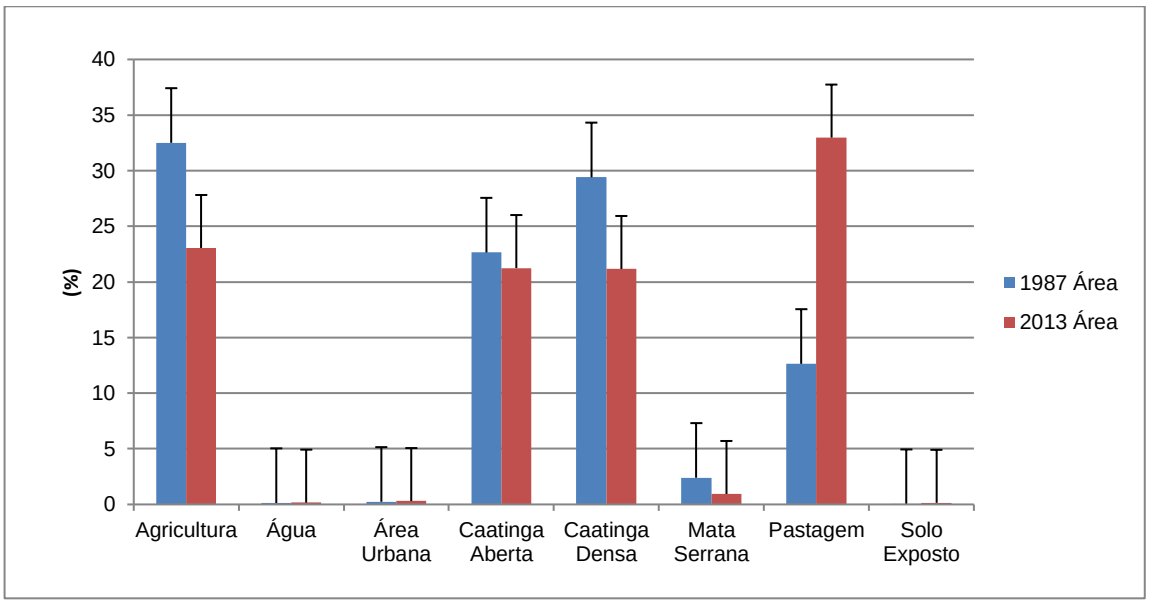


Gráfico 1. Comparação da distribuição das classes de uso e cobertura na Folha de Venturosa nos anos de 1987 e 2013. Distribuição das classes de cada ano em (%).

No Quadro 1, se observa a variação em (%) de cada classe de uso e cobertura em cima do que era em 1987 e como ficou em 2013, especificamente em relação a área de cada classe de uso e cobertura, ou seja, o aumento ou perda se baseia o quanto uma classe de uso e cobertura cresceu ou diminuiu percentualmente em área, e não o quanto cada classe passou a ocupar percentualmente na área na Folha de Venturosa. Estes valores podem nos indicar a tendência do uso e cobertura da terra na Folha de Venturosa para o futuro, caso esse quadro de ocupação do homem continue nesse mesmo ritmo.

No Quadro 1, a classe Solo Exposto teve uma alteração de 103,07 ha em 1987 para 443,82 ha em 2013, que corresponde a 330 %, sendo este alto aumento percentual, somente em relação a área antes ocupada desta classe de uso e cobertura de uma data para a outra. Entretanto a porcentagem ocupada por esta classe ainda continua muito baixo em relação à área da Folha de Venturosa. Já a Mata Serrana teve o maior valor negativo, isto implica que ela diminuiu 60 % entre 1987 e 2013 em razão do que ela ocupava anteriormente. A Pastagem que já em 1987 tinha uma área de 38.481,24 ha, correspondendo a 12,64 % da área da Folha de Venturosa, em 2013 salta para 100.399,41 ha, que em valores percentuais seria 32,98 % de toda a área, porém aumenta em relação a sua ocupação anterior mais de 160 %, indicando a relação do alto índice de crescimento de área desta classe com a região da bacia leiteira de Pernambuco.

Quadro 1. Variação em (%) das áreas das classes de uso e cobertura da terra.

Uso e Cobertura	Variação (%)
Mata Serrana	- 60,8
Agricultura	- 29,1
Caatinga Densa	- 28,0
Caatinga Aberta	- 6,2
Água	25,6
Área Urbana	27,4
Pastagem	160,9
Solo Exposto	330,6

O Gráfico 2, foi gerado no Excel pela relação dos valores de área em (%) das classes de uso e cobertura existentes na Tabela 3, com o ano de 1987 correspondente aos valores conhecidos de y na relação (y = mx + b) e o ano de 2013 correspondente aos valores conhecidos de x na relação (y = mx + b).

Os valores gerados para o Gráfico 2 foram organizados em ordem crescente, para isso os dados da Tabela 3, que seguem ordem alfabética das classes de uso e cobertura, foram reorganizados no Excel. Isto foi feito para que os valores das classes de uso e cobertura seguissem uma sequência, por meio das que tiveram os menores valores negativos, para as que tiveram os maiores valores positivos, em relação à variação específica em (%) de mudança da área de cada classe no tempo decorrido de 26 anos.

A regressão linear no Excel, tanto na função TENDÊNCIA assim como na função PREVISÃO, prevê valores futuros a partir de valores existentes.

Os valores do Quadro 1 foram utilizados como os novos valores de x, na janela Argumentos da Função, segundo definição do Excel 2010, significando um intervalo ou matriz de valores de x para os quais se deseja que a função TENDÊNCIA forneça valores de y correspondentes. Na constante foi utilizado VERDADEIRO como valor lógico, onde a constante ‘b’ é calculada normalmente se Constante = VERDADEIRO.

Na fórmula no Gráfico 2, 37,267 é referente ao coeficiente angular e - 122,95 ao coeficiente linear. O valor - 122,95 indica onde a constante ‘b’ intercepta o eixo y. O R^2 é o Coeficiente de determinação, sendo uma medida de qualidade. Seu valor está num intervalo de 0 a 1. Quanto mais perto de 1 mais explicativa é a variância de y pela variância de x. O valor R^2 = 0,7506 indica que 75,06% da variância y é explicada pela variância x (LARSON e FARBER, 2010).

No Gráfico 2, os valores em (%), assim determinados nos Argumentos da Função no Excel, do ano de 1987, variável y, com o ano de 2013, variável x, por meio da correlação com os valores do Quadro 1, forneceu valores de y correspondente, como por exemplo, 132 para a classe Pastagem e 268,6 para a classe Solo Exposto. Sendo esta a tendência prevista a ser seguida, pela relação das variações das proporções de cada área ao longo dos 26 anos, na Folha de Venturosa, caso essa mesma proporção de mudança continue. Isso não implica dizer que a classe Solo Exposto daqui a mais 26 anos se equipare a Pastagem em área, pois a diferença em (%) de área em relação à área da Folha de Venturosa é enorme entre elas. Ademais, dificilmente uma região importante social e economicamente, terá seus solos indisponíveis em larga escala, sem que com isso, não interfiram antes por meio de políticas ambientais e sustentáveis. Além de ser uma atitude mais inteligente, numa região dessas existe muito dinheiro envolvido.

No entanto, o aumento do Solo Exposto pode vir a acontecer dentro da área da Folha de Venturosa em um futuro mais distante. O mau uso dos solos somado ao abandono de áreas, antes agricultáveis, pela deficiência hídrica da região junto ao empobrecimento dos solos podem favorecer a exposição e degradação destes solos, pois os dados ao longo dos 26 anos indicam uma tendência a isto, também.

Os valores e a direção dos seguimentos em azul no Gráfico 2, significa a tendência prevista para cada classe de uso e cobertura em relação aos seus valores percentuais contidos no Quadro 1. A linha reta é a tendência linear gerada com a equação da reta.

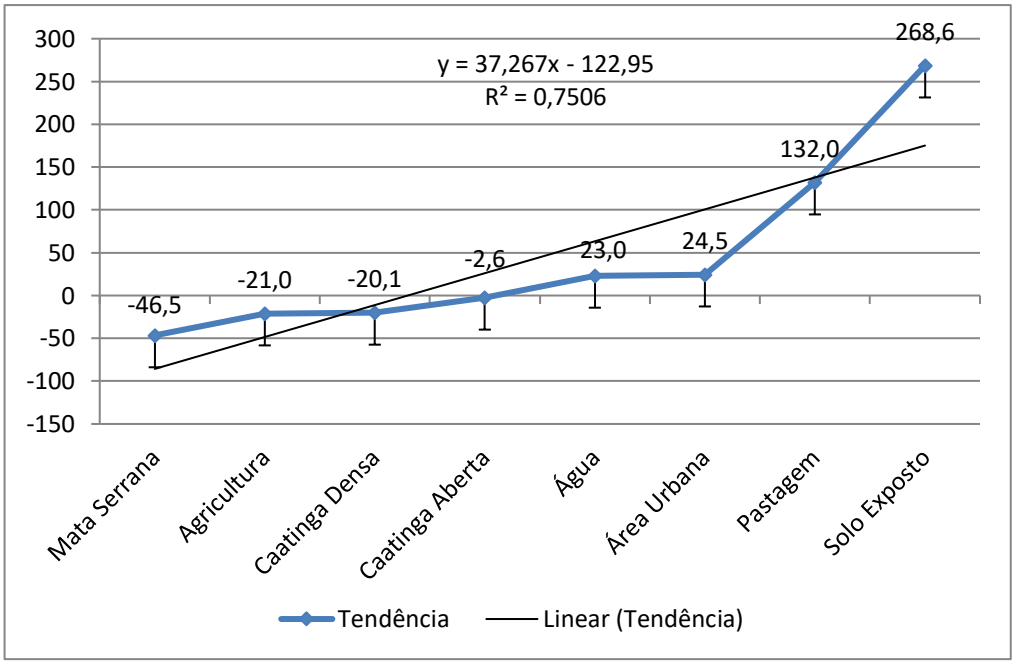


Gráfico 2. Retorna números numa tendência linear que corresponde aos valores referentes das classes de uso e cobertura do Quadro 1, pelo método dos mínimos quadrados.

Na Tabela 4 os valores de cada classe de uso e cobertura da terra comparam entre as duas datas o que existia em toneladas de C independente do tipo de solo, assumindo o valor total de cada classe de uso e cobertura dentro da área de estudo.

Houve uma perda no total de Mg C Área^{-1} em hectares das classes de uso e cobertura do ano de 1987 para 2013 de 1.142.844,25, que equivale a 4,07 % a menos de Mg C no solo em toda a Folha de Venturosa durante esse período. Este valor, aparentemente não muito expressivo, pode não ter sido mais abrupto por causa do acúmulo de C no perfil do solo pela própria vegetação nativa ao longo do tempo, mas quando somada com o C perdido da biomassa da vegetação a diferença

é mais expressiva. Como exemplo a Caatinga Densa que teve uma supressão significativa de 25.088,38 ha, ao contrário da Pastagem, contendo duas classes bem diferentes de uso e cobertura da terra, onde a primeira assumiria valores altos em C e a segunda, valores mais baixos, isto tanto pela diferença de biomassa vegetal entre elas como a capacidade de estocar C no solo através da liteira. Após sua substituição por uma cobertura antrópica o que muda abruptamente é a biomassa acima do solo, mas o que está dentro do solo se perde gradualmente ao longo de anos, refletindo esses valores nitidamente mais tarde.

Tabela 4. Dados de C em valores absolutos (Mg Área^{-1}) e relativos (%).

1987		2013		
Uso e Cobertura	Mg C Área^{-1}	Uso e Cobertura	Mg C Área^{-1}	Variação
Agricultura	7.946.288,55	Agricultura	5.685.680,26	- 2.260.608,29
Água	0	Água	0	0
Área Urbana	0	Área Urbana	0	0
Caatinga Aberta	5.666.276,92	Caatinga Aberta	5.225.037,11	- 441.239,81
Caatinga Densa	10.195.884,13	Caatinga Densa	7.080.232,59	- 3.115.651,54
Mata Serrana	1.144.101,75	Mata Serrana	503.605,86	- 640.495,89
Pastagem	3.107.827,59	Pastagem	8.397.963,15	+ 5.290.135,56
Solo Exposto	9.140,77	Solo Exposto	34.156,49	+ 25.015,72
Total	28.069.519,71		26.926.675,46	-1.142.844,25
Uso e Cobertura	C (%)	Uso e Cobertura	C (%)	Variação
Agricultura	28,31	Agricultura	20,26	- 8,05
Água	0	Água	0	0
Área Urbana	0	Área Urbana	0	0
Caatinga Aberta	20,19	Caatinga Aberta	18,62	- 1,57
Caatinga Densa	36,32	Caatinga Densa	25,22	- 11,1
Mata Serrana	4,08	Mata Serrana	1,79	- 2.29
Pastagem	11,07	Pastagem	29,92	+ 18,85
Solo Exposto	0,03	Solo Exposto	0,12	+ 0,09
Total	100		95,93	- 4,07

Ainda na Tabela 4, a comparação entre os valores de C (%) das classes nos anos de 1987 e 2013 nos indica a sua distribuição percentual do primeiro ano e como é representado no segundo ano, ou seja, o que ele passou a ter em comparação com o que tinha. Esses valores percentuais de 2013 não incidem na distribuição proporcional dos seus valores (absolutos) em Área ha^{-1}, mas a multiplicação do valor de Mg C Área^{-1} por 100 % de cada classe de 2013, pela razão do valor Total de Mg C Área^{-1} do ano de 1987. Caso os valores de C em (%) de 2013 assumissem a distribuição proporcional dos seus dados absolutos ele teria na classe de Agricultura 21,12 % e, somado com as demais classes, o total seria de 100 %. Com a comparação incidida sobre o total do ano de 1987 esse valor baixa

para 20,26 %, e o total de 2013 passa a ser de 95,93 %, porque houve perda de C pela supressão de vegetação nativa por coberturas antropizadas, batendo com os 4,07 % de perda no total de C na Folha de Venturosa. Essa comparação de % é diferente da Tabela 3 porque nela não houve perda de área, mas só substituição entre as classes de uso e cobertura, já que a área da Folha não muda, diferentemente, da Tabela 4 em que essa substituição acarretou em perdas reais do total de C do solo em toneladas, nas diferentes classes de uso e cobertura.

O Gráfico 3, representa a distribuição em porcentagem da quantidade de C nos solos das classes de uso e cobertura de 1987 em comparação a 2013.

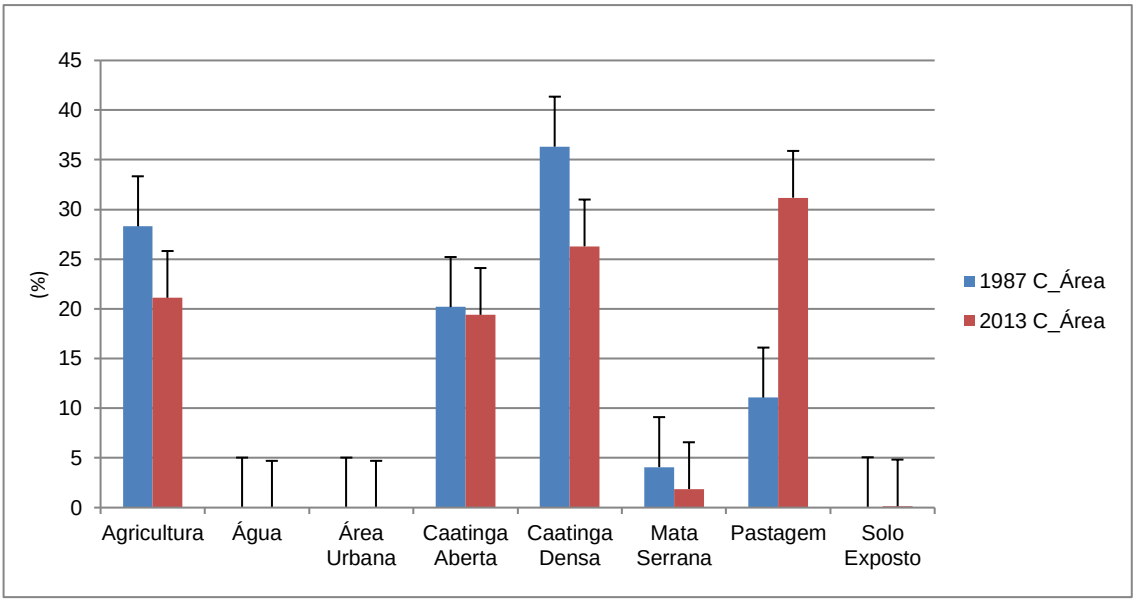


Gráfico 3. Distribuição em (%) do C no solo de cada classe de uso e cobertura em 1987 e 2013.

No Gráfico 3, é mostrado dados percentuais de C maiores em 1987 nas classes Agricultura (28,3), Caatinga Aberta (20,2), Caatinga Densa (36,3) e Mata Serrana (4,1), contra valores em 2013 de (21,1), (19,4), (26,3), e (1,9), respectivamente. No entanto os dados de Pastagem vão de modo contrário às demais classes e com uma diferença acentuada de (11,1) em 1987 para (31,2) em 2013, como que a classe Pastagem ao longo dos 26 anos tivesse estocado C no solo. Porém, isto possivelmente é devido à cobertura anterior ter sido de vegetação nativa, Caatinga Densa, em sua maior parte, e ter armazenado o C ao longo de anos. Fazendo entender que algum tempo após o corte, este C seja uma ação direta da atual classe antrópica.

É mostrado no Quadro 2 os tipos de solos por cada classe de uso e cobertura da terra de 1987 com os valores absolutos (ha) e relativos (%) de área e C da Folha de Venturosa, de acordo com os valores das amostras de solos analisadas em laboratório. Os dados brutos para o Quadro 2 foram obtidos como já citado para a Tabela 3, assim como Tabela 4, de Jesus (2017), porém todo o processo de divisão do total de áreas e Mg C por classes foram gerados neste trabalho.

No Quadro 2 (f), nas classes Caatinga Aberta e Caatinga Densa os valores de 37,73 e 205,62 Mg C ha^{-1}, respectivamente, estão desproporcionais as outras classes do mesmo solo e, possivelmente, não condizente ao valor real, julgando que as demais classes tem valor em torno de 90 Mg C ha^{-1}. Por tanto se faz necessária mais amostras de Neossolo Quartizarênico para estudos posteriores. Alguns valores das classes, Quadro 2 e 3, foram arredondados uma casa decimal para cima, podendo existir diferença de uma casa decimal em algum valor total.

Gráficos em pizza sobre a distribuição das áreas e do carbono em (%) por classes de solos e de uso e cobertura da terra podem ser visualizados no Anexo A.

Quadro 2. Valores de área e de carbono de cada classe de solo por cada classe de uso e cobertura da terra da Folha de Venturosa em 1987.

(a) Argissolo

1987	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	5.717,37	Argissolo + Agricultura	48,75	477.165,60	36,27	83,45
	2.208,83	Argissolo + Caatinga Aberta	18,84	164.431,61	12,50	74,44
	2.236,87	Argissolo + Caatinga Densa	19,07	473.324,77	35,98	211,60
	1.564,04	Argissolo + Pastagem	13,34	200.700,51	15,25	128,32
Total	11.727,1		100,0	1.315.622,48	100,0	

(b) Gleissolo

1987	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	37,09	Gleissolo + Agricultura	37,57	3.095,37	34,77	83,45
	47,64	Gleissolo + Caatinga Aberta	48,26	3.546,64	39,83	74,44
	5,59	Gleissolo + Caatinga Densa	5,66	1.183,29	13,29	211,60
	8,40	Gleissolo + Pastagem	8,51	1.078,34	12,11	128,32
Total	98,73		100,0	8.903,64	100,0	

(c) Latossolo

1987	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	2.705,55	Latossolo + Agricultura	24,38	154.707,38	21,98	57,18
	237,18	Latossolo + Área Urbana	2,14	0,0	0,0	0
	3.674,49	Latossolo + Caatinga Aberta	33,11	232.675,75	33,05	63,32
	2.259,73	Latossolo + Caatinga Densa	20,36	162.863,88	23,13	72,07
	77,65	Latossolo + Mata Serrana	0,70	12.160,87	1,73	156,62
	2.143,04	Latossolo + Pastagem	19,31	141.593,28	20,11	66,07
Total	11.097,64		100,0	704.001,16	100,0	

(d) Luvissolo

1987	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	3.338,20	Luvissolo + Agricultura	11,78	310.952,80	11,10	93,15
	84,14	Luvissolo + Água	0,30	0,0	0,0	0
	6.824,28	Luvissolo + Caatinga Aberta	24,09	495.432,77	17,70	72,59
	13.594,15	Luvissolo + Caatinga Densa	47,99	1.362.379,36	48,66	100,21
	4.440,51	Luvissolo + Pastagem	15,67	626.256,26	22,37	141,03
	48,60	Luvissolo + Solo Exposto	0,17	4.527,78	0,16	93,15
Total	28.329,88		100,0	2.799.548,97	100,0	

(e) Neossolo Litólico

1987	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	8.710,45	Neossolo Litólico + Agricultura	19,27	455.721,02	12,94	52,31
	118,54	Neossolo Litólico + Água	0,26	0,0	0,0	0
	24,04	Neossolo Litólico + Área Urbana	0,05	0,0	0,0	0
	8.959,39	Neossolo Litólico + Caatinga Aberta	19,82	1.033.648,96	29,34	115,37
	21.200,36	Neossolo Litólico + Caatinga Densa	46,91	1.380.159,95	39,20	65,10
	3.210,88	Neossolo Litólico + Mata Serrana	7,10	502.893,80	14,28	156,62
	2.968,74	Neossolo Litólico + Pastagem	6,57	150.164,31	4,26	50,58
Total	45.192,40		100,0	3.522.588,04	100,0	

(f) Neossolo Quartizarênico

1987	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	88,70	Neossolo Quartizarênico + Agricultura	11,15	8.038,99	10,90	90,63
	16,38	Neossolo Quartizarênico + Água	2,06	0,0	0,0	0
	270,54	Neossolo Quartizarênico + Caatinga Aberta	34,0	10.209,46	13,84	37,73
	147,29	Neossolo Quartizarênico + Caatinga Densa	18,51	30.285,90	41,06	205,62
	272,73	Neossolo Quartizarênico + Pastagem	34,28	25.222,06	34,20	92,48
Total	795,63		100,0	73.756,42	100,0	

(g) Neossolo Regolítico

1987	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	50.408,71	Neossolo Regolítico+ Agricultura	58,52	4.307.816,60	48,77	85,45
	392,48	Neossolo Regolítico + Área Urbana	0,46	0,0	0,0	0
	17.611,31	Neossolo Regolítico + Caatinga Aberta	20,44	2.359.986,29	26,72	134,0
	9.600,21	Neossolo Regolítico + Caatinga Densa	11,14	1.451.350,82	16,43	151,17
	636,07	Neossolo Regolítico + Mata Serrana	0,74	99.622,76	1,13	156,62
	7.442,23	Neossolo Regolítico + Pastagem	8,64	609.316,91	6,90	81,87
	47,26	Neossolo Regolítico + Solo Exposto	0,05	4.038,39	0,05	85,45
Total	86.138,27		100,0	8.832.131,77	100,0	

(h) Planossolo

1987	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	27.957,61	Planossolo + Agricultura	23,09	2.228.790,79	20,61	79,72
	175,99	Planossolo + Água	0,15	0,0	0,0	0
	73,90	Planossolo + Área urbana	0,06	0,0	0,0	0
	29.353,65	Planossolo + Caatinga Aberta	24,24	1.366.345,43	12,63	46,54
	40.489,25	Planossolo + Caatinga Densa	33,44	5.334.336,15	49,33	131,74
	3.380,27	Planossolo + Mata Serrana	2,79	529.424,33	4,90	156,62
	19.641,55	Planossolo + Pastagem	16,22	1.353.495,91	12,52	68,90
	7,21	Planossolo + Solo Exposto	0,006	574,61	0,005	79,72
Total	121.079,43		100,0	10.812.967,22	100,0	

No Quadro 3, segue a mesma sequência do Quadro 2, no entanto o ano é de 2013 e muda algumas classes de uso e cobertura sobre os tipos de solos.

Quadro 3. Valores de área e de carbono de cada classe de solo por cada classe de uso e cobertura da terra da Folha de Venturosa em 2013.

(a) Argissolo

2013	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	3.483,95	Argissolo + Agricultura	29,71	290.767,08	19,80	83,45
	0,45	Argissolo + Área Urbana	0,004	0,0	0,0	0
	1.661,75	Argissolo + Caatinga Aberta	14,17	123.705,55	8,42	74,44
	1.658,01	Argissolo + Caatinga Densa	14,14	350.836,94	23,89	211,60
	581,08	Argissolo + Mata Serrana	4,95	146.089,94	9,95	251,40
	4.341,93	Argissolo + Pastagem	37,02	557.165,59	37,93	128,32
Total	11.727,17		100,0	1.468.565,11	100,0	

(b) Gleissolo

2013	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	37,07	Gleissolo + Agricultura	37,55	3.093,80	26,82	83,46
	6,35	Gleissolo + Caatinga Aberta	6,44	473,04	4,10	74,44
	10,46	Gleissolo + Caatinga Densa	10,60	2.213,96	19,19	211,60
	44,84	Gleissolo + Pastagem	45,42	5.753,87	49,90	128,32
Total	98,73		100,0	11.534,67	100,0	

(c) Latossolo

2013	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	2.560,04	Latossolo + Agricultura	23,07	146.386,65	19,37	57,18
	434,48	Latossolo + Área Urbana	3,92	0,0	0,0	0
	2.157,65	Latossolo + Caatinga Aberta	19,44	136.626,46	18,07	63,32
	1.901,13	Latossolo + Caatinga Densa	17,13	137.018,83	18,13	72,07
	758,02	Latossolo + Mata Serrana	6,83	118.722,54	15,70	156,62
	3.286,38	Latossolo + Pastagem	29,61	217.135,21	28,73	66,07
Total	11.097,70		100,0	755.889,69	100,0	

(d) Luvissolo

2013	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	154,82	Luvissolo + Agricultura	0,55	14.421,06	0,45	93,15
	84,05	Luvissolo + Água	0,30	0,0	0,0	0
	6.928,40	Luvissolo + Caatinga Aberta	24,46	502.991,24	15,60	72,59
	6.724,01	Luvissolo + Caatinga Densa	23,73	673.867,08	20,89	100,21
	14.389,68	Luvissolo + Pastagem	50,79	2.029.410,83	62,92	141,03
	48,90	Luvissolo + Solo Exposto	0,17	45.55,42	0,14	93,15
Total	28.329,86		100,0	3.225.245,63	100,0	

(e) Neossolo Litólico

2013	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	3.943,32	Neossolo Litólico + Agricultura	8,73	206.310,12	5,82	52,31
	118,54	Neossolo Litólico + Água	0,26	0,0	0,0	0
	24,21	Neossolo Litólico + Área Urbana	0,05	0,0	0,0	0
	13.341,12	Neossolo Litólico + Caatinga Aberta	29,52	1.539.171,65	43,42	115,37
	21.115,72	Neossolo Litólico + Caatinga Densa	46,72	1.374.649,73	38,78	65,10
	873,46	Neossolo Litólico + Mata Serrana	1,94	136.803,32	3,86	156,62
	5.692,46	Neossolo Litólico + Pastagem	12,59	287.934,99	8,12	50,58
	83,64	Neossolo Litólico + Solo Exposto	0,19	4.376,06	0,12	52,31
Total	45.192,47		100,0	3.544.869,83	100,0	

(f) Neossolo Quartizarênico

2013	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	16,47	Neossolo Quartizarênico + Água	2,07	0,0	0,0	0
	235,79	Neossolo Quartizarênico + Caatinga Aberta	29,64	8.898,29	13,07	37,73
	78,98	Neossolo Quartizarênico + Caatinga Densa	9,92	16.239,49	23,85	205,62
	464,39	Neossolo Quartizarênico + Pastagem	58,37	42.947,62	63,08	92,48
Total	795,63		100,0	68.085,41	100,0	

(g) Neossolo Regolítico

2013	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	41.973,56	Neossolo Regolítico+ Agricultura	48,73	3.586.967,55	42,29	85,45
	393,81	Neossolo Regolítico + Área Urbana	0,46	0,0	0,0	0
	11.825,91	Neossolo Regolítico + Caatinga Aberta	13,73	1.584.719,68	18,68	134,00
	9.440,71	Neossolo Regolítico + Caatinga Densa	10,96	1.427.236,59	16,83	151,17
	545,67	Neossolo Regolítico + Mata Serrana	0,63	85.464,51	1,01	156,62
	21.886,98	Neossolo Regolítico + Pastagem	25,41	1.791.950,22	21,12	81,87
	71,49	Neossolo Regolítico + Solo Exposto	0,08	6.109,24	0,07	85,45
Total	86.138,13		100,0	8.482.447,80	100,0	

(h) Planossolo

2013	Área ha^{-1}	Solo + Uso e Cobertura	Área ha^{-1} (%)	C Área^{-1}	C Área^{-1} (%)	Mg C ha^{-1}
Subtotal	18.034,72	Planossolo + Agricultura	14,89	1.437.734,0	15,35	79,72
	277,07	Planossolo + Água	0,23	0,0	0,0	0
	73,88	Planossolo + Área Urbana	0,06	0,0	0,0	0
	28.539,56	Planossolo + Caatinga Aberta	23,57	1.328.451,18	14,18	46,54
	23.516,06	Planossolo + Caatinga Densa	19,42	3.098.169,96	33,08	131,74
	105,51	Planossolo + Mata Serrana	0,09	16.525,55	0,18	156,62
	50.292,75	Planossolo + Pastagem	41,54	3.465.664,80	37,0	68,90
	239,79	Planossolo + Solo Exposto	0,20	19.115,78	0,20	79,72
Total	121.079,34		100,0	9.365.661,27	100,0	

Os valores gerais de uso e cobertura da terra por cada classe de solo podem ser vistos no Quadro 4, a seguir. A *Média Mg C ha^{-1}* foi gerada pela soma do total de valores de Mg C ha^{-1} de cada uso e cobertura pela razão do número de termos desses valores, sendo baseado no número de classes de solos que são oito. A *Mediana Mg C ha^{-1}* mede o valor central dos termos de cada classe de uso e cobertura, não sendo sensível aos valores extremos, ou seja, valores que fogem muito da tendência central, que não são representativos ao todo.

A *Diferença Mg C ha^{-1}* e *(%)* tem como referência a Mata Serrana, em relação as demais classes, por ela ter os maiores valores de C com 0 e 100 como valores iniciais, respectivamente. A *Diferença Mg C ha^{-1}* baseia-se na diferença de uma classe para outra imediatamente superior a ela.

Quadro 4. Valores gerais de C das classes de solos e de uso e cobertura da terra.

	Mata Serrana	Caatinga Densa	Pastagem	Agricultura	Solo Exposto	Caatinga Aberta	Água	Área Urbana	
Mg C ha^{-1}	251,40	211,60	128,32	83,45	83,45	74,44	0	0	Argissolo
	251,40	211,60	128,32	83,45	83,45	74,44	0	0	Gleissolo
	156,62	72,07	66,07	57,18	57,18	63,32	0	0	Latossolo
	156,62	100,21	141,03	93,15	93,15	72,59	0	0	Luvissolo
	156,62	65,10	50,58	52,31	52,31	115,37	0	0	Neossolo Litólico
	156,62	205,62	92,48	90,63	90,63	37,73	0	0	Neossolo Quartizarênico
	156,62	151,17	81,87	85,45	85,45	134,00	0	0	Neossolo Regolítico
	156,62	131,74	68,90	79,72	79,72	46,54	0	0	Planossolo
Média Mg C ha^{-1}	180,31	143,64	94,69	78,17	78,17	77,30	0	0	
Mediana Mg C ha^{-1}	156,62	141,46	87,17	83,45	83,45	73,52	0	0	
Diferença Mg C ha^{-1}	0	-36,67	-85,61	-102,14	-102,14	-103,01	-180,31	-180,31	
(%)	100	79,66	52,51	43,35	43,35	42,87	0	0	

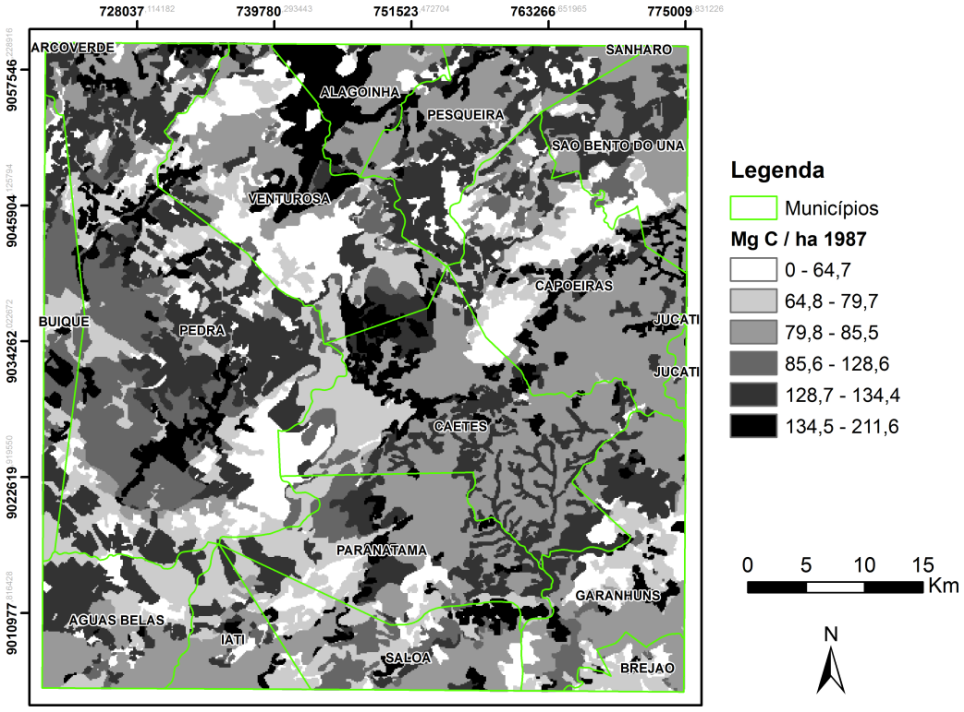
As classes foram escolhidas pelos valores em ordem decrescente e correspondem à região do Agreste. Como exemplo, a Caatinga Densa, segunda maior classe em valor de C, representa 79,66 % da média total de estoque de carbono no solo comparado à Mata Serrana, por esta ter maior capacidade de estocar C que as demais classes. Ainda a Caatinga Densa em *Diferença Mg C ha^{-1}* tem 36,67 a menos que a Mata Serrana em média total de Mg C ha^{-1}, sendo isto apenas a subtração da média total da Mata Serrana 180,31 pela da Caatinga Densa 143,64 e, assim sucessivamente, com todas as outras classes. A Água e Área Urbana não geraram *Média de Mg C ha^{-1}* por este valor não existir ou ser desprezível. No entanto é sabido que 'água' possui valores de C, mas por não ter sido analisado para este trabalho foi decidido ela permanecer sem valor computado.

Destaca-se que a classe Agricultura e Solo Exposto contém os mesmos valores de Mg C ha^{-1} por definição dos pesquisadores do DEN, onde as análises feitas em solos expostos poderiam corresponder a solos antes cultivados, pelo caso de terem sidos abandonados logo após a colheita de determinadas culturas e, com isso, apresentarem valores de C iguais. Tais dados de C no solo, da classe Solo Exposto, devem ter maiores e mais específicas amostras para estudos futuros.

Alguns valores de C do uso e cobertura de algumas classes como Gleissolo não constam nos Quadros 2 e 3, mas no Quadro 4. Isto pelo fato de não existirem, particularmente, dentro da área da Folha de Venturosa. Porém foram definidos por pesquisadores do DEN para o Agreste por valores mais adequados para esta região.

Na Figura 18 é observada, em representação *raster*, com seis níveis em cor cinza uma distribuição em toda a Folha de Venturosa de valores de Mg C ha^{-1}, valor médio para cada polígono do mosaico, como método de classificação no ArcGIS 10.1, onde as cores mais claras a partir do branco, tem níveis baixos de C e cores mais escuras até preto, níveis mais altos.

(a)
1987



(b)
2013

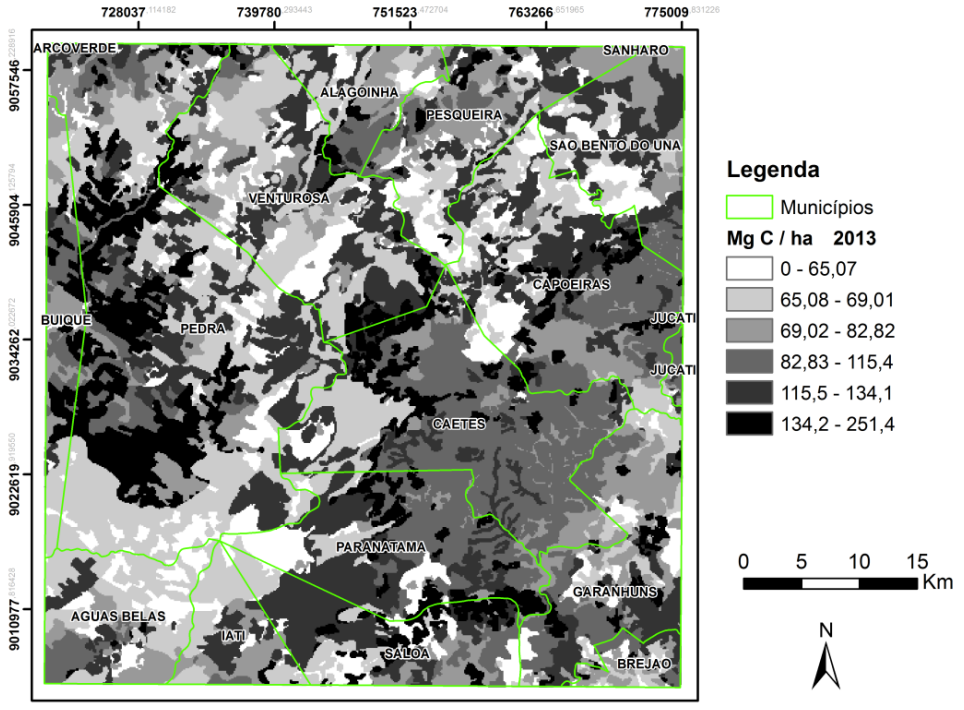


Figura 18. Níveis de cinza em representação *raster* da distribuição de Mg C ha^{-1} do solo na área da Folha de Venturosa.

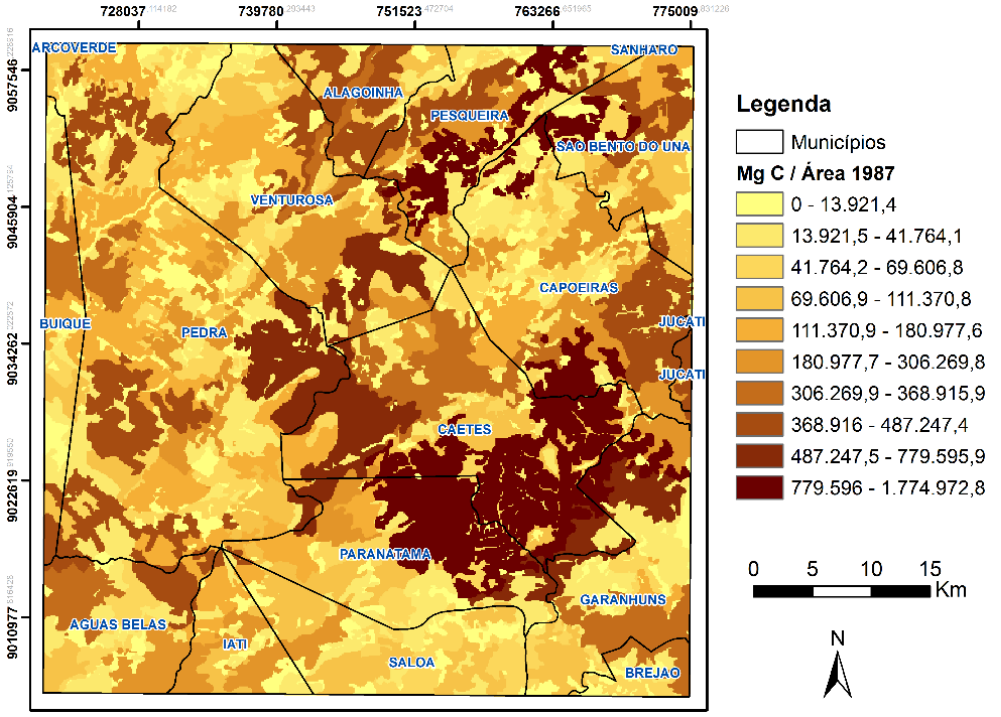
As representações gráficas em *raster*, Figura 18, foram obtidas a partir conversão da representação vetorial na ferramenta *To Raster,* na caixa *ArcToolBox,* seguida por *Conversion Tools* do ArcGIS 10.1. O tipo de atribuição de valores nas células foi a *Área Máxima* que seleciona a feição com a maior área de sobreposição na célula. O método usado na distribuição dos níveis na área com a representação visual em *raster* foi o de *Quantil,* por este ter representado melhor os resultados de distribuição de C ha^{-1}, em comparação aos demais resultados com representações vetoriais.

A Figura 19 é uma representação *raster* que segue o mesmo método da Figura 18 geradas no ArcGIS 10.1, e que demonstra em uma escala única de cor em gradiente as distribuições de Mg C $Área^{-1}$ na Folha de Venturosa, onde a cor mais clara indica regiões com menor concentração de C, ou com áreas pequenas, possuindo um somatório de C menor. Da mesma forma as cores mais escuras para concentrações maiores de C.

Boa parte dos municípios de Caetés e Paranatama possuem cores mais escuras, maior concentração de C, no entanto, isso pode estar relacionado não necessariamente, no tipo de solo ou classe de cobertura e uso, já que os dois municípios tem predominância de Neossolo Regolítico e Litólico, que estruturalmente, não são favoráveis a armazenarem carbono, mas no tamanho do polígono do mapa que é grande e, com isso, somar um total maior de C que as demais áreas. Uma vez que, a diminuição do número de polígonos pode acarretar o aumento de áreas contíguas. Ressalta-se, que o mapa sobre o uso e cobertura da terra de 1987 da área da Folha de Venturosa possui 3.463 polígonos e o mapa de 2013 possui 1.161 polígonos, permitindo assim, que o mapa de 2013 possua mais áreas contíguas entre os limites da área da Folha de Venturosa.

Todavia, há regiões com áreas pequenas, mas com concentrações altas de C, como a do centro-oeste e norte do município de Alagoinha no norte da Folha de Venturosa que em 1987 tinha nessa região uma cobertura de Mata Serrana que foi perdida ao longo dos 26 anos.

(a)
1987



(b)
2013

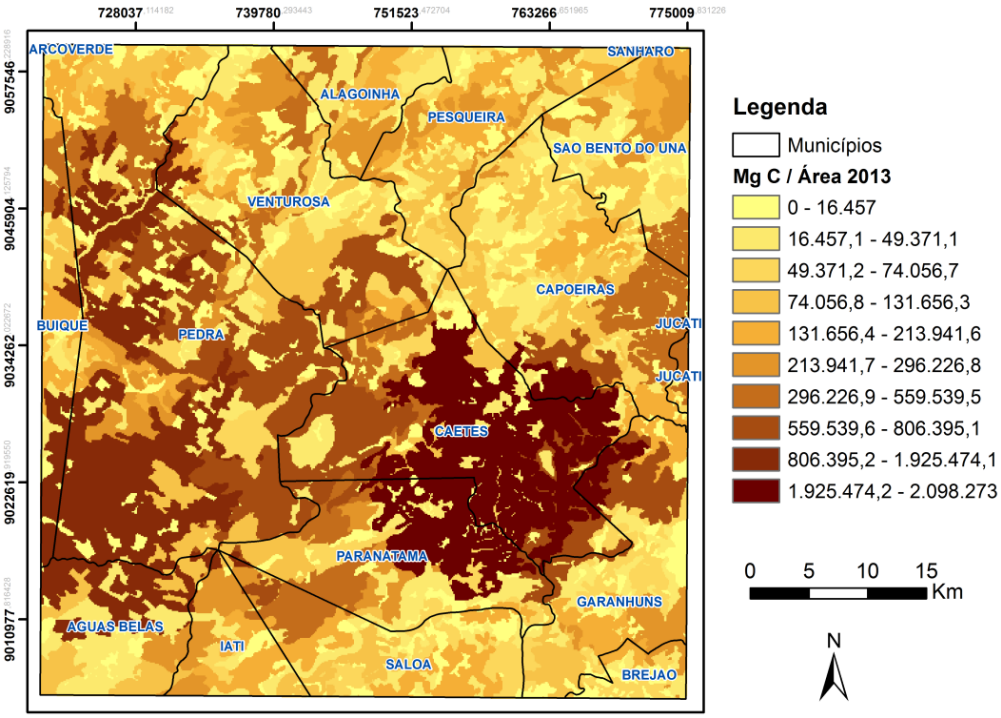


Figura 19. Níveis de C do solo em Mg Área^{-1} e suas mudanças nos anos de 1987 (a) e 2013 (b).

Também, na Figura 19, é observado um aumento de áreas em cor mais escuras relacionadas a valores mais altos de C. O aumento de C nestas áreas podem ser apoiadas na Figura 20, como ganho de C de 1987 a 2013. Já nos municípios de Pesqueira e São Bento do Una é observada diminuição de áreas com valores mais altos em C nos solos.

Outro dado importante a ser destacado é a quantidade em média geral de carbono por hectare na Folha de Venturosa para a data de 1987 e 2013 conforme Tabela 5.

Tabela 5. Dados da quantidade total de Mg de Carbono no solo da Folha de Venturosa e a média geral de Mg Carbono ha^{-1} dos dois anos em comparação com a área total em hectare (ha).

	Dimensão	1987	2013	Variação
		Mg C		Mg C
Folha de Venturosa	304.459 ha	28.069.519,71	26.926.675,46	- 1.142.844,25
Por hectare	10.000 m^2	92,19474448	88,44105597	- 3,753688511
(%)		100	95,93	- 4,071477753
Perda por ha ano^{-1}	- 3,75368	÷	26 anos	- 0,144372635

Como já tratado na Tabela 5, a perda de 1.142.844,25 Mg C do solo em toda a Folha de Venturosa do ano de 1987 para 2013, acarretado pela mudança de uso e cobertura da terra, ocasionou a liberação dessa quantidade de carbono para a atmosfera em forma de CO_2.

Na relação dos valores agora por hectare, em 1987 a área limitada pela Folha de Venturosa possuía 92,19 Mg C ha^{-1} e, em 2013 passou para 88,44 Mg C ha^{-1}, com uma perda em média geral de 3,75 Mg C ha^{-1} e em porcentagem de 4,07 %, Tabela 5. Esses valores não correspondem a uma distribuição homogênea por toda a área, onde os valores de Mg C ha^{-1} variam, mas em média geral através da razão do total perdido de Mg C Área^{-1}, dos polígonos gerados na interseção das classes de solos e de uso e cobertura dos dois anos, com a dimensão da Folha de Venturosa em hectares. Ainda na Tabela 5, a perda de carbono em Mg ha ano^{-1} foi de 0,144 ou 144 quilos (Kg) de C em média.

Na Figura 20, há uma interseção dos mapas das datas 1987 e 2013 com a variação do que se manteve (igual) na área com variação de -0,5 a 0,5 Mg C Área^{-1}, ou seja, até 1 tonelada de C do solo foi considerado sem variação expressiva em toda área ao longo dos 26 anos, (perda) para valores menores que -0,5 Mg C Área^{-1} e (ganho) para valores maiores que 0,5 Mg C Área^{-1}. Esta condição foi usada linguagem de programação VBscript na calculadora de campo do ArcGIS 10.1 de acordo com a Figura 21.

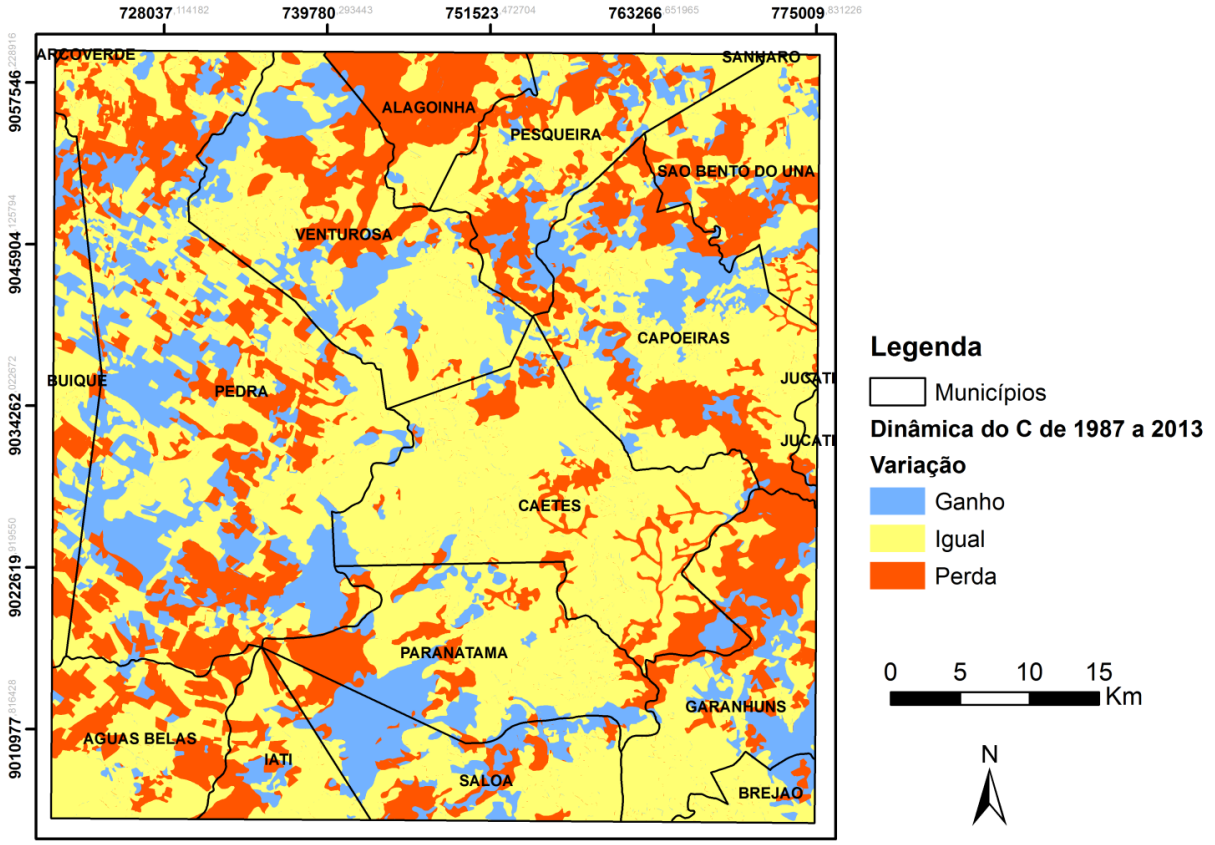


Figura 20. Variações em cores da área de estudo com relação ao fluxo de C do solo.

Tabela 6. Distribuição proporcional das classes de variação em toda a área da Folha de Venturosa.

	Divisão	
	ha	%
Ganho	53.777,65	17,66
Igual	170.080,05	55,87
Perda	80.602,12	26,47
Total	304.459,82	100

Na Tabela 6, existem os valores da divisão proporcional que cada unidade da classe de variação ocupa na Folha de Venturosa. É observado que a área de Perda tem 80.602 ha contra 53.777 ha de Ganho, ou em valores relativos de 26,47 % contra 17,66 %, respectivamente. A área de Perda de C tem 26.824 ha ou 8,81 % a mais que a área de Ganho, sendo um dos indicativos que corroboram o valor de perda de C do solo para a atmosfera pela mudança de uso e cobertura na área Folha de Venturosa, relacionados aos 1.142.844,25 Mg indicados na Tabela 4.

Na Figura 21 é mostrado o processo na calculadora de campo do ArcGIS 10.1 para gerar uma condição na programação VBscript.

É necessário marcar a caixa *Show Codeblock,* gerar a condição na caixa *Pre-Logic Script Code* e selecionar o campo a ser mudado na caixa abaixo que leva o próprio nome deste campo, Figura 21.

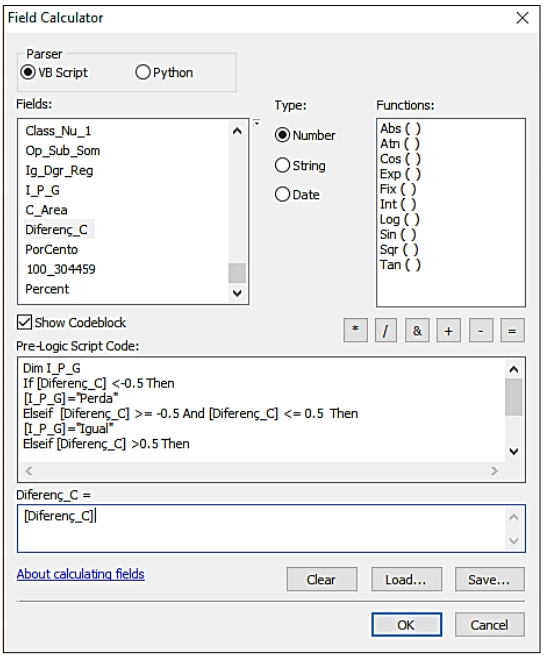


Figura 21. Visão da Calculadora de Campo do ArcGIS10.1. Condição com VBscript.

Abaixo é mostrada a condição para gerar a variação da Figura 20.

```
Dim I_P_G
If [Diferenç_C] < -0.5 Then
[I_P_G] = "Perda"
Elseif  [Diferenç_C] >= -0.5 And [Diferenç_C] <= 0.5  Then
[I_P_G] = "Igual"
Elseif [Diferenç_C] > 0.5 Then
[I_P_G] = "Ganho"

End If
```

Foi criado na Tabela de Atributos do ArcGIS 10.1 o campo *Percent* e gerado uma condição para que processasse os valores em porcentagem das classes Perda, Igual e Ganho, Figura 22.

Com os campos *Diferenç_C* que é o resultado de *C_Area_1* - *C_Area*, de 2013 e 1987, respectivamente, e *I_P_G* (Igual, Perda e Ganho) como sendo o resultado do *Diferenç_C,* em que os valores dos números inteiros deste campo foi dada a condição de: < - 0,5 = Perda; - 0,5 a 0,5 = Igual e > 0,5 = Ganho.

Após, foi criado o campo *100_304459* que representa os cem por cento divididos pela área em ha da Folha de Venturosa gerando um valor de 0,00032845. Com este valor multiplicou-se o campo de *Area_ha* de cada polígono gerando diversos valores em porcentagem de área. Estes valores foram atribuídos ao campo *PorCento* na tabela de atributos. Por fim foi atribuído no campo *Percent* a soma dos dados das linhas do campo *PorCento* (valores em porcentagem da área por ha) e que está relacionado ao campo *Diferenç_C* que possui os valores < - 0,5; - 0,5 a 0,5 e > 0,5. Onde < - 0,5 = Perda representa (80.602,12 ha ou 26, 47 %), - 0,5 a 0,5 = Igual representa (170.080,05 ha ou 55,86 %) e > 0,5 = Ganho representa (53.777,65 ou 17,66 %).

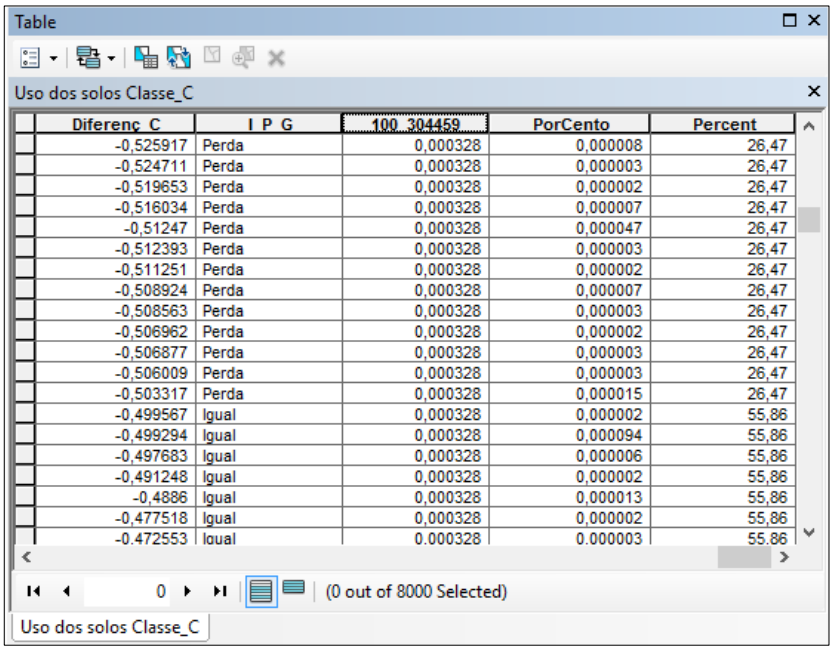


Figura 22. Campos criados na Tabela de Atributos do ArcGIS 10.1 para gerar os valores percentuais de Perda, Igual e Ganho de C.

A Figura 23 mostra a Folha de Venturosa distribuída em níveis de C com valores considerados Baixo, Médio e Alto em Mg ha^{-1}. Percebe-se uma maior distribuição de classes de Médio valor no ano de 1987 em relação a 2013 e, também, um aumento de áreas com Baixo valor de C no ano de 2013.

Os termos Baixo, Médio e Alto foram escolhidos de forma deliberada para este trabalho, em meio à divisão por três da diferença do maior pelo menor valor em Mg C ha^{-1} para cada data. Porém, o ano de 2013 como tem seu maior valor em 251 Mg não foi dividido pela diferença entre o maior e menor valor, mas seguiu a diferença de 1987 que tem 211 Mg como maior valor. Isto para que fosse respeitada a mesma

diferença entre Baixo e Médio das duas datas, por estes serem os termos de maior abrangência na área da Folha de Venturosa e retornarem resultados mais próximos da realidade. A diferença de 40 Mg a mais de 2013 foi acrescida normalmente no termo Alto deste ano.

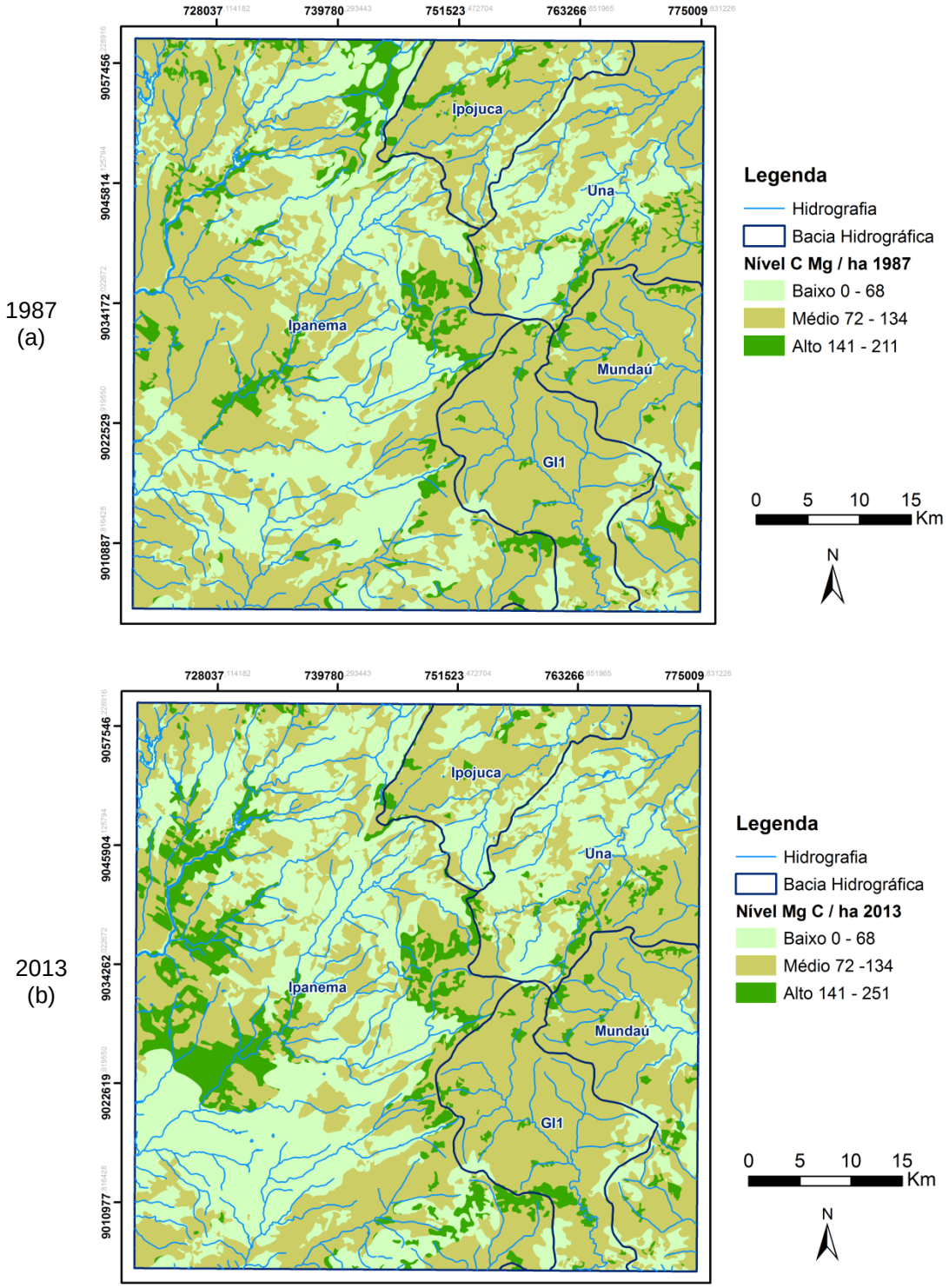
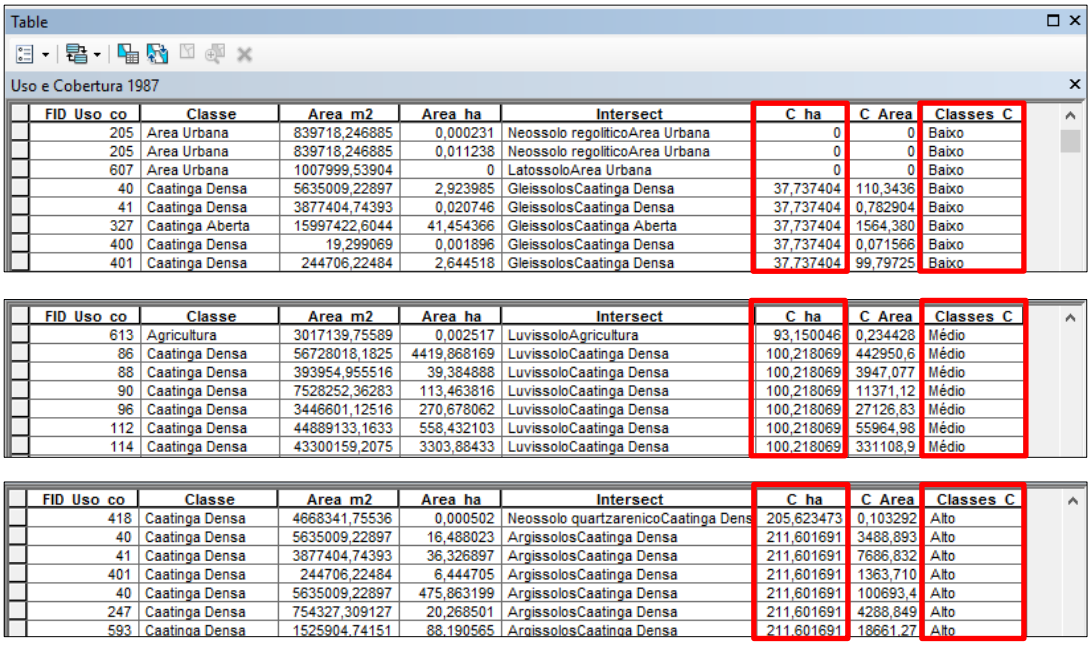


Figura 23. Distribuição de níveis de C em Mg ha^{-1} para 1987 (a) e 2013 (b).

Os níveis de C nas datas de 1987 e 2013 foram gerados na Tabela de Atributos do ArcGIS 10.1 por meio de um novo campo *Classes C* e através da seleção de valores de Mg C ha^{-1} no campo *C ha* dos dois anos, Figura 24.

Classificou-se na Calculadora de Campo da Tabela de Atributos para os valores de 0 a 68 o nível Baixo, para 72 a 134 Médio e para 141 a 211 e a 251 como Alto.



Table

Uso e Cobertura 1987

FID_Uso_co	Classe	Area_m2	Area_ha	Intersect	C_ha	C_Area	Classes_C
205	Area Urbana	839718,246885	0,000231	Neossolo regoliticoArea Urbana	0	0	Baixo
205	Area Urbana	839718,246885	0,011238	Neossolo regoliticoArea Urbana	0	0	Baixo
607	Area Urbana	1007999,53904	0	LatossoloArea Urbana	0	0	Baixo
40	Caatinga Densa	5635009,22897	2,923985	GleissolosCaatinga Densa	37,737404	110,3436	Baixo
41	Caatinga Densa	3877404,74393	0,020746	GleissolosCaatinga Densa	37,737404	0,782904	Baixo
327	Caatinga Aberta	15997422,6044	41,454366	GleissolosCaatinga Aberta	37,737404	1564,380	Baixo
400	Caatinga Densa	19,299069	0,001896	GleissolosCaatinga Densa	37,737404	0,071566	Baixo
401	Caatinga Densa	244706,22484	2,644518	GleissolosCaatinga Densa	37,737404	99,79725	Baixo

FID_Uso_co	Classe	Area_m2	Area_ha	Intersect	C_ha	C_Area	Classes_C
613	Agricultura	3017139,75589	0,002517	LuvissoloAgricultura	93,150046	0,234428	Médio
86	Caatinga Densa	56728018,1825	4419,868169	LuvissoloCaatinga Densa	100,218069	442950,6	Médio
88	Caatinga Densa	393954,955516	39,384888	LuvissoloCaatinga Densa	100,218069	3947,077	Médio
90	Caatinga Densa	7528252,36283	113,463816	LuvissoloCaatinga Densa	100,218069	11371,12	Médio
96	Caatinga Densa	3446601,12516	270,678062	LuvissoloCaatinga Densa	100,218069	27126,83	Médio
112	Caatinga Densa	44889133,1633	558,432103	LuvissoloCaatinga Densa	100,218069	55964,98	Médio
114	Caatinga Densa	43300159,2075	3303,88433	LuvissoloCaatinga Densa	100,218069	331108,9	Médio

FID_Uso_co	Classe	Area_m2	Area_ha	Intersect	C_ha	C_Area	Classes_C
418	Caatinga Densa	4668341,75536	0,000502	Neossolo quartzarenicoCaatinga Dens	205,623473	0,103292	Alto
40	Caatinga Densa	5635009,22897	16,488023	ArgissolosCaatinga Densa	211,601691	3488,893	Alto
41	Caatinga Densa	3877404,74393	36,326897	ArgissolosCaatinga Densa	211,601691	7686,832	Alto
401	Caatinga Densa	244706,22484	6,444705	ArgissolosCaatinga Densa	211,601691	1363,710	Alto
40	Caatinga Densa	5635009,22897	475,863199	ArgissolosCaatinga Densa	211,601691	100693,4	Alto
247	Caatinga Densa	754327,309127	20,268501	ArgissolosCaatinga Densa	211,601691	4288,849	Alto
593	Caatinga Densa	1525904,74151	88,190565	ArgissolosCaatinga Densa	211,601691	18661,27	Alto

Figura 24. Tabela de Atributos dos dois mapas com o novo campo classificado por níveis de C.

Abaixo é mostrada a linguagem de programação feita na Calculadora de Campo do ArcGIS 10.1, sendo copiado os valores do campo *C_ha* e transformados em textos para o campo *Classes_C* na Tabela de Atributos de 1987 e 2013, passando depois para o mapa criado pelo *Intersect* dos dois anos.

```
Dim Classes_C
If [C_ha] <= 68 Then
[Classes_C] = "Baixo"
Elseif [C_ha] >= 72 And [C_ha] <= 134 Then
[Classes_C] = "Médio"
Elseif [C_ha] >= 141 Then
[Classes] = "Alto"

End If
```

A Figura 25 mostra o uso e cobertura da terra que tem oito classes, agora subdivididas em três classes, com Agropecuária (Agricultura, Pastagem e Solo Exposto), Outros (Água e Área Urbana) e Área Florestada (Mata Serrana, Caatinga Densa e Caatinga Aberta). Entre os municípios de maiores mudanças há de se destacar Pedra e Venturosa que perderam bastante Área Florestada para a Agropecuária. Principalmente devido ao aumento da pastagem.

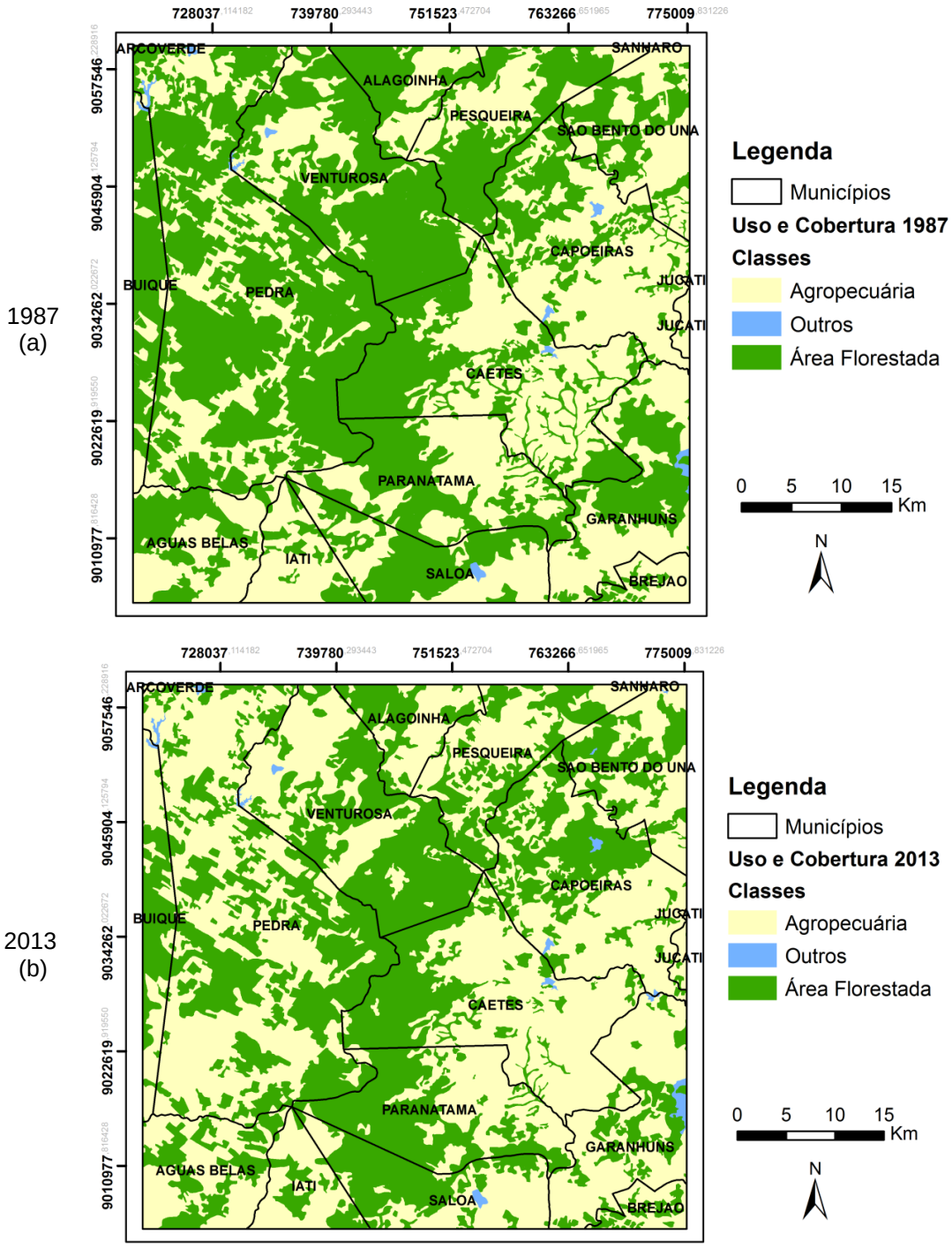
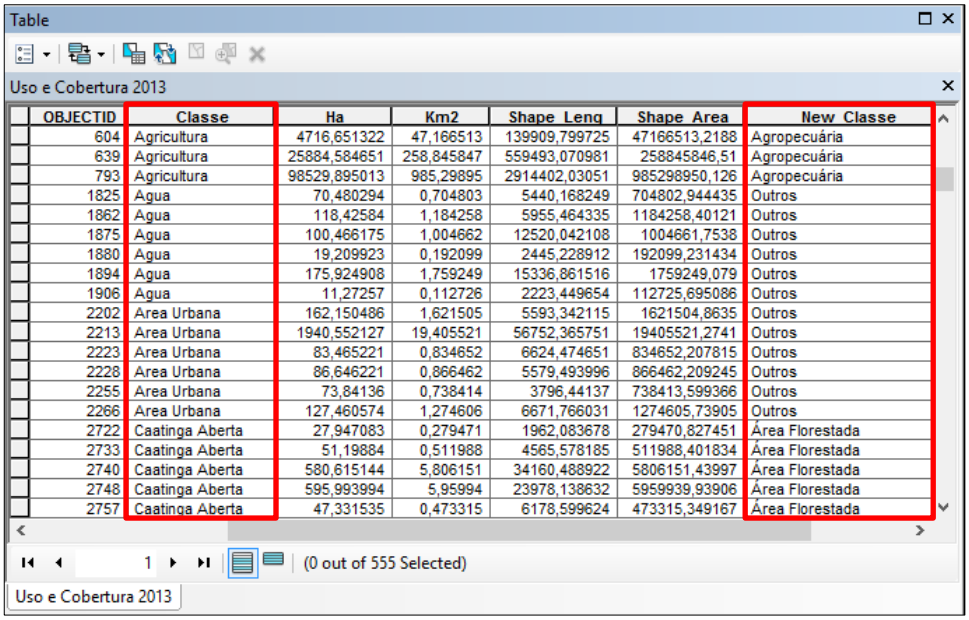


Figura 25. Mudanças de uso e cobertura na Folha de Venturosa subdividida em três tipos de classes sobre a área de cada município de 1987 (a) e 2013 (b).

Foi criada uma condição para o campo *New_Class* com a calculadora de campo do ArcGIS 10.1, em que os dados no campo *Classe* determinasse cada classe do novo campo destacado em vermelho, Figura 26. Os dados Agricultura, Pastagem e Solo Exposto definiram o novo campo como (Agropecuária) e assim para Área Florestada e Outros, conforme explicado na página anterior.



OBJECTID	Classe	Ha	Km2	Shape_Leng	Shape_Area	New_Classe
604	Agricultura	4716,651322	47,166513	139909,799725	47166513,2188	Agropecuária
639	Agricultura	25884,584651	258,845847	559493,070981	258845846,51	Agropecuária
793	Agricultura	98529,895013	985,29895	2914402,03051	985298950,126	Agropecuária
1825	Agua	70,480294	0,704803	5440,168249	704802,944435	Outros
1862	Agua	118,42584	1,184258	5955,464335	1184258,40121	Outros
1875	Agua	100,466175	1,004662	12520,042108	1004661,7538	Outros
1880	Agua	19,209923	0,192099	2445,228912	192099,231434	Outros
1894	Agua	175,924908	1,759249	15336,861516	1759249,079	Outros
1906	Agua	11,27257	0,112726	2223,449654	112725,695086	Outros
2202	Area Urbana	162,150486	1,621505	5593,342115	1621504,8635	Outros
2213	Area Urbana	1940,552127	19,405521	56752,365751	19405521,2741	Outros
2223	Area Urbana	83,465221	0,834652	6624,474651	834652,207815	Outros
2228	Area Urbana	86,646221	0,866462	5579,493996	866462,209245	Outros
2255	Area Urbana	73,84136	0,738414	3796,44137	738413,599366	Outros
2266	Area Urbana	127,460574	1,274606	6671,766031	1274605,73905	Outros
2722	Caatinga Aberta	27,947083	0,279471	1962,083678	279470,827451	Área Florestada
2733	Caatinga Aberta	51,19884	0,511988	4565,578185	511988,401834	Área Florestada
2740	Caatinga Aberta	580,615144	5,806151	34160,488922	5806151,43997	Área Florestada
2748	Caatinga Aberta	595,993994	5,95994	23978,138632	5959939,93906	Área Florestada
2757	Caatinga Aberta	47,331535	0,473315	6178,599624	473315,349167	Área Florestada

Figura 26. Tabela de Atributos com os campos *Classe* e *New_Classe* na criação das classes Agropecuária, Outros e Área Florestada no uso e cobertura de 1987 e 2013.

Condição gerada na calculadora de campo com linguagem de programação VBscript:

```
Dim New_Classe
If [Classe] = "Caatinga Aberta" Then
[New_Classe] = "Área Florestada"
Elseif [Classe] = "Caatinga Densa" Then
[New_Classe] = "Área Florestada"
Elseif [Classe] = "Mata Serrana" Then
[New_Classe] = "Área Florestada"
Elseif [Classe] = "Agricultura" Then
[New_Classe] = "Agropecuária"
Elseif [Classe] = "Pastagem" Then
[New_Classe] = "Agropecuária"
Elseif [Classe] = "Solo Exposto" Then
[New_Classe] = "Agropecuária"
Elseif [Classe] = "Area Urbana" Then
[New_Classe] = "Outros"
Elseif [Classe] = "Agua" Then
[New_Classe] = "Outros"

End If
```

A Figura 27 trata da dinâmica do uso e cobertura da terra entre 1987 e 2013. As divisões das classes foram feitas baseadas na interseção do uso e cobertura da terra na Folha de Venturosa nas duas datas, porém com a substituição dos termos de cobertura por novos termos.

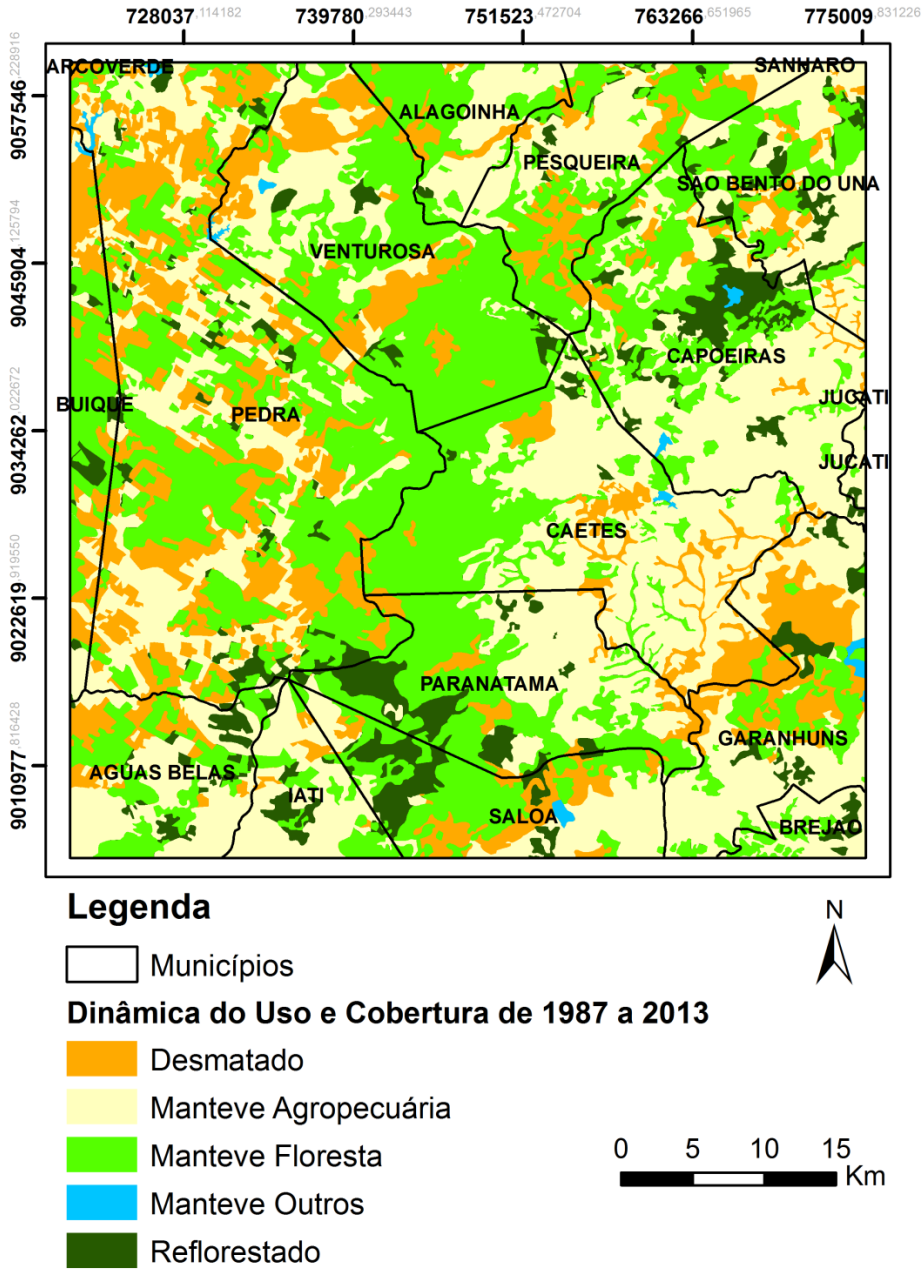


Figura 27. Dinâmica do uso e cobertura da terra na Folha de Venturosa nas datas de 1987 e 2013 relacionando o que manteve-se, foi desmatado e reflorestado.

Na Figura 27, as classes foram definidas do ano de 1987 para 2013 no *intersect* da tabela de atributos do mapa, ou seja, o primeiro termo constitui de 1987 e o segundo de 2013, separados aqui no texto de modo simbólico pelo sinal de mais (+), representando a mudança de um estado para outro pelo que era coberta a área

e como ficou. Então a relação segue como: Desmatado (Área Florestada^{1987} + Agropecuária^{2013}; Área Florestada + Outros; Agropecuária + Outros; Outros + Agropecuária), Manteve Agropecuária (Agropecuária + Agropecuária), Manteve Floresta (Área Florestada + Área Florestada), Manteve Outros (Outros + Outros) e Reflorestado (Agropecuária + Área Florestada; Outros + Área Florestada). Os termos Agropecuária, Área Florestada e Outros estão baseados na condição da Figura 25, como explicado. Entre os municípios que tiveram mais mudanças do uso e cobertura tanto na área desmatada como reflorestada foi o de Pedra, e os que tiveram maior área reflorestada foram Capoeiras, Paranatama e Saloá confirmando as mesmas áreas de 'Ganho' de C mostrados na Figura 20. As áreas que mantiveram florestas podem vir a acumular C no solo de forma significativa ao longo do tempo ou não, dependendo do tipo de solo e do tempo da cobertura florestada, como verificado também, na Figura 20 e 27, nos municípios de Pedra, Caetés e Venturosa que em algumas áreas com cobertura florestada tiveram 'Ganho' ou ficaram 'Igual' no nível de C no solo.

A condição gerada na calculadora de campo referente ao campo *Reflor_Desm* da Tabela de Atributos do ArcGIS 10.1, na Figura 27, segue abaixo:

```
Dim Reflor_Desm
If [Intersect] = "Área FlorestadaÁrea Florestada" Then
 [Reflor_Desm] = "Manteve Floresta"
Elseif [Intersect] = "Área FlorestadaAgropecuária" Then
 [Reflor_Desm] = "Desmatou"
Elseif [Intersect] = "Área FlorestadaOutros" Then
 [Reflor_Desm] = "Desmatou"
Elseif [Intersect] = "AgropecuáriaAgropecuária" Then
 [Reflor_Desm] = "Manteve Agropecuária"
Elseif [Intersect] = "AgropecuáriaÁrea Florestada" Then
 [Reflor_Desm] = "Reflorestou"
Elseif [Intersect] = "AgropecuáriaOutros" Then
 [Reflor_Desm] = "Desmatou"
Elseif [Intersect] = "OutrosOutros" Then
 [Reflor_Desm] = "Manteve Outros"
Elseif [Intersect] = "OutrosÁrea Florestada" Then
 [Reflor_Desm] = "Reflorestou"
Elseif [Intersect] = "OutrosAgropecuária" Then
 [Reflor_Desm] = "Desmatou"

End If
```

Em trabalhos anteriores foi feita a quantificação de C da biomassa vegetal de Caatinga Aberta, Caatinga Densa e Mata Serrana na Folha de Venturosa.

Segundo Sampaio et al. (2015) a biomassa aérea da Caatinga Aberta é de 17,0 Mg ha^{-1} e a Caatinga Densa de 38,6 Mg ha^{-1}. As estimativas de Mata Serrana foram definidas pelos pesquisadores do DEN em 157,63 Mg ha^{-1}. Aos valores de biomassa das raízes foram computados 56 % a mais do valor referente à biomassa aérea (Albuquerque et al., 2015) para as Caatingas Aberta e Densa e de 41 % para a Mata Serrana, onde esta tem uma proporção maior de biomassa aérea em relação as raízes, por ser de habitat de maior precipitação pluviométrica e não precisar de um maior desenvolvimento de raízes em busca de água como a vegetação de regiões semiáridas.

Após o cômputo dos valores de raízes ficaram, por tanto, da seguinte forma a biomassa para as três classes de uso e cobertura da terra: Caatinga Aberta 26,52 Mg ha^{-1}, Caatinga Densa 60,216 Mg ha^{-1} e Mata Serrana 209,44 Mg ha^{-1}.

Para o cálculo de C na biomassa foi feita a multiplicação de cada valor por 0.45 que corresponde a 45 % em média do valor da biomassa da vegetação constituído por C. Com Caatinga Aberta 11,934 Mg C ha^{-1}, Caatinga Densa 27,0972 Mg C ha^{-1} e Mata Serrana 94,248 Mg C ha^{-1}. Estes valores foram então multiplicados pela Área ha^{-1} de cada polígono da Folha de Venturosa gerando um valor total para o ano de 1987 e de 2013.

Foi gerado um *script* e uma sequência na Calculadora de Campo da Tabela de Atributos do ArcGIS 10.1 utilizados para gerar os dados de Mg de biomassa vegetal por ha de cada classe de uso e cobertura, Mg de biomassa por área de polígono e Mg C da biomassa por polígono.

Para indicar no mapa os valores de Área ha^{-1} de biomassa foi usado uma condição de programação na Calculadora de Campo, através do campo na Tabela de Atributos *Biomass_ha*.

O *script* mostrado é do ano de 1987, sendo seguida a mesma lógica para o de 2013, mudando alguns polígonos pela alteração de cobertura vegetal.

Biomassa Vegetal 1987

```
Dim Biomass_ha
If [Intersect] = "ArgissolosAgricultura " Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "ArgissolosCaatinga Aberta"  Then
[Biomass_ha] ="26,52"
Elseif [Intersect] = "ArgissolosCaatinga Densa" Then
[Biomass_ha] ="60,216"
Elseif [Intersect] = "ArgissolosPastagem" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "GleissolosAgricultura " Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "GleissolosCaatinga Aberta"  Then
[Biomass_ha] ="26,52"
Elseif [Intersect] = "GleissolosCaatinga Densa" Then
[Biomass_ha] ="60,216"
Elseif [Intersect] = "GleissolosPastagem" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "LatossoloAgricultura " Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "LatossoloArea Urbana" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "LatossoloCaatinga Aberta"  Then
[Biomass_ha] ="26,52"
Elseif [Intersect] = "LatossoloCaatinga Densa" Then
[Biomass_ha] ="60,216"
Elseif  [Intersect] = "LatossoloMata Serrana"  Then
[Biomass_ha] ="209,44"
Elseif [Intersect] = "LatossoloPastagem" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "LuvissoloAgricultura " Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "LuvissoloAgua"  Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "LuvissoloCaatinga Aberta"  Then
[Biomass_ha] ="26,52"
Elseif [Intersect] = "LuvissoloCaatinga Densa" Then
[Biomass_ha] ="60,216"
Elseif [Intersect] = "LuvissoloPastagem" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "LuvissoloSolo Exposto"  Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "Neossolo litolicoAgricultura " Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "Neossolo litolicoAgua"  Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "Neossolo litolicoArea Urbana" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "Neossolo litolicoCaatinga Aberta"  Then
[Biomass_ha] ="26,52"
```

```
Elseif [Intersect] = "Neossolo litolicoCaatinga Densa" Then
[Biomass_ha] ="60,216"
Elseif  [Intersect] = "Neossolo litolicoMata Serrana"  Then
[Biomass_ha] ="209,44"
Elseif [Intersect] = "Neossolo litolicoPastagem" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "Neossolo quartzarenicoAgricultura " Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "Neossolo quartzarenicoAgua"  Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "Neossolo quartzarenicoCaatinga Aberta"  Then
[Biomass_ha] ="26,52"
Elseif [Intersect] = "Neossolo quartzarenicoCaatinga Densa" Then
[Biomass_ha] ="60,216"
Elseif [Intersect] = "Neossolo quartzarenicoPastagem" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "Neossolo regoliticoAgricultura " Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "Neossolo regoliticoArea Urbana" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "Neossolo regoliticoCaatinga Aberta"  Then
[Biomass_ha] ="26,52"
Elseif [Intersect] = "Neossolo regoliticoCaatinga Densa" Then
[Biomass_ha] ="60,216"
Elseif  [Intersect] = "Neossolo regoliticoMata Serrana"  Then
[Biomass_ha] ="209,44"
Elseif [Intersect] = "Neossolo regoliticoPastagem" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "Neossolo regoliticoSolo Exposto"  Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "PlanossolosAgricultura " Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "PlanossolosAgua"  Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif [Intersect] = "PlanossolosArea Urbana" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "PlanossolosCaatinga Aberta"  Then
[Biomass_ha] ="26,52"
Elseif [Intersect] = "PlanossolosCaatinga Densa" Then
[Biomass_ha] ="60,216"
Elseif  [Intersect] = "PlanossolosMata Serrana"  Then
[Biomass_ha] ="209,44"
Elseif [Intersect] = "PlanossolosPastagem" Then
[Biomass_ha] ="0"
Elseif  [Intersect] = "PlanossolosSolo Exposto"  Then
[Biomass_ha] ="0"

End If
```

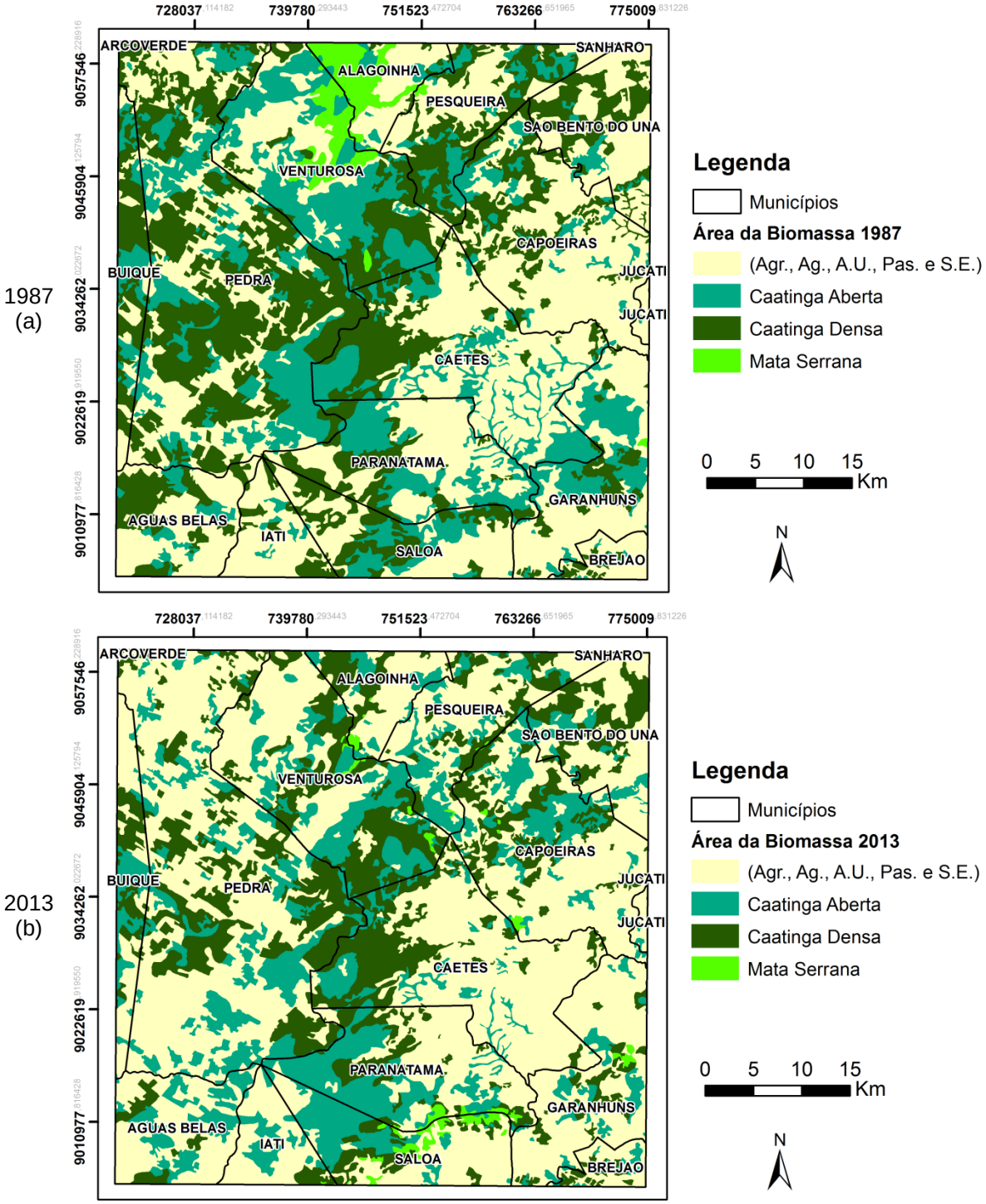
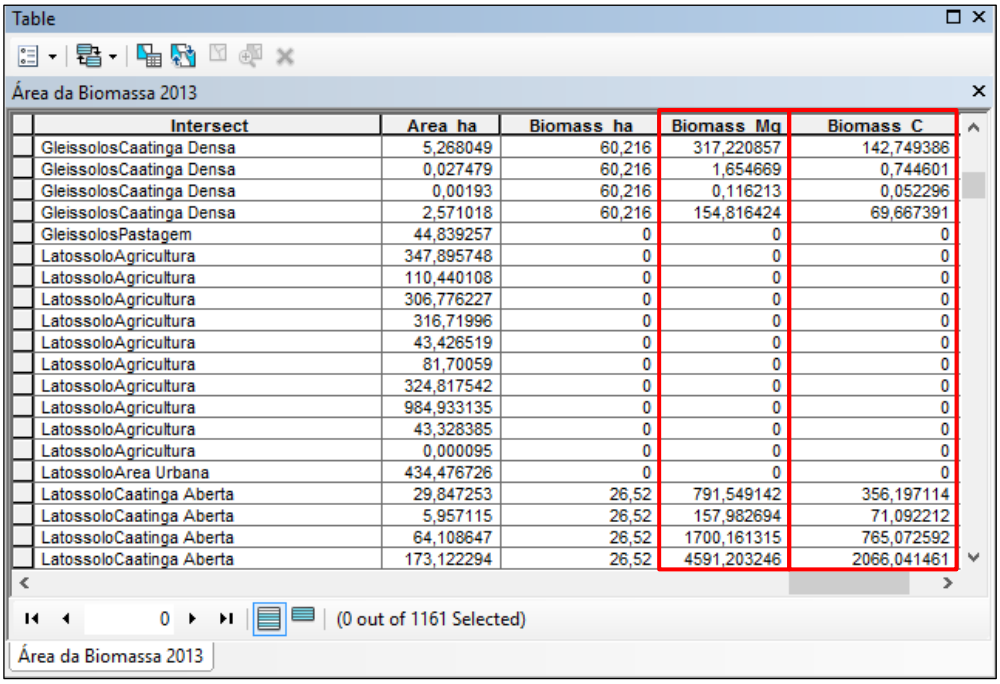


Figura 28. Separação das áreas cobertas por biomassa de Caatinga e Mata Serrana na Folha de Venturosa em 1987 (a) e 2013 (b).

A Figura 28 mostra para cada ano a cobertura da biomassa vegetal da Caatinga Aberta, Caatinga Densa e da Mata Serrana em tonalidades de verde na área da Folha de Venturosa. A cor em amarelo claro corresponde às classes de Agricultura (Agr.), Água (Ag.), Área Urbana (A. U.), Pastagem (Pas.) e Solo Exposto (S. E.) e não possuem valores de biomassa ou C. As classes Água, Área Urbana e

Solo Exposto não possuem valores significativos de biomassa vegetal ficando com valor 0 (zero). Igualmente as classes Agricultura e Pastagem ficaram com valor 0, pela ocasião das biomassas destas classes serem consumidas em grãos, palhadas e pasto pelo homem e animais sendo, então, eliminadas tanto a matéria consumida por excreção como, também, o C da biomassa pela respiração em um período menor que um ano. Deste modo não se contabilizando o estoque.

Após rodar a programação na Calculadora de Campo foi criado na Tabela de Atributos de cada ano um campo chamado de *Biomass_Mg* referente a Mg de biomassa vegetal por polígono, multiplicando o campo *Biomass_ha* por *Area_ha*. Depois de gerar os valores do campo *Biomass_Mg* foi então, criado o campo *Biomass_C* que indica os valores de Mg C da biomassa por polígono, sendo multiplicado na Calculador de Campo o campo *Biomass_Mg* por 0.45, referente a porcentagem média de C na biomassa da vegetação, Figura 29.



Intersect	Area_ha	Biomass_ha	Biomass_Mg	Biomass_C
GleissolosCaatinga Densa	5,268049	60,216	317,220857	142,749386
GleissolosCaatinga Densa	0,027479	60,216	1,654669	0,744601
GleissolosCaatinga Densa	0,00193	60,216	0,116213	0,052296
GleissolosCaatinga Densa	2,571018	60,216	154,816424	69,667391
GleissolosPastagem	44,839257	0	0	0
LatossoloAgricultura	347,895748	0	0	0
LatossoloAgricultura	110,440108	0	0	0
LatossoloAgricultura	306,776227	0	0	0
LatossoloAgricultura	316,71996	0	0	0
LatossoloAgricultura	43,426519	0	0	0
LatossoloAgricultura	81,70059	0	0	0
LatossoloAgricultura	324,817542	0	0	0
LatossoloAgricultura	984,933135	0	0	0
LatossoloAgricultura	43,328385	0	0	0
LatossoloAgricultura	0,000095	0	0	0
LatossoloArea Urbana	434,476726	0	0	0
LatossoloCaatinga Aberta	29,847253	26,52	791,549142	356,197114
LatossoloCaatinga Aberta	5,957115	26,52	157,982694	71,092212
LatossoloCaatinga Aberta	64,108647	26,52	1700,161315	765,072592
LatossoloCaatinga Aberta	173,122294	26,52	4591,203246	2066,041461

Figura 29. Tabela de Atributos com os novos campos criados de *Biomass_Mg* e *Biomass_C* para a quantificação da biomassa e do C da biomassa em Mg na área da Folha de Venturosa.

Os valores gerados na Tabela de Atributos dos mapas de 1987 e 2013, Figura 29, constam na Tabela 7. Os dados das classes de uso e cobertura da Tabela 7 são referentes aos ocupados nos mapas da Figura 28.

Tabela 7. Dados da Biomassa em Área ha^{-1} por classe de uso e cobertura de vegetação nativa, Mg Área^{-1} da vegetação por classe de solo e do C da Biomassa em Mg Área^{-1} na Folha de Venturosa nos anos de 1987 e de 2013.

1987				
Especificações	**Biomassa Vegetal Área ha^{-1}**			
	Mata Serrana	**Caatinga Densa**	**Caatinga Aberta**	**TOTAL**
SUBTOTAL	7.304,87	89.533,45	68.950,14	**165.788,46**
Solos / Uso e Cobertura	**Biomassa Vegetal Mg Área^{-1}**			
	Mata Serrana	**Caatinga Densa**	**Caatinga Aberta**	**SUBTOTAL**
Argissolos	0	134.695,16	58.578,07	193.273,23
Gleissolos	0	336,73	1.263,48	1.600,21
Latossolo	16.261,93	136.071,87	97.447,55	249.781,36
Luvissolo	0	818.585,27	180.980,02	999.565,30
Neossolo Litólico	672.486,99	1.276.600,72	237.603,02	2.186.690,74
Neossolo Quartzarenico	0	8.869,1	7.174,71	16.043,81
Neossolo Regolitico	133.218,99	578.086,49	467.051,84	1.178.357,33
Planossolo	707.964,54	2.438.100,8	778.458,93	3.924.524,27
TOTAL	1.529.932,47	5.391.346,16	1.828.557,62	**8.749.836,25**
	C da Biomassa Vegetal em Mg Área^{-1}			
	Mata Serrana	**Caatinga Densa**	**Caatinga Aberta**	**TOTAL**
SUBTOTAL	688.469,61	2.426.105,77	822.850,93	**3.937.426,31**

2013				
Especificações	**Biomassa Vegetal Área ha^{-1}**			
	Mata Serrana	**Caatinga Densa**	**Caatinga Aberta**	**TOTAL**
SUBTOTAL	2.863,75	64.445,07	64.696,54	**132.005,36**
Solos / Uso e Cobertura	**Biomassa Vegetal Mg Área^{-1}**			
	Mata Serrana	**Caatinga Densa**	**Caatinga Aberta**	**SUBTOTAL**
Argissolos	121.702,24	99.838,51	44.069,58	265.610,33
Gleissolos	0	630,03	168,52	798,55
Latossolo	158.759,89	114.478,47	57.220,89	330.459,25
Luvissolo	0	404.892,86	183.741,11	588.633,96
Neossolo Litólico	182.938,13	1.271.503,96	353.806,61	1.808.248,70
Neossolo Quartzarenico	0	4.755,67	6.253,28	11.008,95
Neossolo Regolitico	114.286,11	568.481,57	313.623,11	996.390,79
Planossolo	22.098,54	1.416.043,24	756.869,13	2.195.010,92
TOTAL	599.784,91	3.880.624,31	1.715.752,24	**6.196.161,46**
	C da Biomassa Vegetal em Mg Área^{-1}			
	Mata Serrana	**Caatinga Densa**	**Caatinga Aberta**	**TOTAL**
SUBTOTAL	269.903,21	1.746.280,94	772.088,51	**2.788.272,66**

A Tabela 7 nos mostra os valores totais em Mg de biomassa vegetal nas áreas cobertas por Mata Serrana, Caatinga Densa e Caatinga Aberta nos anos de 1987 e 2013, de 8.749.836,25 e 6.196.161,46, respectivamente. Esta perda corresponde em Área ha^{-1} de 165.788,46 em 1987 e 132.005,36 em 2013, com um total de 33.783,1 ha desmatados ao longo dos 26 anos. Após, foi calculado 45 % de cada valor destes para C total da biomassa, com 3.937.426,31 Mg C para 1987 e 2.788.272,66 Mg C para 2013. Obtendo valores de variação negativa para a biomassa, ou seja, indicativo de desflorestamento, com perda de 2.553.674,79 Mg, e consequentemente, emissão do C em forma de CO_2 da biomassa retirada para a atmosfera na ordem de 1.149.153,65 Mg.

Para saber quanto em $\frac{\text{Área}}{ha^{-1}}$ foi perdido de vegetação nativa para cada classe de solo, basta conferir nos Quadros 2 e 3, e comparar junto à Tabela 7 com os valores em $\frac{\text{Mg Área}}{}^{-1}$ de biomassa. Pois os valores em Mg $Área^{-1}$ de biomassa da Tabela 7 são relacionados ao valor ocupado em área sobre cada classe de solo, que constam nos Quadros 2 e 3, para Mata Serrana, Caatinga Aberta e Caatinga Densa na área da Folha de Venturosa.

A Figura 30, em representação *raster* em nível de cinza, indica os valores da variação entre 1987 e 2013 do total de C (C do Solo + C da Biomassa Vegetal) da área da Folha de Venturosa. A cor mais clara indica perda de C da biomassa e C do solo, e a cor mais escura aumento. Ressalta-se que o aumento em determinadas áreas está relacionada na substituição da Pastagem por Caatinga Aberta que em média geral de Mg C ha^{-1} é maior que a Caatinga Aberta, ver Quadro 4.

Também, o aumento de C está relacionado na mudança de Agricultura para Pastagem, sendo a classe Pastagem maior em média geral em Mg C ha^{-1} que a Agricultura, porém menor em algumas áreas de acordo com o tipo de solo. Portanto, nem todas as áreas com mudanças de Caatinga Aberta para Pastagem e de Agricultura para Pastagem, indicam aumento de C. A mudança de Pastagem para Caatinga Aberta promoveu o aumento de C na área e, isto, está relacionado à classe de solo. Na Figura 17, como exemplo, uma pequena área de Caatinga Aberta ao sul do município de Capoeiras que em 2013 está envolta da classe Pastagem, na Figura 30 indica um aumento de C, ainda que a média geral de Mg C ha^{-1} de Pastagem seja maior que a Caatinga Aberta, no entanto é menor para Neossolos Regolíticos, ver Quadro 4.

No município de Alagoinha, Figura 17, é observada uma ligeira diminuição, cor mais clara, numa área ao norte, especificamente entre as letras "*inha*', onde em 1987 possuía Agricultura e em 2013 passou para Pastagem. Do mesmo modo em média geral Mg C ha^{-1} a Pastagem tem valor maior que a Agricultura, mas para a classe de solo Planossolo tem valor menor que a Agricultura, Quadro 4.

Para as áreas com mudanças de Caatinga Densa para Caatinga Aberta no solo do tipo Neossolo Litólico como, por exemplo, ao sul do município de Paranatama e centro-oeste de Saloá indica aumento de C, pois para esse tipo de solo a Caatinga Aberta tem valores, significativamente, maiores que a Caatinga Densa. Tais dados devem possuir maiores amostras para análise mais detalhada do tipo de solo Neossolo Litólico para Caatinga Aberta e Densa.

No geral as mudanças de Mata Serrana e Caatinga Densa para Pastagem, Agricultura, Solo Exposto e Caatinga Aberta tiveram perdas de C nas áreas. As cores escuras, Figura 30, nos municípios de Venturosa, Pedra, Capoeiras, Garanhuns, Paranatama e Saloá mostram um aumento de C e, confirma a Figura 20 em representação vetorial, que indica as mesmas áreas como 'Ganho' de C na cor azul. Os valores são relativos à Mg C $Área^{-1}$.

.

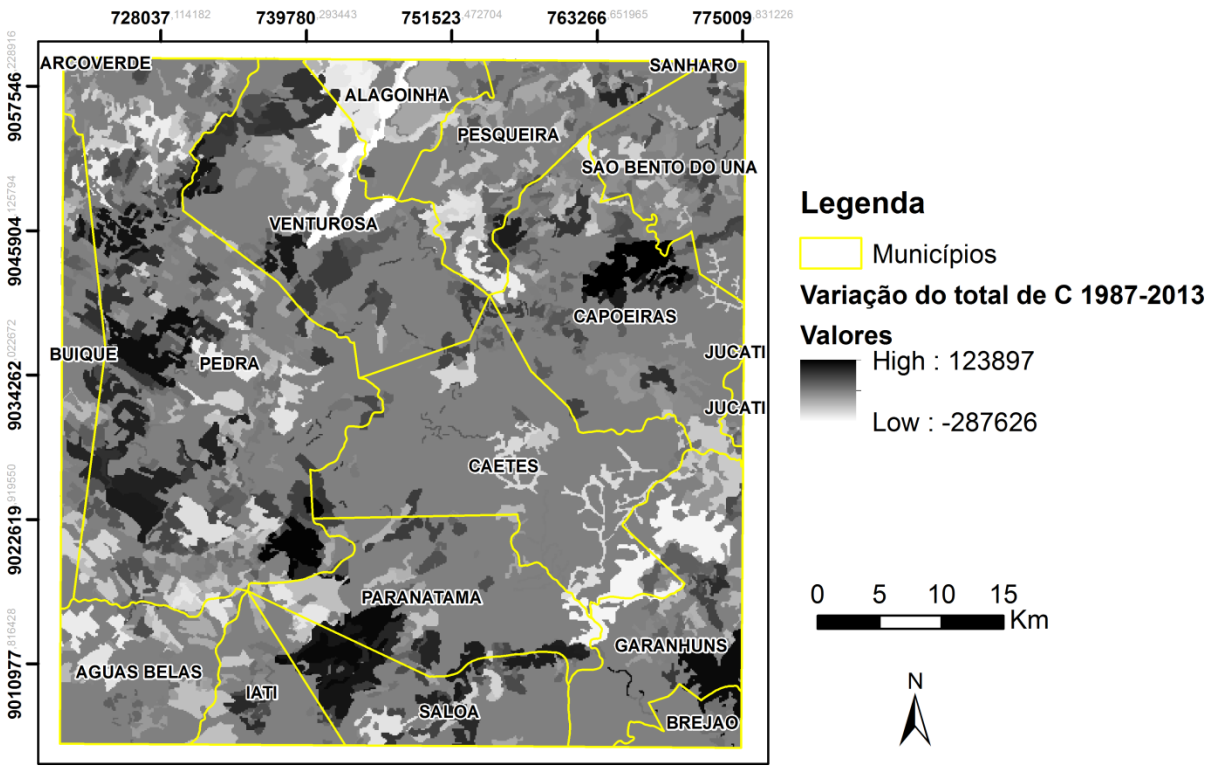


Figura 30. Representação *raster* da variação de C total da Folha de Venturosa entre 1987 e 2013.

A condição criada na calculadora de campo do ArcGIS 10.1 para a Figura 30 segue abaixo:

Sub_C1_C_T =
[C_Total_1] – [C_Total]

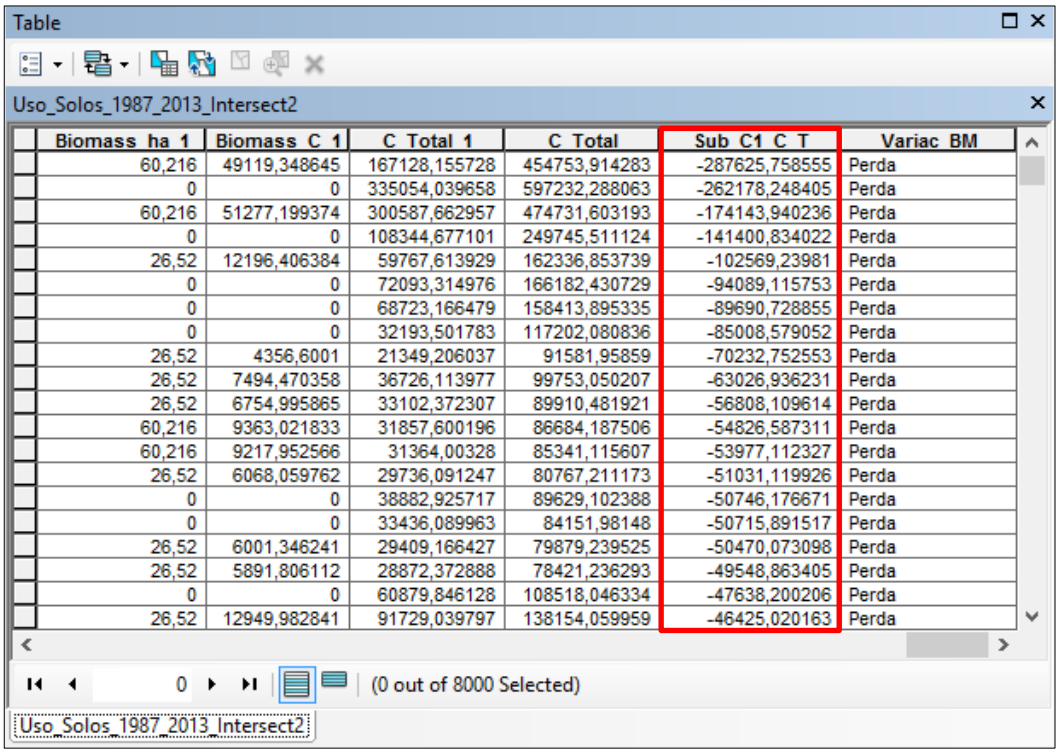
Onde,

C_Total_1 = valor de C total (C da Biomassa Vegetal + C do Solo) de 2013.

C_Total = valor de C total (C da Biomassa Vegetal + C do Solo) de 1987.

Sub_C1_C_T = subtração do C total de 2013 por 1987.

A Figura 31 mostra a Tabela de Atributos com os campos usados. O campo *Sub_C1_C_T*, destacado em vermelho, é responsável pela expressão dos valores da representação visual em *raster* da Figura 30.



Biomass_ha_1	Biomass_C_1	C_Total_1	C_Total	Sub_C1_C_T	Variac_BM
60,216	49119,348645	167128,155728	454753,914283	-287625,758555	Perda
0	0	335054,039658	597232,288063	-262178,248405	Perda
60,216	51277,199374	300587,662957	474731,603193	-174143,940236	Perda
0	0	108344,677101	249745,511124	-141400,834022	Perda
26,52	12196,406384	59767,613929	162336,853739	-102569,23981	Perda
0	0	72093,314976	166182,430729	-94089,115753	Perda
0	0	68723,166479	158413,895335	-89690,728855	Perda
0	0	32193,501783	117202,080836	-85008,579052	Perda
26,52	4356,6001	21349,206037	91581,95859	-70232,752553	Perda
26,52	7494,470358	36726,113977	99753,050207	-63026,936231	Perda
26,52	6754,995865	33102,372307	89910,481921	-56808,109614	Perda
60,216	9363,021833	31857,600196	86684,187506	-54826,587311	Perda
60,216	9217,952566	31364,00328	85341,115607	-53977,112327	Perda
26,52	6068,059762	29736,091247	80767,211173	-51031,119926	Perda
0	0	38882,925717	89629,102388	-50746,176671	Perda
0	0	33436,089963	84151,98148	-50715,891517	Perda
26,52	6001,346241	29409,166427	79879,239525	-50470,073098	Perda
26,52	5891,806112	28872,372888	78421,236293	-49548,863405	Perda
0	0	60879,846128	108518,046334	-47638,200206	Perda
26,52	12949,982841	91729,039797	138154,059959	-46425,020163	Perda

Figura 31. Tabela de Atributos com o campo *Sub_C1_C_T* que expressa os valores totais de C na Folha de Venturosa entre 1987 e 2013.

Na Figura 30, a atribuição utilizada de valores nas células, na transformação da representação vetorial para *raster*, foi a *Área Máxima*. O método usado nas propriedades do *layer* para a distribuição dos níveis de cores na área com a representação *raster* foi o *Histogram Equalize* no campo '*stretch*' (alongamento), Figura 32.

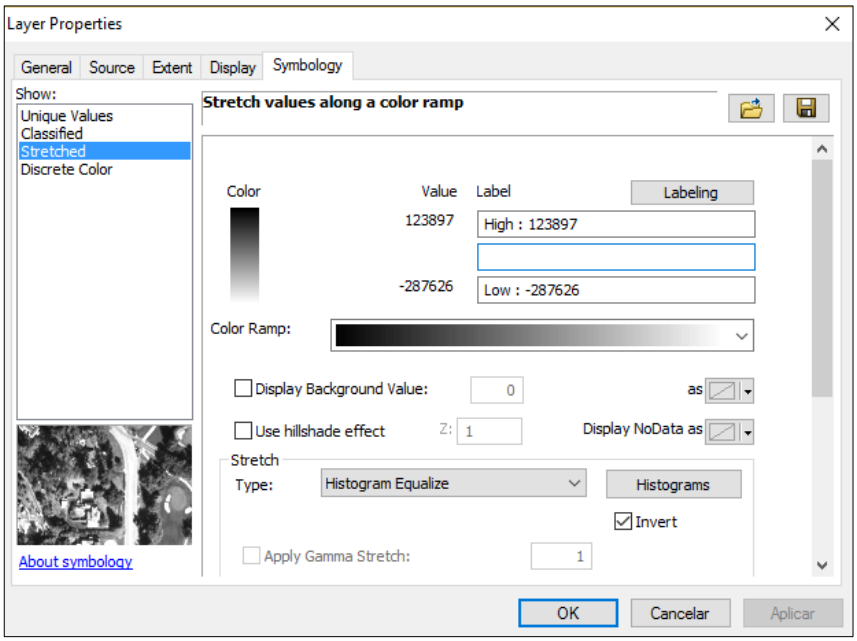


Figura 32. Propriedades do *layer* da representação em *raster* para os valores de uma extremidade a outra em um nível de cores.

Também, foi calculado o C total (C do Solo + C da Biomassa Vegetal) da Folha de Venturosa para os dois anos, com 32.006.946,02 em 1987 e 29.714.948,12 em 2013. A Variação calculou perdas em Mg Área^{-1} da biomassa de 2.553.674,79, do C da Biomassa de 1.149.153,65 Mg Área^{-1}, C do solo de 1.142.844,25 Mg Área^{-1} e para o C Total de **2.291.997,9** Mg Área^{-1}, este último estima o carbono total perdido na área da Folha de Venturosa de 1987 a 2013 para a atmosfera.

A Tabela 8 mostra o balanço geral da biomassa e dos fluxos de C da área da Folha de Venturosa entre os anos de 1987 e 2013.

Tabela 8. Balanço Geral em Mg Área^{-1} da biomassa vegetal e do C total (C da Biomassa Vegetal + C do Solo) entre 1987 e 2013.

Especificações	Biomassa Vegetal em Mg Área^{-1}			
	Mata Serrana	Caatinga Densa	Caatinga Aberta	Total
1987	1.529.932,47	5.391.346,16	1.828.557,62	8.749.836,25
2013	599.784,9	3.880.624,31	1.715.752,24	6.196.161,45
Variação	- 930.147,57	- 1.510.721,85	- 112.805,38	**- 2.553.674,8**

Especificações	C da Biomassa Vegetal em Mg Área^{-1}			
	Mata Serrana	Caatinga Densa	Caatinga Aberta	Total
1987	688.469,61	2.426.105,77	822.850,93	3.937.426,31
2013	269.903,21	1.746.280,94	772.088,51	2.788.272,66
Variação	- 418.566,4	- 679.824,83	- 50.762,42	**- 1.149.153,65**

Especificações	C do Solo em Mg Área^{-1}		
	1987	2013	Variação
Total	28.069.519,71	26.926.675,46	**- 1.142.844,25**

Especificações	C Total da Folha de Venturosa em Mg Área^{-1}		
	1987	2013	Variação
C da Biomassa Vegetal	3.937.426,31	2.788.272,66	- 1.149.153,65
C do Solo	28.069.519,71	26.926.675,46	- 1.142.844,25
Total	32.006.946,02	29.714.948,12	**- 2.291.997,9**

Espera-se que este trabalho sirva como um dos parâmetros para quantificação de carbono do solo da Região Nordeste e para as demais pesquisas da área. Contribuindo com banco de dados na elaboração de estudos sobre mudanças climáticas e projetos voltados na minimização de emissão de gases de efeito estufa.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de fluxos de C na Folha de Venturosa, gerados nos mapas, indicam substituição de áreas de vegetação nativa como Caatinga Densa e Mata Serrana por áreas antrópicas, principalmente, Agricultura e Pastagem.

A Figura 17, sobre o uso e cobertura da terra revela mudanças significativas nos municípios de Pedra, Garanhuns e Venturosa de vegetação da Caatinga para Pastagem e, na Tabela 3, são mostrados esses dados em números para estas classes. De modo detalhado, essas mudanças de áreas são observadas nos Quadros 2 e 3 em valores absolutos e em porcentagens, respectivamente, de cada classe de uso e cobertura da terra alterada por cada classe de solo da Folha de Venturosa.

As perdas reais em valor de C do solo podem ser constatadas na Tabela 4 com mais de 1.140.000 Mg de C emitidos ao longo dos 26 anos para a atmosfera, representando em perdas mais de 4 % do C do solo que tinha em 1987 referente a 2013.

Da mesma forma estes dados detalhados de C do solo são vistos no Quadro 2 e 3 em porcentagens e em valores absolutos, respectivamente, de cada classe de uso e cobertura da terra alterada por cada classe de solo da Folha de Venturosa. É interessante destacar que ao sul de Garanhuns na divisa com o norte de Brejão houve uma alteração de Agricultura 1987 para Pastagem em 2013 e, na Figura 20, que trata da dinâmica do C na Folha de Venturosa essa área consta de ‘Ganho’ de C. Isso ocorre porque nos dados do Quadro 4, a Pastagem aborda uma amplitude maior de valores, entre 50,58 a 141,03 Mg C ha^{-1}, contra 52,31 a 93,15 Mg C ha^{-1} da Agricultura, com médias de 94,69 Mg C ha^{-1} e 78,17 Mg C ha^{-1}, respectivamente. Isto nos diz que não, necessariamente, as áreas de ganho de C indicados nos mapas só estejam relacionadas às áreas com vegetação florestal.

Segundo Guo e Gifford (2002) as perdas de carbono do solo podem variar, de acordo com o tipo de solo, variação climática, profundidade do perfil do solo e manejo. Através de um resumo para avaliar o estoque de carbono do solo mundial pelo uso e manejo da terra, foram identificadas perdas de até 40 % quando florestas são convertidas em agricultura e um ganho de 20 % quando terras agrícolas são convertidas em pastagens.

No entanto no decorrer das demais áreas geralmente o ganho de C ocorre pela recuperação de áreas degradadas, como consta na Figura 27 que trata da dinâmica do uso e cobertura da terra entre 1987 e 2013, no norte do município de Capoeiras, sul e sudoeste de Paranatama e oeste de Saloá em confrontação com a Figura 18, que trata sobre a distribuição de toneladas de C por ha em níveis de cinza e a Figura 30, que corresponde à variação de C total da Folha de Venturosa, todas corroboram nas mesmas áreas aumento de C de 1987 para 2013. A Figura 30 nos informa que as áreas mais claras foram as que tiveram as perdas mais acentuadas de C na Folha de Venturosa. Na Figura 20 são importantes os valores percentuais sobre as áreas de Ganho, Igual e Perda de C para pontuar, em meio das diversas mudanças de C do solo, a real diferença em área de ganho e perda, algo que ficaria difícil só se tratando de dados visuais. Onde foram maiores as áreas de perda de C que as áreas de ganho, confirmando juntamente, com as áreas de mudança de biomassa, Figura 28, o porquê de se ter emitido mais C para a atmosfera.

A Tabela 5 e 7 constatam os valores de perdas de C do solo e C da biomassa, com o valor da emissão do C total contido na Tabela 8. A Tabela 5 mostra a perda de C do solo entre os anos de 1987 e 2013 de 1.142.844,25 e a Tabela 7, apresenta a soma da biomassa perdida, juntamente com o C da biomassa perdido pelo corte da vegetação. A Tabela 8 informa que um total de **2.291.997,9** Mg C foram emitidos para a atmosfera como balanço geral da área da Folha de Venturosa entre 1987 e 2013.

Vale salientar que a perda de C da biomassa de 1.149.153,65 Mg se dá seguidamente, em um curto espaço de tempo, após o corte da vegetação. Já a perda de C do solo ocorre ao longo dos 26 anos pela exposição do solo, por atividades antrópicas, às intempéries do clima. Segundo a Tabela 5, essa perda gradual de C por hectare a cada ano foi de 0,144 Mg ou 144 Kg.

Os dados confirmam que a área da Folha de Venturosa entre 1987 e 2013 emitiu C em forma de CO, CO_2 para atmosfera como parte dos gases responsáveis pelo efeito estufa e, somados a todas as áreas de vegetação suprimidas do país e do mundo, conforme Sommer e Bossio (2014), Boden et al. (2011) e Saatchi, et al. (2011) citados anteriormente, está contribuindo com as mudanças climáticas ocorridas atualmente no planeta, decorrentes na mudança do uso e cobertura da terra.

Concluem-se, neste trabalho, a perda de C da biomassa vegetal e C do solo para a atmosfera, decorrentes das alterações de uso e cobertura da terra na Folha de Venturosa entre os anos de 1987 e 2013.

O uso da Geotecnologia neste trabalho teve um papel fundamental na pesquisa de mudanças climáticas, relacionada ao sequestro e estoque de carbono. Com uso de imagens de satélites, tornam-se melhor entendidas as informações e valores gerados em análises. Através das imagens captadas pelos sensores orbitais e seu processamento nos computadores, se podem apoiar os dados obtidos em números junto aos produzidos visualmente. Auxiliando no entendimento e comparação dos valores relacionados gerados em laboratórios e dos que ocorrem em campo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. R. G. M., SAMPAIO, E. V. S. B., PAREYN, F. G. C., Araújo E. L. Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Environments,** v. 116, p. 82-88. 2015.

ALCOFORADO FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica,** v. 17, p. 287-303, 2003.

ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional,** G&DR, v. 6, n. 1, p. 165-188, Taubaté, SP, Brasil, 2010.

ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica,** v. 4, p. 149-163, 1981.

ARAÚJO, E. L.; SILVA, K. A.; FERRAZ, E. M. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, S. I. Diversidade de Herbáceas em Microhabitats Rochoso, Plano e Ciliar em uma Área de Caatinga, Caruaru, PE. **Acta Botanica Brasilica,** v. 19, p. 285-294, 2005.

ARRAES, R. de A. e.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do Desmatamento no Brasil e Seu Ordenamento no Contexto Mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural,** v.50 n.1, Brasília. 2012.

BDE – Banco de Dados do Estado. Pernambuco. **Produção de Leite – Período de referência: 2015.** Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=474&Cod=3>. Acesso em: 21 de Março de 2017.

BODEN, T., ANDRES, B., MARLAND, G. Global CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2008. **Carbon Dioxide Information Analysis Center,** Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 37831-6290. 2011.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; MACEDO, M. O.; OLIVEIRA, O. C.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R. e URQUIAGA, S. Potential of carbon sequestration in soils of the Atlantic Region of Brazil. In: AVANZI, J. C.; CARVALHO, J. L. N.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de.; CERRI, C. E. P. **Potencial de Sequestro de Carbono em Diferentes Biomas do Brasil.** R. Bras. Ci. Solo, 34:277-289, 2010.

BORGES, K. A. de V. Modelagem de Dados Geográficos. **UFMG,** 2002. 66 p.

BRAND, M. A. Energia de Biomassa Florestal. **Editora Interciência,** Rio de Janeiro, 2010. 114 p.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa;** altera as leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de maio de 2012.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Rome: **FAO,** 1997. 55 p.

CANADELL, J. G. et al. Contributions to accelerating atmospheric CO_2 growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. **P. Natl. Acad. Sci.,** USA, 104, p. 18866-18870, 2007.

CAST (Council for Agricultural Science and Technology). Climate Change and Greenhouse Gas Mitigation: Challenges and Opportunities for Agriculture. **Ames,** IA: CAST. 2004.

CHAZDON R. L.; et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science Advances,** p. 1-10. 2016. DOI: 10.1126/sciadv.1501639

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura Regional.** Superintendência Regional de Pernambuco. Dezembro, 2004.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura de Produtos Agropecuários.** Superintendência Regional de Pernambuco. Dezembro, 2015.

CORDEIRO, J. P. C.; ERTHAL, G. J. Álgebra de Mapas: Agregações e Vizinhanças. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,** INPE, Natal, Brasil, 2009, p. 4951-4960.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado de Pernambuco: Município de Venturosa.** Ministério de Minas e Energia, Recife, 2005. 11 p.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia da Folha de Venturosa SC.24-X-B-V.** Ministério de Minas e Energia, UFPE, Brasília, 2008. 71 p.

DENMAN, K. L.; et al. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis,** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: SOLOMON, S.; et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

DIELEMAN, W. I. J.; VENTER, M.; RAMACHANDRA, A.; KROCKENBERGER, A. K.; BIRD, M. I. Soil carbon stocks vary predictably with altitude in tropical forests: Implications for soil carbon storage. **Geoderma,** v. 204-205, p. 59-67, April 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 1. Solos – Classificação – Brasil. I Título. I Série.** 2 ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306p.

FEARNSIDE P. M. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. **Climatic Change,** 46, p. 115–158, 2000.

FRIEDLINGSTEIN, P.; et al. Update on CO2 emissions. **Nat. Geosci.,** 3, p. 811–812, 2010.

FRANCA-ROCHA, W. et al. Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,** Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2629-2636, 21-26 abril 2007.

GALINDO, I. C. de L.; et al. Relações Solo-Vegetação em Áreas Sob Processo de Desertificação no Município de Jataúba, Pe. **R. Bras. Ci. Solo,** 32:1283-1296, 2008.

GALVÍNCIO, J. D. et al. Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental. Capítulo 5 – O Bioma da Mata Atlântica, Sua Distribuição e Atual Condição. Recife: **Ed. Universitária UFPE,** 2012. 150 p.

GARIGLIO, M. A. et al. Uso Sustentável e Conservação Dos Recursos Florestais Da Caatinga. In: SAMPAIO, E. V. de S. B. **Caracterização do Bioma Caatinga: Características e Potencialidades.** Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368p.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology,** v. 8, n. 4, p. 345-360, 2002.

HOUGHTON, R. A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850–1990. **Tellus B,** 51, p. 298–313, 1999.

HOUGHTON, R. A. et al. Carbon emissions from land use and land-cover change. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. **Biogeosciences,** 9, p. 5125–5142, 2012.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite: Monitoramento do Bioma Mata Atlântica 2008 a 2009.** Brasília-DF. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Centro De Informação, Documentação Ambiental e Editoração Luís Eduardo Magalhães – CID Ambiental. 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil: Primeira Aproximação.** Brasília: IBGE/MMA, 2004. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal.** ISSN 0101-4234 Prod. Pec. Munic., Rio de Janeiro, v. 41, p.1-108, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas de Biomas e de Vegetação.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acessado em: 29 de Novembro de 2015a.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área dos Estabelecimentos na Agropecuária – Hectares.** Censo Agropecuário, 2006. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/264#resultado>. Acesso em: 05 de Novembro de 2015b.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico.** SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202#resultado>. Acesso em: 21 de Setembro de 2016a.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries: Históricas e Estatísticas. Produção de origem animal – quantidade produzida: Leite.** Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=0&vcodigo=PPM2&t=producao-origem-animal-quantidade-produzida>. Acesso em: 22 de Setembro de 2016b.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Departamento de Cartografia e Geodésia – Projeto Mudança do Referencial Geodésico.** Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/pmrg/informativo1.pdf>. Acesso em: 07 de Março de 2017.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2013-2014.** São Paulo-SP. Fundação SOS Mata Atlântica. 2015. 60 p.

IPCC – Intergovernamental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, forestry and other land use.** Japan: Institute for Global Evironmental Strategies (IGES), v.4, 2006.

JACOMINE, P. K. T. A Nova Classificação Brasileira de Solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica,** Recife, vols. 5 e 6, p.161-179, 2008-2009.

JANZEN, H. H. Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. **Agriculture and Agri-Food Canada,** Box 3000, Lethbridge, Alta., Canada T1J 4B1, p. 399-417, 2004.

JESUS, K. N. **Estoques e Dinâmica do Carbono e Nitrogênio em Solos Sob Diferentes Coberturas e Usos da Terra em Pernambuco.** 2017. 112 f. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas Nucleares) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

JÚNIOR, C. de L. et al. Estimativa de Biomassa Lenhosa da Caatinga com Uso de Equações Alométricas e Índice de Vegetação. **Sci. For.,** Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014.

JÚNIOR, C. de L. et al. Viabilidade Econômica do Uso Energético de Lenha da Caatinga sob Manejo Sustentável. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 08, n.1, p. 156-166, 2015.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada.** (4. ed., Luciane Ferreira Pauleti Vianna, Trad.). São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C da. Ecologia e Conservação Da Caatinga. SEÇÃO I Padrões de Diversidade e Distribuição de Espécies em Escala Regional. In: PRADO, D. E. **As Caatingas Da América Do Sul.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003.

LE QUÉRÉ, C. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nature** GeoScience, 2, p. 831–836, 2009.

LEWIS, S. L. et al. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. **Nature.** 477, p. 1003–1006, 2009.

LIMA, D. de A. Estudos Fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica,** Recife, vol. 4, p.243-274, 2007.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e Ciências da Informação Geográfica.** 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.

MARTINELLI, G. et al. Bromeliaceae da Mata Atlântica Brasileira: Lista de Espécies, Distribuição e Conservação. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Rodriguésia,** v. 59, n. 1, p. 209-258, 2008.

MATOS, J. **Fundamentos de Informação Geográfica.** 6. Ed. Portugal-Lisboa: Lidel, 2008. 408 p.

MELLO, F. F. C.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. e CERRI, C.C. Potential of soil 96cience sequestration for the Brazilian Atlantic Region. In: AVANZI, J. C.; CARVALHO, J. L. N.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de.; CERRI, C. E. P. **Potencial de Sequestro de Carbono em Diferentes Biomas do Brasil.** R. Bras. Ci. Solo, 34:277-289, 2010.

MELO, F. P. de.; SOUZA, R. M. e. Reterritorialização do Espaço Agrário Pernambucano, a Partir de Políticas Públicas Governamentais em Garanhuns-Pe: Erradicação do Café e Implantação da Bacia Leiteira. Boletim **DATALUTA** - 2015. ISSN 2177-4463.

MENEZES, R. S. C.; OMETTO, J. P. H. B. Impactos De Mudanças Climáticas Sobre a Cobertura e Uso da Terra em Pernambuco: Geração e Disponibilização de Informações Para o Subsídio a Políticas Públicas. **Proposta submetida ao Edital 02-2009 Fapesp-Facepe de Pesquisa Cooperativa em Mudança Climática Global.** 2009.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, EVSB; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A.M. **Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome.** Brazilian Journal of Biology (Impresso), v. 72, p. 643-653, 2012.

MIDGLEY, G. F.; BOND, W. J. Future of African terrestrial biodiversity and ecosystems under anthropogenic climate change. **Nature Climate Change,** v. 5. 2015. DOI: 10.1038/NCLIMATE2753.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Relatório Final: PROBIO – Subprojetos Mapeamento dos Biomas Brasileiros.** Subprojeto: Levantamento Da Cobertura Vegetal e do Uso do Solo do Bioma Caatinga. Número do Convênio: 0156.00/04. Edital: PROBIO 02/2004.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira.** 2015. 29 p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2. Ed. São Paulo: UNESP, 2008.

MORTON, D. C. et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **P. Natl. Acad. Sci.,** USA, 103, p. 14637–14641, 2006.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature,** 403: 853-845. 2000.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; JARENKOV, J. A.; RODAL, M. J. N. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution pattern. In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. **Neotropical savannas and seasonally dry forests.** Boca Rato: CRC Press, p. 159-190. 2006.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento,** Salvador: SEI, n.149, p.4-11, 2006.

PAN, Y.; et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science,** 333, p. 988–993, 2011.

PEREIRA, I. M.; ANDRADE, L. A.; BARBOSA, M. R. V.; SAMPAIO, E. V. S.B. Composição florística e análise fitossociológica do componente lenhoso de um remanescente de caatinga no Agreste Paraíbano. **Acta Botanica Brasilica,** v. 16, p. 357-369, 2002.

PHILLIPS, O. L.; LEWIS, S. L.; BAKER, T. R., CHAO, K.-J.; and HIGUCHI, N. The changing Amazon forest. **Philos. T. Roy. Soc. B,** 363, p. 1819–1828, 2008.

PINO, L. M.; FIRKOWSKI, H. Avaliação de Modelos de Transformação Bidimensional Para a Compatibilização de Bases Cartográficas Associadas a Diversos Sistemas Geodésicos de Referência. **Bol. Ciênc. Geod.,** sec. Artigos, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 259-276, 2009.

RAMANKUTTY, N. et al. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Blackwell Publishing Ltd. Global Change Biology,** 13, p. 51-66. 2007

REDDY, S. J. Climatic classification: the semi-arid tropics and its environment - a review. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** p. 823-847. 1983.

REIS, A. M. S.; ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N.; MOURA, A. N**.** Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of “caatinga” vegetation in Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica,** v. 29, p. 497-508, 2006.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e Desmatamento: uma Análise das Principais Causas Diretas do Desmatamento na Amazônia. **Nova Economia,** v.19 n.1, Belo Horizonte. 2009.

SAATCHI, S. S. et al. **Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents.** Edited by Susan E. Trumbore, University of California, Irvine, CA, p. 9899-9904. 2011.

SAMPAIO, E. V. S. B., NASCIMENTO, D. M., MENEZES, R. S. C., ACCIOLY, L. J. O., PAREYN, F. G. C. Estimation of phytomass stock through satellite imagery in a semiarid area in Pernambuco state, Brazil. **Land Quality and Landscape Processes,** European Union. Keszthely, Hungary. p. 113-117. 2015.

SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian caatinga. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (Ed.). **Seasonally dry tropical forests.** Cambridge: Cambridge University Press, p. 35-63. 1995.

SAMPAIO, E.V.S.B.; COSTA, T.L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordestino: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 6, p. 1275-1291, 2011.

SAUER, I. L. et al. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobrás. **Bahia Análise & Dados,** Salvador. v.16, n.1, p. 9-22. 2006.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry. An analysis of global change.** 2 ed. Academic, San Diego, 1997. 588 p.

SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. **EMPRAPA Florestas,** Brasília, DF: MMA, 2003.

SILVA, J. Q. e; PASSOS, A. C.; ROCHA, M. de M. Localização de Indústria de Esmagamento de Soja Usando Análise de Decisão Multicritério Apoiada em Sistema de Informação Geográfica. **XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional-SBPO,** Bento Gonçalves-RS. p. 242-253, 2010.

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais. **Recursos Florestais: Os Biomas e Suas Florestas – Caatinga.** Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>. Acessado em: 21 de Julho de 2016.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN A.; WEISS, P. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research,** 2006.

SOMMER, R.; BOSSIO, D. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. **International Center for Tropical Agriculture (CIAT),** ICIPE Duduville Campus, Kasarani, P.O. Box 823-00621, Nairobi, Kenya, p. 83-87, 2014.

TABARELLI, M. et al. Desafios e Oportunidades Para a Conservação da Biodiversidade na Mata Atlântica Brasileira. **Megadiversidade,** v. 1, n.1, p. 132-138, 2005.

TURNER, W. **Sensing biodiversity.** American Association for the Advancement of Science, 1200. New York Avenue NW, Washington, DC 20005. Science p. 301-302, 2014. DOI: 10.1126/99cience.1256014.

USP – Universidade de São Paulo. **Mata Atlântica.** Disponível em: <http://www.ib.usp.br/ecosteiros/textos_educ/mata/intro/introducao.htm>. Acessado em: 09 de Setembro de 2016.

WWF – **World Wide Fund for Nature.** Disponível em: <http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomas/bioma_caatinga/bioma_caatinga_curiosidades/>. Acessado em: 03 de Novembro de 2015.

VICCA, S. et al**.** Remotely-sensed detection of effects of extreme droughts on gross primary production. **Nature,** p. 2-13, 2016. Scientific Reports | 6:28269 | DOI: 10.1038/srep28269.

WEST, P. C. et al. **Trading carbono for food: Global comparison of carbono stocks vs. crop yields on agricultural land.** Edited by Ruth S. DeFries, Columbia University, New York, NY, vol. 107, nº 46, p. 19645-19648, 2010.

ZAPE – Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco. **Folha de Venturosa. EMBRAPA, 2001.** Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/cartas/venturosa.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

APÊNDICES

Apêndice A

Transformação do SRC

Após adicionar o arquivo vetorial no QGIS aparece uma janela informando as transformações do *datum*, como destacado em vermelho abaixo.

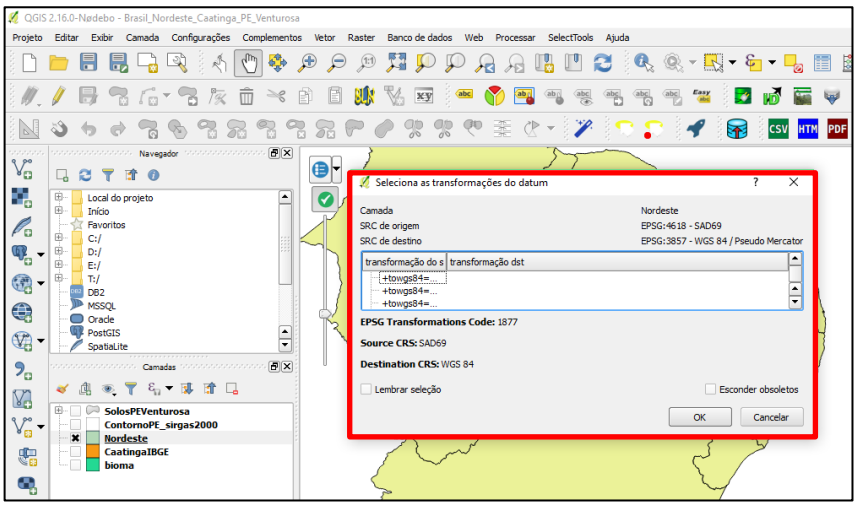


Figura da janela de transformações do *datum* no QGIS.

Após fechar a janela, deve-se clicar com o botão direito do mouse na caixa de camadas ao lado direito do QGIS, ir a *Propriedades* e visualizar o SRC da camada no ícone *Geral*.

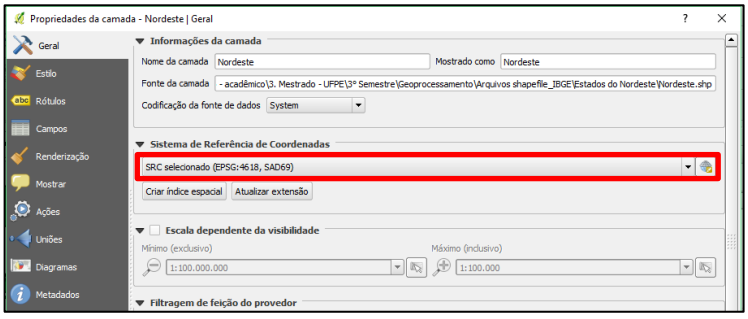


Figura da janela de *Propriedades da camada* no QGIS.

Após visualizar essas etapas, no menu *Barra de Ferramentas* é clicado no menu *Processar* e na opção *Caixa de Ferramentas*.

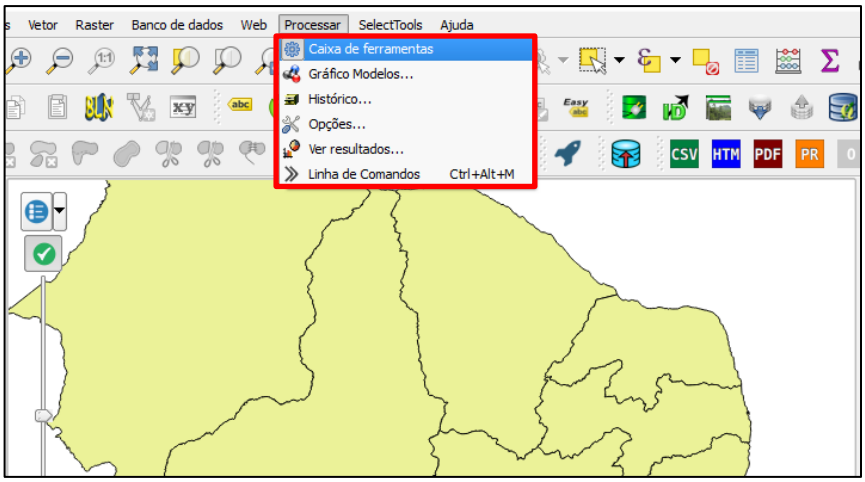


Figura da opção *Processar* na *Barra de Ferramentas* no QGIS.

Ao clicar na opção *Caixa de Ferramentas* é aberta uma janela no canto inferior direito do QGIS de nome *Caixa de Ferramentas Processamento*, abaixo da caixa de *Painel de Atributos*. Clica-se em *Reprojetar Camada*.

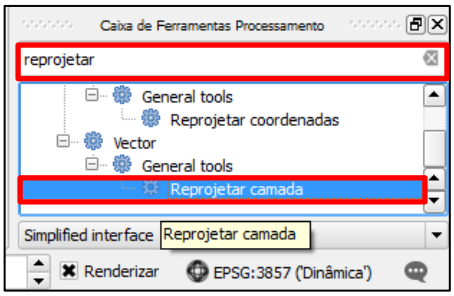


Figura da escolha da opção *Reprojetar camada* no QGIS.

Ao escolher o ícone *Reprojetar camada* é aberta uma janela de mesmo nome. Na opção *Camada de Entrada* é clicado no ícone ... sendo então, aberta uma janela de seleção de arquivo, Figura abaixo. Onde é selecionado o arquivo *shapefile* para a conversão.

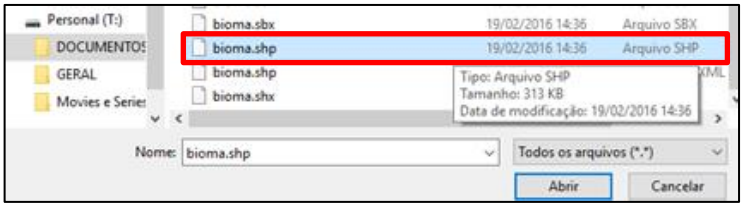


Figura da janela de seleção do arquivo *shapefile*.

Após a seleção na mesma janela na opção *SRC destino* é clicado no ícone ..., onde é aberta uma janela de escolhas de SRC e selecionado o SRC de referência para o Brasil, SIRGAS 2000, Figura abaixo.

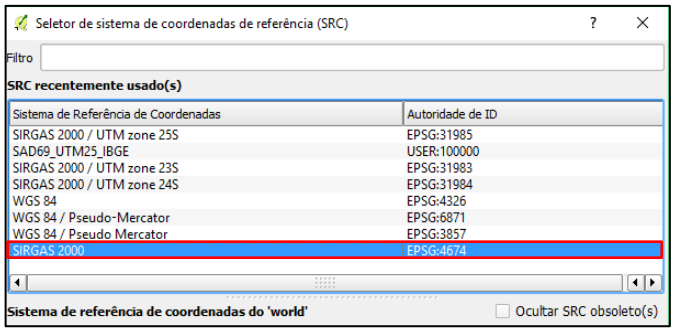


Figura da janela de escolha do Sistema de Referência de Coordenadas - SRC.

No final é escolhido o diretório do arquivo reprojetado e clica-se em *Run* Figura abaixo.

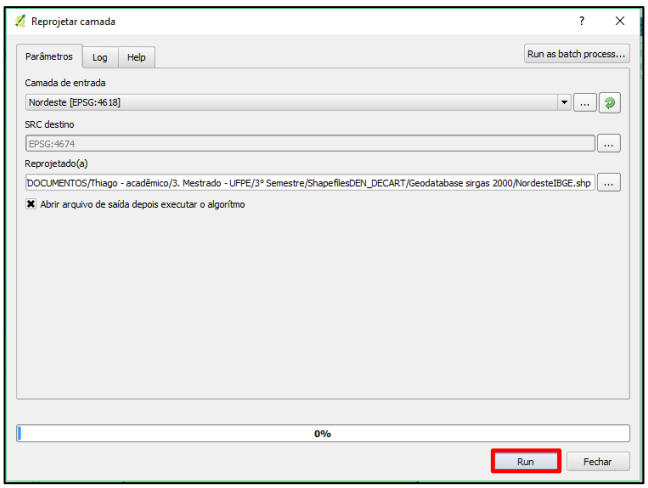


Figura da janela *Reprojetar camadas* do QGIS.

Depois de rodar a conversão, segue o primeiro procedimento em *Propriedades* e ícone *Geral*, onde será observada a mudança do SRC de SAD 69 para SIRGAS 2000.

Apêndice B

Dados da demografia dos municípios abrangidos pela área da Folha de Venturosa entre 1991 - 2010.

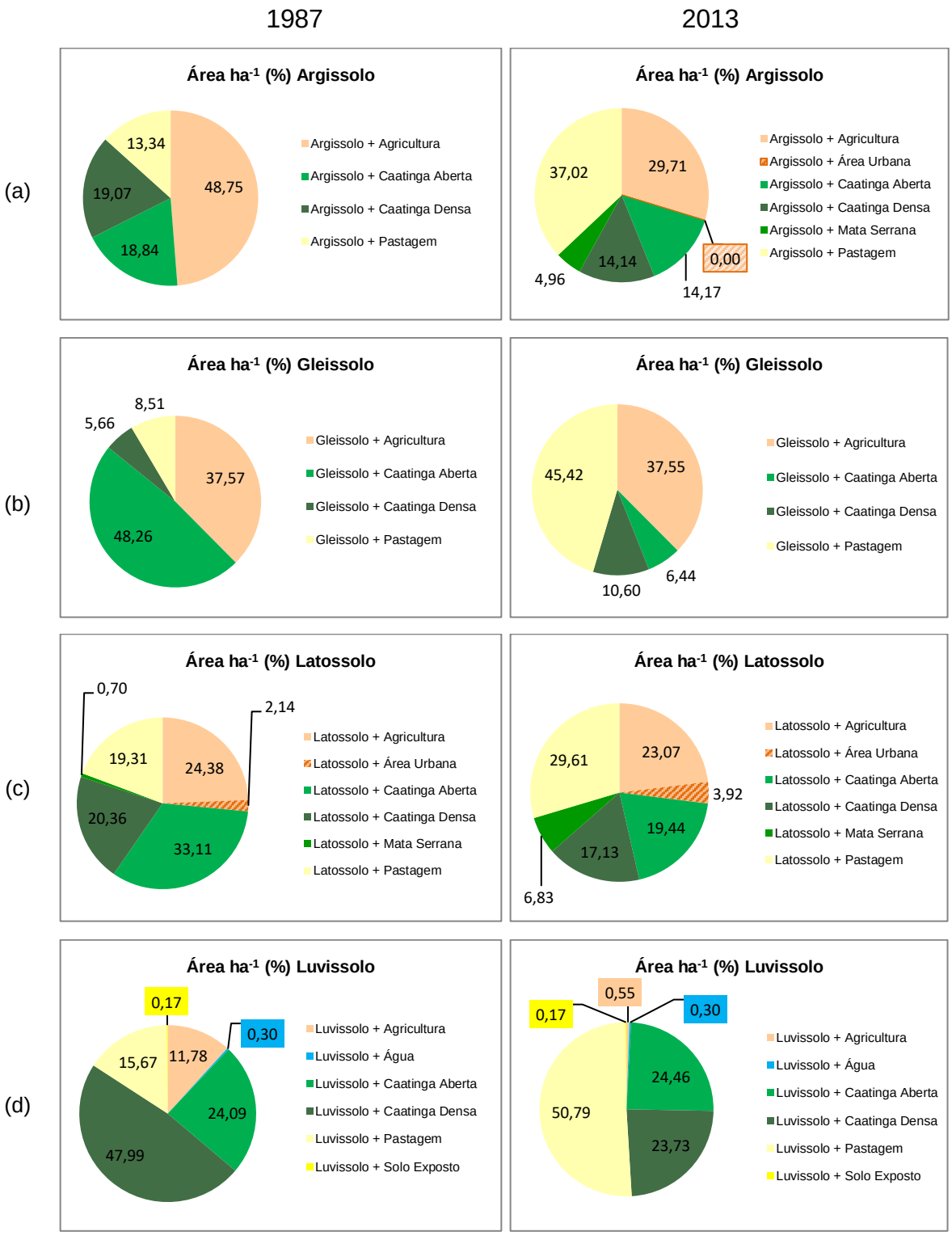
Tabela X. População por municípios nos anos de 1991 e 2010 com variação entre aumento e perdas.

Município / Ano	População		
	1991	2010	Variação
Pesqueira	57.622	62.931	**5.309**
Buíque	38.123	52.105	**13.982**
Alagoinha	11.068	13.759	**2.691**
Venturosa	12.070	16.052	**3.982**
São Bento do Una	42.236	53.242	**11.006**
Sanharó	15.024	21.955	**6.931**
Capoeiras	19.577	19.593	**16**
Caetés	20.626	26.577	**5.951**
Jucati	7.796	10.604	**2.808**
Garanhuns	103.341	129.408	**26.067**
Brejão	8.707	8.844	**137**
Paranatama	11.415	11.001	**- 414**
Pedra	19.614	20.944	**1.330**
Saloá	14.837	15.309	**472**
Iati	18.586	18.360	**- 226**
Águas Belas	38.355	40.235	**1.880**
TOTAL	**438.997**	**520.919**	**81.922**

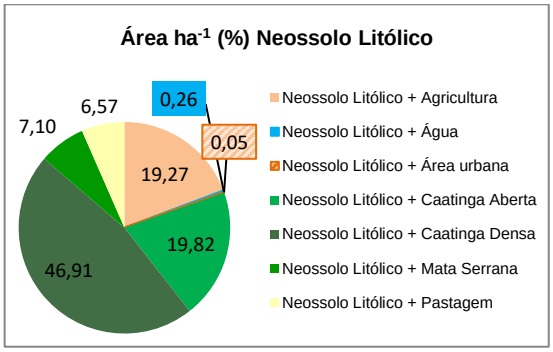
Fonte: Adaptado de SIDRA – Censo Demográfico (IBGE, 2016a).

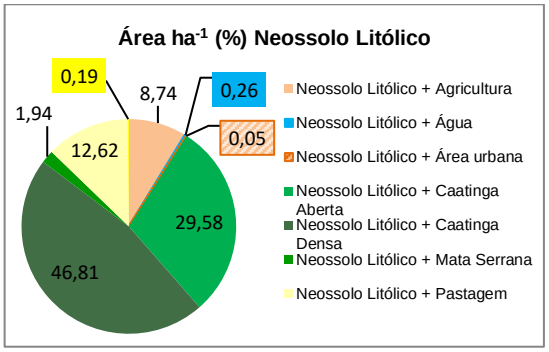
Apêndice C

Valores em (%) de Área ha^{-1} expressos em gráficos para cada classe de solo com suas respectivas classes de uso e cobertura da terra na Folha de Venturosa para os anos de 1987 e 2013:

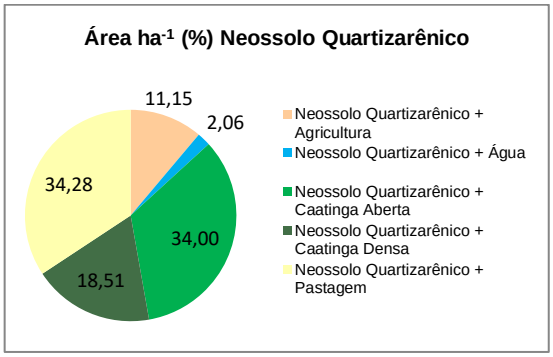


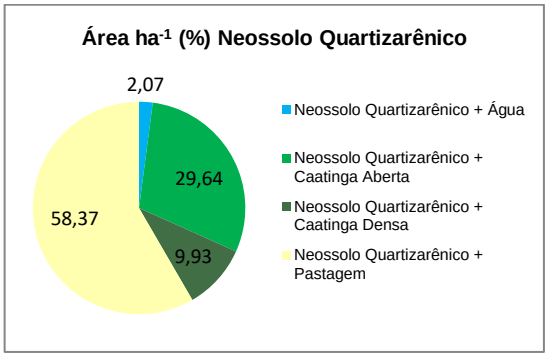
(e)



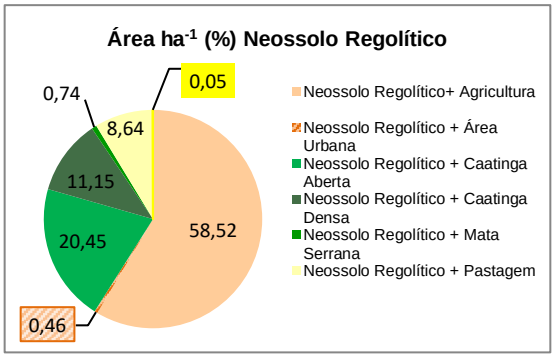


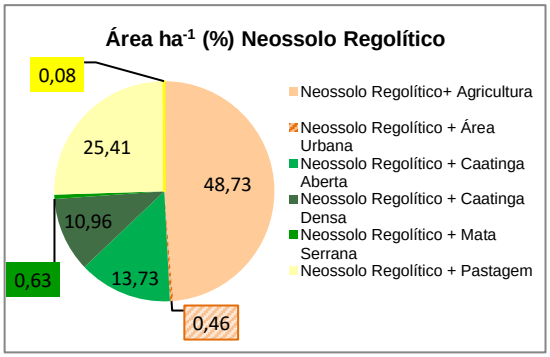
(f)



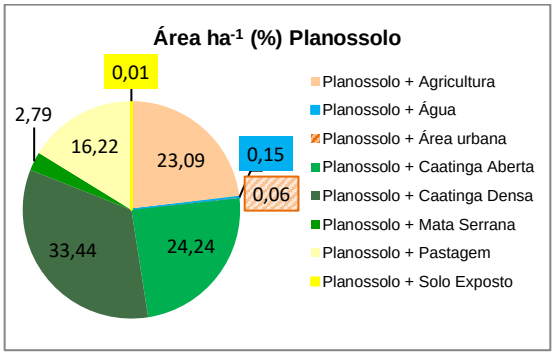


(g)





(h)



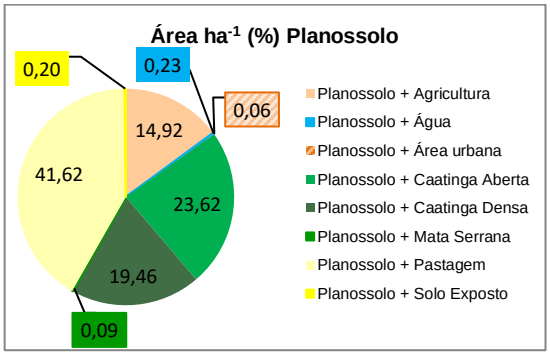
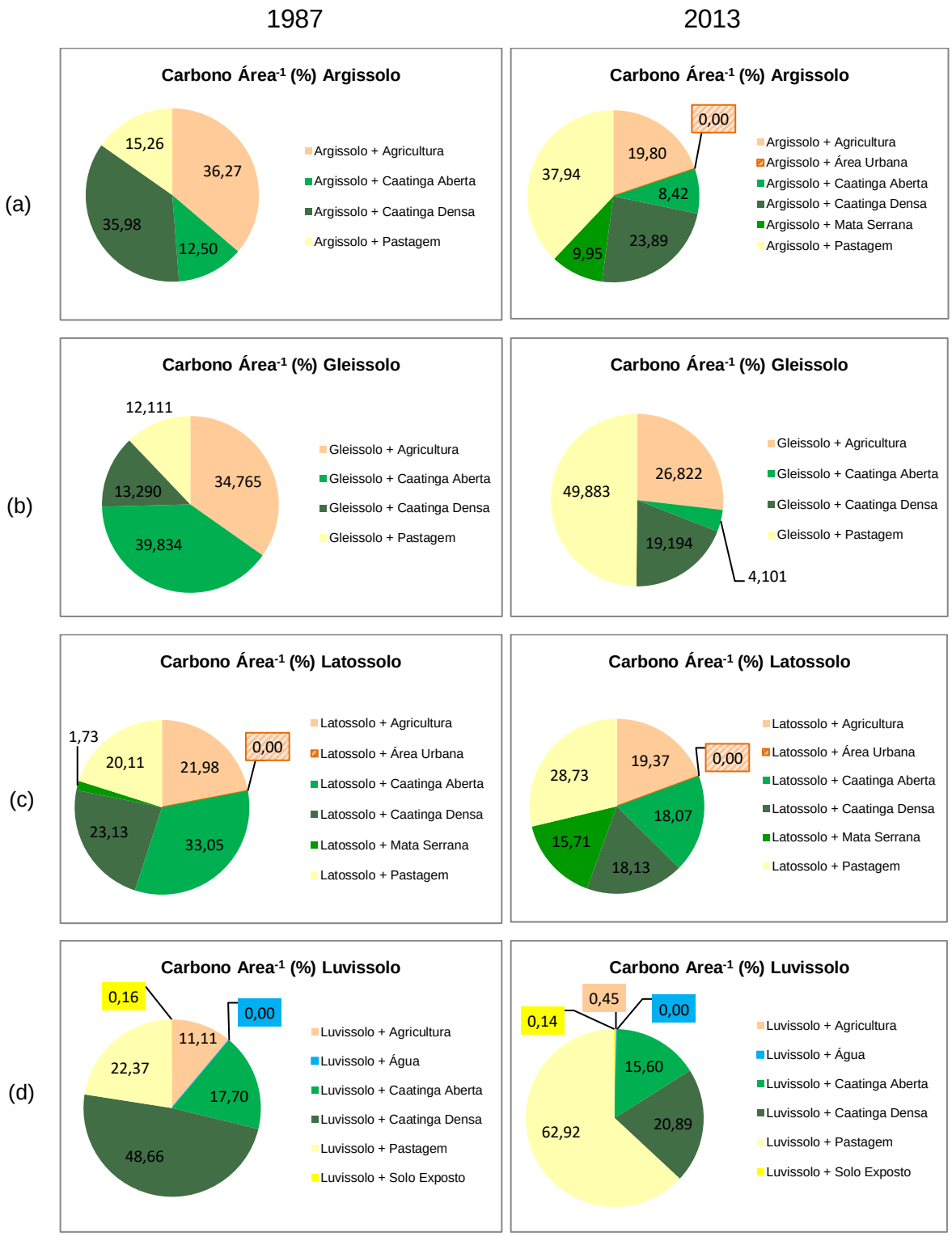


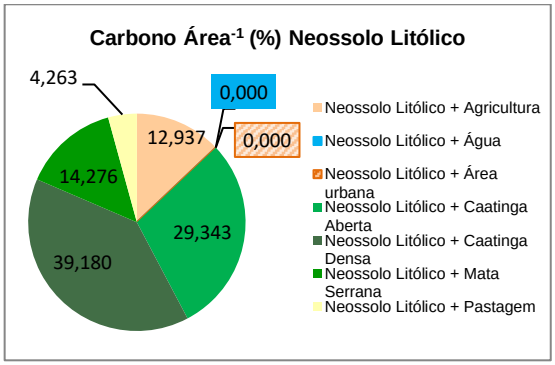
Figura da Distribuição dos valores em (%) de cada classe de solo em Área ha^{-1} pelas classes de uso e cobertura na Folha de Venturosa dos anos de 1987 (primeira coluna) e 2013 (segunda coluna). Argissolo (a), Gleissolo (b), Latossolo (c), Luvissolo (d), Neossolo Litólico (e), Neossolo Quartizarênico (f), Neossolo Regolítico (g) e Planossolo (h).

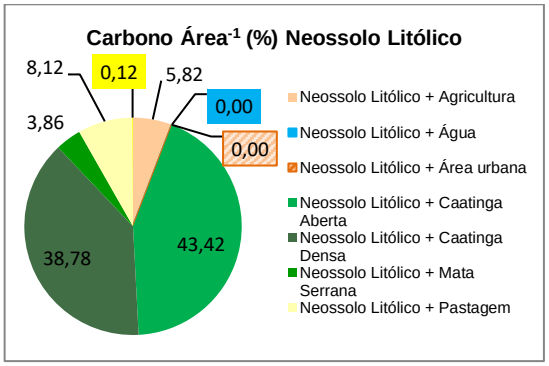
Apêndice D

Valores em (%) de C Área^{-1} expressos em gráficos para cada classe de solo com suas respectivas classes de uso e cobertura da terra na Folha de Venturosa para os anos de 1987 e 2013:

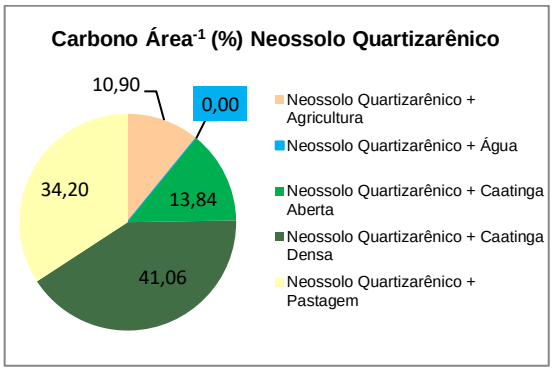


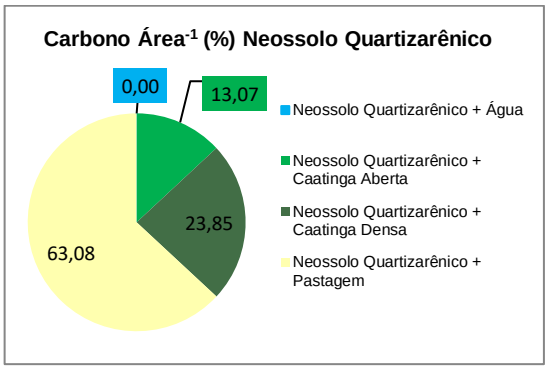
(e)



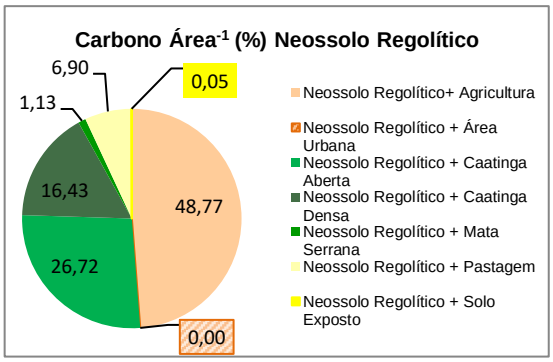


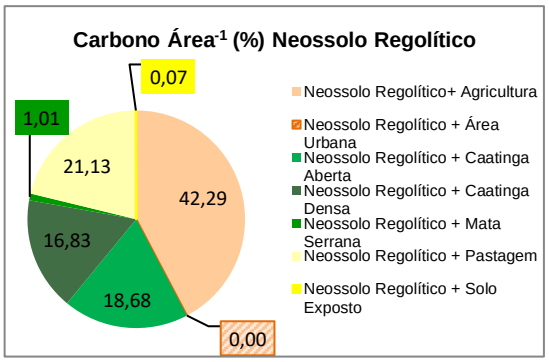
(f)



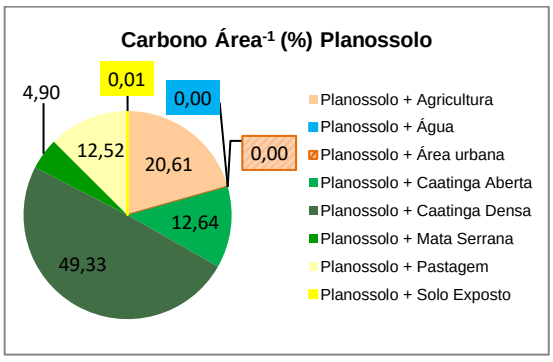


(g)





(h)



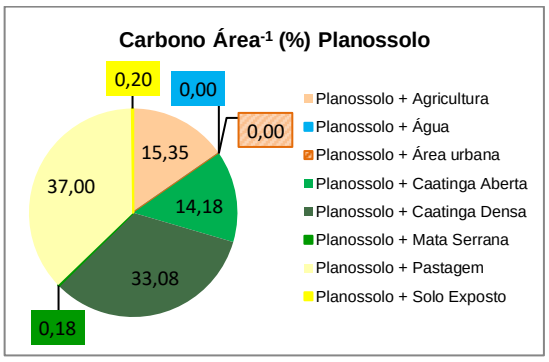


Figura da Distribuição dos valores em (%) de cada classe de solo em C Área^{-1} pelas classes de uso e cobertura na Folha de Venturosa dos anos de 1987 (primeira coluna) e 2013 (segunda coluna). Argissolo (a), Gleissolo (b), Latossolo (c), Luvissolo (d), Neossolo Litólico (e), Neossolo Quartizarênico (f), Neossolo Regolítico (g) e Planossolo (h).

ANEXOS

Anexo A

Matriz Energética e Meio Ambiente

A Matriz Energética Brasileira vem estimulando o uso de energias renováveis chamadas de limpas, minimizando ou eliminando a emissão de CO_2 de diversas fontes de energia, contribuindo com os acordos internacionais para a diminuição de emissão de GEE. Entre essas fontes uma delas já é conhecida de algumas décadas em nosso país, que seria a Usina Hidrelétrica (UH), onde o Brasil é considerado uma das maiores potências em bacias hidrográficas do mundo. As Usinas Hidrelétricas são responsáveis pela geração da maior parte de energia elétrica no Brasil. A UH tem em uma das suas vantagens, a não emissão de GEE para a atmosfera, isto tratando-se não da sua construção, pois para isso tem que desmatar uma parte da flora nativa, expondo o solo da área e contribuindo para a emissão de GEE na atmosfera. No entanto, após a construção o seu funcionamento não mais passaria por um processo de desmatamento tornando mínima ou nula a emissão de GEE para a atmosfera. As UH aproveitam a energia cinética da queda d'água, comandada pela força da gravidade, em compartimentos cilíndricos que irão mover turbinas, e estas, através da energia motriz gerarão energia elétrica de modo eficiente. Há, também, o uso de outras fontes previstas na Matriz Energética, como, energia solar, eólica, termelétrica, biomassa vegetal (etanol) e nuclear.

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME, 2015) a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) no Brasil chegou a 624,3 Terawatt-hora (TWh) em 2014, num total de 2,1 % a mais que o ano de 2013 que foi de (611,2 TWh). Destacando aumentos de 85,6 % na oferta por eólica, de 43,4 % por óleo, de 30,9 % por lixívia (fluído extraído no processo de cozimento da madeira na extração de celulose) e outras renováveis. A geração por gás natural e carvão cresceram 17,5 % e 24,2 %, respectivamente. Mas ainda, a maior oferta de energia elétrica é advinda da rede de geração hidráulica, mesmo com uma pequena queda em relação aos anos de 2013 e 2014, ficando com 65,2 % na estrutura da OIEE no ano de 2014, contra 70,6 % apurados em 2013, incluindo a energia elétrica importada da Usina de Itaipu.

De acordo com Alves (2010), tem havido grande interesse de muitos fabricantes e representantes dos principais países do mundo envolvidos com energia eólica no Brasil. Tendo na Região Nordeste como uma das pioneiras na instalação de energia eólica e sua geração em energia elétrica.

A Região Nordeste, juntamente com a Região Norte, apresentam as melhores condições para aproveitamento da energia eólica no país. Na Região Nordeste, a energia eólica servirá como complemento ao abastecimento de energia hidrelétrica, justamente pelo período de chuvas ser inverso ao comportamento dos ventos (ALVES, 2010).

Conforme Pacheco (2006) em relação a energia solar o país possui 1.752 a 2.190 kWh/m² por ano de radiação solar incidente, considerado um ótimo índice. Possuindo a Região Nordeste os melhores índices, especificamente no semi-árido. Isto coloca o Nordeste em posição de destaque em relação às demais regiões do mundo com maior potencial de energia solar.

Todas essas características advindas do Nordeste, como clima quente e alto índice de insolação ao longo do ano, compõem um quadro altamente favorável ao aproveitamento, em larga escala, da energia solar. Faltando um maior investimento desta fonte alternativa de energia sustentável para que possa fazer frente aos demais países desenvolvidos e, que às vezes, estes, não detém este favorecimento natural como o nosso (SAUER, et al., 2006).

No Brasil, a produção anual de energia de um sistema fotovoltaico de pequeno porte fica entre 800 e 1.800 kWh/kWp (PACHECO, 2006).

Tabela da OIEE de fontes renováveis e não-renováveis geradoras de energia elétrica da Matriz Brasileira.

	ESPECIFICAÇÃO	GWh[1]		Aumento ou Diminuição (%)	Estrutura (%)	
		2013	2014		2013	2014
RENOVÁVEIS	HIDROELÉTRICA	390.992	373.439	- 4,5	64,0	59,8
	BAGAÇO DE CANA	29.871	32.303	8,1	4,9	5,2
	EÓLICA	6.578	12.210	85,6	1,1	2,0
	SOLAR	5	16	235,5	0,001	0,003
	OUTRAS RENOVÁVEIS	**10.600**	**13.879**	**30,9**	**1,7**	**2,2**
NÃO RENOVÁVEIS	ÓLEO	22.090	31.668	43,4	3,6	5,1
	GÁS NATURAL	69.003	81.075	17,5	11,3	13,0
	CARVÃO	14.801	18.385	24,2	2,4	2,9
	NUCLEAR	15.450	15.378	- 0,5	2,5	2,5
	OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	**11.444**	**12.125**	**5,9**	**1,9**	**1,9**
IMPORTADA		40.334	33.775	- 16,3	6,6	5,4
TOTAL		**611.169**	**624.254**	**2,1**	**100,0**	**100,0**
Das quais são renováveis		478.381	465.623	- 2,7	78,3	74,6

[1] Gigawatt-hora (GWh).

Fonte: Resenha Energética Brasileira (MME, 2015, p.6).

Já pelo uso de energia térmica, o Nordeste do Brasil, diferentemente de regiões como o Norte e Centro-Oeste, que possuem maior área de florestas densas, existe um menor recurso florestal e, consequentemente, uma menor condição de uso de lenha para geração de energia, como exemplo, produção de carvão e lenha na geração termelétrica, ocasionando uma maior dependência energética de origem vegetal. A lenha da Caatinga é utilizada tanto para o consumo doméstico quanto para o consumo industrial (JÚNIOR et al., 2015).

De acordo com Rivero et al. (2009) e Arraes et al. (2012) a principal causa de desflorestamento no Brasil, especificamente na Amazônia, não são as fontes de energia utilizadas para suprir a necessidade da população e sua autonomia em tarefas cotidianas e industriais, mas a causa que mais desmata e expõe áreas enormes de solo é a agropecuária. Pois ocasiona a emissão de CO_2, devido à perda de biomassa das florestas e, também, a captação destas do CO_2 na atmosfera para a geração de energia química pela fotossíntese. Segundo dados do Censo 2006 do (IBGE, 2015b) a agropecuária ocupa uma área de 333,68 milhões de hectares no Brasil.

Ainda, de acordo com Júnior et al. (2015) justamente pela maior parte do Nordeste ser de domínio do Bioma Caatinga, expõe ainda mais este conjunto de ecossistemas, por diversos fatores, entre eles a forma predatória que é retirada a lenha, sem respeitar as leis ambientais. Além disso, a vegetação também é retirada para uso da área na atividade agropecuária.

Segundo Brand et al. (2010) uma alternativa na exploração da biomassa da Caatinga está a adoção de um sistema de exploração florestal sustentável, acabando com o atual modo de exploração, preservando e conservando os recursos naturais e a topografia da área.

Junto às novas tecnologias desenvolvidas como uso alternativo de energia há a necessidade no âmbito rural, onde a maior parte das usinas de energia se encontram, a promoção de uma política de fiscalização para a conservação e preservação dos recursos naturais e combate ao desmatamento. Tal ferramenta já criada pelo Governo Federal e que apoiará o MMA (Ministério de Meio Ambiente) na inspetoria das propriedades rurais do Brasil é o CAR – Cadastro Ambiental Rural.

Na Lei Federal 12.651/12, Código Florestal, no capítulo V e art. 26 trata da supressão de vegetação para uso alternativo do solo:

> “A supressão de vegetação nativa para uso alternativo do solo, tanto de domínio público como de domínio privado, dependerá do cadastramento do imóvel no CAR, de que trata o art. 29, e de prévia autorização do órgão estadual competente do Sisnama (BRASIL, 2012)”.

De acordo com a Lei 12.651/12 art. 29, o CAR é um registro público eletrônico de esfera nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento. Instituindo uma integração do governo e proprietário rural através da análise e fiscalização dos recursos naturais do país como bem de todos e, a observância da lei para o cumprimento com os deveres na conservação da fauna e flora nativas que é de interesse comum a todos os habitantes do país, respectivamente.

ANEXO B

Tabela dos principais municípios produtores de leite em Pernambuco no ano de 2015.

Ranking	Município	Produção de Leite (1.000 litros)	Valor da Produção (R$ 1.000)
1º	Bom Conselho	83.472	79.299
2º	Pedra	72.330	79.563
3º	Buíque	53.801	59.181
4º	Itaíba	50.000	55.000
5º	São Bento do Una	47.900	50.295
6º	Venturosa	33.395	36.735
7º	Tupanatinga	32.000	35.200
8º	Águas Belas	31.300	32.865
9º	Canhotinho	28.000	25.200
10º	Pesqueira	20.000	19.000

Fonte: Adaptado do BDE (2017).