



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA**

**SIMONE TAVARES DA SILVA**

**METODOLOGIA DE ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE DINÂMICA  
POPULACIONAL, CLIMA E VETORES DE MUDANÇA NO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**CAMPINA GRANDE**

**ABRIL DE 2016**

**SIMONE TAVARES DA SILVA**

**METODOLOGIA DE ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE DINÂMICA  
POPULACIONAL, CLIMA E VETORES DE MUDANÇA NO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre.

**Área de Concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária**

**Orientadora: Dra. Iana Alexandra Alves Rufino**

**Campina Grande, Abril de 2016.**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- S586a Silva, Simone Tavares da.  
Metodologia de análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro / Simone Tavares da Silva. – Campina Grande, 2016.  
75 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2016.  
"Orientação: Profa. Dra. Ivana Alexandra Alves Rufino".  
Referências.
1. Climatologia. 2. Dinâmica Populacional - Clima. 3. Indicadores Geotecnológicos. I. Rufino, Ivana Alexandra Alves. II. Título.

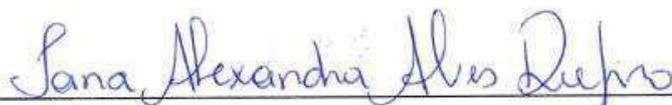
CDU 551.58(043)

SIMONE TAVARES DA SILVA

**METODOLOGIA DE ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE DINÂMICA  
POPULACIONAL, CLIMA E VETORES DE MUDANÇA NO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação aprovada em 28/04/16.

COMISSÃO EXAMINADORA:



Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino

Orientadora



Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho

Examinador externo



Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi

Examinador interno

CAMPINA GRANDE  
ABRIL DE 2016

*As palavras dos sábios são como agulhões e como pregos bem fixados pelos mestres das congregações, que nos foram dadas pelo único Pastor. E, demais disso, filho meu, atenta: não há limite para fazer livros, e o muito estudar é enfado da carne. De tudo o que se tem ouvido, o fim é: Teme a Deus e guarda os seus mandamentos; porque este é o dever de todo o homem. Porque Deus há de trazer a juízo toda a obra e até tudo o que está encoberto, quer seja bom, quer seja mau.*

***Eclesiastes 12:11-14***

À Deus.  
À Iratan e Vaudade, amados pais.  
Aos meus irmãos, cunhada e sobrinhos,  
Dedico.

## AGRADECIMENTO

---

Primeiramente a Deus (Pai, Filho e Espírito Santo) por ter me conduzido durante todo o processo da minha vida estudantil, permitindo-me a conclusão deste mestrado. Por todas as dificuldades enfrentadas e superadas, onde cada uma delas me proporcionaram crescimento no Senhor.

Aos meus preciosos pais, Iratan e Vaudete, pela dedicação, investimento, amizade e, principalmente pelo amor incondicional.

À minha segunda mãe, Maria Barbosa, “Mariquinha”, por toda força, conselhos e, principalmente pelas horas de oração a mim dedicada.

Aos meus irmãos, Saulo, Breno, Amanda e Silvia, pela atenção e apoio.

Aos meus sobrinhos amados, Arthur César e Ana Clara, pela alegria e amor à “tia linda”.

Aos meus pastores e esposas, Elias Vitorino e Berenice, Orlando e Laura, Flávio e Branca, Roberto e Patrícia, Josembergue e Késia, Josenildo e Socorro por todo apoio, oração e sábios conselhos.

À minha orientadora, professora Iana Alexandra Alves Rufino por todo conhecimento transmitido com destreza e competência.

Às minhas amadas alunas de Escola Dominical pelas orações e apoio.

Aos meus amigos amados, Simone Fernandes, Kátia Teixeira, Edson Camargo, Enézio Almeida, Ceíça, Maria Augusta Maracajá, Amanda Sobral, Dayane Barbosa, Nilma, Emanuele pelo apoio, dedicação, incentivo e orações.

Aos estimados professores Walter Santa Cruz e Rosires Curi, pelo apoio e sábios conselhos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, cujas disciplinas participaram de minha formação: Carlos Galvão, Márcia Rios, Iana Rufino, Rosires Curi, Andreia Rodrigues, Mônica Coura, Veruschka

Escarião, por compartilharem o conhecimento técnico e científico com zelo e destreza.

Ao professor do programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Carlos Antonio Costa dos Santos pelo conhecimento transmitido com zelo e destreza e pelo apoio.

Aos colegas de mestrado, Everton, Cibele, Roque, Lívia, Halana, por toda atenção e colaboração.

Aos colegas pesquisadores do laboratório BU, John, Fernanda, e todos os demais, pela colaboração.

À minha amiga Aurezinha por todo apoio e amizade.

À Josete, por toda sua competência e atenção.

Aos funcionários da Área de Engenharia de Recursos Hídricos: Valdomiro, Ismael, Haroldo, Raul e Aurezinha, pelo suporte administrativo e técnico.

À Universidade Federal de Campina Grande pela oportunidade de formação acadêmica e profissional.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de Mestrado.

A região semiárida do Nordeste brasileiro caracteriza-se por um baixo regime pluviométrico e uma variabilidade climática natural que se reflete em eventos extremos como secas prolongadas. O bioma Caatinga tem sofrido os impactos das mudanças ora causadas por ações humanas, ora causadas direta ou indiretamente pelas variações no clima. O zoneamento de áreas mais suscetíveis a mudanças, ou historicamente sob forte pressão por causa do crescimento das cidades e outros fatores antrópicos, podem auxiliar em ações de planejamento mais sustentáveis. Fazendo uso de dados bioclimáticos em escala global e, de dados censitários em escala regional, o presente trabalho buscou uma metodologia integradora advinda das Geotecnologias com vistas à obtenção de um indicador das áreas submetidas a forte “pressão por mudanças”, que pode ser exercida por variáveis climáticas, demográficas ou socioeconômicas na região semiárida do Nordeste brasileiro. Faz-se o uso de técnicas de sobreposição *Fuzzy*, além de um estimador de densidade *Kernel* e são considerados três vetores principais utilizando variáveis climáticas e censitárias. Um vetor climático impulsionado por variáveis climáticas (Temperatura média, Precipitação média e Sazonalidade da Precipitação); um vetor oriundo de atividade humana demográfica, impulsionado por variáveis demográficas de população (densidade populacional e população rural) e um vetor impulsionado por atividades socioeconômicas (IDHM e PIB agropecuário). A sobreposição destes três vetores permitiu a obtenção de um indicador único de áreas submetidas à forte “pressão por mudanças” na região em estudo. Os resultados apontam áreas submetidas a “forte pressão” no entorno de cidades importantes no contexto atual do semiárido nordestino, o que se reflete em alterações marcantes na forma de uso e ocupação destas regiões. Isto se configura, principalmente, por essas regiões apresentarem alta densidade populacional, acompanhada por um crescimento do PIB agropecuário nos últimos anos.

Palavra-chave: dinâmica populacional; clima; indicadores e Geotecnologias.

## ABSTRACT

---

The semi-arid region of northeastern part of Brazil has low precipitation rates and high natural climate variability. It appears through extreme events such as prolonged droughts. The Caatinga biome has been under impacts either caused by human actions, as directly or indirectly caused by climate changes. For a better understanding and planning actions about those changes, susceptible areas could be classified and zoned, making possible a visualization of historical and continuous pressures caused by urban growth or other human pressures. This research uses bioclimatic data on a global scale and census data at the regional and local scale in an integrative approach. Geospatial technologies are used to obtain a “pressure for changes indicator” caused by climatic, demographic or socioeconomic variables. Fuzzy overlay techniques are used and a statistical estimator for generate surfaces (*Kernel density*) for three chosen drivers. One climate driver represented by Temperature, Precipitation and Precipitation Seasonality; One Demographic driver represented by Population density and rural population changes; and one socioeconomic driver represented by HDI (Human development index) for each county and agricultural GDP (Gross Domestic Product). This overlay process results in a unique “Change for pressure” index for the Brazilian semi-arid region. The results show the nearest areas from some important middle cities such as “high pressure changes”. In those areas, it is possible to observe the strong correlation between LULCC and high density urban areas and an increasing of GDP (Gross Domestic Product for Livestock and Agriculture) in the last years as well.

Keywords: Population dynamics; climate and human drivers; indexes and geospatial technologies.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

---

Figura 1: Perfil esquemático de um brejo de altitude típico (Planalto da Borborema – AL, PB, PE, RN) do Nordeste do Brasil. Fonte: Tabarelli & Santos (2004).....	23
Figura 2: Faixas de desenvolvimento humano municipal. Fonte: PNUD, IPEA, FJP (2013). .....	29
Figura 3: Componentes de um sistema de informação geográficas. Fonte: adaptado de Dent, 1999.....	31
Figura 4: Representação esquemática de um estimador <i>Kernel</i> . Fonte: Almeida et al (2009). .....	32
Figura 5: Bacias Hidrográficas (Fonte: ANA, 2012).....	35
Figura 6: Vetores causadores de mudança no uso do solo. ....	36
Figura 7: Atividades humanas 1 e 2.....	36
Figura 8: Escalas temporais das variáveis climatológicas, atividades humanas 1 e atividades humanas 2.....	37
Figura 9: Temperatura média anual.....	39
Figura 10: Precipitação Anual (a) e Sazonalidade da Precipitação (b). ....	40
Figura 11: Modelo conceitual das variáveis climatológicas. (a) Função de adequação da Temperatura; (b) Função de adequação da Precipitação e (c) Função de adequação da sazonalidade da Precipitação.....	44
Figura 12: Modelo conceitual das variáveis demográficas.....	45
Figura 13: Modelo conceitual das variáveis socioeconômicas. ....	46
Figura 14: Resumo de toda Modelagem. ....	47
Figura 15: Atividades Humanas 1 (etapa da modelagem). ....	48
Figura 16: Atividades Humanas 2 (etapa da modelagem). ....	49
Figura 17: Vetor clima (etapa metodológica).....	49
Figura 18: (a) Mapa de diferença da densidade populacional; (b) Mapa de diferença da população Rural.....	50
Figura 19: (a) Mapa de diferença do IDHM; (b) Mapa de diferença do PIB agropecuário. ....	50
Figura 20: Resultados (a) Vetor Clima; (b) Vetor Atividade Humana 1 (c) Vetor Atividade Humana 2. ....	51
Figura 21: Densidade populacional em (a) 1980 e (b) 2010. Nível de agregação espacial “limite municipal”.....	52
Figura 22: Dinâmica populacional em superfície pelo uso da função <i>Kernel</i> em (a)1980 e (b) 2010.....	52
Figura 23: Dinâmica da população rural em (a) 1980 e (b) 2010. Nível de agregação espacial “limite municipal” (polígonos).....	53
Figura 24: Dinâmica da população rural para os anos de 1980 e 2010 (utilizando superfície <i>Kernel</i> ).....	53
Figura 25: IDHM em (a) 2000 e (b) 2010. Nível de agregação espacial. ....	55
Figura 26: IDHM em (a) 2000 e (b) 2010 (utilizando superfície <i>Kernel</i> ).....	55
Figura 27: PIB Agropecuário em (a) 2000 e (b) 2010. Nível de agregação espacial. ....	57
Figura 28: PIB Agropecuário em (a) 2000 e (b) 2010 (utilizando superfície <i>Kernel</i> ).....	57
Figura 30: Pressão a mudanças no uso do solo (Modelagem Final).....	60

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1: População do Semiárido e decréscimo da população rural nos períodos 1991-2000 e 2000-2010. ....	21
Tabela 2: Êxodo rural brasileiro e do Semiárido nos períodos 1991-2000 e 2000-2010 (Fonte: Alves, 2015).....	22
Tabela 3: Variáveis bioclimáticas fornecidas pelo WorldClim derivadas das variáveis de temperatura e pluviosidade.....	38
Tabela 4: Principais resultados do Valor Adicionado a preços básicos por Setores de Atividades – 2010 – Ceará e Brasil. ....	56

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1. O Clima e as Mudanças no Uso do Solo .....	17
2.2. Dinâmica Populacional .....	19
2.3. Clima no semiárido brasileiro.....	22
2.4. Desenvolvimento econômico no Nordeste brasileiro .....	26
2.5. Geotecnologias .....	29
2.5.1. Sistema de Informação Geográfica (SIG) .....	29
2.5.2. Análises espaciais e Modelos de agregação espacial .....	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
3.1. Área de Estudo .....	34
3.2. Escolha das variáveis e metodologias de integração .....	35
3.3. Dados Climáticos .....	37
3.4. Dados demográficos: densidade populacional, população rural, PIP agropecuário e IDHM.....	41
3.5. Critérios e modelagem .....	42
3.6. Modelagem Espacial.....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1. Critérios: Clima, Atividade Humana1 e Atividade Humana2 .....	48
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

A temperatura da atmosfera tem se elevado, em especial, da troposfera, fenômeno este popularmente chamado de aquecimento global, tornando-se um dos mais desafiadores males ocasionado pela ação do homem na atualidade. O aquecimento do Planeta por ação antropogênica, apesar da incerteza relativa à sua magnitude, é fato aceito pela comunidade científica (PBMC, 2013). Áreas urbanas densas propiciam a formação de ilhas de calor devido às ações antrópicas intensas de suas fábricas, indústrias, longas redes de tráfego rodoviário, edifícios e estacionamentos (Kato e Yamaguchi, 2010). A mudança climática é o resultado de um processo de intensificação do efeito estufa (Arnell, 1994). Trata-se de um acúmulo de gases na atmosfera oriundos de várias fontes naturais ou fabricadas pelo homem desde a revolução industrial. Este efeito ocasiona alteração no balanço de energia, eleva as temperaturas e as taxas de evaporação, modifica o ciclo das chuvas, diminui a umidade dos solos e das águas subterrâneas e altera o escoamento superficial e fluvial.

Qualquer atividade humana ou desastre natural que altere significativamente a quantidade da vegetação e de áreas úmidas proporcionará alterações no clima tanto espaciais, quanto temporais (Weng, 2001; Chudnovsky, 2004). É exatamente nesse contexto que o sensoriamento remoto (SR) possibilita à comunidade científica quantificar e/ou estimar os fluxos de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre de maneira a capturar os dados praticamente em tempo real, diariamente, com alta resolução temporal e espacial. A tecnologia de sensores remotos acoplados a satélites permite o estudo de várias atividades humanas. Dentre estas atividades, estão os estudos de ocupação do solo em áreas urbanas, como as chamadas *Urban heat Island* (UHI), ou seja, ilhas urbanas de calor (Streutker, 2002; Voogt e Oke, 2003). As bandas termais dos sensores como o Landsat e AVHRR têm sido amplamente utilizadas para mapear os estudos de UHI no Japão, por exemplo (Streutker, 2003; Weng, 2004).

A produção e distribuição gratuita de *softwares* de Geoprocessamento, bem como a facilidade de se encontrar dados disponíveis de boa qualidade de produtos de Sensoriamento Remoto em *websites* aumentam ano após ano. É o caso do projeto *Worldclim* (Hijmans *et al*, 2005), uma base de dados bioclimáticos globais, que fornece variáveis bioclimáticas para estudos ambientais com resolução espacial de aproximadamente 1 Km<sup>2</sup>. Pode-se encontrar também uma vasta gama de dados censitários, igualmente de fácil acesso na *Internet*, os quais, muitas vezes não são utilizados por gestores por se encontrarem em formato inadequado para uma rápida análise. Tais dados vêm proporcionando à comunidade acadêmico/científica e ao público em geral a produção de materiais de qualidade e a custos baixíssimos para ajudar na tomada de decisão. O fator preponderante, no entanto, não é mais a produção de dados em si, mas *como utilizá-los de maneira eficaz para se obter o resultado desejado*, ou seja, qual metodologia mais apropriada para a produção de informações relevantes.

Neste contexto, o presente trabalho propõe uma metodologia integradora de variáveis bioclimáticas e censitárias com vistas a um indicador único que represente áreas submetidas à forte pressão no semiárido brasileiro. Neste sentido, quatro indicadores socioeconômicos foram selecionados a partir de variáveis censitárias: densidade populacional e população rural, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário. Além disso, três variáveis bioclimáticas foram escolhidas e utilizadas na análise: temperatura média anual (BIO1), precipitação anual (BIO12) e sazonalidade da precipitação (BIO15). Toda a análise foi realizada em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica) levando em consideração os conceitos advindos da teoria dos conjuntos difusos ou nebulosos para os métodos de sobreposição dos planos de informação.

Como objetivo geral, este trabalho propõe o desenvolvimento de um indicador que seja representativo das pressões exercidas no uso e na cobertura do solo no semiárido brasileiro, considerando prioritariamente variáveis climatológicas, populacionais e socioeconômicas através de uma metodologia integradora de análises espaciais.

Mais especificamente este estudo pretende:

- Investigar as relações entre as mudanças causadas pela dinâmica populacional e as mudanças inerentes às variáveis climatológicas e ambientais;
- Desenvolver uma metodologia de análise espacial das variáveis bioclimáticas (superfícies globais) para o semiárido brasileiro integrada às variáveis censitárias disponíveis (base municipal) utilizando ferramentas de modelagem em ambiente SIG;
- Classificar as áreas submetidas a forte pressão à mudanças estabelecendo uma hierarquia para análise dos resultados (dos níveis mais baixos aos mais altos).

Os capítulos seguintes se estruturam da seguinte forma: capítulo dois trata da fundamentação teórica, o capítulo três apresenta os materiais e métodos, no quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões, e o quinto e último capítulo trata das conclusões e recomendações finais.

---

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. O Clima e as Mudanças no Uso do Solo

A variabilidade climática tem sido ao longo dos anos, a principal causa de flutuações na produção global de alimentos em regiões áridas e semiáridas dos países tropicais em desenvolvimento. Picos de aquecimento e resfriamento, secas e inundações e várias outras formas de variações climáticas têm causado estragos na agricultura e pecuária destas regiões. Tudo isto, somado a outros condicionantes físicos e a questões sociais e econômicas podem fazer com que as mudanças climáticas tenham um forte impacto econômico e organizacional da população (Sivakumar *et al.*, 2005).

Existem diversas bases de dados climáticos globais disponíveis para uso em SIG. As geotecnologias permitem integrar diferentes dados de fontes e formatos variados. Nos dias atuais, o desafio científico não é mais a produção do dado espacial em si, mas a definição da metodologia mais “apropriada” para usar de forma eficiente a vasta gama de dados espaciais disponível.

Para criar uma série temporal de dados de chuva para múltiplas localizações é necessário um trabalho árduo de coleta dos dados das estações que, por sua vez, utilizam diferentes instrumentos e métodos e o resultado é um conjunto de dados que nem sempre tem uma boa distribuição espacial. Segundo Chapman (2010), na última década, esses registros foram criados, e em seguida, através de procedimentos de interpolação sofisticados, os dados foram expressos novamente em *pixels* de latitude e longitude em diferentes níveis de resolução.

Uma das grandes dificuldades nos estudos sobre as mudanças no uso e ocupação do solo é a mensuração de fatores físicos, como clima e indicadores socioeconômicos, visando quantificar a pressão causada pelo crescimento demográfico. Mesmo compreendendo que os aspectos físicos de um bioma estão intimamente relacionados aos aspectos antrópicos, na maioria das vezes, as

análises precisam ser realizadas isoladamente por limitações metodológicas ou mesmo de compatibilização dos diversos formatos de dados envolvidos (por exemplo: uma seca prolongada causa a procura por fontes alternativas de subsistência, o que pode implicar em alterações na forma de apropriação e uso do solo). No tocante às variáveis socioeconômicas, estas são usualmente agregadas por municípios, enquanto as variáveis físicas e climáticas são espacializadas comumente de forma contínua ao longo da superfície estudada.

Entende-se por uso do solo ou da terra a forma pela qual o espaço geográfico está sendo ocupado pelo Homem (Rosa, 2007). Para se fazer bom uso do espaço físico, é essencial ao homem conhecer a distribuição espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra onde o mesmo está inserido (IBGE, 2013). Para Novo (1989), o termo uso da terra refere-se à utilização cultural da terra. Isto remete ao fato de que a ação do homem está intimamente relacionada com a forma da apropriação e uso de seu habitat.

Muitos fatores têm causado mudança no uso do solo, principalmente fatores antrópicos. Em se tratando do Nordeste brasileiro, região marcada fortemente pelas desigualdades regionais, tais como o índice de analfabetismo, as condições de saneamento básico, subnutrição, migrações, etc., há também um fator extremamente relevante na mudança do uso do solo na região: a degradação do solo por sucessivos manejos inadequados ou por variações no clima, que pode levar à desertificação.

O processo de degradação produz a deterioração da cobertura vegetal do solo, afetando, inclusive, os recursos hídricos. Por meio de processos físicos, químicos e hidrológicos, a deterioração do solo provoca a destruição do potencial biológico das terras, interferindo diretamente na capacidade destas em manter a população que está inserida em seus limites territoriais de modo sustentável (Vieira *et al*, 2013). Sampaio *et al* (2005) alertam para fatores como o uso de equipamentos pesados em solos com teores de água inadequados, o que pode levar à compactação do solo. Oliveira-Galvão *et al* (2003) apontam que o processo de desertificação do solo deve ser observado com rigor, inclusive, pois ocorre em ambientes que apresentam fragilidade ambiental, limitações de autocontrole, bem como auto recuperação frente à instalação de processos humanos.

## 2.2. Dinâmica Populacional

Ao se tratar de dinâmica populacional, termos como: *taxa de natalidade*, *taxa de mortalidade*, *taxa de imigração*, *taxa de emigração* são importantes para compreender o que ocorre como equilíbrio das populações naturais. Fatores como aumento na produção de alimentos, melhoria nas condições sanitárias, aperfeiçoamento no combate às doenças fazem com que a taxa de mortalidade diminua e a taxa de natalidade aumente. O modelo matemático de Malthus sobre o crescimento populacional do século XVII já previa a relação de desequilíbrio entre crescimento populacional e desenvolvimento econômico (Malthus, 1983). Segundo este modelo a população cresceria mais do que a terra pudesse produzir alimentos para mantê-la. Para Lam (2011), muitos dos “problemas” apontados pelas visões malthusianas não foram confirmados pela história. A população mundial dobrou em 39 anos, entre 1960 e 1999, passando de 3 para aproximadamente 6 bilhões de pessoas, o que nunca havia acontecido na história mundial. Esta cresceu 2,2 vezes entre 1960 e 1999, enquanto a produção de alimentos aumentou 3,1 vezes.

Uma população numerosa e bem alimentada era considerada um indicador de uma sociedade e uma economia bem-sucedidas (Reher, 2011). No entanto, o crescimento populacional para os recursos naturais e capitais fixos, por um lado, são responsáveis pela degradação ambiental, baixo nível de bem-estar e por uma baixa renda *per capita*, por outro, podem representar os fatores que estimulam a demanda agregada, aumento da economia de escala e da oferta de força de trabalho (Camarano, 2014).

A população mundial tem crescido vertiginosamente nas últimas décadas. Este fenômeno está muito relacionado ao aumento dos centros urbanos. Estima-se que até 2050, mais de 6 bilhões de pessoas (cerca de dois terços da população mundial) estarão vivendo em cidades ou em áreas urbanizadas (Simpson, 2013). O aumento da população nas cidades, comumente, causa uma pressão por recursos naturais disponíveis em seu entorno, seja no âmbito alimentar, energético ou na extração de materiais diretamente relacionados com a construção civil. Logo, municípios que apresentam uma dinâmica populacional de grandes mudanças em

um certo período tendem a apresentar alterações no uso do solo de seu território, não apenas nas áreas urbanizadas, como em todo o seu entorno.

O impacto no uso do solo concernente à dinâmica populacional no mundo se procede em todas as áreas habitadas e de várias formas. Para Girão (2004), a ação antropogênica sobre o ambiente natural rapidamente promoveu inúmeras alterações, negligenciando-se a dinâmica ambiental como um dos fatores reguladores dos complexos processos responsáveis pelo equilíbrio dos sistemas físicos.

Ao se tratar a problemática ambiental urbana no Brasil, pensa-se imediatamente nas grandes metrópoles como o eixo Rio – São Paulo cercado de poluição, rios contaminados, grandes congestionamentos, e tantos outros indicadores de impacto que afetam as grandes massas demográficas (OJIMA, 2013). De fato essa é a realidade de praticamente metade da população urbana brasileira que, aliás, são legítimos os desdobramentos para se discutir políticas públicas para estas regiões específicas. Porém, há outras regiões do território brasileiro que também possuem problemas ambientais de urbanização de suas cidades.

O Nordeste, por exemplo, também é uma dessas regiões. Segundo os dados do Censo Demográfico 2010, esta região era ocupada por 27,8% da população brasileira (53 milhões de pessoas), e, além disso, era a segunda região em termos populacionais. O Censo Demográfico de 1980 apontava para 34,8 milhões de habitantes na região, representando à época 29,3% do total do país; dados censitários bem similares. É ainda a região brasileira menos urbanizada: 73,1%, em 2010, ficando atrás apenas da Região Norte do país.

A região Nordeste, por tradição, é considerada como a principal região “expulsora” de pessoas no Brasil. Fatores ambientais, baixos indicadores de desenvolvimento econômico como mortalidade infantil, esperança de vida ao nascer, dinamismo econômico têm sido alguns fatores que justificam essas emigrações (Oliveira, 2009). Por se tratar de uma região bastante heterogênea no tocante as questões econômicas, ambientais e culturais, a análise ambiental é complexa, pois a dinâmica da urbanização apresenta situações de desastres ambientais opostos: na porção do semiárido, têm-se as estiagens severas e prolongadas, estações secas

com baixa ou ausência de pluviosidade, onde a perda da umidade do solo é superior a sua reposição (Kobiyama, *et al*, 2004) e a alta pluviometria ou as cheias, em sua porção litorânea (Silva, 2014; Júnior, 2013).

Segundo Ramalho (2013) a seca tem motivado o nordestino à migração em busca de áreas mais favorecidas de recursos e de trabalho. Singer (1980) diz que o fenômeno migratório é também social, que o indivíduo ao migrar estaria respondendo aos processos social, econômico e político. Para este autor, “as migrações internas são sempre historicamente condicionadas, sendo o resultado de um processo global de mudanças, do qual elas não devem ser separadas” (SINGER, 1980, p. 217). Para Silva (2013), o Semiárido brasileiro teve seu movimento migratório interno e êxodo rural aumentado em meados da década de 1970, quando a crise econômica brasileira intensificou as desigualdades sociais, bem como o crescimento desordenado das cidades, com destaque para Maranhão, Pará, Amazonas, São Paulo, Rio de Janeiro, Distrito Federal e capitais do Nordeste.

Em 1991, a população rural do Semiárido correspondia à cerca de 51,52% da população total, em 2000 à 43,73%, em 2010 à 38,03%. No entanto, é menos urbanizada do que o Brasil, que no Censo populacional de 2010 obteve população rural de 15,63%. Porém, no intervalo de 1991 a 2000 a população urbana do Semiárido superou à rural, que chegou a perder 752.259 habitantes e no período entre 2000 e 2010 perdeu 545.978 habitantes (IBGE, 2011). A tabela 1 apresenta esta evolução da população de forma sistematizada.

Tabela 1: População do Semiárido e decréscimo da população rural nos períodos 1991-2000 e 2000-2010.

<b>População</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b><math>\Delta 2000/1991</math></b>	<b>2010</b>	<b><math>\Delta 2010/2000</math></b>
Rural	9.893.454	9.141.195	-752.259	8.595.217	-545.978
Urbana	9.290.022	11.758.879	2.468.857	14.003.101	2.244.222
Semiárido	19.183.476	20.900.074	1.716.598	22.598.318	1.698.244

\* Adaptada a partir de SIGSAB (Fonte: Alves, 2015).

O último Censo Demográfico realizado pelo IBGE revela que a população residente no Semiárido brasileiro alcançou a marca de 22.598.318 habitantes em 2010, o que corresponde a 11,85% da população brasileira ou 42,57% da população nordestina. Possui densidade demográfica de 23,05 habitantes por Km<sup>2</sup>, portanto a região semiárida mais populosa do mundo. Esta elevada densidade populacional para uma região semiárida (Ab'Saber, 1999) impõe forte pressão sobre os recursos naturais, contribuindo para a degradação da Caatinga e para o avanço do processo de desertificação presente em quase metade do território do Semiárido Brasileiro. A tabela 2 apresenta dados comparativos entre o êxodo rural nacional e especificamente na região semiárida.

Tabela 2: Êxodo rural brasileiro e do Semiárido nos períodos 1991-2000 e 2000-2010 (Fonte: Alves, 2015).

Período	Êxodo rural		Êxodo Semiárido				ex1 - ex2
	Migrantes (M)	Intensidade (%)	Migrantes (M) (ex1)	Urbana estimada (1)	Urbana observada (2)	ex2 (1)-(2)	
1991-2000	2.027.812	21,84	1.153.391	12.212.460	11.134.064	1.078.396	74.995
2000-2010	1.444.819	16,89	3.434.021	15.937.529	13.271.937	2.665.592	768.429

Nota: o êxodo total é estimado por dois métodos, colunas (ex1) e ex2; a estimativa da população rural do Semiárido que migrou para outras regiões do Brasil é ex1 - ex2.

### 2.3. Clima no semiárido brasileiro

O Semiárido brasileiro abrange uma área de cerca de 60% da região nordestina, segundo o IBGE. Nesta região as chuvas são irregulares e escassas, com grande potencial torrencial pelo fato de se concentrarem em curtos períodos estacionais, cuja duração é de, geralmente, 3 a 5 meses. Conforme a Classificação Climática de Köppen (1948) há três tipos de clima predominante no semiárido nordestino: o BShw, com curta estação chuvosa no verão e precipitações concentradas nos meses de dezembro e janeiro; o BShw' com curta estação chuvosa no verão-outono e maiores precipitações nos meses de março e abril e o BShs' com curta estação chuvosa no outono-inverno e precipitações concentradas nos meses de maio e junho.

Segundo Ab'Saber (1974), as médias pluviométricas variam entre 300 e 800mm anuais. As temperaturas são elevadas, com médias em torno de 28°C e a

máxima em torno de 40°C. A insolação média anual é em torno de 2.800 horas, com taxas médias de evaporação de 2.000mm/ano, e a umidade relativa do ar é de aproximadamente 50%. O Índice de aridez está entre 0,5 e 0,21. Este índice é calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evaporação potencial no período de 1961 a 1990. O risco de seca é superior a 60%, cálculo este relativo às observações históricas do período de 1970 a 1990 (BRASIL, 2005). Nas localidades de altitudes elevadas como os brejos de enclaves, por exemplo, os microclimas apresentam variação em sua temperatura em torno de 22°C e 23°C e a umidade do ar também são elevadas. Esses brejos fazem parte da floresta Atlântica brasileira que são estabelecidas no Domínio da Caatinga, também denominadas de “ilhas” de floresta, cuja ocorrência situa-se em 500-1000 m de altitude (planaltos e chapadas) onde as chuvas orográficas acontecem com uma média superior à 1200 mm/ano (Tabarelli e Santos 2004).

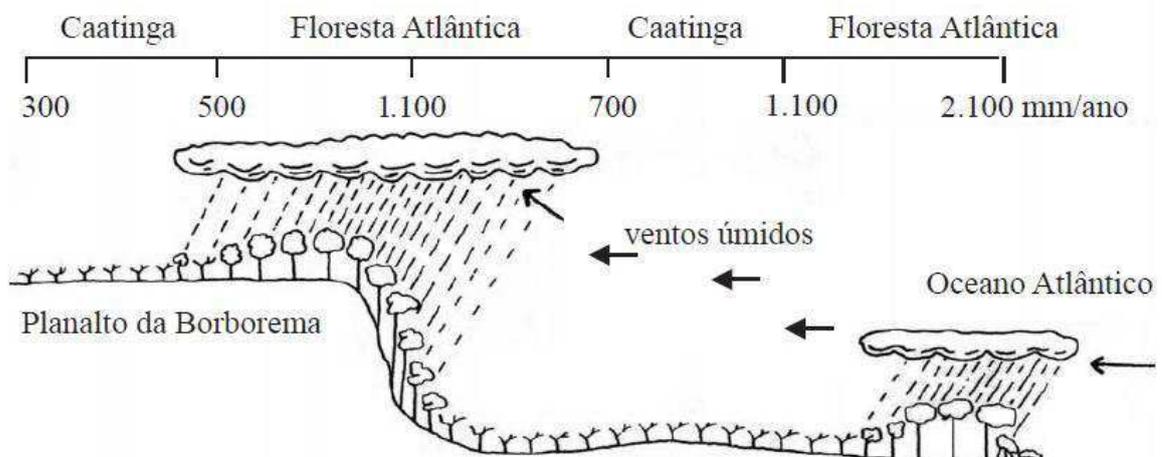


Figura 1: Perfil esquemático de um brejo de altitude típico (Planalto da Borborema – AL, PB, PE, RN) do Nordeste do Brasil. Fonte: Tabarelli & Santos (2004).

A variabilidade da precipitação na região semiárida é bastante elevada e as mudanças no uso do solo diretamente dependentes e relacionadas a esta sazonalidade. A representação da sazonalidade da precipitação é de grande relevância para a avaliação dos impactos do clima em recursos hídricos e agricultura. O início do plantio das culturas e o regime fluvial são condicionados pela distribuição temporal das chuvas. Uma má representação desta sazonalidade compromete a avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos

hídricos e agricultura (Silveira *et al*, 2014), os quais causam impactos diretos no uso do solo na região Nordeste do Brasil. Uma estimativa de vulnerabilidade das populações brasileiras apontou o Nordeste como uma região muito sensível à mudanças climáticas devido a baixos índices de desenvolvimento social e econômico (Confalonieri, 2005).

Barbieri (2013) trata dos potenciais impactos de cenários futuros de mudanças ambientais, principalmente mudanças climáticas, sobre a população brasileira e se refere ao termo “vulnerabilidade populacional” como sendo a capacidade de grupos sociais preverem situações de exposição a perigos ambientais (por exemplo, eventos climáticos extremos como tempestades, secas, etc.) e de responderem aos impactos causados pelos mesmos. Para o autor essa capacidade depende de muitos fatores como localização física das populações, fatores de ordem socioeconômica, de saúde, política e cultural. Ele conclui dizendo que “vulnerabilidade populacional seria o resultado de uma ‘equação’ em que o fator de perigo (*hazard*) é igual a uma soma (ou combinação) de exposição, sensibilidade, e capacidade adaptativa” (Barbieri, 2013, p. 194).

Conforme Confalonieri & Barata (2011) uma característica recorrente na literatura sobre análise de vulnerabilidade é a definição sobre a forma como uma população está exposta a um fator de perigo, em particular mudanças climáticas, e a sua sensibilidade de resposta, ou capacidade adaptativa a esse perigo.

Conti (2013) traz uma ideia clara sobre capacidade adaptativa do morador da região semiárida ao longo do tempo. O autor relata que a natureza criou um sistema ecológico único que existe há 8 ou 10.000 anos, que possui ciclos de anos com muita chuva e outros com pouca, mas que o bioma Caatinga é de grande riqueza e variedade. Esta floresta há duas gerações atrás era de vegetação fechada, com uma fauna diversificada com animais de porte médio como veados, onça suçuarana, entre outros.

Para Obermaier (2009), cerca de 2 milhões de famílias de pequenos agricultores familiares vivendo em níveis muito elevados de pobreza, precisam ser mais esclarecidos sobre como extrair o melhor benefício de uma região com vulnerabilidades climáticas tão acentuadas. Para o autor, fatores como variabilidade climática, escassez hídrica, baixos indicadores sociais, entre outros, deixam claro

que o semiárido brasileiro é um “*hotspot*” de adaptação, onde as estratégias de desenvolvimento requerem um foco claro no processo adaptativo.

O fenômeno natural mais comum no semiárido brasileiro é a seca. Sendo também o fenômeno de maior ocorrência no mundo. Segundo Silva *et al* (2013), as secas são consideradas fenômenos naturais severos, intensamente influenciadas pelas características fisiográficas, tais como: rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas. Este fenômeno traz graves prejuízos à população, resulta em danos materiais, humanos e socioeconômicos. São muitos fatores naturais que impedem a chuva no semiárido. A Zona de Convergência Inter Tropical, *El niño*, *La niña*, frentes frias do sul, a temperatura da água da porção do Oceano Atlântico que se encontra entre o Nordeste do Brasil e a África. Além das ações antrópicas através de desmatamentos, plantios extensos de pastos e grãos inadequados trazem consequências. O solo desnudo aumenta a evaporação, aquece o ar que empurram as nuvens a alturas inadequadas (Conti, 2013).

Ao associar a seca à falta de água, fez-se com que durante um longo período de tempo a solução política fosse a construção de grandes obras hídricas para a captação de água. Porém, poucos proprietários de terra tinham o privilégio de poder utilizar esses recursos públicos oferecidos pelo governo. Essas ações ficaram conhecidas como a “indústria da seca”. Portanto, ficou notório que apenas a elite local fazia uso dos recursos públicos, enquanto os mais pobres continuavam a sofrer o dano das consequências da seca. Neste sentido, há uma relação direta entre clima e pobreza (Sousa Camurça, 2016).

Como saída emergencial para aplacar os efeitos das secas, o governo federal investiu em medidas de convivência com as secas, tendo como objetivo reforçar a rede de proteção social no semiárido brasileiro. Trata-se de um programa de transferência de renda para amenizar o sofrimento das famílias e dos produtores rurais no enfrentamento da seca: operação carro-pipa, construção de cisternas, perfuração e recuperação de poços, bolsa estiagem, venda de milho, programa garantia-safra e ampliação da linha de crédito emergencial, além de renegociação de dívidas. Há também alternativas que não seja exclusivamente da terra, como aposentadoria, pensões, rendas dos emigrantes e trabalho temporário em lavouras nas propriedades de terceiros (Coutinho, 2013; Sousa Camurça, 2016).

## 2.4. Desenvolvimento econômico no Nordeste brasileiro

O início da ocupação dos sertões foi retardado pelos colonizadores portugueses por causa das secas periódicas até a primeira metade do século XVII. A partir desta época, de maneira muito lenta, a ocupação desta região foi marcada pelo desenvolvimento da pecuária, motivada pela manufatura de carne seca e da cultura do algodão. No início do século XVIII houve um conflito entre usineiros e pecuaristas pela ocupação do espaço próximo ao litoral, onde, na ocasião, o gado estava concorrendo com a plantação da cana-de-açúcar, atividade econômica em vigor próspera na época. A coroa portuguesa baixou uma carta régia proibindo a criação de gado até dez léguas contadas a partir da faixa litorânea (Campos, 2009).

Começou então a implantação das grandes fazendas de gado para o fornecimento de carne, couro e animais de tração às áreas produtoras de cana-de-açúcar e mais tarde para as áreas de mineração. O gado logo se adaptou ao clima seco da região semiárida e se desenvolveu entre as pastagens naturais. Agregada à criação do gado, surgiu a produção da carne de charque, muito comum na culinária nordestina. Porém, a pecuária era atividade secundária, mesmo havendo uma expansão dos rebanhos com a indústria da charque, a pecuária era complementar e dependente de atividades econômicas principais que se desenvolviam em outras regiões (Silva, 2006).

Para Buainain (2013), as estruturas socioeconômicas que singularizaram o Semiárido brasileiro até início do século XXI foram profundamente marcadas pela formação histórica da Região Nordeste. Mesmo em condições extremamente adversas, a resiliência da agricultura de subsistência da região contribuiu para uma alavancada demográfica, cuja população rural era absorvida pelo sistema produtivo gado-algodão-policultura alimentar. Com a praga do bicudo, a ruptura desse sistema produtivo deu-se nos anos de 1980. Milhares de pequenos estabelecimentos foram diretamente prejudicados, pois deixaram de contar com a lavoura comercial responsável pela geração da renda monetária agrícola.

Embora a região apresente importantes restrições edafoclimáticas, o Semiárido tem seu potencial em termos econômicos. O setor agropecuário ainda é a base da sociedade rural e a principal atividade econômica da maioria dos pequenos

municípios da região. O Censo Agropecuário de 2006 registrou aproximadamente 1,7 milhões de estabelecimentos rurais no Semiárido, ocupando 49,4 milhões de hectares, dos quais 450 mil tinham área inferior a 2 hectares e outros 560 mil, apresentavam área entre 2 a 5 hectares. Ou seja, um milhão de estabelecimentos são minifúndios e, portanto, não têm tamanho para viabilizar total sustentabilidade ante as condições climáticas do Semiárido. No entanto, esses estabelecimentos contribuíram com 31% do valor total da produção agrícola do semiárido. Enquanto isso, 40 mil estabelecimentos com mais de 200 hectares foram responsáveis por 14% do valor da produção (Buainain, 2013).

Segundo Araújo (2010), atualmente a economia do semiárido passa por processo de reorganização econômica, e novas atividades começam a despontar no cenário econômico da região, a exemplo de indústrias leves nos interiores, como o polo de calçados de Sobral, a agricultura irrigada, como os polos de fruticultura de Juazeiro-Petrolina e o polo de Açú/Mossoró – RN. No entanto, as atividades tradicionais de baixa eficiência e produtividade ainda predominam na região como um todo. O setor agrícola ainda mantém sua importância no Semiárido, sendo responsável por 11% do PIB da região.

O Produto Interno Bruto (PIB) representa a soma de todos os bens e serviços finais, em valores monetários, produzidos em uma determinada região, seja ela cidade, estado ou país em determinado período de tempo. É um indicador econômico que tem o objetivo de quantificar a atividade econômica da região em estudo e é dividido em três setores: Agropecuária, Indústria e serviços.

O Produto Interno Bruto dos Municípios é desenvolvido desde o ano 2000 e coordenado pelo IBGE em parceria com órgãos estaduais. É calculado sob metodologia uniforme para todas as unidades da federação, e é integrado aos procedimentos adotados nos Sistemas de Contas Nacionais e Regionais do país, de modo que seu resultado seja coerente entre si e com os resultados nacionais e regionais. Pode-se calcular também o PIB *per capita* de cada município que é estimado pelo quociente entre o valor do PIB do município e a sua população residente (IBGE, 2012).

O PIB agropecuário cresceu 3,9% ao ano (a.a.) contra 3,6% da economia no período 2000-2011, mantendo sua trajetória de crescimento. A produção de grãos,

oleaginosas, cereais e fibras saltou de 83 milhões para 163 milhões de toneladas nos últimos doze anos. A agropecuária teve saldo comercial proporcionado pelo agronegócio de US\$ 77,4 milhões em 2012 e desde 2007 este setor tem sido o principal responsável pelo saldo positivo na balança comercial com uma participação expressiva de mais de 40% nas exportações (Ipea, 2015).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é o índice mais utilizado para representar de maneira prática e resumida a qualidade de vida de uma população. Criado por Mahbub ul Haq com a colaboração do economista Amartya Sen, o IDH tem o objetivo de ser uma medida do desenvolvimento humano. É atualizado anualmente no Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH) do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). O IDH reúne indicadores de saúde, educação e renda, o que demonstra que as pessoas necessitam basicamente de: vida longa e saudável, acesso ao conhecimento e poder desfrutar de um padrão de vida digno. Assim, o IDH é composto por três outros indicadores: Expectativa de vida, acesso ao conhecimento e o Produto Interno Bruto (PIB) (Machado, 2016).

Este índice é calculado com base em dados econômicos e sociais e varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, mais desenvolvida é a nação avaliada. Quando o IDH de um país está entre 0 e 0,499 é considerado baixo, entre 0,500 e 0,799 é considerado médio e entre 0,800 e 1, o país é de alto desenvolvimento. Na classificação do Ranking global tem-se: 25% de menor IDH – desenvolvimento humano baixo (países pobres), 25% acima dos de menor IDH – desenvolvimento médio (países em processo de desenvolvimento), 25% abaixo dos países de melhor IDH – desenvolvimento alto (países em rápido processo de crescimento econômico – emergente) e 25% de melhor IDH – desenvolvimento humano muito alto (países ricos e bem desenvolvidos). O Brasil está classificado na posição 75º do ranking mundial com IDH de 0,755 entre 188 países em 2015.

Publicado pela primeira vez em 1990, o IDH é calculado anualmente. Desde 2010, sua série histórica é recalculada devido ao movimento de entrada e saída de países e às adaptações metodológicas, o que possibilita uma análise de tendências. Aos poucos, o IDH tornou-se referência mundial. O IDH é uma importante medida socioeconômica, com boa validade para verificar desigualdades sociais e de saúde e que representa sinteticamente o bem-estar de uma determinada população (Oliveira,

2013). É um índice-chave dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas e, no Brasil, tem sido utilizado pelo governo federal e por administrações regionais através do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).

Semelhante ao IDH tem-se o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) que é uma medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento: longevidade, educação e renda, igualmente variando de 0 a 1, porém este adequa a metodologia global ao contexto brasileiro e à disponibilidade de indicadores nacionais. O IDHM indica diferentes graus de desenvolvimento existentes entre os municípios e no interior de um mesmo município (no caso das metrópoles) e é capaz de identificar tendências de longo prazo e, portanto, tornou-se uma importante ferramenta para analisar e acompanhar a evolução na qualidade de vida dos brasileiros onde de fato moram (Ipea, 2013).

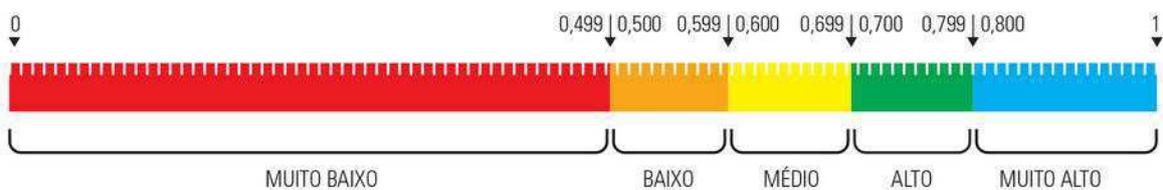


Figura 2: Faixas de desenvolvimento humano municipal. Fonte: PNUD, IPEA, FJP (2013).

## 2.5. Geotecnologias

### 2.5.1. Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias que tem como objetivo coletar e tratar informações espaciais para um fim específico. Estas informações geográficas são capturadas, armazenadas, atualizadas e analisadas a partir de referências geográficas, conforme afirma (DeMers, 2003) e podem ser representadas de duas maneiras distintas: em formato matricial e vetorial.

O formato vetorial, (Laurini, 1992), representa o mundo real através de pontos, linhas e polígonos e são úteis para descrever características bem específicas, como é o caso de uma estrada, limites administrativos de um município, por exemplo. Ou seja, paisagens de maneira geral. Já o formato matricial, que

representa um dado através de *pixel*, ou matriz de *pixels*, é usado quando se quer demonstrar e quantificar uma nuvem de pontos para elevação, temperatura, dados de chuva, níveis de biomassa, entre outros. O formato matricial das imagens facilita operações matemáticas e estatísticas para se analisar o grande volume de dados que possuem as imagens de sensoriamento remoto (Menezes *et al*, 2012).

Os fenômenos naturais, em sua maioria, têm uma propriedade interessante: eles variam em todas as direções do espaço e, portanto, quando coletados dados em campo, através da discretização podem-se estimar resultados e representar a geometria espacial contínua que caracteriza o fenômeno estudado. Através da interpolação espacial poderão ser gerados arquivos matriciais derivados de dados vetoriais para locais onde não existem valores medidos.

Os principais componentes de um SIG, (o software é apenas um deles, geralmente confundido com a própria tecnologia), são: *softwares*, *hardware*, dados, usuários e as metodologias de análise, (Dent, 1999; Burrough, 1986).

Segundo Rufino (2004), nas últimas décadas houve um aumento significativo na utilização de SIG, em particular nos estudos urbanos. Estes são ferramentas úteis para o planejamento e gerenciamento de uma ampla gama de problemas territoriais. Entretanto, questões ambientais, planejamento urbano e infraestrutura têm sido as áreas que mais fazem uso dos SIGs em seus estudos, devido ao seu potencial de simular e inter-relacionar eventos de natureza intrinsecamente espaciais, tornando-se possível a projeção de cenários para o planejamento. Além disso, este proporciona a modelagem de funções de correlação e interação de dados de monitoramento para efeito de controle, supervisão e obtenção de diagnósticos.

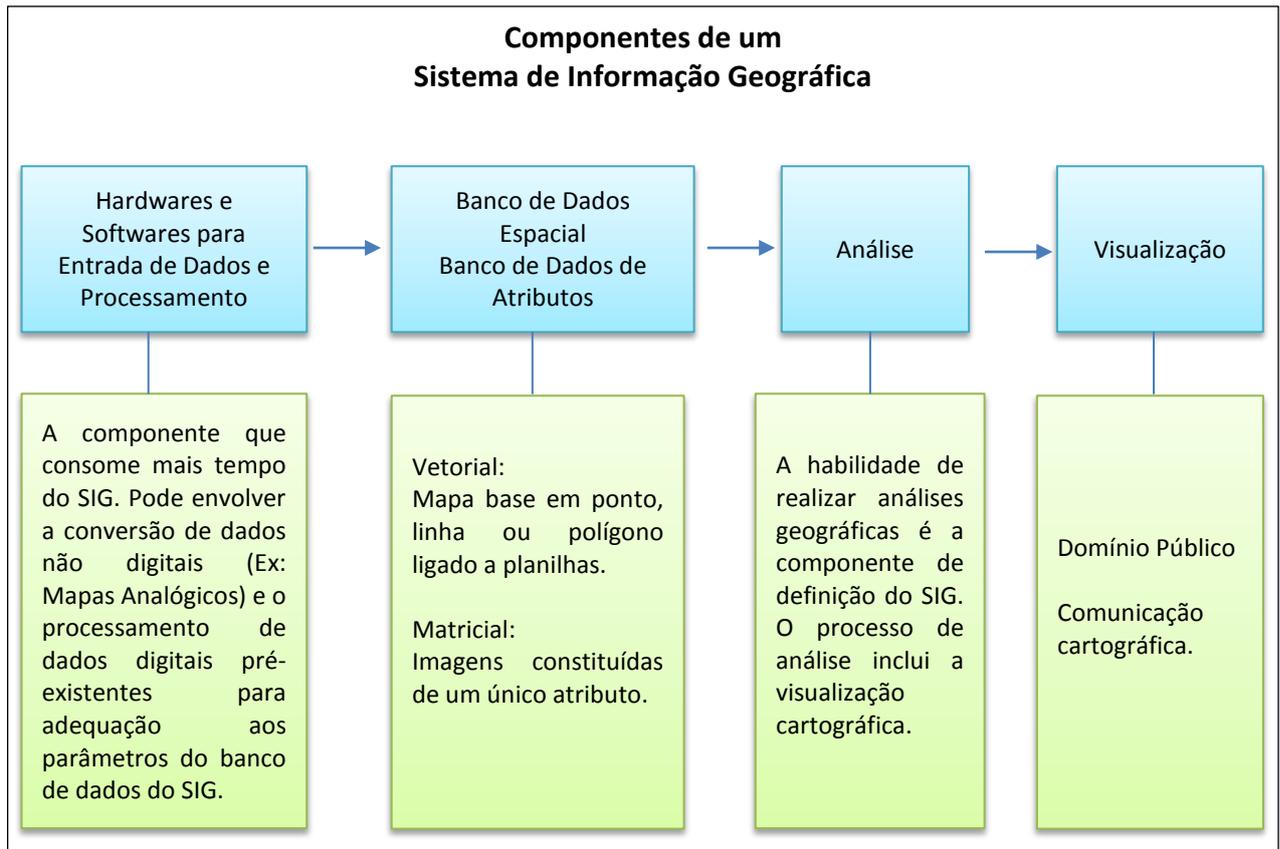


Figura 3: Componentes de um sistema de informação geográficas. Fonte: adaptado de Dent, 1999.

Para Longley (2005) é importante a utilização do SIG no planejamento de infraestrutura dos serviços públicos, como por exemplo, serviços urbanísticos, sendo possível a apreciação de resultados que ajudem o gestor na elaboração de medidas mitigatórias ou estruturais para a melhor tomada de decisão.

### 2.5.2. Análises espaciais e Modelos de agregação espacial

Um procedimento comum de análise espacial é a “subtração” de dados de diferentes datas. Desta forma, e com procedimentos de legenda, torna-se possível a visualização dos municípios por “níveis de mudança” em valores absolutos de “aumento” ou “diminuição” da população. Apesar de rápido e eficiente, para uma área com 1135 municípios como o Semiárido e com grande diferença de extensão territorial dos mesmos, a leitura e análise deste resultado, por vezes, é limitada pelo nível de agregação espacial da informação (limite municipal). Não há como perceber facilmente, por exemplo, vetores ou tendências de mudanças ao longo de um certo grupo de municípios.

Martin (1996) afirma que a excessiva fragmentação do território no modelo de polígonos impõe limitações na percepção da totalidade do fenômeno. Assim, a compreensão do território não pode estar restrita a esse tipo de representação e deve-se complementar essa visão com representações do espaço urbano através de imagens e superfícies.

O modelo de superfície quando aplicado a dados socioeconômicos consegue representar a população de forma contínua. A leitura desta realidade torna mais difícil um estabelecimento de fronteiras rígidas entre os diferentes territórios. Além disso, as transições são graduais. De certo modo, é apropriado pensar que a população de um município se distribui continuamente (Almeida *et al*, 2009).

Neste sentido, pode ser utilizado um estimador de densidade *Kernel* que permite a análise do dado por unidade de área (limitada pela resolução do *pixel* escolhido). Esta função quadrática, segundo Silverman, (1986) está presente em alguns SIGs, e permite que os dados, antes agregados por polígonos (neste caso, os municípios), sejam espacializados através de superfícies.

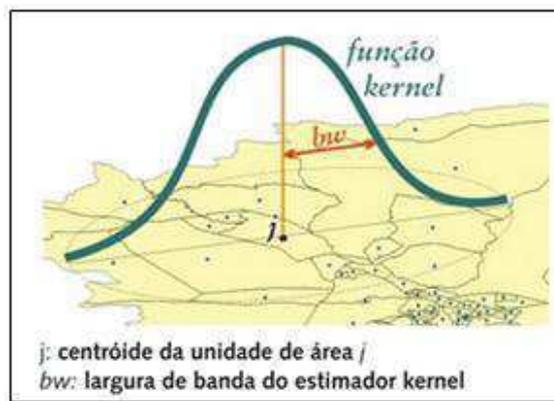


Figura 4: Representação esquemática de um estimador *Kernel*. Fonte: Almeida *et al* (2009).

Em estatística, estimativa de densidade *Kernel* (EDK) é uma forma não-paramétrica para estimar a função de densidade de probabilidade de uma variável aleatória. Estimação da densidade *Kernel* é um problema fundamental de suavização de dados onde inferências sobre a população são feitas, com base numa amostra de dados finita (Silverman, 1998). Estimadores *Kernel* são funções que determinam a intensidade de um determinado evento nos diferentes pontos da área de estudo. Para calcular a intensidade populacional local de uma localidade  $j$ , o

estimador *kernel* é posicionado no centroide da unidade  $j$  e computa a média ponderada dos dados populacionais da área de estudo (Figura 4). Os pesos utilizados neste cômputo dependem da parametrização do estimador *kernel* estabelecida pelo pesquisador/usuário (Almeida *et al.*, 2009).

A adoção de uma largura de banda mais estreita (raio de influência) implica na consideração de localidades que serão extremamente influenciadas pelas unidades de área mais próximas, enquanto que a adoção de maiores raios de influência implica na inclusão de localidades em um entorno mais abrangente, que por sua vez já refletem a influência de outras localidades mais distantes.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Área de Estudo

O Semiárido brasileiro é uma das regiões semiáridas mais populosas de todo globo terrestre. É também a maior área territorial que compõe os espaços naturais da região Nordeste do Brasil. Seu clima é constituído de amplitudes térmicas elevadas, com médias térmicas acima de 26°C, duas estações climáticas bem definidas: uma chuvosa, com precipitações irregulares que vão de um mínimo de 300 mm a um máximo de 800 mm, ocorrida durante os meses de Fevereiro a Maio de cada ano, chamado de quadra chuvosa (Alves e Repelli, 1992), e outra seca, na qual há sempre uma média muito baixa de precipitação.

Segundo dados do último Censo (IBGE, 2011), a população do semiárido supera os 22 milhões de habitantes, o que representa quase 12% de toda população brasileira. Possui 1.135 municípios distribuídos por 9 estados da região Nordeste e norte da região Sudeste, a saber: Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba, Ceará, Piauí e parte do norte de Minas Gerais, segundo a Portaria nº 89 do Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2005).

Esta densidade populacional gera uma pressão bastante considerável sobre os recursos naturais, especialmente sobre os recursos hídricos, que somado ao fator físico-climático potencializa a escassez hídrica na região. A precipitação é muito irregular no tempo e no espaço, as altas temperaturas proporcionam elevadas taxas de evapotranspiração, o que compromete a sustentabilidade da população rural devido à escassez desse recurso em quantidade e também em qualidade. A Figura 5 mostra a delimitação das bacias hidrográficas disponibilizadas pela ANA (Agência Nacional de Águas) na região do Semiárido.



Figura 5: Bacias Hidrográficas (Fonte: ANA, 2012).

### 3.2. Escolha das variáveis e metodologias de integração

Para estabelecer um indicador de áreas sob forte “pressão” do ponto de vista de mudanças ao longo dos anos foi proposta uma metodologia de “sobreposição *Fuzzy*” utilizando ferramentas do ambiente SIG. Segundo Meirelles *et al*, (2007), um mapa resultante de operações de sobreposição ou modelagem espacial sobre diversos planos de informação *fuzzy* pode ser obtido pela utilização de operadores. Ou seja: vários operadores podem ser aplicados para combinar as funções de pertinência de dois ou mais planos de informação. Estes autores afirmam que a utilização de diferentes operadores possibilita uma manipulação simultânea de um conjunto de planos de informação contendo valores *fuzzy* classificados em intervalos contínuos: do valor mais favorável ao menos favorável à análise em questão. Este tipo de sobreposição apresenta-se mais eficiente que a sobreposição booleana (classificada de forma rígida: favorável ou não favorável).

O conceito de conjuntos difusos ou nebulosos (*Fuzzy Sets*) foi proposto por Zadeh (1965), como uma generalização do conceito da Teoria Clássica dos

Conjuntos. Os Conjuntos Difusos são uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não têm ou não podem definir limites rígidos (bordas) entre classes. Essas classes definidas de maneira inexata são chamadas de Conjuntos Difusos. A utilização de um Conjunto Difuso é indicada sempre que se tiver que lidar com ambiguidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos (Burrough & McDonnell, 1998).

A proposta deste trabalho foi estabelecer um indicador de “pressão” à mudança através da sobreposição de dois grandes vetores causadores de mudança no uso do solo: **clima e atividades humanas**. As atividades humanas foram divididas em dois grupos: *atividades humanas 1* e *atividades humanas 2* (Figura 6). A primeira refere-se aos dados demográficos (densidade populacional e população rural) e a segunda refere-se aos dados socioeconômicos (IDHM e PIB agropecuário) exemplificados na figura 7. Esta divisão se deu por causa da escala temporal em que as variáveis se encontram (Figura 8).



Figura 6: Vetores causadores de mudança no uso do solo.



Figura 7: Atividades humanas 1 e 2.

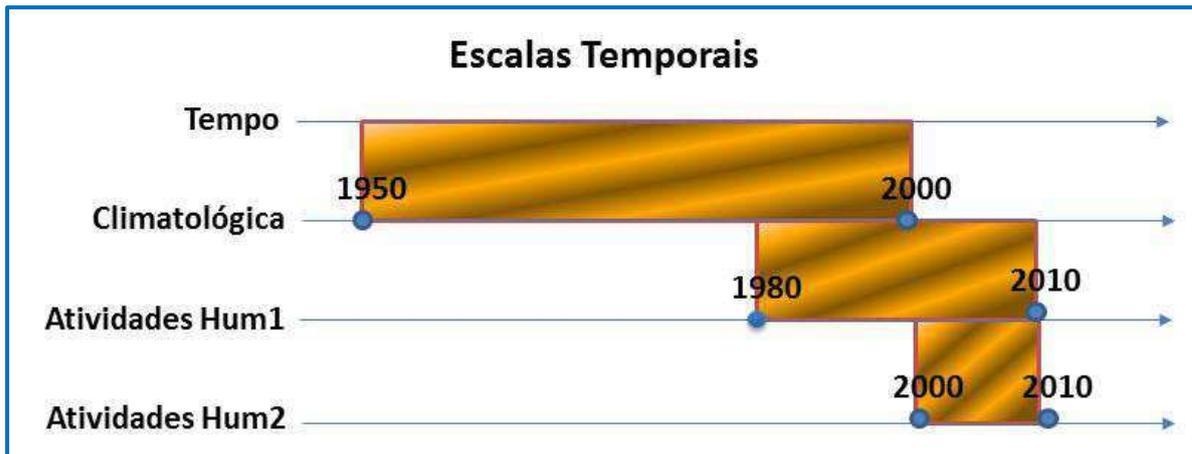


Figura 8: Escalas temporais das variáveis climatológicas, atividades humanas 1 e atividades humanas 2.

### 3.3. Dados Climáticos

Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram obtidos no GPCC - *Global Precipitation Climate Center* (Serviço Meteorológico Nacional da Alemanha). A superfície interpolada apresenta uma única variável (precipitação) com resolução espacial de  $0.5^\circ$  de latitude e longitude (aproximadamente 1 km), para os anos de 1950 a 2000. O GPCC criou uma base de dados de precipitação de 50 anos previstos para as áreas globais que estão disponíveis desde agosto de 2005. Os dados mensais definidos para as superfícies globais (excluindo Groenlândia e Antártida) para o mesmo período (1950-2000) estão disponíveis em três resoluções diferentes ( $0,5^\circ$  lat / lon,  $1,0^\circ$  lat / lon,  $2,5^\circ$  lat / lon).

O *WorldClim* é um projeto que contém um banco de dados disponível a partir de um *website*<sup>1</sup>. São dados climáticos observados, interpolados espacialmente em grades, com uma resolução espacial de  $0,86 \text{ km}^2$ , ou seja, aproximadamente  $1 \text{ km}^2$ , que podem ser usados para diversas aplicações, especialmente em ciências ambientais, agrícolas e biológicas (Hijmans *et al*, 2003; Jones e Gladkov, 2003; Parra *et al.*, 2004). Estas superfícies climáticas foram desenvolvidas para áreas terrestres globais, com exceção da Antártica, com resolução espacial de 30 Arcos de segundos, muitas vezes referida como 1-Km de resolução espacial.

Hijmans (2005) apresenta os métodos utilizados para o projeto, como foram compiladas as médias mensais do clima medidas em estações meteorológicas em várias áreas nacionais, regionais e locais do globo no período de 1950-2000. O

<sup>1</sup>[www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)

mundo foi dividido em 13 zonas de sobreposição, onde cada zona sobrepunha a outra em aproximadamente 15°.

O banco de dados WorldClim foi formado a partir de dados coletados em 47.554 estações de medição para a precipitação e 14.835 para a temperatura mínima e máxima. As variáveis bioclimáticas são derivadas das variáveis de temperatura e precipitação, sendo 11 variáveis derivadas da temperatura (BIO1 a BIO11) e 8 variáveis derivadas da pluviosidade (BIO12 a BIO19). A tabela 3 apresenta uma descrição resumida de cada uma das 19 variáveis bioclimáticas disponíveis.

Tabela 3: Variáveis bioclimáticas fornecidas pelo WorldClim derivadas das variáveis de temperatura e pluviosidade.

Variáveis	Descrição
BIO1	Temperatura média anual
BIO2	Intervalo médio diurno (Média mensal (maxtemp – min temp))
BIO3	Isotermalidade
BIO4	Sazonalidade de Temperatura (desvio padrão *100)
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO7	Intervalo da temperatura anual
BIO8	Média do quarto de ano mais úmido
BIO9	Média do quarto de ano mais seco
BIO10	Média do quarto de ano mais quente
BIO11	Média do quarto de ano mais frio
BIO12	Precipitação anual
BIO13	Precipitação do mês mais frio
BIO14	Precipitação do mês mais seco
BIO15	Sazonalidade de precipitação (Coeficiente de variação)
BIO16	Precipitação do quadrimestre mais úmido
BIO17	Precipitação do quadrimestre mais seco
BIO18	Precipitação do quadrimestre mais quente
BIO19	Precipitação do quadrimestre mais frio

A observação da variável BIO1 (Figura 9), temperatura média anual, é extremamente importante para o semiárido brasileiro. Sua variação traz grandes implicações na manutenção das lavouras, criação de animais, níveis de reservatórios, etc. O aumento da temperatura desestrutura o ciclo hidrológico, pois eleva a temperatura dos mananciais fazendo com que grandes massas de água evaporem. Para o PBMC (2013), a região Nordeste, em particular, o Semiárido, com a menor disponibilidade hídrica do País, apresenta uma forte variabilidade temporal (em escala interanual e decadal) do seu regime de chuvas. Há previsões de aumento nos níveis de temperatura e taxas de evaporação e acentuação de eventos meteorológicos extremos. Deste modo, altas temperaturas médias anuais podem ser um indicador de maiores impactos nos níveis de reservatórios no semiárido, base do planejamento e gestão dos recursos hídricos da região.

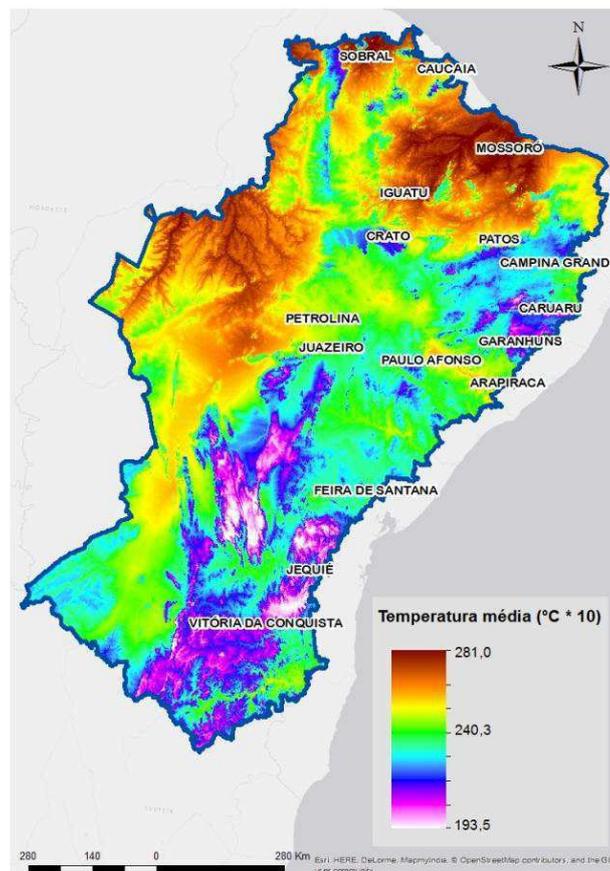


Figura 9: Temperatura média anual.

A investigação da variável BIO12, precipitação anual, também é extremamente importante no contexto do semiárido (Figura 10a). Esta interfere diretamente nas lavouras, na criação de animais e, principalmente na necessidade

humana. A precipitação média anual pode refletir muito em uma região em que predomina uma agricultura de subsistência, com alta dependência do regime pluviométrico. Qualquer alteração no regime pluviométrico interfere na umidade do solo e conseqüentemente na cobertura vegetal da Caatinga. Considerada altamente resiliente, a floresta tropical sazonal seca brasileira é constituída de plantas morfológica e anatomicamente preparadas para enfrentar grande estresse hídrico e apresentam características ecofisiológicas que podem conferir tolerância à seca, sendo capaz de suportar eventos de secas prolongadas com altas temperaturas e mesmo assim sobreviver (Santos, 2014).

A variável BIO15 diz respeito à sazonalidade da precipitação (expressa em termos do desvio padrão multiplicado por 100) e é apresentada na Figura 10b. De acordo com Hijmans *et. al.* (2005), o coeficiente de variação é o desvio padrão da precipitação semanal estimada, expressa pelo percentual da média das estimativas (i.e. da média anual). Pode-se observar através desta variável que em países de clima tropical há uma variabilidade maior da precipitação. De acordo com Chapman (2010), a visualização desta variável em mapa mostra as áreas da superfície terrestre em que, para qualquer valor da média, a precipitação é sazonalmente "agrupada".

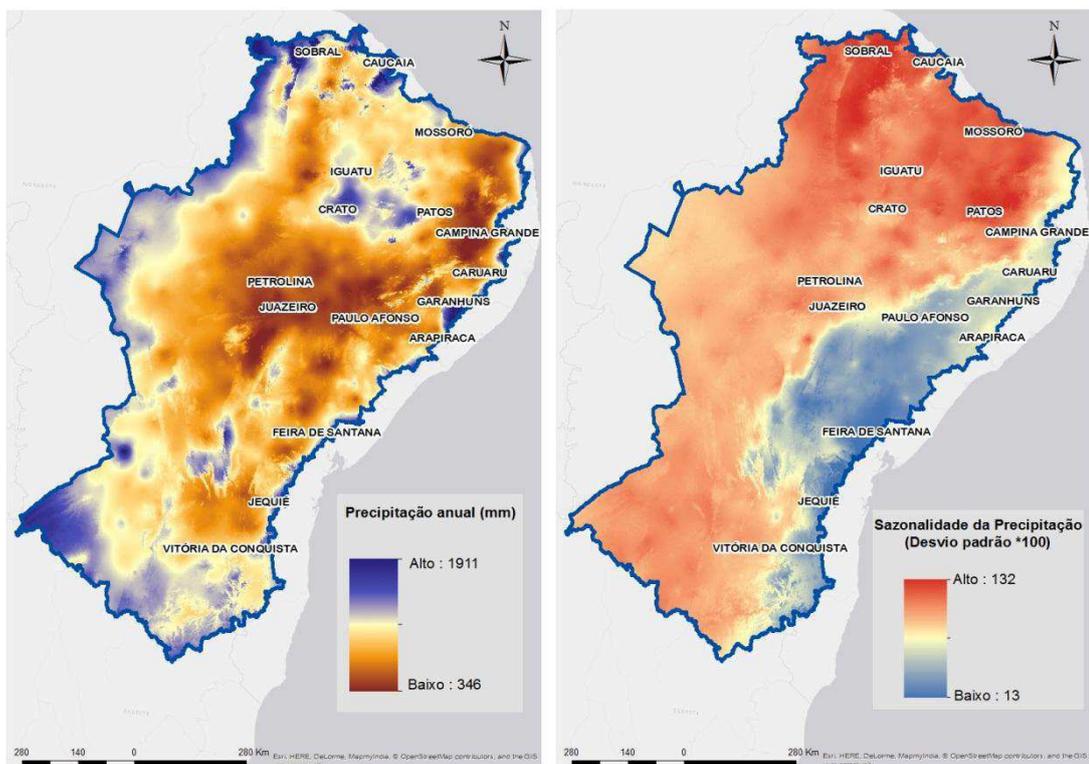


Figura 10: Precipitação Anual (a) e Sazonalidade da Precipitação (b).

Observa-se que a temperatura média (Figura 9) apresenta sua máxima em 28,1°C nas regiões que compreendem a bacia hidrográfica do Atlântico Norte e Nordeste, onde se encontram as cidades de Sobral, Caucaia, Mossoró, Iguatu. Percebe-se também que a bacia do São Francisco apresenta temperaturas com média em 24,03°C na maioria de seus limites. Nas proximidades oeste de Petrolina há elevadas médias em torno de 28°C, bem como em Paulo Afonso. A bacia hidrográfica do Atlântico Leste apresenta temperaturas mais amenas, em torno dos 19°C a 20°C em grande parte de seus limites, bem como médias em torno de 24°C na parte mais ao norte de Feira de Santana.

A precipitação média anual (Figura 10a) é a variável que mais se destaca em todo semiárido, pois quase que sua totalidade apresenta baixas precipitação com médias em torno dos 346mm. Observa-se ainda que todo o semiárido está envolto por um perímetro que possui precipitação elevada em torno dos 1911mm, assim como algumas poucas regiões no interior do semiárido como Iguatu, Crato, por exemplo.

A sazonalidade da precipitação (Figura 10b) praticamente divide o semiárido em dois índices, apresentando uma grande faixa territorial com alta sazonalidade, em torno de 132 (expressa em termos do desvio padrão multiplicado por 100). E outra faixa menor nas proximidades do litoral que possui sazonalidade da precipitação em torno dos 13. Nota-se também que há uma espécie de “linha” divisória que representa a média entre esses dois valores conforme o gráfico da figura.

### **3.4. Dados demográficos: densidade populacional, população rural, PIP agropecuário e IDHM**

Para este trabalho, foram utilizados dados dos censos de 1980 e 2010 para análise das variáveis densidade populacional e população rural, ou seja, um intervalo de 30 anos. Dados censitários são bons indicadores de dinâmica populacional por permitirem a visualização imediata do aumento/diminuição da densidade demográfica de uma região, o que por si só já caracteriza uma mudança.

A população do semiárido brasileiro hoje supera os 22 milhões de habitantes e isto representa quase 12% de toda população brasileira. É ainda a região

semiárida mais populosa do planeta. Segundo dados do IBGE, em 1991 a população rural superava a população urbana, porém no censo do ano 2000 esta realidade mudou: a população urbana ultrapassou a rural e a diferença chegou a 1.716.598 habitantes (Alves, 2015). Um fator muito relevante precisa ser levado em consideração à dinâmica do uso do solo nestas regiões rurais: a migração interna (Silva, 2013). Pessoas em busca de melhoria de vida nos centros urbanos de suas próprias regiões.

O desenvolvimento econômico e o PIB agropecuário aumentaram na região rural do semiárido brasileiro, como aponta o último censo agropecuário de 2006. Fica evidente, portanto, que a dinâmica da população rural desta região está cada vez mais acentuada. Por estas razões, sugere-se que a análise destas variáveis possa ter alguma relevância para a obtenção de um indicador que realmente retrate esta dinâmica no uso do solo.

O IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) foi escolhido por ser sempre um bom indicador de dinâmica populacional e representar bem a situação atual do bem-estar social, pois tem embutido em seu cálculo outras variáveis como: Expectativa de vida, o acesso ao conhecimento e o Produto Interno Bruto (PIB). É uma excelente medida para verificar a desigualdade social e de saúde de uma população.

### **3.5. Critérios e modelagem**

Toda modelagem foi realizada utilizando ferramentas já implementadas em um SIG *desktop*. Por se tratar de variáveis de diferentes formatos e unidades (climáticas, demográficas e socioeconômicas), é necessária uma padronização dos critérios para a viabilização da álgebra de mapas e, por fim, para a interpretação dos resultados obtidos em ambiente SIG. Ou seja, foi feita uma adequação nas unidades de cada variável em um modelo conceitual, no qual o “0” zero é o valor que representa a situação de menor adequabilidade à análise (menor “pressão”) por mudança e o valor “1” seria o valor que representa uma maior adequação à análise proposta (maior “pressão” por mudança) (Figuras 11, 12 e 13).

Para a região do semiárido considera-se neste trabalho, que temperaturas médias anuais, inferiores a um valor 25° (Celsius), são tidas como amenas para a região e não causariam “pressão” às culturas. Ou seja, não exerceriam influência sobre a dinâmica do uso do solo por serem temperaturas amenas para uma região de elevadas amplitudes térmicas. Portanto, até este valor médio a influência da Temperatura na dinâmica do uso do solo seria desconsiderada. A partir deste limiar, considera-se que, quanto maior a temperatura maior a “pressão” por mudança. Ou seja, quanto maior a temperatura, maior a evapotranspiração, maior será o impacto ocasionado sobre solo, fauna e flora. A caatinga apresenta um aspecto esbranquiçado característico da vegetação submetida às altas temperaturas.

Os parâmetros adotados para a análise multicriterial, a saber: limiares máximos e mínimos, bem como ponderações, foram baseados em estudos anteriores. Para a temperatura, por exemplo, os trabalhos de Silva (2013), Sousa *et. al.* (2013) e Souza Borges *et. al.* (2014) foram usados como referência, pois abordam em suas pesquisas que as condições ambientais que favorecem o cultivo da mamoneira e do amendoim no semiárido brasileiro estão relacionadas aos fatores climáticos, onde a temperatura adequada para o bom desenvolvimento das plantas está entre 20°C e 30°C para a mamona e 25°C a 30°C para o amendoim. Sousa *et. al.* (2013) considera em seus estudos que a goiabeira para se desenvolver no semiárido precisa está submetida à temperatura entre 25°C e 30°C. Souza Borges *et. al.* (2014) infere que a faixa ideal de temperatura para o milho se desenvolver está entre 24°C a 30°C.

Portanto, considerando o exposto, a temperatura média adotada para o limiar da análise com vistas aos impactos na cobertura do solo foi 25°C (Figura 11a). Valores superiores de acordo com o modelo conceitual proposto resultarão em uma “pressão” que aumenta linearmente a partir deste valor em diante e que, pode implicar em mudanças na cobertura vegetal e no uso do solo da região.

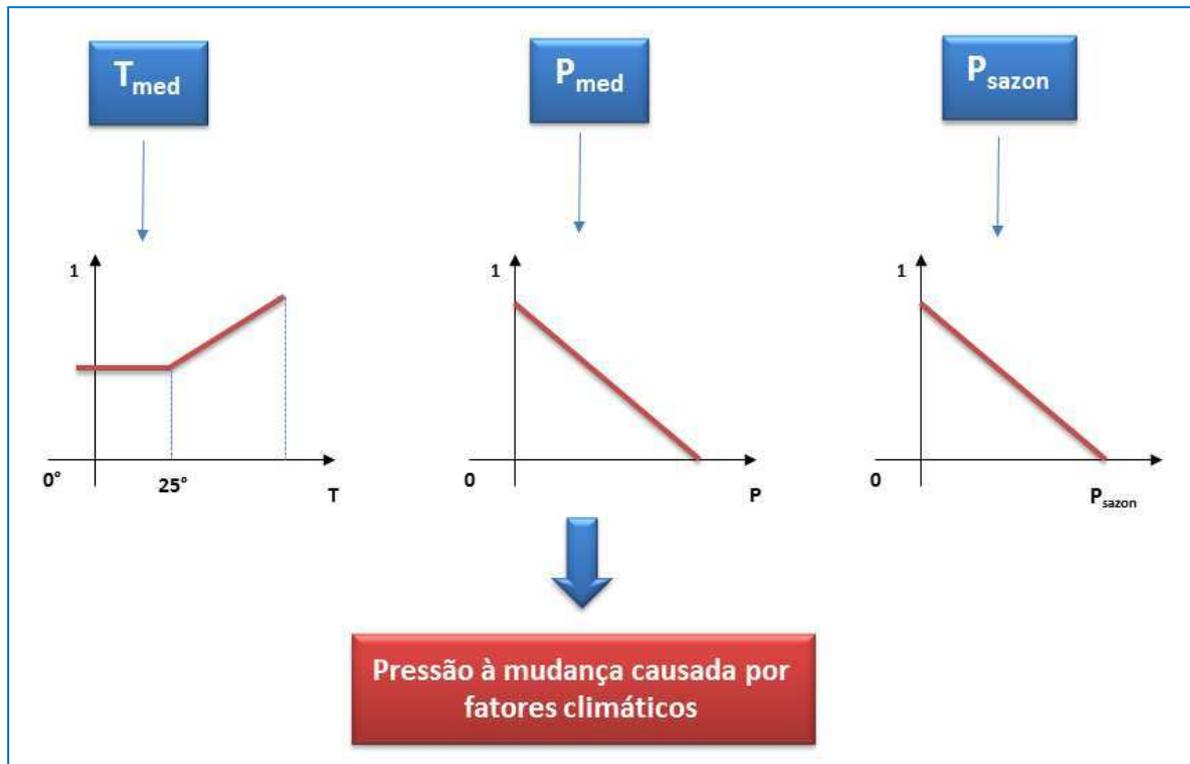


Figura 11: Modelo conceitual das variáveis climatológicas. (a) Função de adequação da Temperatura; (b) Função de adequação da Precipitação e (c) Função de adequação da sazonalidade da Precipitação.

Para as variáveis precipitação média e precipitação sazonal, o modelo conceitual considera que quanto maior a precipitação, menor a “pressão” por mudança; quanto maior a sazonalidade da precipitação, menor será a “pressão” no uso do solo. Ou seja, quanto menor a precipitação, quanto mais curto o período chuvoso, maior a “pressão” sobre aquela região. Conforme Silveira (2014), já citado neste estudo, o início do plantio das culturas e o regime fluvial são condicionados pela distribuição temporal das chuvas. Portanto, uma variação na sazonalidade da precipitação interfere diretamente no bom desenvolvimento das lavouras, e para o modelo conceitual considerado neste estudo, quanto mais regular ou sazonal forem as precipitações, menor a “pressão” no uso do solo, pois as culturas terão concluído seu ciclo (Figura 11b e 11c).

Para as variáveis demográficas que constitui o critério *atividade humana 1*, o modelo conceitual considera que quanto maior a densidade populacional dos municípios (refletida principalmente por suas zonas urbanizadas), maior será a “pressão” por mudança no uso e cobertura do solos. Quanto mais pessoas vivendo

por Km<sup>2</sup>, maior a pressão sobre os recursos naturais e energéticos, maior a interferência (antropismo) no uso e ocupação do solo, entre outros fatores (Figura 12).

Pode-se inferir que o contrário ocorre para a população rural. Quanto menos pessoas vivendo na zona rural, maiores alterações (mudanças) no uso do solo podem ser percebidas. O abandono das terras de produção rural seja pelo risco de desertificação, ou pela falta de opções em substituir uma atividade de agricultura de subsistência por outra atividade econômica (manejo de diferentes culturas e atividades) mais adaptada a região. Por se tratar de uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas do país, as zonas rurais são altamente impactadas pelas mudanças no clima, e cenários piores tem sido previstos pelo IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007 a, b; Marengo & Dias, 2007; Marengo *et. al.*, 2011).

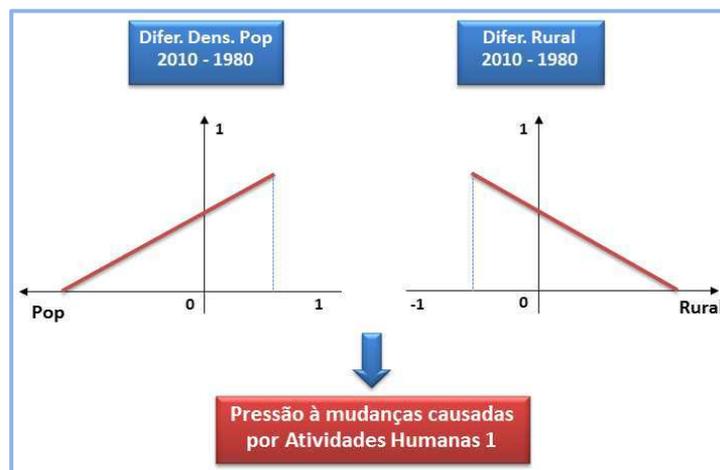


Figura 12: Modelo conceitual das variáveis demográficas.

Para as variáveis socioeconômicas, o modelo conceitual considera que, quanto maior valor elas assumirem, maior será a “pressão” por mudanças no uso e cobertura do solo da região. Assim, quando o PIB agropecuário aumenta, isto implica em maior produção no setor agrícola e pecuarista, havendo com isto alteração ou “pressão” no uso do solo. Da mesma forma para o IDHM; se este índice assume valores mais altos, a modelagem implicará em uma maior dinâmica populacional, mais saúde, educação e renda e conseqüentemente o uso do solo fica sob mais condições de pressão a mudanças.

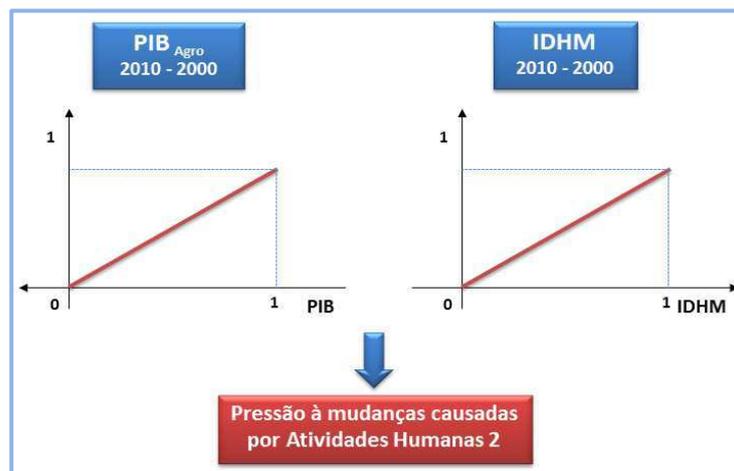


Figura 13: Modelo conceitual das variáveis socioeconômicas.

A principal vantagem desta metodologia de espacialização é tornar possível a análise cruzada e sobreposta com as variáveis bioclimáticas que em sua maioria estão discretizadas em grades de *pixels* com resoluções específicas. Neste trabalho a resolução adotada para todas as grades de *pixels* foi de 1.000m (1Km).

### 3.6. Modelagem Espacial

A metodologia proposta para se obter um indicador de mudança do uso do solo, levando em consideração a dinâmica populacional e, prioritariamente, a variabilidade climática no semiárido brasileiro foi realizada em três etapas. Inicialmente as variáveis climáticas foram ponderadas e foi realizada uma sobreposição *fuzzy* ponderada. Em seguida as atividades humanas foram sobrepostas em dois agrupamentos, utilizando metodologia semelhante. Ao final, os resultados de todas as sobreposições também foram cruzados de forma a obter-se um indicador final em forma de mapa temático. A figura 14 apresenta um resumo esquemático de toda a metodologia utilizada neste trabalho.

As ponderações utilizadas basearam-se na literatura existente e, principalmente, em trabalhos anteriores, os quais são citados nas discussões dos resultados.

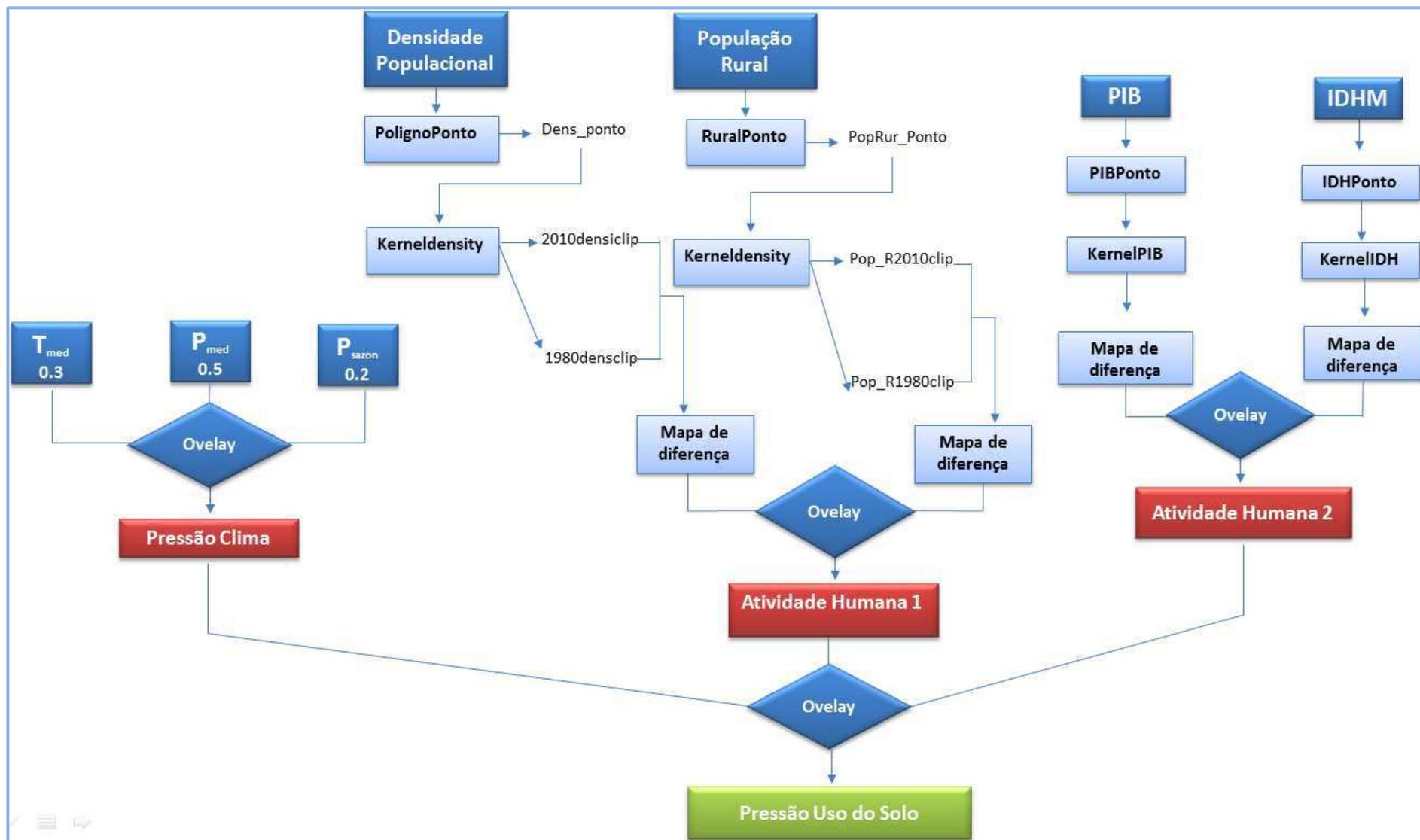


Figura 14: Resumo de toda Modelagem.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Critérios: Clima, Atividade Humana1 e Atividade Humana2

As sobreposições *fuzzy* foram realizadas em 3 etapas: Atividades Humanas1 (que considerou os dados de densidade populacional, população rural, realizando mapas de diferença), Atividades Humanas 2 (que considerou o IDHM e o PIB agropecuário) e critérios climáticos (que considerou as variáveis climáticas e sua adequação à análise). As Figuras 15, 16 e 17 mostram as etapas metodológicas do processo de modelagem.

Encontrado os três critérios: clima, atividade humana 1 (demográfica) e atividade humana 2 (socioeconômica) foi feita uma sobreposição *fuzzy* entre estes planos de informação para a obtenção de um único indicador de área sob forte “pressão a mudanças”. O resultado final é apresentado em forma de mapa com o nível de pressão hierarquizado através de uma legenda de cores.

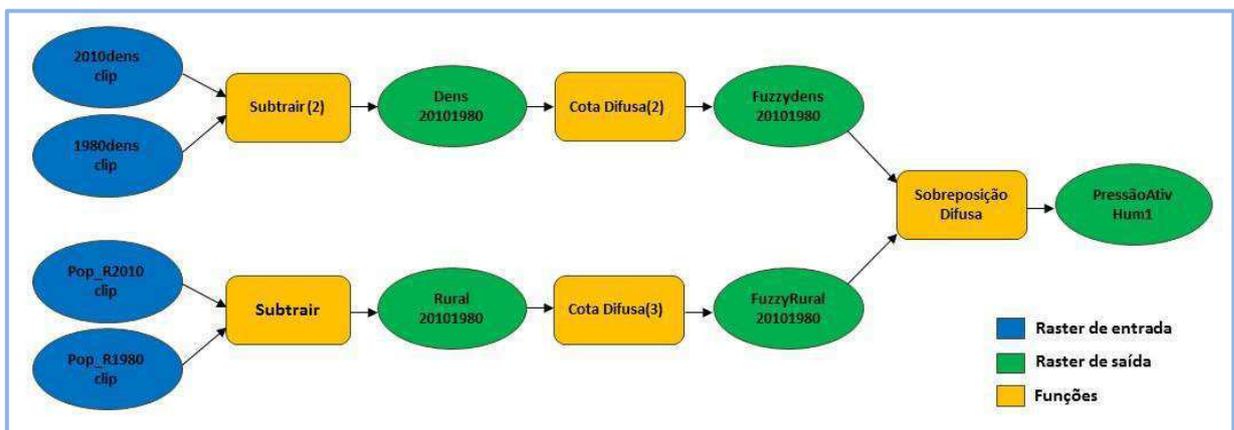


Figura 15: Atividades Humanas 1 (etapa da modelagem).

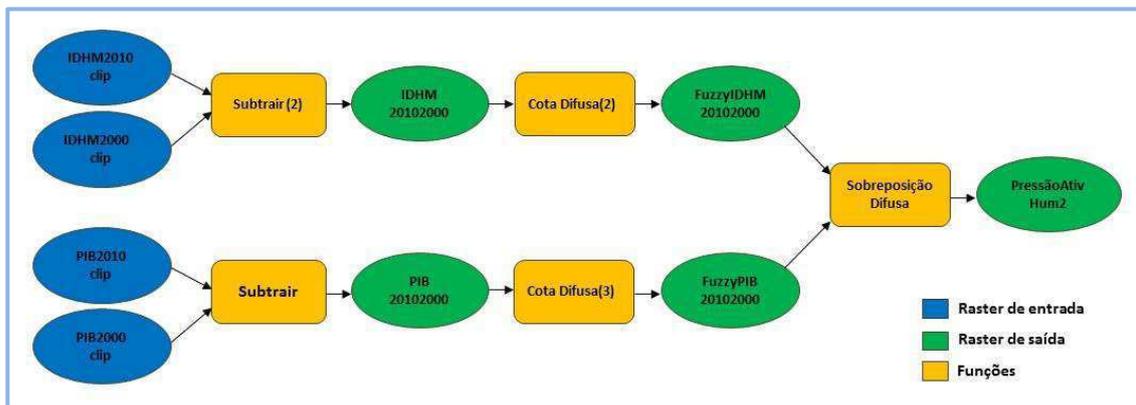


Figura 16: Atividades Humanas 2 (etapa da modelagem).

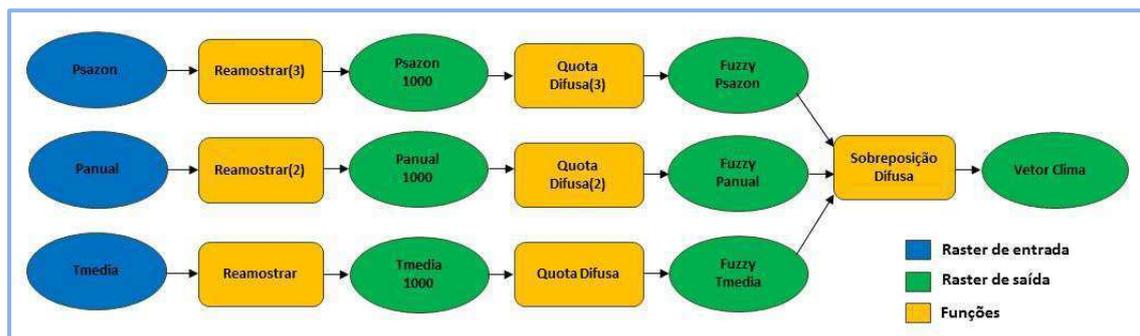


Figura 17: Vetor clima (etapa metodológica).

As figuras 18 e 19 representam os mapas de diferença pelo uso da função “subtração” expressa nas figuras 15 e 16 dos indicadores densidade populacional, população rural, IDHM e PIB agropecuário, respectivamente.

A Figura 20 apresenta os resultados dos vetores clima (temperatura média, precipitação média e sazonalidade da precipitação), atividade humana 1 (densidade populacional e população rural) e atividade humana 2 (IDHM e PIB agropecuário) em dados agregados em superfície *kernel*, respectivamente.

Observa-se nos mapas da figura 20 uma visão clara do uso do modelo conceitual utilizado neste trabalho, conforme mencionado nas figuras 11,12 e 13, onde o azul representa áreas submetidas à baixa “pressão” e o vermelho áreas submetidas à forte “pressão” à mudanças.

Na figura 21 é possível perceber as manchas de densidade populacional através do estimador de densidade *kernel* na região de Juazeiro/BA e Petrolina/PE em ambos os mapas, com o “escurecimento” da mancha bem mais acentuada no ano de 2010. Este aumento de densidade é perceptível também em Sobral/CE, assim como em vários pontos de todo o semiárido nordestino. Tais manchas demonstram que houve dinâmica populacional nas regiões em apreço, o que foi

corroborado com os trabalhos de Franca (2013), Barbieri *et. al.* (2013) e Bezerra (2013) e Ribeiro (2011).

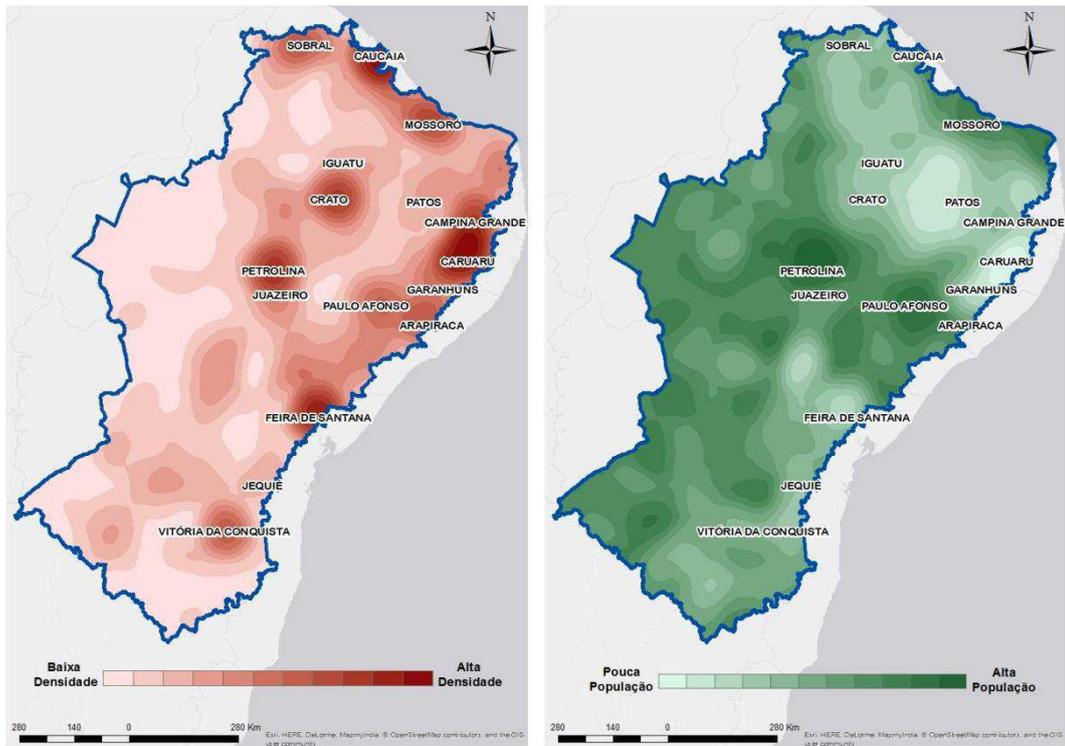


Figura 19: (a) Mapa de diferença da densidade populacional; (b) Mapa de diferença da população Rural.

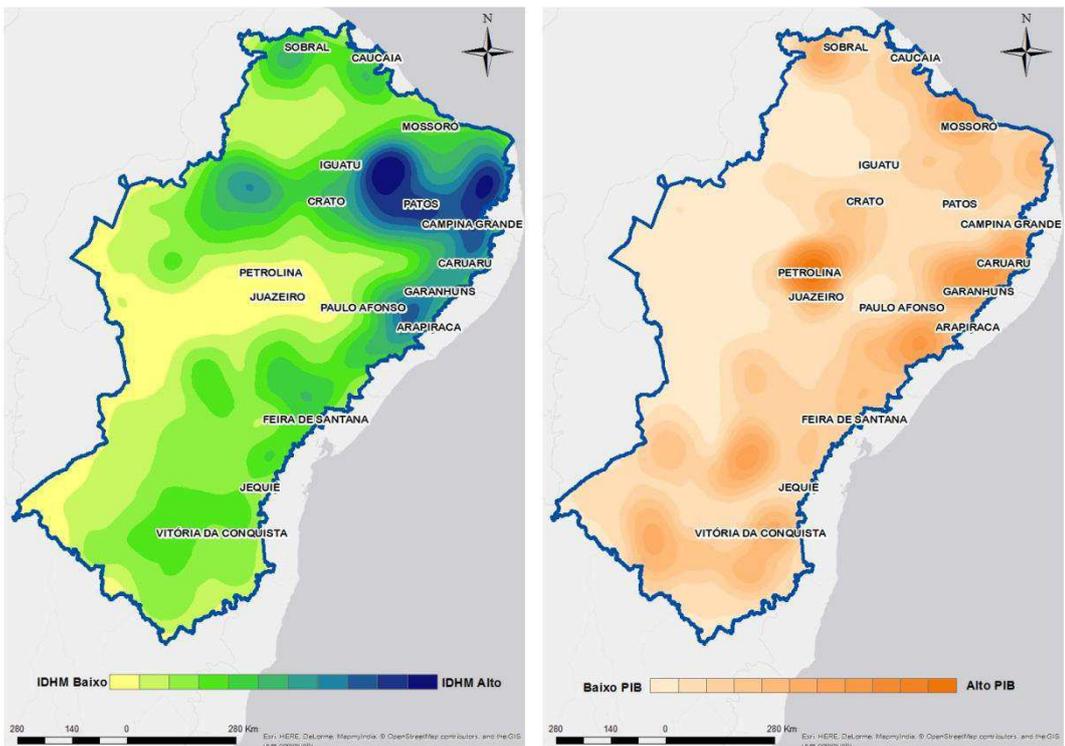


Figura 18: (a) Mapa de diferença do IDHM; (b) Mapa de diferença do PIB agropecuário.

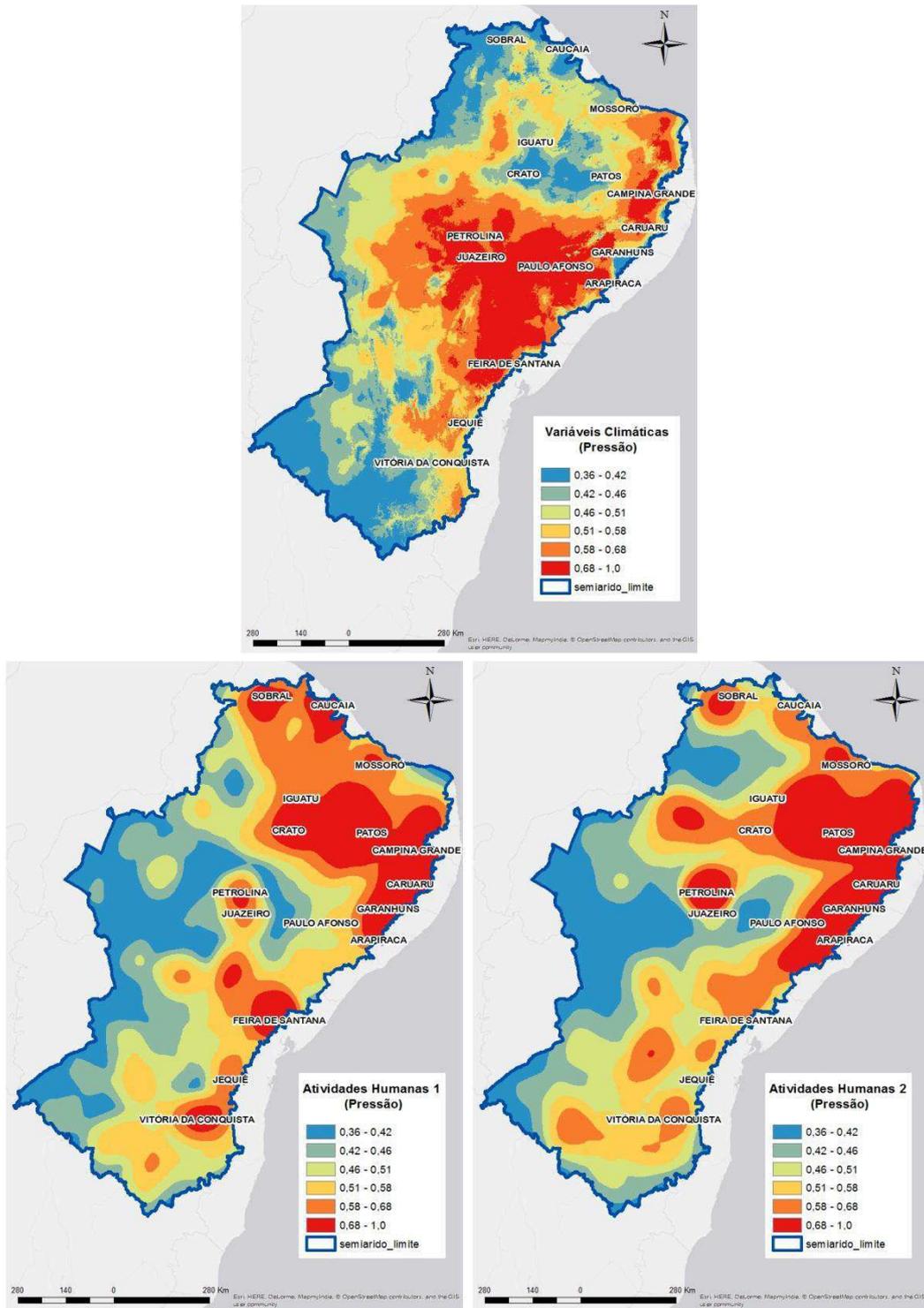


Figura 20: Resultados (a) Vetor Clima; (b) Vetor Atividade Humana 1 (c) Vetor Atividade Humana 2.

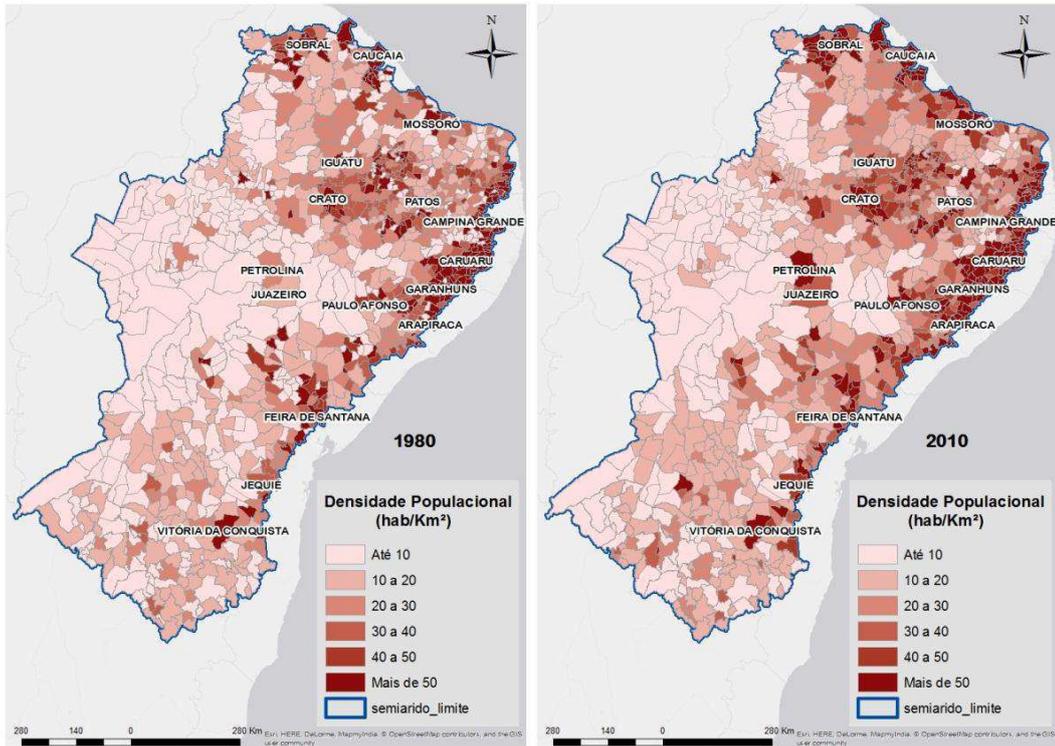


Figura 21: Densidade populacional em (a) 1980 e (b) 2010. Nível de agregação espacial “limite municipal”.

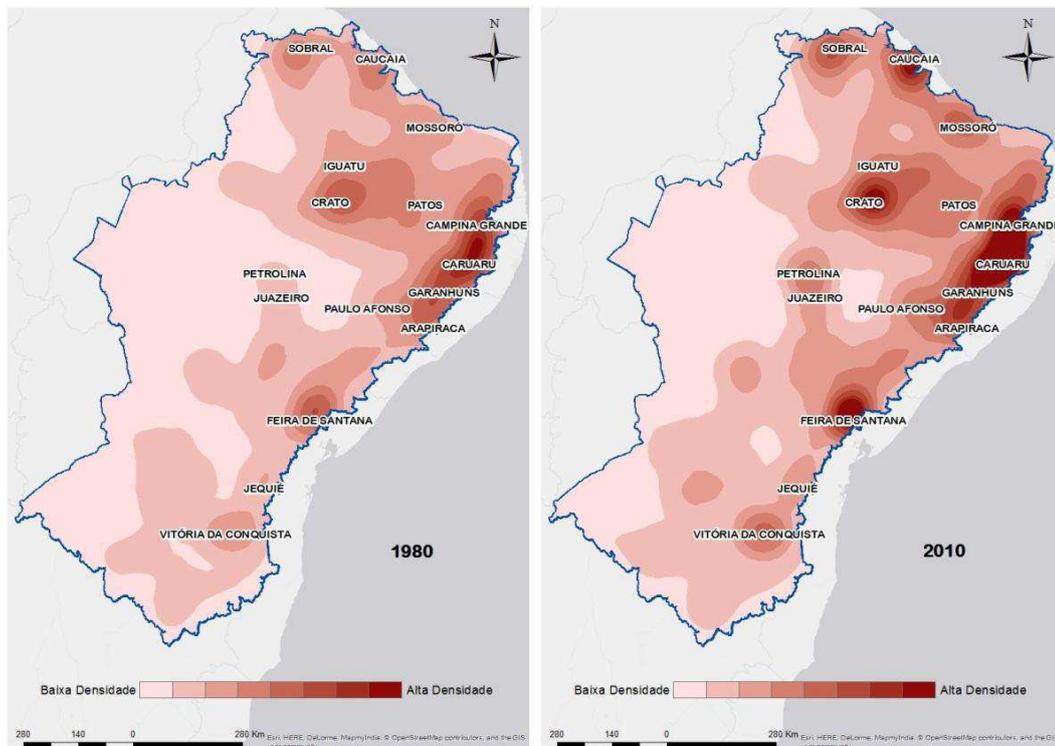


Figura 22: Dinâmica populacional em superfície pelo uso da função Kernel em (a) 1980 e (b) 2010.

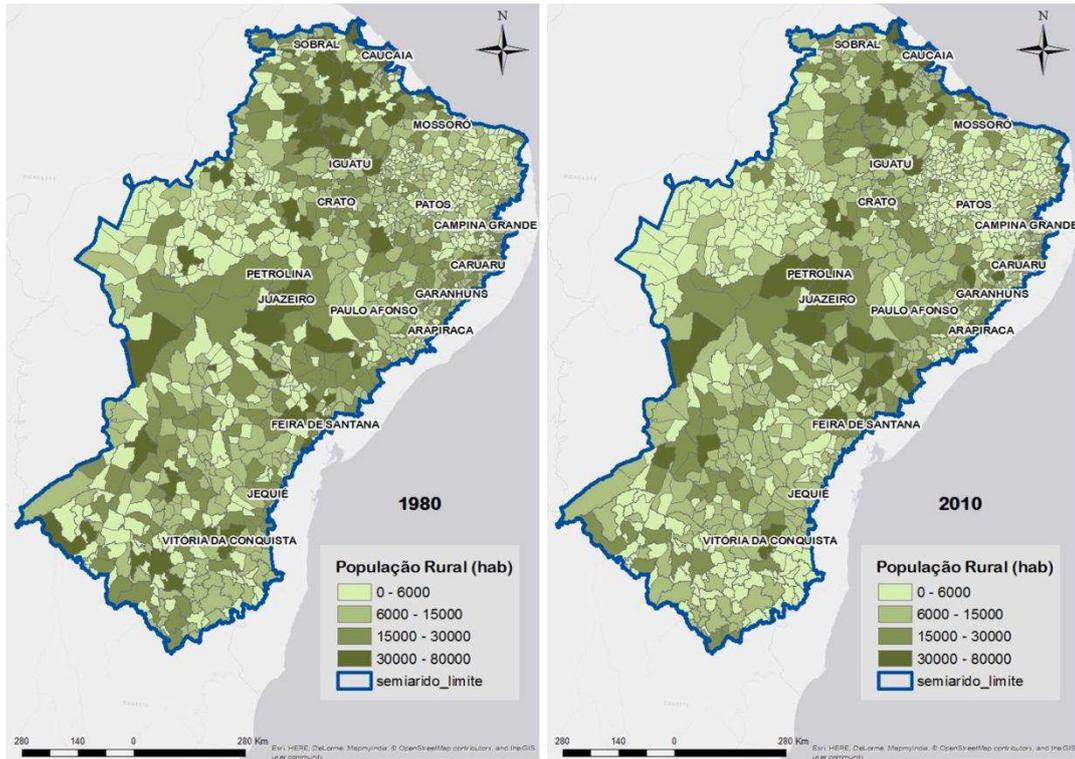


Figura 23: Dinâmica da população rural em (a) 1980 e (b) 2010. Nível de agregação espacial “limite municipal” (polígonos).

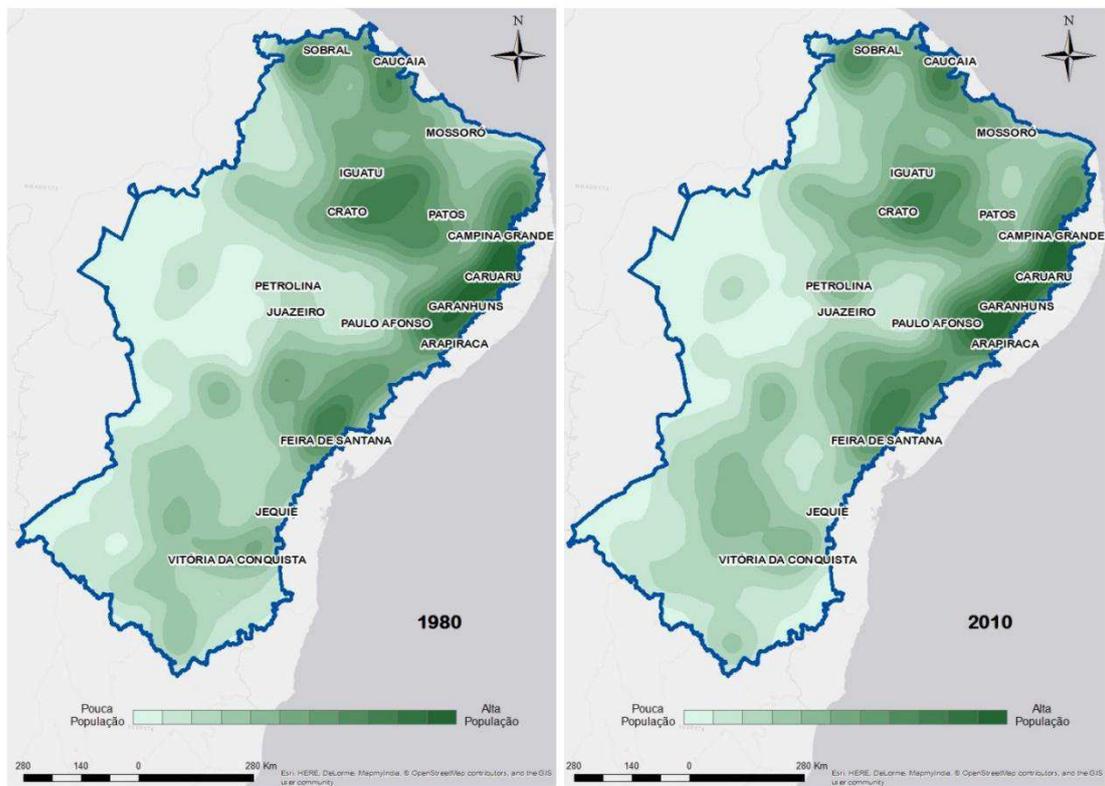
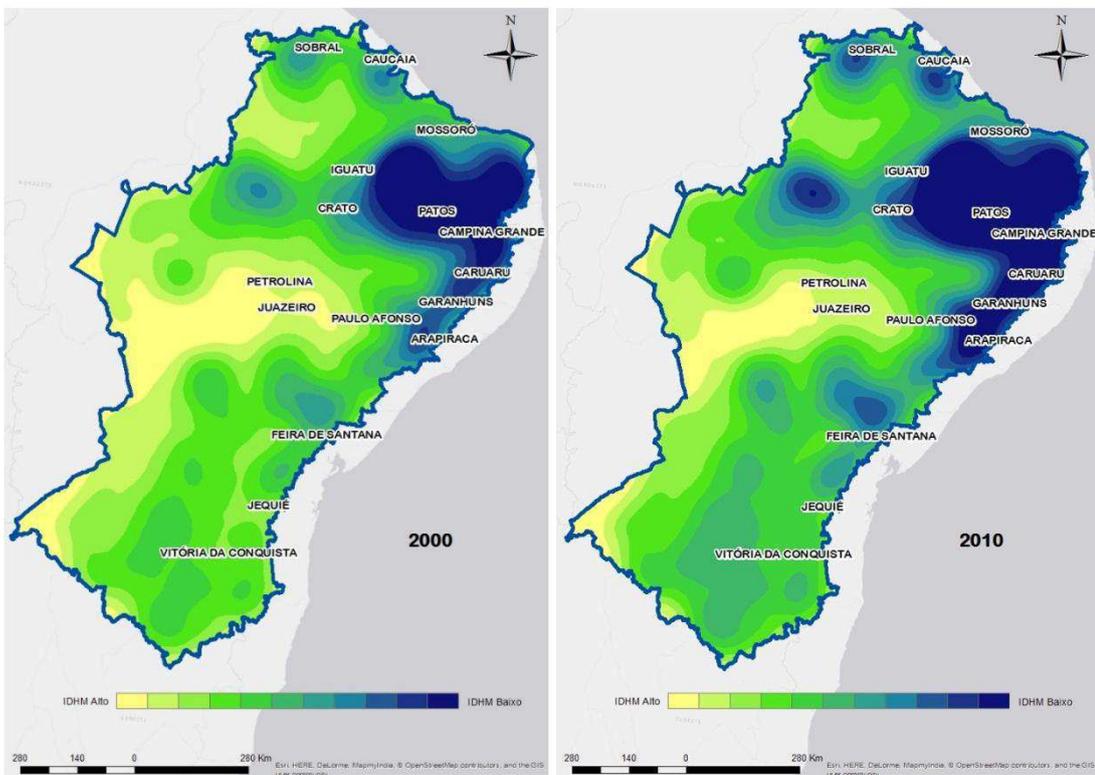
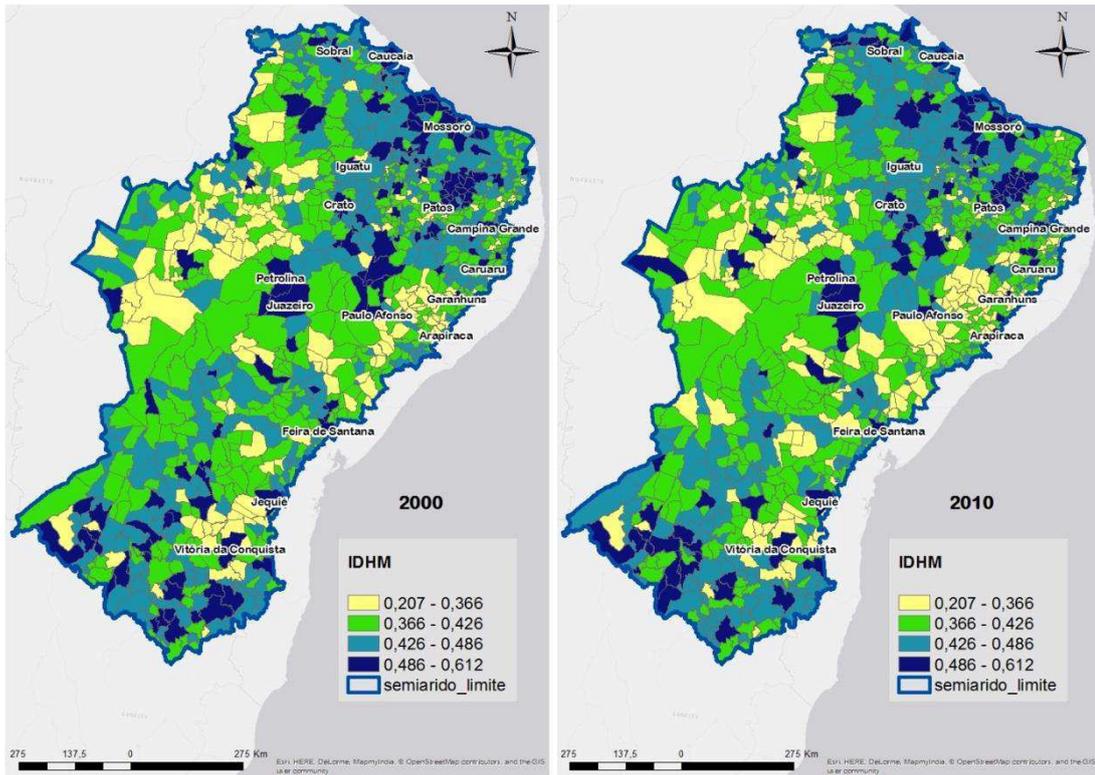


Figura 24: Dinâmica da população rural para os anos de 1980 e 2010 (utilizando superfície Kernel).

É possível perceber que no período 1980-2010 houve dinâmica populacional por ocupação rural nas cidades que compõem o Semiárido brasileiro. Muito provavelmente um dos motivos é o êxodo rural, conforme afirma Alves (2015). A Figura 24 torna possível a visualização desta dinâmica em todo polígono do Semiárido, que pode implicar em dinâmica no uso do solo por atividades agropecuárias também, já que se trata de áreas rurais. A metodologia de espacialização utilizada anteriormente para a população municipal urbana foi utilizada mais uma vez para a população de município rural.

Ao analisar o IDHM (Figura 25), com os dados agregados por polígonos, fica muito complicado perceber o aumento/diminuição deste índice na região. Porém ao analisar a Figura 26, que faz uso do estimador *Kernel*, ficam claramente demonstradas as regiões nas quais houve um aumento do IDHM entre os anos de 2000 e 2010. Curiosamente o polo de fruticultura de Juazeiro e Petrolina não teve um aumento de IDHM tão significativo quanto o polo de Mossoró, cujas cores variaram para a escala do azul claro, implicando em um índice entre 0,426-0,486. Cidades próximas a Iguatu, Crato, Patos, Campina Grande, Caruaru, Garanhuns e Arapiraca tiveram aumento significativo de IDHM, pois suas “manchas” se uniram formando uma única área azul escuro, ou seja, índices entre 0,486-0,612. Verificando a faixa de desenvolvimento humano municipal da PNUD (Figura 2), o índice destas cidades está situado no IDHM médio, que varia de 0,600 a 0,699.

Bezerra (2013) apresenta o polo de fruticultura irrigada de Mossoró/RN como transformador da região em uma das mais dinâmicas do Nordeste brasileiro. Segundo a autora, houve um acréscimo de 17,9% no valor adicionado bruto da agropecuária do Rio Grande do Norte e o crescimento de 1,5% em volume na participação do estado no PIB nacional. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com destaque para o Semiárido nordestino. O clima, a disponibilidade de recursos hídricos nas regiões onde são desenvolvidas agriculturas irrigadas, bem como o solo apropriado para irrigação favoreceu esse bom desempenho. Em 2007 a fruticultura nordestina representou 26% da produção e 63% das exportações brasileiras de frutas, com destaque para a Bahia, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte como estados mais produtores de banana, mamão, laranja, manga, melão, uva e coco. Em 2007 houve um acréscimo de 249.890 toneladas e uma evolução de US\$ 241.042.000 para US\$ 918.796.000 na exportação de frutas frescas.



Neste trabalho um aumento do PIB agropecuário é entendido como um indicador de mudanças principalmente em atividades que interferem diretamente no uso e ocupação do solo como a agricultura e a pecuária. A Figura 27 apresenta a espacialização desta variável para os anos de 2000 e 2010 utilizando a mesma metodologia anterior. Os dados obtidos originalmente agregados por municipalidades foram especializados em superfícies utilizando o estimador *Kernel* Figura 28.

Continuam demonstrando dinâmica no uso do solo em função da atividade agrária Juazeiro e Petrolina, Mossoró, entre outras. A pesquisa demonstra que houve uma queda discreta no PIB agropecuário entre os anos 2000 e 2010. Segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2011), o estado do Ceará apresentou uma queda acentuada de -8,1 em seu PIB agropecuário. Muito provavelmente os demais estados do semiárido também sofreram algum declínio no mesmo período.

Tabela 4: Principais resultados do Valor Adicionado a preços básicos por Setores de Atividades – 2010 – Ceará e Brasil.

<b>Setores/Atividades</b>	<b>Ceará</b>	<b>Brasil</b>
<b>Agropecuária</b>	<b>-8,1</b>	<b>6,5</b>
<b>Indústria</b>	<b>9,7</b>	<b>10,1</b>
Extrativa Mineral	-16,1	15,7
Transformação	6,9	9,7
Construção Civil	14,5	11,6
Eletricidade, Gás e Água	13,4	7,8
<b>Serviços</b>	<b>7,5</b>	<b>5,4</b>
Comércio	13,8	10,7
Alojamento e Alimentação	7,5	...
Transportes	9,3	8,9
Intermediação Financeira	7,0	10,7
Aluguéis	7,6	1,7
Outros Serviços	7,2	3,6

Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2011).

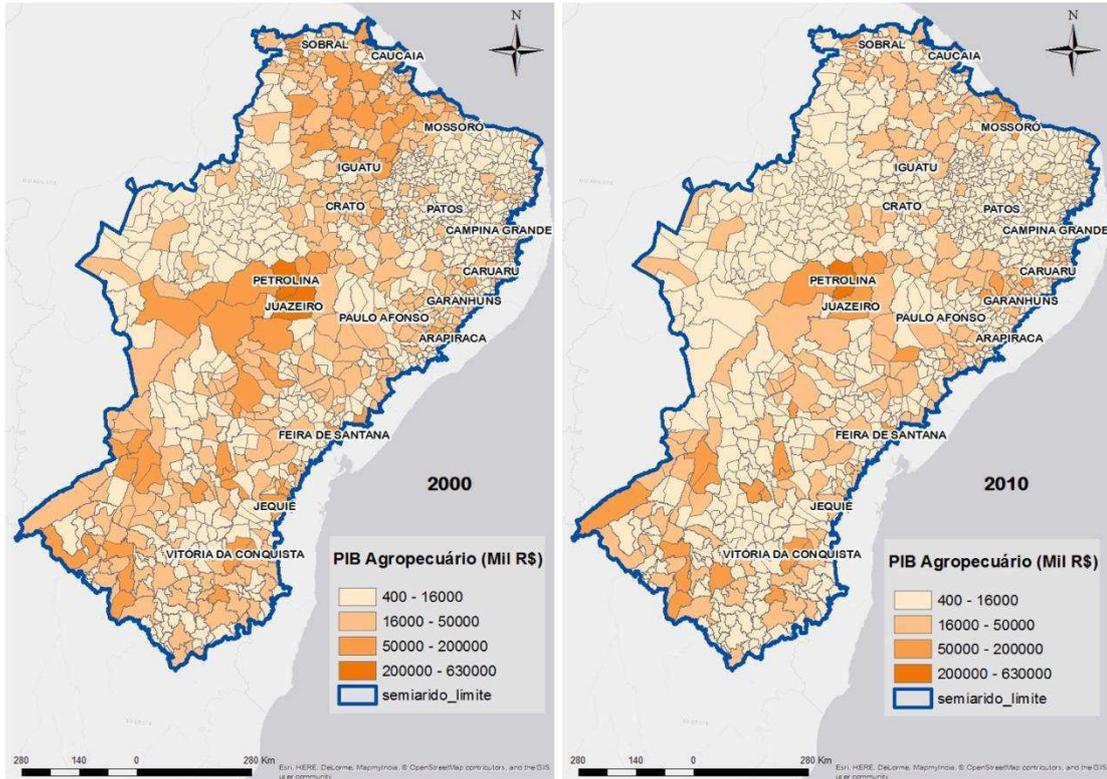


Figura 27: PIB Agropecuário em (a) 2000 e (b) 2010. Nível de agregação espacial.

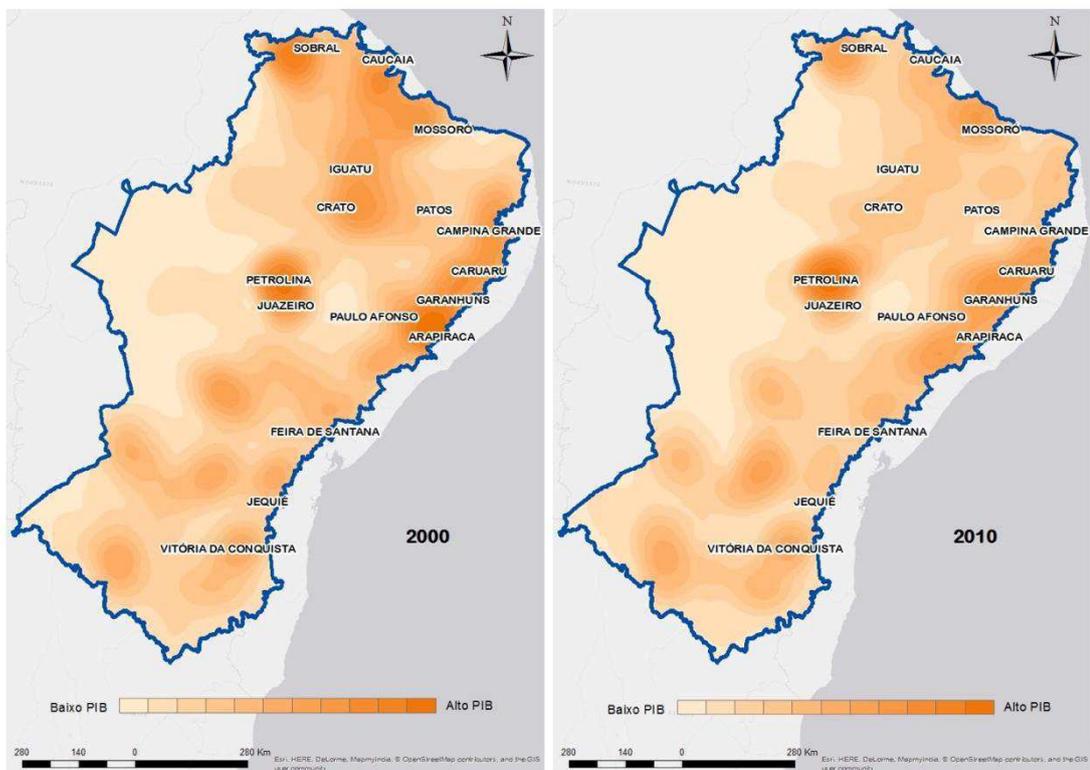


Figura 28: PIB Agropecuário em (a) 2000 e (b) 2010 (utilizando superfície Kernel).

Ao sobrepor os três vetores causadores de dinâmica no uso do solo: clima, atividade humana demográfica e atividade humana socioeconômica, observa-se que há uma espécie de estabelecimento de faixas ou áreas que estão submetidas a “pressão” (Figura 29). No sentido litoral – sertão o modelo resultou em uma faixa de áreas sob “muito alta pressão”, seguida por “alta pressão”, “média pressão” e “baixa pressão”, respectivamente. Porém há algumas “ilhas”, por assim dizer, de áreas submetidas à “muito alta pressão” distribuídas em toda região semiárida. Por exemplo, nas sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco, especificamente nas cidades de Juazeiro, Petrolina e seu entorno.

Também são observadas essas “ilhas” nas sub-bacias do Atlântico Norte Nordeste, especificamente nas cidades de Sobral e seu entorno, Caucaia e seu entorno, entre outras pequenas “ilhas” (Figura 29). Os Indicadores apontaram para alta dinâmica populacional, bem como a alta precipitação na região.

Conforme mencionado, o presente estudo buscou o confronto dos resultados com estudos anteriores e os resultados podem ser considerados válidos para a proposta metodológica. Franca (2013) fez um resgate do polo de fruticultura de Juazeiro-Petrolina no Vale do Submédio do Rio São Francisco e constatou que a região está submetida a forte pressão no uso do solo pela atividade econômica exercida com agricultura irrigada. Possui infraestrutura de comercialização de serviços, com destaque para processadoras agrícolas, implementos agrícolas, estrutura de irrigação implantada e em expansão com uma relativa proximidade dos mercados europeus e norte americano. Também possui alta densidade demográfica, com uma população de 492.065 habitantes exercendo considerável pressão sobre os recursos naturais.

Corroborando com o trabalho de Franca o artigo de Barbieri *et. al.* (2013) que propôs avaliar o desempenho de método de estimativa da temperatura média diária em áreas sob forte pressão antrópica na região do polo de irrigação de Petrolina-Juazeiro. Os resultados obtidos mostram que a evolução temporal da temperatura é extremamente sensível às mudanças no uso e cobertura da terra e o aumento no teor de umidade na baixa troposfera decorrente da expansão agrícola em área de caatinga contribui para a absorção da energia colorífica e elevação da temperatura noturna (temperatura mínima).

Algumas faixas classificadas como de “alta pressão” sofrem o efeito da alta urbanização das cidades litorâneas. Entretanto, este estudo não considerou os dados demográficos das capitais litorâneas do Nordeste Brasileiro. Recife e Fortaleza, por exemplo, exercem forte pressão a mudanças nas cidades circunvizinhas. Ribeiro *et al*, (2011) considera estas duas cidades como duas das quinze metrópoles brasileiras que têm enorme importância na concentração das forças produtivas nacionais, possuem elevada densidade demográfica, isto é, trata-se de espaços urbanos complexos e grandes aglomerações com mais de um milhão de habitantes, com conjuntos de unidades político-administrativas diversas, com diferentes tamanhos e níveis de integração entre estas.

Gonçalves, Vianna e Bacha (2007) apontam que na produção de frutas frescas, o Brasil tem um grande potencial empregador e de geração de renda, contando com mais de 5 milhões de postos de trabalho no país e que Petrolina, Juazeiro, Barreiras, Vale do Assu-Mossoró, dentre outros, são destaque de polos de agronegócio com fruticultura. De acordo com Souza (2006), também em decorrência da modernização da agricultura, resultante de investimentos públicos e privados, o Rio Grande do Norte, principalmente em sua região oeste, Polo Assu/Mossoró, tem-se destacado com a atividade frutícola, sobretudo pela produção irrigada do melão, aumentando a representatividade da fruticultura irrigada no desenvolvimento econômico e social do Nordeste nos últimos anos. A Figura 29 pode ser analisada à luz de todos estes estudos e pode ser um bom “ponto de partida” para o estabelecimento de diretrizes de gestão e ocupação do território.

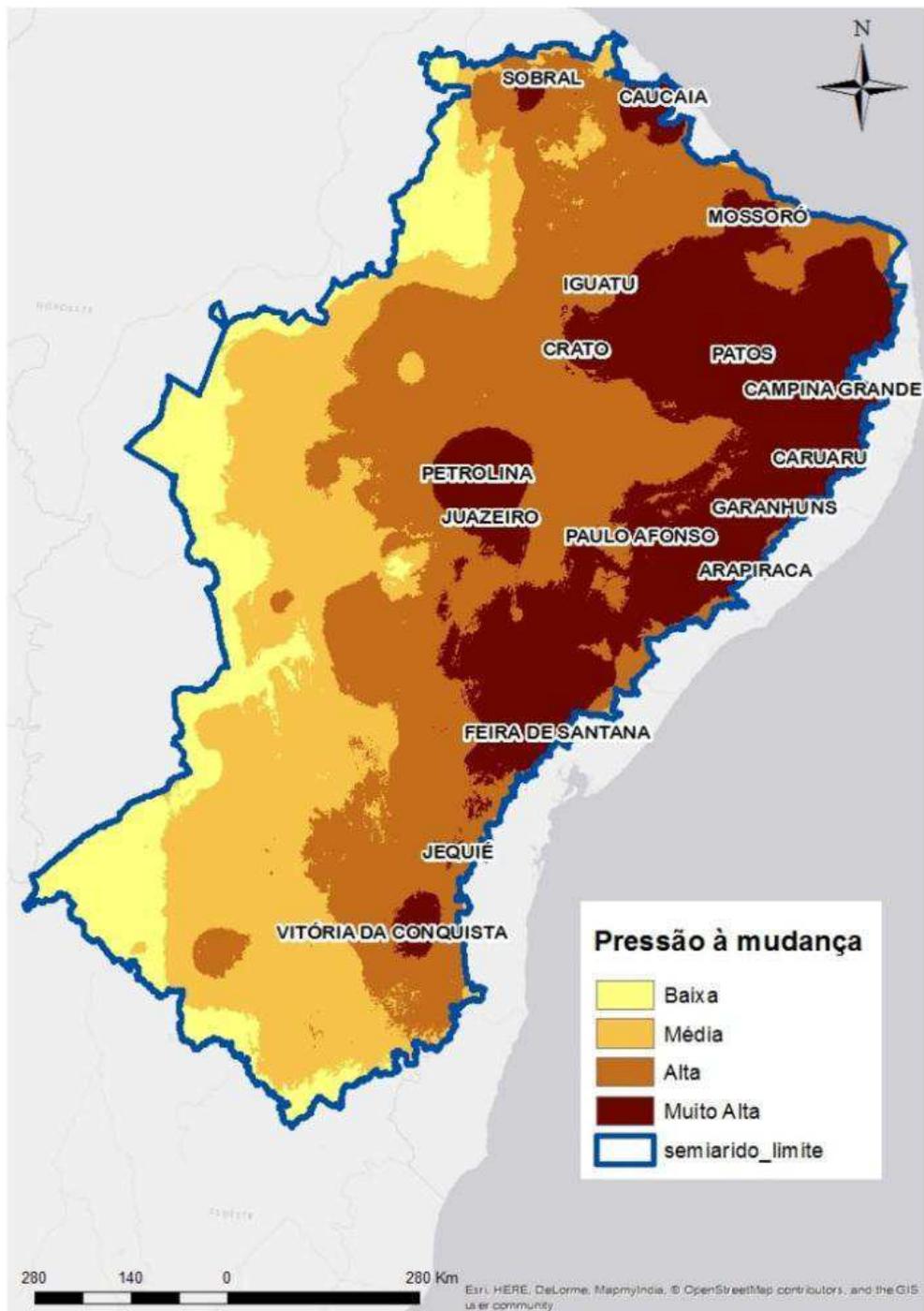


Figura 29: Pressão a mudanças no uso do solo (Modelagem Final).

---

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O semiárido brasileiro está submetido a diferentes tipos de “pressões” causadas pela variabilidade do clima e, principalmente, pelas diversas atividades humanas em toda a sua extensão territorial, haja vista, seu crescente crescimento populacional.

O entendimento destes vetores de mudança torna-se fundamental para ações de conservação ambiental, para estabelecimento de prioridades de gestão e para formulação de políticas de enfrentamento aos problemas recorrentes que a região semiárida brasileira se depara ao longo de sua existência.

A modelagem espacializada de fatores físicos e socioeconômicos muitas vezes é impossibilitada pela natureza dos dados envolvidos, com formatos e níveis de agregação completamente diferentes. A utilização de um estimador estatístico para uniformização das informações, através de modelagem em ambiente SIG, sobrepondo variáveis demográficas, socioeconômicas e climáticas, possibilitou uma integração eficiente e pode ser utilizada com diferentes critérios a serem adicionados à metodologia proposta.

As áreas classificadas como de “alta pressão”, de acordo com os critérios considerados, representam um grande percentual do semiárido e tornam-se representativos, inclusive, em uma análise nacional do território.

Percebe-se que a parte territorial do semiárido classificada como “Muito Alta” pressão é exatamente uma faixa de terras mais próximas do litoral, com exceção das “ilhas” formada pelas cidades de Sobral, Caucaia e Juazeiro-Petrolina, Jequié, Vitória da Conquista, entre outras pequenas “ilhas” em seus entornos. Isto se configura, principalmente, por essas regiões apresentarem alta densidade populacional, acompanhada por um crescimento do PIB agropecuário nos últimos anos.

As regiões que estão sob “alta pressão”, localizam-se entre Agreste, Cariri e Sertão e por se tratar de áreas com características rurais, esta pressão se dá devido ao alto PIB agropecuário, seguido de dinâmica por fluxo migratório proporcionado pelo êxodo rural, bem como as altas temperaturas locais.

Regiões sob “Média” pressão, localizadas no Sertão do semiárido nordestino, recebem influências, principalmente, das variáveis climáticas: baixa precipitação, altas temperaturas, baixa sazonalidade da precipitação, assim como as regiões que estão submetidas à “baixa pressão”, conforme ponderação das variáveis. Ou seja, outros dados socioeconômicos poderiam ser utilizados para uma análise mais sensível a estas “pressões” nestas regiões ou um refinamento do modelo conceitual poderia ser realizado.

Entende-se que estes resultados representam características inerentes a região semiárida do Brasil, no que tangem as variáveis climatológicas. Esta região caracteriza-se por uma forte pressão sobre os recursos naturais e energéticos o que se reflete em crises hídricas como a que cidades de médio e pequeno porte tem enfrentado neste último período de seca prolongada.

Políticas de incentivo a atividades rurais e agrícolas sustentáveis, que promovam a conservação deste bioma tão rico em sua biodiversidade, além de manejos do solo com atividades econômicas diversas, podem ser estratégias de desenvolvimento sustentável e poderiam resultar em menores pressões e impactos em determinadas regiões com áreas em processo avançado de desertificação, por exemplo.

Neste sentido, a métrica proposta neste trabalho (indicador de pressão a mudanças), se bem operacionalizados em ambiente SIG, demonstra de maneira qualitativa onde estão os maiores problemas e facilitam sua identificação e entendimento no território.

A partir de um indicador como este, outras análises em escala de bacia hidrográfica podem ser realizadas como detecção de mudanças de uso do solo utilizando imagens de satélite de múltiplas datas ou a agregação de outras variáveis ambientais. A metodologia proposta considera que dados espaciais globais podem e devem ser utilizados em análises regionais e que podem apresentar resultados consistentes mesmo para áreas menores como pequenas bacias, sendo a validação

de resultados e o confronto com alguma verdade de campo (*ground truth*) fundamental nestes casos. A combinação de dados climáticos e dados censitários também podem ajudar num melhor entendimento e mensuração de impactos no semiárido brasileiro.

Recomenda-se em trabalhos futuros uma etapa de mensuração e quantificação destes resultados nos mais diversos níveis de agregação (município, bacia, etc.), de forma a permitir uma hierarquização dos dados e subsidiar diretrizes de gestão em unidades de planejamento compatíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, Aziz Nacib. **O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileira**. Geomorfologia, n.43, p. 1 - 3, 1974.

AB'SÁBER A. N., **Dossiê Nordeste Seco. Estudos Avançados**, São Paulo, 13 (36), 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v13n36/v13n36a02.pdf>>. Acesso em: 25/05/2015.

ALVES, E., Souza, G. S. **O Semiárido segundo o Censo Agropecuário 2006 e os censos de população 1991, 2000 e 2010**. Revista de Política Agrícola, Brasília, DF, ano 24, n. 1, jan./fev./mar. 2015.

ALVES, J.M.B., Repelli, C. A. **A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS)**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.7, n.2, p.583-92, 1992.

ALMEIDA, Cláudia M. de; Câmara, Gilberto; Monteiro, Antônio M. (Org.). **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 368 p.

ARAÚJO, Leonardo Alves de; LIMA, João Policarpo R. **Transferências de renda e empregos públicos na economia sem produção do semiárido nordestino**. Planejamento e Políticas Públicas, 2010.

ARNELL, N. W. **Hydrological impacts of climate change**. In: CALLOW, P. e PETTS, G. E. (Eds.). The rivershandbook. Oxford: Blackwell, vol. 2, p. 173 – 185. 1994.

BARBIERI, A. F. **Transições populacionais e vulnerabilidade às mudanças climáticas no Brasil**. REDES – Ver. Des. Regional, Santo Cruz do Sul, v. 18, n. 2, p. 193-213, maio/ago 2013.

BARBIERI, L. F. P., Correia, M. F., Braga, C. C., Gonçalves, W. A., Moura, M. S. B. **Desempenho de Método de Estimativa da Temperatura Média Diária: um estudo em áreas com forte pressão antrópica**. Revista Brasileira de Geografica Física. 2013.

BEZERRA, N. G. J. S. **Sobrevivência e Mortalidade das Empresas de Agricultura Irrigada do Semiárido do RN**. 2013.

BRASIL. **Ministério da Integração Nacional**. DOU, Portaria Número 89 de 10 de Março de 2005. Brasília-DF, 2005.

BRASIL. **Agência Nacional de Águas**. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília/DF: ANA, 2005.

BUAINAIN, Antonio Marcio; GARCIA, Junior Ruiz. **Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas**. Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia, n. 19, 2013.

BURROUGH, P. A. MCDONNELL R. A. **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford, Oxford University Press, 1998.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986

CAMARANO, A.A. **Novo regime demográfico: uma nova relação entre população e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Ipea, 2014.

CAMPOS, José Nilson Bezerra. **Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas**. Planejamento e Políticas Públicas, n. 16, 2009.

CONFALONIERI, U.E.C. **Regional Climate Change and Human Health in South America**. in: Dias , P.L.S.; Ribeiro ,W.C.; Nunes , L.H., A contribution to understand the regional impact of global change in South America. Sao Paulo: USP, Sao Paulo. 2005.

CONFALONIERI, U.E; BARATA, M. **Avaliação da Vulnerabilidade Municipal no Estado do Rio de Janeiro às Mudanças Climáticas (Relatório de pesquisa)**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2011.

CONTI, IL PONTEL; COM O SEMIÁRIDO BRASILEIRO, E. **Convivência, Autonomia e Protagonismo Social. Transição Paradigmática na convivência com o semiárido**. Brasília: ed. IABS, p. 21-30, 2013.

COUTINHO, Maria Janiele Ferreira et al. **A pecuária como atividade estabilizadora no semiárido brasileiro**. Veterinária e Zootecnia, v. 20, n. 3, p. 434-441, 2013.

CHAPMAN, G. **“Popular perception and climate change: mapping the varying experience of precipitation”**. In: W. Østreng (ed): Transference. Interdisciplinary Communications 2008/2009. CAS, Oslo (Internet publication, [http://www.cas.uio.no/publications\\_/transference.php](http://www.cas.uio.no/publications_/transference.php), ISBN:978-82-996367-7-3). 2010.

CHUDNOVSKY, A., Ben-Dor, E., Saaroni, H. **Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements.** *Energy and Buildings*, n.36, p.1063 – 1074. 2004.

DEMERS, M. N. **Fundamentals of Geographic Information Systems.** John Wiley & Sons. Second Edition, 2003. 636p.

DENT, B. D. **Principles of thematic map design.** Reading MA: Addison Wesley, 1999.

FRANCA, C. **Dinâmicas globais e arranjos produtivos para agricultura familiar: o caso do polo de fruticultura Juazeiro-Petrolina no território do Vale do Submédio do Rio São Francisco, Região Nordeste do Brasil.** Centro de Investigação em Ciências Sociais. Configurações Território e Desenvolvimento. 2013.

GIRÃO, Osvaldo; CORRÊA, AC de B. **A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas.** *Revista de Geografia, UFPE DCG/NAPA*, Recife, v. 21, n. 02, 2004.

GONÇALVES, Marilson Alves; VIANNA, Nadia Wacila Hanania; DE LOURDES BACHA, Maria. **Frutas frescas brasileiras: internacionalização e transporte.** VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Anais... Resende-RJ: AEDB, 2007. Disponível em: <[http://www.w.aedb.br/seget/artigos07/878\\_878\\_frutas%20frescas%20brasileiras.pdf](http://www.w.aedb.br/seget/artigos07/878_878_frutas%20frescas%20brasileiras.pdf)> Acesso em: março de 2016.

HIJMANS, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., Jarvis, A. **Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas.** *International Journal of Climatology*. Int. J. Climatol. 25: 1965-1978. 2005.

HIJMANS RJ, Condori B, Carillo R, Kropff MJ. **A quantitative and constraint-specific method to assess the potential impact of new agricultural technology: the case of frost resistant potato for the Altiplano (Peru and Bolivia).** *Agricultural Systems* 76: 895–911. 2003.

IBGE – Instituto Nacional de Geografia e Estatística. Indicadores Sociais e Municipais. Uma Análise do Resultados do Universo do Censo Demográfico 2010. 2011. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv54598.pdf>> Acesso em: Fevereiro de 2016.

IBGE – Instituto Nacional de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto dos Municípios. 2012. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv91152.pdf>> Acesso em: Fevereiro de 2016.

IBGE – Instituto Nacional de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. 2013. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manua\\_l\\_uso\\_da\\_terra.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manua_l_uso_da_terra.pdf)> Acesso em: Fevereiro de 2016.

Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro – Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. O Financiamento da Agropecuária Brasileira no Período Recente. 2015. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3407/1/td\\_2028.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3407/1/td_2028.pdf)> Acesso em: Fevereiro de 2016.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. (ed.) **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp, 2007a

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; vander Linden, P. J.; Hanson, C. E. (ed.) **Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp, 2007b

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2011.

JONES PG, Gladkov A. FloraMap. **A Computer Tool for Predicting the Distribution of Plants and Other Organisms in the Wild**. Version 1.02. Centro Internacional de Agricultura Tropical: Cali, Colombia. 2003.

JUNIOR, Luiz Priori. **Mudanças climáticas e possíveis impactos nas cidades costeiras do nordeste brasileiro**. Anais: Encontros Nacionais da ANPUR, v. 15, 2013.

KATO, S., Yamaguchi, Y. **Influence of Shade on Surface Temperature in an Urban Area Estimated by ASTER Data**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan. 2010.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SCHRÖDER, P.H.; GRANDO, Â.; REGINATTO, G.M.P. **Papel da comunidade e da universidade no**

**gerenciamento de desastres naturais.** In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004 Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846 (CDROM).

KÖPPEN, Wladimir. **Climatologia.** México: Fundo de Cultura Econômica, 1948.

LAM, D. **How the world survived the population bomb: lessons from 50 years of extraordinary demographic history.** (Research Report Series, n. 11-743). PSC, 2011.

LAURINI, Robert; THOMPSON, Derek. **Fundamentals of Spatial Information Systems.** San Diego: Academic Press, 1992.

LONGLEY, P. **Geographical Information Systems: a renaissance of geodemographics for public service delivery.** Progress in Human Geography. v. 29, nº 1, p. 57-63.2005.

MACHADO, João Guilherme Rocha; PAMPLONA, João Batista. **A ONU e o desenvolvimento econômico: uma interpretação das bases teóricas da atuação do PNUD.** Economia e Sociedade, v. 17, n. 1, p. 53-84, 2016.

MALTHUS, Thomas Robert. Ensaio sobre a população. São Paulo: Abril Cultural, v. 328, 1983.

MARENGO J. A.; Silva Dias P. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos** In: Águas doces no Brasil - capital ecológico, usos múltiplos exploração racional e conservação. Rebouças, A. da C.; Braga Jr., B.; Tundisi, J. G. (ed.) 2ns Ed. IEA/USP, 2007. p. 63-109

MARENGO, José A. et al. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Medeiros, SSM, Gheyi, HR, Galvão, CO, Paz, VPS Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Instituto Nacional do Semiárido, p. 1-40, 2011.

MARTIN, D. **An assessment of surface and zonal models of Population**. International Journal of Geographical Information p. 973-989, 1996.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G.; NETTO, A. L. C.; et al. Métodos de Inferência Geográfica: Aplicação no planejamento regional, na avaliação ambiental e na pesquisa mineral. In: MEIRELLES, M. S. P. et al. (Org.). Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 593.

MENESES, P. R., Almeida, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília, 2012. Acesso em 16/01/2016 <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São José dos Campos: Edgar Blücher, 1989.

OBERMAIER, Martin et al. **Adaptation to climate change in Brazil: The Pintadas pilot project and multiplication of best practice examples through dissemination and communication networks [56kB]**. Proceedings of RIO, v. 9, 2009.

OJIMA, R. **Urbanização, dinâmica migratória e sustentabilidade no semiárido nordestino: o papel das cidades no processo de adaptação ambiental**. Cad. Metrop., São Paulo, v. 15, n. 29, pp. 35-54, jan/jun 2013.

OLIVEIRA, K. F. **Demografia da pobreza em Sergipe: migração, renda e características municipais a partir dos anos 80**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Campinas, SP: [s. n.], 2009.

OLIVEIRA, B. L. C. A., Silva, C. L. F. C., Thomaz, E. B. A. F. **DESIGUALDADES SOCIOECONÔMICAS, DEMOGRÁFICAS E EM SAÚDE NO NORDESTE BRASILEIRO/SOCIOECONOMIC, DEMOGRAPHIC AND HEALTH INEQUALITIES IN NORTHEAST REGION OF BRAZIL**. Revista de Pesquisa em Saúde, v. 14, n. 3, 2013.

OLIVEIRA-GALVÃO, A.L.C; Saito, C.H. **Mapeamento sobre desertificação no Brasil: uma análise comparativa**. Revista Brasil Floresta, v. 23, n. 77, 2003.

PARRA JL, Graham CC, Freile JF. 2004. **Evaluating alternative data sets for ecological niche models of birds in the Andes**. *Ecography* 27: 350–360.

PBMC: **Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo do GT2. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 28p. 2013.

PNUD; IPEA; FJP. **O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro. Brasília: PNUD Brasil, 2013. 96 p.** Série Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013. Disponível em: <[http://www.atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/publicacao\\_atlas\\_municipal.pdf](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/publicacao_atlas_municipal.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2016.

RAMALHO, Maria Francisca de Jesus Lírio. **A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens**. Sociedade e Território, v. 25, n. 2, p. 104-115, 2013.

REHER, D. S. Economic and social implications of the demographic transition. *Population and development review*, v. 37, p. 11-33, 2011. Supplement.

RIBEIRO, L. C. Q., Silva, E. T., Rodrigues, J. M. **Metrópoles Brasileiras: diversificação, concentração e dispersão.** *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, Curitiba, n. 120, p.177-207, jan./jun. 2011.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** 6. Ed. Uberlândia: EDUFU, 2007.

RUFINO, I. A. A. Gestão de recursos hídricos em ambientes urbanos costeiros: modelagem e representação do conhecimento em Sistemas de Informação Geográfico. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2004.

SAMPAIO, E.V.S.B.; Araújo, M.S.B., Sampaio, Y.S.B. **Impactos Ambientais da Agricultura no processo de desertificação no nordeste do Brasil.** In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Solos, Sustentabilidade e Qualidade Ambiental, Recife, 2005.

SANTOS, M. S., Oliveira, M. T., Figueiredo, K. V., Falcão, H. M., Arruda, E. C. P., Almeida-Cortez, J. Sampaio, E. V. S. B., Ometto, J. P. H. B., Menezes R. S. C., Oliveira, A. F. M., Pompelli, M. F., Antonino, A. C. D. **Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes?** *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 2014.

SILVA, Alberlan Fernandes da. **Componentes produtivos do consórcio mamona e amendoim em cultivo de sequeiro no semiárido paraibano.** 2013.

SILVA, Bruce Kelly da Nóbrega. **Indicador de vulnerabilidade agropecuária a extremos climáticos para o nordeste do Brasil**. 2014.

SILVA, V. M. D. A., PATRÍCIO, M. D. C. M., RIBEIRO, V. H. D. A., & DE MEDEIROS, R. M. **O desastre seca no Nordeste Brasileiro**. POLÊM! CA, 12(2), 284-293. 2013.

SILVA, Roberto Marinho Alves da. **Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. 2006.

SILVEIRA, C. S., Oliveira, J. L., Silva, R. F. V., Nóbrega M., Souza, S. A. Variabilidade e Mudanças Climáticas na Bacia do Rio São Francisco – Avaliação dos modelos Globais quanto à Representação da Precipitação. XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal-RN. 2014.

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. New York: Chapman and Hall, 1986.

SILVERMAN, B.W.. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. London: Chapman & Hall/CRC, 1998.

SIMPSON, Richard. **Introduction: A Green Economy for Green Cities**. In: Local Sustainability, Volume 3, pp 13-16, 2013.

SINGER, P. **Migrações internas: considerações teóricas sobre seu estudo**. In: MOURA, H. A. de (Coord.). Migração interna: textos selecionados. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil - BNB, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste, 1980. t. 1, p. 211-244. (Estudos econômicos e sociais, 4).

SIVAKUMAR, M. V. K., DAS, H. P. and BRUNINI, O. **Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics.** In: *Climatic Change* 70: 31–72. Springer. 2005.

STREUTKER, D. R. **A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas.** *International Journal of Remote Sensing*, 23, 2595– 2608. 2002.

SOUSA, F. M., Gilson, L. F. P., Lima, M. G., Sousa, M. Zoneamento agroclimático da cultura da goiabeira no estado do Piauí, Brasil. *Agropecuária Científica no Semiárido*. 2013.

SOUZA, F. C. S., Análise da Sustentabilidade da Fruticultura Irrigada no Semi-árido Norte-Rio-Grandense. XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. Fortaleza-CE. 2006.

SOUZA BORGES, Tatyana Keyty et al. **Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (Zeamays I.) em semiárido nordestino.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 6, p. 1862-1873, 2014.

SOUSA CAMURÇA, Carla Evelline et al. **Implicações psicossociais da seca na vida de moradores de um município da zona rural do nordeste do Brasil.** *Avances en Psicología Latinoamericana*, v. 34, n. 1, p. 117-128, 2016.

STREUTKER, D. R. **Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas.** *Remote Sensing of Environment*, 85, 282– 289. 2003.

TABARELLI, Marcelo; SANTOS, André Maurício Melo. **Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos.** Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação, v. 9, p. 17-24, 2004.

WENG, Q. **A remote sensing–GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China.** International Journal of Remote Sensing, v. 22, n.10, p. 1999 – 2014. 2001.

WENG, Q., D. Lu, and J. Schubring . **Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies.** Remote Sensing of Environment, 89: 214–231. 2004.

VIEIRA, R. M. S. P., Feitosa, F. F. F., Rosembach, R., Sestini, M. F., Cunha, A. P. M. A., Alvalá, R. C. S. **Influências das mudanças de uso da terra e da degradação do solo na dinâmica populacional do núcleo de desertificação de Gilbués (PI).** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

VOOGT, J.A. and T.R. Oke. **Thermal remote sensing of urban climates.** Remote Sensing of Environment 86: 370-384. 2003.

ZADEH L. A. **Fuzzy sets.** Information and Control, 8:338-353. 1965.