



**Universidade Federal do Pará  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**

**LUIS WALDYR RODRIGUES SADECK**

**O ZONEAMENTO AMBIENTAL POR REDES NEURAIAS  
ARTIFICIAIS (SOM) COMO INSTRUMENTO DE  
ORDENAMENTO TERRITORIAL NA REGIÃO NORDESTE DO  
ESTADO DO PARÁ**

**BELÉM-PA  
2015**

**LUIS WALDYR RODRIGUES SADECK**

**O ZONEAMENTO AMBIENTAL POR REDES NEURAIAS  
ARTIFICIAIS (SOM) COMO INSTRUMENTO DE  
ORDENAMENTO TERRITORIAL NA REGIÃO NORDESTE DO  
ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação do instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com a EMBRAPA-Amazônia Oriental e com o Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de mestre em Ciências Ambientais. Área de concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Socio-Ambientais. Orientador(a): Prof. Dr<sup>a</sup> Aline Maria Meiguins de Lima e Coorientador: Prof. Dr Marcos Adami

BELÉM-PA  
2015



**LUIS WALDYR RODRIGUES SADECK**

**O ZONEAMENTO AMBIENTAL POR REDES NEURAIAS  
ARTIFICIAIS (SOM) COMO INSTRUMENTO DE  
ORDENAMENTO TERRITORIAL NA REGIÃO NORDESTE DO  
ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação do instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com a EMBRAPA-Amazônia Oriental e com o Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de mestre em Ciências Ambientais.

Data da Aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Conceito:

Banca Examinadora:

---

Orientador (a)

Prof. Dr<sup>a</sup> Aline Maria Meiguins de Lima

Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Sérgio Luiz de Medeiros Rivero

Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba

Universidade Federal do Pará

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia Aparecida da Silva Pimentel

Universidade Federal do Pará

## **AGRADECIMENTOS**

A minha querida esposa e companheira Carla Cristina, pela sua paciência em aturar minha ansiedade nestes anos que perduraram o mestrado e por estar ao meu lado por todos esses anos me apoiando, incentivando e principalmente amando. Formamos uma bela dupla.

Aos meus pais que mesmo estando distantes, na terra ou no cosmos, sempre me apoiaram e me deram força e coragem para ir sempre além, me ensinando os sentidos físicos e metafísicos da vida.

A todos os meus familiares que de algum modo entenderam a minha ausência em momentos importantes e me incentivaram a trilhar esse caminho com paciência e calma.

A minha querida orientadora Prof. Dr<sup>a</sup> Aline Maria Meiguins de Lima que sempre me alertou sobre os prazos e pelo conhecimento imensurável e profissionalismo com ética, competência e eficácia aliada a sua dedicação, disposição e perseverança que possibilitaram a construção desta pesquisa. Serei eternamente grato ainda ao amigo admirado e conselheiro, o Prof. Dr Marcos Adami pela enorme colaboração e atenção dispensada neste trabalho através da sua coorientação e suporte nos momentos difíceis, pois sem ele tudo seria mais difícil.

A minha Chefa no INPE/CRA e também amiga Dr<sup>a</sup> Alessandra Rodrigues Gomes por sua compreensão e paciência nos momentos que precisei faltar ao trabalho por conta das aulas e atividades e também pelo incentivo que sempre me deu nas questões acadêmicas e na vida. A todos os meus colegas de trabalho e amigos do INPE/CRA tanto aqueles que passaram um tempo curto de projeto, como os que estão lá desde o início. Gostaria também de agradecer em especial aos amigos Cesar Diniz, pelas discussões que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, e ao Luiz Cortinhas, pela disponibilidade e suporte nas questões estatísticas e computacionais.

Finalizo, agradecendo a todos aqueles que não foram citados, mas que ajudaram e contribuíram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Que a força esteja com vocês!

## RESUMO

Os estudos voltados ao ordenamento territorial em geral representam o emprego de uma grande quantidade de informações o que torna o processo de interpretação bastante complexo, em consequência disso o processo de tomada de decisão torna-se mais lento. Além disso há a necessidade de ajuste espacial (escala) e temporal (mesmo período de aquisição) dos dados utilizados. O emprego de metodologias lineares ou com bases de informação insuficientes tornam frágeis estes instrumentos que deveriam atuar como sistemas de suporte a decisão. Logo, este trabalho pretende contribuir com uma proposta metodológica para desenvolvimento dos processos de ordenamento territorial nos moldes do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) através de Redes Neurais Artificiais (RNA) – Self Organizing Map (SOM). O principal objetivo é de subsidiar o processo de regionalização com suporte ao ordenamento territorial, permitindo que o processo ocorra de maneira mais dinâmica e rápida mediante os procedimentos de coleta de dados (socioeconômicos e ambientais), ajuste dos dados, execução da rede e interpretação das áreas para a criação do mapa síntese de ordenamento territorial. Essas etapas permitiram a parametrização e escolha da rede que dará melhor resultado conforme treinamento e análise do interprete sobre os dados gerados, considerando algumas formas de análise como U-matriz, planos de componentes, gráficos por classe, análise por Cluster e criação dos mapas. Os resultados obtidos separaram a área de estudo em 12 zonas, que foram reagrupadas a partir de critérios de similaridade de comportamento em 4 categorias, que representam os principais eixos de sustentabilidade propostos para o estado do Pará, a partir do ZEE existente. A metodologia proposta conseguiu individualizar zonas na região que o ZEE não definiu, principalmente em função da maior possibilidade oferecida pela SOM de conjugar e integrar um grande número de variáveis físicas, sociais e econômicas.

**Palavras chaves:** Regionalização, Redes Neurais, Self Organization Map, Ordenamento Territorial, Amazônia.

## ABSTRACT

Land use planning studies represents, in general, the use of a large amount of information which leads into rather complex interpretation process similarly to the understand of the involved socioeconomic and environmental systems, as a result the decision-making process becomes slower, demanding spatial (scale) and temporal (period) adjustments. The use of inappropriate methods or insufficient data generates fragile instruments that should act as decision support systems. In this scenario, this work aims to contribute to develop a methodology for land use planning processes along the lines of the Ecological-Economic Zoning (EEZ) through Artificial Neural Networks (ANN) - Self Organizing Map (SOM) to subsidize a regionalization process and support land use planning in a more dynamic and faster manner, based upon data collection procedures (socioeconomic and environmental), data adjustment, network implementation and finally interpretation leading into the regional planning synthesis map. These steps allows parameterization and selection of the network that gives the better results accordingly to training and interpreter analysis over the generated data, taking into considerations statistical analysis such as U-matrix, component plans, per class graphs, Cluster analysis and map generation. The area was separated in the 12 units, that were grouped by similarity in 4 categories, which represent the main axes of sustainability proposed in the ZEE. the method adopted can defined distinct zones, that were not identified by ZEE, mainly due to the increased possibility offered by SOM to combine and integrate a large number of physical, social and economic variables.

**Keywords:** Regionalization, Neural Networks, Self-Organization Map, Regional Planning, Amazon.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de síntese de subsídios à gestão do território.....	21
Figura 2 - Neurônio de McCulloch e Pitts (MCP). .....	26
Figura 3 - Exemplo de um Mapa Auto-Organizável bidimensional NxM.....	27
Figura 4 - Fluxograma do processo resumido de análise exploratória de dados com SOM. ....	28
Figura 5 - Procedimento metodológico empregados na pesquisa. ....	29
Figura 6 - Mapa da área de estudo.....	30
Figura 7 - Unidades ambientais da área de estudo. ....	32
Figura 8 - Precipitação (mm) climatológica sazonal observada: (a) Dezembro-Janeiro-Fevereiro, DJF e (b) Março-Abril-Maio, MAM. (c) Espacialização das regiões homogêneas e histogramas da distribuição temporal da chuva por regiões homogêneas. ....	34
Figura 9. Carta de uso e cobertura do solo, derivada do projeto TerraClass 2010.....	38
Figura 10 - Rede recém-inicializada onde cada pixel representa um nó da rede, extraída de Kohonen (2001). ....	42
Figura 11 - Resultados dos grupamentos da SOM - matriz de componentes. (p – peso; solo – solo; geom – geomorfologia; geo – geologia; veg – vegetação; clima – clima; uso – uso e cobertura; pop – população).....	46
Figura 12 - Resultado dos grupamentos de classes por k-means na SOM.....	46
Figura 13 - Média dos valores das variáveis que compõem: (a) Classe 1; (b) Classe 2.	48
Figura 14 - Média dos valores das variáveis que compõem: (a) Classe 3; (b) Classe 4.	49
Figura 15 - Média dos valores das variáveis que compõem a: (a) Classe 5; (b) Classe 6. ....	50
Figura 16 - Média dos valores das variáveis que compõem a: (a) Classe 7; (b) Classe 8. ....	51
Figura 17 - Média dos valores das variáveis que compõem a: (a) Classe 9; (b) Classe 10. ....	52
Figura 18 - Média dos valores das variáveis que compõem a: (a) Classe 11; (b) Classe 12. ....	53
Figura 19 - Mapa das classes geradas pela SOM. ....	54
Figura 20. Gráfico de síntese de subsídios à gestão do território, com base em: Becker e Egler (1996), Crepani et al. (2001), Silva (2001) e MI (2006): Classe (C) de 1 a 12, cobertura vegetal (Cv), geomorfologia (Gm), precipitação (Prp), geologia (Geo), cobertura de solos (Cs), áreas de várzea (Vz), vegetação secundária (Vs), pastagem (Ps), agropecuária (Agp) densidade populacional (dp), desenvolvimento socioeconômico (Ds); considerando as variáveis que apresentam $n > 0.5$ por classe das Figuras 13 a 18. ....	55
Figura 21 - Mapa síntese do grupamento de unidades territoriais baseado na interpretação das classes geradas pela SOM. ....	56
Figura 22 - Dados de desflorestamento para os municípios da zona de consolidação...	59
Figura 23 – Mapa do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Pará desenvolvido pelo método convencional. ....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características socioeconômicas dos municípios componentes da área de estudo. ....	31
Tabela 2 – Materiais que serão usados na pesquisa. ....	36
Tabela 3 - Preferências das classes do TerraClass de acordo com a metodologia AHP-AN (Área Não Observada), DSF-2010 (Desflorestamento do ano 2010), FL (Floresta), Hidro (Hidrografia), MI (Mineração), NF (Não Floresta), PL (Pasto Limpo), RE (Reflorestamento), RCP (Regeneração com Pasto), VS (Vegetação Secundária), AG (Agricultura), AU (Área Urbana), MO (Mosaico de Ocupações), OU (Outros), PSE (Pasto com Solo Exposto), PS (Pasto Sujo). ....	39
Tabela 4 - Peso das classes de uso do TerraClass 2010 estipulados pela técnica AHP e ajustados por razão logarítmica.....	40
Tabela 5 - Comparação dos métodos de ordenamento territorial.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ZEE	Zoneamento Econômico Ecológico
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
RNA	Redes Neurais Artificiais
SOM	<i>Self-Organization Map</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SUDAM	Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
PIN	Programa de Integração Nacional
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
PAD	Projeto de Assentamento Dirigido
PGC	Projeto Grande Carajás
PPG7	Programa Piloto Internacional para Conservação das Florestas Tropicais Brasileiras
MMA	Ministério do Meio Ambiente
RADAM	Radar na Amazônia
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
SGBDGeo	Sistema Gerenciador de Banco de Dados Geográfico
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
BMU	<i>Best Match Unit</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CRA	Centro Regional da Amazônia
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
GINI	Índice de Gini
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
SQL	Structured Query Language
GNU	General Public License
ANA	Agência Nacional de Águas

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	Estrutura da dissertação.....	15
1.2	Objetivos .....	15
1.2.1	Objetivo Geral .....	15
1.2.2	Objetivos Específicos .....	15
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1	Breve Histórico do ordenamento territorial nA Amazônia .....	16
2.2	Ordenamento territorial .....	19
2.3	A importância da geoinformação no contexto do ordenamento territorial .....	22
2.3.1	Aquisição de dados para o ordenamento territorial e SIG.....	23
2.3.2	Normalização.....	24
2.3.2.1	Por máximo e mínimo .....	24
2.3.2.2	Por Analytic Hierarchy Process (AHP).....	24
2.3.3	Análise espacial .....	25
2.3.4	Análise espacial por redes neurais artificiais .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>29</b>
3.1	Área de estudo .....	30
3.2	Base de dados de entrada.....	35
3.3	Criação do Banco de dados .....	36
3.4	Normalização dos dados.....	37
3.5	Exportação dos dados do SIG para entrada na SOM .....	40
3.6	Estrutura e desenvolvimento da RNA SOM .....	40
3.6.1	Leitura dos dados.....	41
3.6.2	Execução da rede som .....	41
3.6.3	Criação, inicialização e treinamento da SOM .....	41
3.6.4	Validação da SOM .....	43
3.6.5	U-MATIZ .....	44
3.6.6	Plano de componentes .....	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>45</b>
4.1	Resultados da RNA SOM.....	45
4.2	Interpretação dos grupamentos (classes).....	47
4.3	Visualização e interpretação do mapa síntese .....	54

4.3.1	Zona de Conservação .....	57
4.3.2	Zona de Recuperação .....	57
4.3.3	Zona de Expansão .....	58
4.3.4	Zona de Consolidação .....	58
4.4	Análise comparativa das propostas de ordenamento territorial.....	59
4.4.1	Potencialidades e limitações da SOM .....	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>69</b>
	<b>ANEXO 2.....</b>	<b>72</b>
	<b>APENDICE 1 .....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas três últimas décadas ocorreu um grande incremento na disponibilidade de dados como imagens de satélite, dados ambientais e socioeconômicos, que podem ser utilizados como suporte pelas ciências ambientais para solucionar problemas. Isto está associado ao desenvolvimento tecnológico, principalmente nas áreas ligadas a computação, que ocorreu neste mesmo período. Este desenvolvimento permite trabalhar com grandes quantidades de dados (geração, armazenamento, recuperação e análise) tanto no sentido espacial quanto no sentido temporal.

Como consequência houve o desenvolvimento de ferramentas computacionais voltadas ao planejamento territorial com objetivo de integrar uma apropriação sustentável do território compatibilizando a necessidade de expansão do setor produtivo e de colonização de áreas estratégicas. Isso leva à manutenção de áreas essenciais de ecossistemas específicos cujas funções são vinculadas a preservação da fauna e da flora, assim como dos sistemas hídricos (áreas de recarga).

Neste contexto, surge o Zoneamento Econômico Ecológico (ZEE) com a finalidade direta de associar o desenvolvimento socioeconômico a preservação/conservação ambiental (GUTBERLET, 2002; SOUZA; MEDEIROS, 2005; PEREIRA et al., 2011).

No caso específico do ordenamento territorial por ZEE, as metodologias empregadas apresentam dificuldades na integração da grande quantidade de dados necessárias à sua composição. Isto torna este processo lento, com a necessidades de ajustes espaciais (escala) e temporais (mesmo período de aquisição) nos dados utilizados. Além disto, tem se a dificuldade de obtenção de bases de dados, que são poucas ou inexistentes para a região amazônica (AB'SABER, 1989; GUTBERLET, 2002; FRITZSONS; CORREA, 2009; VASCONCELOS et al., 2013).

O emprego de metodologias pouco assertivas ou com bases de informação insuficientes tornam frágeis estes instrumentos que deveriam atuar como sistemas de suporte a decisão. O resultado é uma configuração de territórios sem ordenamento que dificultam o gerenciamento das questões ambientais e socioeconômicas do território. Isto ocorre porque as populações vão se assentando e usando a terra de maneira não planejada, transformando a paisagem tão rapidamente que tornam estes instrumentos ultrapassados em um curto período de tempo (GUTBERLET, 2002; FRITZSONS; CORREA, 2009).

O desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ajudou nesse processo de análise, mas ainda são o início das conquistas nesse campo, que tem consorciado técnicas geoespaciais, com tecnologias computacionais e avanços consideráveis na matemática dos algoritmos de análise. Isso tem dado um grande avanço para a exploração de resultados que integrem a complexidade do espaço geográfico para dar resultados de alto nível, tanto no ordenamento quanto no gerenciamento das atividades humanas consorciadas às questões ambientais (BECKER; EGLER, 1996; BECKER, 2007).

Por tanto, a implementação de redes neurais artificiais (RNA) por *Self-organization map* (SOM) capazes de integrar essa quantidade de dados é bastante promissora (SILVA, 2004; ADAMI et al., 2009); visando as análises voltadas para a metodologia do zoneamento ou regionalização, que abrangem a diversidade ambiental e as potencialidades socioeconômicas visando o ordenamento do território (SPÖRL et al., 2011).

Nesse trabalho foram analisados 16 municípios do nordeste paraense (Acará, Aurora do Pará, Breu Branco, Concordia do Pará, Dom Eliseu, Goianésia do Pará, Ipixuna do Pará, Jacundá, Mocajuba, Moju, Paragominas, Rondon do Pará, São Domingos do Capim, Tailândia, Tomé-Açu e Ulianópolis), através de RNA SOM. Para isso foram utilizados dados socioambientais do ano de 2010 para o desenvolvimento de regionalização voltada para o ordenamento territorial. A escolha pelo ano de 2010 justifica-se pela compatibilização da base de dados envolvendo desde o Censo IBGE aos resultados do projeto TerraClass deste mesmo ano, desta forma visa-se reduzir os problemas decorrentes da associação temporal das informações.

Essa análise será comparada com dados do macrozoneamento vigente no Estado, que adotou técnicas que levam muito tempo para serem implementadas e apresentam baixa complexidade na análise dos dados. Com isso, visa-se saber se o processo de ordenamento territorial não poderia ser mais rápido, denso, dinâmico e preciso que nos padrões atuais uma vez que não será necessário um processo de cruzamento dos dados supervisionado em todas as suas etapas. Com a adoção da rede neural, existem momentos específicos de interferência, no início do processo (normalização) e ao final (reclassificação), com uma fase intermediária onde os cruzamentos ocorrem considerando a matriz definida pela própria rede.

## 1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por uma parte introdutória onde são apresentados os aspectos gerais do trabalho, objetivos e área de estudo. A seguir são discutidos com base na literatura os principais temas vinculados: ordenamento territorial na Amazônia; a importância da geoinformação no contexto do ordenamento territorial; e a análise espacial por redes neurais artificiais.

Em material e métodos são apresentados os procedimentos que permitiram a estruturação da base de dados, execução da RNA SOM e geração da carta síntese aplicada a região NE do estado do Pará, com a delimitação das zonas de conservação, recuperação, expansão e consolidação. Ao final serão apresentadas as principais discussões e conclusões sobre os resultados obtidos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar informações socioambientais por meio de redes neurais artificiais com SOM, como subsídio à regionalização para o ordenamento do território em ambientes amazônicos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir critérios de normalização das bases de informações, voltados ao zoneamento ambiental, para o teste de diferentes configurações de RNA e definição do melhor ajuste para execução da SOM.
- Discutir as classes definidas pela RNA SOM considerando a integração entre as variáveis físicas (precipitação pluviométrica, geomorfologia, geologia, cobertura vegetal e de solos) e socioeconômicas (população rural e urbana, IDH total, GINI, energia e abastecimento de água) processadas.
- Avaliar o produto gerado em termos de sua contribuição para a formulação de políticas de ordenamento do território, comparando-o ao macrozoneamento do estado.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 BREVE HISTÓRICO DO ORDENAMENTO TERRITORIAL NA AMAZÔNIA

Os processos de ordenamento territorial implantados para a Amazônia se dão desde o período colonial, porém será dado enfoque aos processos mais recentes a partir da década de 60 que tiveram como principal iniciativa de ordenamento territorial a criação da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), para implementar os escopos econômicos do governo que visava o desenvolvimento econômico do País e da região amazônica criada pela Lei 1.806 de 06/01/1953, cuja área é de aproximadamente 5 milhões de Km<sup>2</sup> constituída principalmente por florestas tropicais.

Segundo Kohlhepp (2002) existiram pelo menos seis fases de desenvolvimento regional na Amazônia entre 1970 e 2000. A primeira fase, início da década de 70 foi a de criação de infraestrutura com o Programa de Integração Nacional (PIN) baseado nos eixos de desenvolvimento, onde assentou-se a construção de grandes estradas como a transamazônica (BR-230) com o discurso de integrar a região, utilizando mão de obra nordestina que tinha sido assolada pela grande seca de 69 e juntamente com isso também isso foi criado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) o Projeto de Assentamento Dirigido (PAD), com o objetivo de cumprir as determinações do Estatuto da Terra quanto ao assentamento de pequenos e médios agricultores, em regime de propriedade familiar. Esses projetos foram criados e titulados pela União visando a regularização de glebas rurais sob seu domínio.

Outro ponto importante levantado por Magalhães (1990) é de que essa colonização foi uma ação política para ocupação dos vazios demográficos, mas também uma estratégia para aliviar as tensões sobre a terra, em regiões como nordeste, centro-oeste e sul. Loureiro (2010) considera que essa expansão econômica era vista, na realidade, sobretudo como expansão agrícola. Experiência semelhante vinha sendo feita desde 1964, com a abertura da rodovia Belém-Brasília (BR-010), que possibilitara a exploração de terras férteis ao longo da sua margem.

Kohlhepp (2002) e Ribeiro e Leopoldo (2003) nos mostram que a colonização agrícola, especialmente ao longo da Transamazônica, foi um fracasso, pois as condições ecológicas, ou seja, planejamento, levantamento topográfico, organização, informações aos colonos, modelos de uso da terra, não foram devidamente compreendidas e nem a estratégia de assentamento, estabelecida pelo INCRA, foi aplicada corretamente. De acordo com o plano de ocupação estabelecido pelo INCRA, haveria três tipos de

núcleos urbanos, as agrovilas (38 a 48 casas), as Agrópolis (600 famílias dispostas a cada 20 km) e as Rurópolis (abrigariam até 20 mil habitantes, espaçadas em 140 km) (LOUREIRO, 2010).

A segunda fase ficou marcada pelo que se chamou de Polamazônia, que foi implementado durante o período de 1974 a 1980 e teve como foco a extração de recursos minerais ou áreas de criação de gado por exemplo, os principais produtos de exportação foram carne, minérios, madeiras e celulose. Isso trouxe muitos investidores para região cujo enfoque era nas questões econômicas, negligenciando as questões ambientais. Isto fica claro quando de um total de 350 mil km<sup>2</sup> de terra adquiridos pelas fazendas de gado, uma área florestal de cerca de 140 mil km<sup>2</sup> (40%) foi destruída (SUDAM, 1971; SUDAM, 1976; KOHLHEPP, 2002).

Nesse período a mentalidade sobre a região não mudou muito e continuou-se criando estradas (corredores de exportação), com direção ao porto de São Luís do Maranhão (LOUREIRO, 2010). Kohlhepp (2002) afirma que o conceito dos polos de crescimento foi mal interpretado e o resultado não foi a “concentração descentralizada” de desenvolvimento, mas sim o aumento das disparidades do desenvolvimento inter e intrarregional. Isto pode estar associado à falta de entendimento das questões regionais ambientais e sociais, uma vez que o governo militar se achava na condição de único ordenador do território. Nem mesmo a SUDAM, encarregada do desenvolvimento regional na Amazônia, participou das negociações do maior programa de desenvolvimento regional – “Grande Carajás” (PGC) com as suas derivações (criação do porto Ponta da Madeira, construção da hidroelétrica de Tucuruí e outras).

No início da década de 80 surgiram os programas de desenvolvimento rural integrados com ideias contrárias das que já tinham sido implantadas na década passada de grandes propriedades, essas novas ideias trouxeram a colonização agrícola por pequenos agricultores. Isso resultou em um enorme aumento de terras apossadas e assentamentos desordenados sobre áreas com capacidade agrícola muito limitada. Vastas áreas florestais foram devastadas e, em muitos casos, os assentados foram expulsos por grileiros e por fazendeiros de gado (WALKER et al., 1997; KOHLHEPP, 2002).

No fim da década de 80 o país vinha passando por pressões internacionais relacionadas às questões ambientais, principalmente relacionadas com as florestas tropicais, com isso foi criado o Programa Piloto Internacional para Conservação das Florestas Tropicais Brasileiras (PPG7), que tinha a intenção de maximizar os benefícios

ambientais das florestas tropicais, de forma consistente com as metas de desenvolvimento do Brasil, por meio da implantação de uma metodologia de desenvolvimento sustentável que contribuíssem com a redução contínua do índice de desmatamento (BRASIL, 2014).

Conforme Becker (2005), o PPG7 trouxe grande aprendizagem sobre o processo de desenvolvimento sustentável no que tange a escala dos diversos atores envolvidos no processo de uso e gestão dos recursos. Porém, essas ações estratégicas do governo tiveram suas consequências, como grande parte da população passando a morar nas cidades e o campo virando alvo de especulações madeireira e pecuária. Além disto, teve-se um rápido aumento das taxas de desmatamento que causou danos enormes ao ambiente.

As medidas governamentais passaram a apontar para a consolidação da Amazônia no sentido de sustentabilidade do uso de recursos e do bem-estar da população local, fazendo o que em outros momentos havia sido apenas proposto, que era a descentralização e a participação da sociedade civil nas decisões através de reuniões e oficinas onde eles podem expor suas ideias e interesses em relação ao desenvolvimento do território. Porém as propostas ainda são na maioria, voltadas para a criação de infraestrutura de escoamento da produção, ou seja, o ordenamento territorial continua sendo pensado mais para fins econômicos que em uma perspectiva de balanço, como mostra o programa Avança Brasil (CARDOSO, 2008).

Nesse ponto é possível verificar que o governo tem ordenado o território na Amazônia em benefício do capital/mercado, que financia os projetos de desenvolvimento na região forçando direta ou indiretamente para os seus interesses (BECKER, 2001). Segundo Nepstad et al. (2002) mesmo com a apresentação de um Macrozoneamento para a região não se conseguirá conter o avanço da pecuária, da agricultura de subsistência e das atividades madeireiras em um corredor de 50 quilômetros no entorno das estradas.

A abordagem da sustentabilidade como única alternativa aceitável do desenvolvimento futuro e o conceito de conservação produtiva competem com a ideologia de desenvolvimento extremamente destrutiva dos grandes programas governamentais (KOHLHEPP, 2002), sendo preciso criar um novo conceito de desenvolvimento que alie na política regional de ordenamento territorial, uma eficiência econômica e uma efetividade ecológica para trazer um bem-estar social à região (SERRA; FERNÁNDEZ, 2004).

## 2.2 ORDENAMENTO TERRITORIAL

O ordenamento territorial entendido a partir do conceito de território, cuja definição clássica é relacionada ao “poder”, que segundo Haesbaert (2007) diz respeito tanto ao “poder” no sentido mais concreto, de dominação, quanto ao poder no sentido mais simbólico, de apropriação. Sendo assim, nos projetos desenvolvidos para a Amazônia, é a dinâmica de acumulação capitalista, pautada na dominação em detrimento da apropriação, que impossibilita a reestruturação desses territórios, que são muitas vezes dominados pelo aparato estatal-empresarial e/ou completamente transformados em mercadoria (LEFEBVRE, 1974).

Mercadoria essa que é segundo Moraes (2005), se traduz como território que é a materialidade terrestre que abriga o patrimônio natural de um país, suas estruturas de produção e os espaços de reprodução da sociedade, que se agregam ao solo onde foram construídas, tornando-se estruturas territoriais, condições de produção e reprodução em cada conjuntura considerada.

Dentro dessa rede de múltiplos territórios que envolvem a sociedade e a natureza, suas relações econômicas, políticas e culturais, além de espaço-temporais, densamente ligadas ao modo como as sociedades usam a terra, como elas se auto-organizam e como elas significam o lugar, é que deve ser entendido e desenvolvido o processo de ordenamento do território (HAESBAERT, 2007) sem esquecer também das questões de escala.

O conceito de ordenamento territorial teve seus primeiros estudos nas escolas francesas na década de 60 e no Brasil entrou para compor o instrumental técnico-teórico do nacional-desenvolvimentismo, o qual se traduzia num planejamento de grande conteúdo territorial onde o tema da integração nacional ocupava um papel central (MORAES, 2005; CAZELLA, 2008).

O ordenamento territorial já teve várias diretrizes no planejamento estratégico brasileiro, as duas principais foram as baseadas no conceito de eixos de desenvolvimento e uma no Zoneamento Ecológico Econômico (PEREIRA et al., 2011), que muitas vezes é também confundido com o próprio ordenamento territorial, pois divide o território em zonas, nas quais são autorizadas, restringidas ou proibidos os exercícios de determinadas atividades, com a finalidade de satisfazer exigências econômicas, sociais e ambientais (BENATTI et al., 2007). Moraes (2005) avalia que hoje há uma inexistência

de compatibilização entre as duas diretrizes que atua com um aspecto negativo na implementação das proposições planejadas.

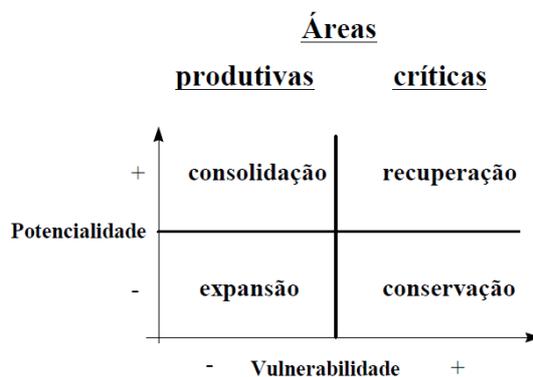
Isso pode ocorrer principalmente por que ordenamento territorial não possui uma definição bem precisa e de fácil entendimento. Segundo Benatti et al. (2007), trata-se de um conceito polissêmico em grande parte porque depende de contextos e objetivos diferenciados, como também é explicado por Haesbaert (2007). Sendo assim, o conceito contém a noção de organizar a ocupação, o uso e a transformação de um determinado território com o objetivo de satisfazer as demandas econômicas, sociais e ambientais (BENATTI et al., 2007).

Com isso, para ordenar e planejar é preciso conhecer. O ordenamento territorial busca, captar os grandes padrões de ocupação visando estabelecer um diagnóstico geográfico do território, indicando tendências e aferindo demandas e potencialidades, de modo a compor o quadro no qual devem operar de forma articulada as políticas públicas setoriais, com vistas a realizar os objetivos estratégicos do governo (AB'SABER, 1989; MORAES, 2005; FRITZSONS; CORREA, 2009).

A mais recente forma de pensar o ordenamento territorial tem sido a criação de zonas ecológicas e econômicas que tentam atender ao mesmo tempo prioridades ambientais, culturais e socioeconômicas. Desta maneira considera as alternativas de uso possíveis e aceitáveis e o conhecimento dos agentes públicos e privados que atuam no território para o território. Assim, integrada nos aspectos ambientais, territoriais, econômicos, sociais e técnicos, o ordenamento territorial deve refletir no desenvolvimento econômico, na qualidade de vida e na preservação do meio ambiente (SANTOS, 2005 BENATTI, 2008).

No que tange o processo de ordenamento é possível dividi-lo em três etapas, a ambiental, que indica as vulnerabilidades, a socioeconômica, que indica as potencialidades (Figura 1), e as considerações jurídico-institucionais que geram indicadores para elaboração de normas legais que regulam o uso do território. Um outro ponto de vista do ordenamento territorial está pautado, no diagnóstico territorial que serve de base para o prognóstico territorial, que subsidia à implementação do ordenamento do território (BECKER; EGLER, 1996; CREPANI et al., 2001; SILVA, 2001; BRASIL, 2006). Com esses processos, acima citados, é imprescindível que os estudos para ordenação do território sejam interdisciplinares para atingir o objetivo de desenvolver equilibradamente as regiões e da organização física do espaço segundo uma diretriz construída em conjunto entre o poder público, sociedade e natureza.

Figura 1 - Gráfico de síntese de subsídios à gestão do território.



Fonte: Becker e Egler (1996).

Logo, esse processo ainda recebe muitas críticas por conta da demora na execução e por questões metodológicas baseadas nas questões de escala de mapeamento que são muitas vezes pequenas e não permitem contemplar a complexidade socioeconômica e cultural do local, ignorando e dissimulando dimensões socioculturais e escondendo a presença de fatos pontuais como impactos, riscos e conflitos ou erros de prognósticos, sendo necessário um adensamento informacional para determinadas áreas (AB'SABER, 1989; FRITZSONS; CORREA, 2009).

Outro ponto bastante discutido nesta metodologia é a falta de uma base cartográfica que possibilite uma análise mais densa dos fenômenos, uma vez que, grande parte dos dados ainda é do projeto RADAM Brasil de 1977 que foram produzidos na escala de 1:250 000 e generalizados para a escala de 1:1 000 000.

Um outro assunto debatido é a falta de agregação das informações, que geralmente estão espalhadas pelas secretarias, órgãos de governo e sociedade civil, mostrando a necessidade de uma Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) para facilitar o uso e a atualização desses dados para uma política de ordenamento territorial (DAVIS Jr. et al., 2009).

Sendo assim, a metodologia de zoneamento por redes neurais se torna importante por tornar o processo mais ágil e com menor interferência subjetiva na tomada de decisão, pois não é necessário o acompanhamento humano em todas as fases, além de trabalhar bem com diferentes escalas, permitindo o mapeamento da complexidade presente no território.

### 2.3 A IMPORTÂNCIA DA GEOINFORMAÇÃO NO CONTEXTO DO ORDENAMENTO TERRITORIAL

A geoinformação pode ser definida como a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, essas informações são tratadas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem realizar análises complexas em diversas áreas do conhecimento, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA et al., 2001).

Como já mencionado, para ordenar o território é necessário conhecer de forma sistemática e sistêmica o que nele está inserido, seguindo essa premissa, a quantidade de dados e informações derivadas tornam-se grandes, principalmente pela ampliação da oferta de dados de satélites em várias resoluções espaciais, espectrais e temporais e pela disponibilidade a um conjunto bem mais amplo de dados socioeconômicos e ambientais para poder ser trabalhados em SIG (FRITZSONS; CORREA, 2009).

A partir dessa disponibilidade é necessária a criação de bases de dados que possibilitem diversas formas de análise e a integração de interesses entre as esferas de poder, levantamento de áreas de riscos e de potenciais, conflitos de utilização do território, estimativas de impactos ambientais, criação de cenários prospectivos, definição de unidades e muitas outras formas de análise. Os métodos de análise têm surgido dentro de áreas já tradicionais, como os métodos estatísticos, assim como em áreas emergentes, como aquelas ligadas à inteligência artificial, mineração de dados e sistemas complexos, entre outras (SILVA, 2004).

Os SIGs, que realizam o tratamento computacional dos dados, armazenam a geometria e os atributos dos mesmos podendo assim manipula-los para diversas formas de análise espacial. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos e isso os tornam ferramentas fundamentais no processo de ordenamento territorial (MEDEIROS, 1999; SILVA, 2001).

Do ponto de vista da aplicação, utilizar um SIG implica em escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação, estatística espacial, visualização de dados, modelos dinâmicos de interação espacial e modelos de dinâmicas espaço-temporais, entre outros. Com isto o SIG aumenta a capacidade de analisar este conjunto de dados em várias escalas

espaciais e/ou temporais e com existência em unidades territoriais distintas (CÂMARA et al., 2001; SILVA, 2004).

### **2.3.1 Aquisição de dados para o ordenamento territorial e SIG**

A principal função dos SIGs é o suporte a análise. Para poder analisar é preciso coletar os dados e isso exige esforço e conhecimento dos processos de aquisição de dados. Sendo assim, existem basicamente duas formas de coleta, a primária, que segundo Mattar (2005), são aqueles dados que ainda não foram antes coletados. Esses dados são pesquisados com o objetivo de atender às necessidades específicas da pesquisa em andamento. A forma de coleta secundária, onde os dados já foram coletados, tabulados, ordenados, mapeados e até analisados, com outro propósito, mas que também podem ser usados para a pesquisa corrente.

Esses dois tipos de coleta, primária e secundária, podem ainda ser qualitativo, processo mais subjetivo ou conceitual e/ou quantitativo em que os dados obtidos são quantificados e recebem tratamento estatístico. No que tange o ordenamento territorial a pesquisa por dados se dá por uma integração das duas formas de pesquisa, primária e secundária sendo ainda quantitativa e qualitativa. Geralmente são feitas muitas reuniões com a comunidade local e lideranças assim como com o poder público para levantamento de dados primários. Associado a isso também é feita uma coleta de dados secundários como mapas em papel e digitais, cartas, imagens de satélite, tabelas, entre outros.

Devido a necessidade de um grande volume de dados para realizar o processo de ordenamento territorial é necessário o uso de sistemas gerenciadores de bancos de dados com suporte às questões espaciais (SGBDGeo). O uso dos SGBDGeo facilita o gerenciamento, a consistência, a durabilidade e a interoperabilidade de dados (BOAS, 2001; QUEIROZ, 2002).

Outro ponto relevante segundo Rosa (2011) é a qualidade na aquisição de dados, pois os dados nunca são cem por cento precisos ou exatos, mas os seus níveis de precisão e exatidão devem ser os maiores possíveis ou pelo menos os valores das estimativas devem ser conhecidos, para que o erro seja aceitável, determinando assim a qualidade do resultado final.

## 2.3.2 Normalização

### 2.3.2.1 Por máximo e mínimo

Geralmente, após o processo de coleta de dados é necessário normalizar para que todos os dados tenham um mesmo intervalo de valores, evitando que uma dimensão se sobreponha a outra, ou seja, não se torne mais significativo que o de outra quando as dimensões forem diferentes (SOUSA, 2008) e se tratando de RNA também evita que o aprendizado da rede fique estagnado. Tal normalização pode ser definida pelas eq. 1 e 2, onde  $x$  é o valor do dado real,  $Min$  é o menor valor na tabela e  $Max$  o maior valor.

$$f(x) = \frac{(x - Min)}{(Max - Min)} \quad \text{eq. (1)}$$

$$f(x) = \frac{x}{Max(x)} \quad \text{eq. (2)}$$

### 2.3.2.2 Por Analytic Hierarchy Process (AHP)

Power (2014) no Decision Support Systems Glossary definiu a AHP como uma abordagem para a tomada de decisão que envolve a estruturação de critérios de escolha múltipla em uma hierarquia, para avaliar a importância relativa desses critérios, comparar alternativas para cada critério e determina um ranking geral das alternativas, minimizando suas falhas dentro de um intervalo de [0 – 1] ou [1 – 9] entre outros.

Segundo Saaty (1991), a teoria da AHP reflete o método natural de funcionamento da mente humana, ou seja, diante de um grande número de elementos a mente os agrega em grupos segundo propriedades comuns. Vedovato (2014) ainda indica que esse método pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos.

Esse método será muito útil para normalização dos dados temáticos qualitativos (Geologia, Geomorfologia, Solos e outros) da pesquisa em questão, pois ajudará na integração dos dados socioeconômicos com os ambientais dentro da rede SOM.

### **2.3.3 Análise espacial**

Analisar, como definido por Rosa (2011), significa fragmentar, decompor em partes ou componentes visando uma identificação da estrutura e compreensão de um sistema. Quando esse processo é trazido para a complexa realidade do espaço geográfico, Druck et al. (2004) afirmam que a análise espacial é uma técnica para mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo. Com isso, a análise espacial também permite a extrapolação e criação de novas informações, que auxiliam uma melhor compreensão do fenômeno estudado. Isto pode ser em uma perspectiva isolada ou integrada (ROSA, 2011).

No que tange as formas de análise dos dados espaciais, a literatura (CARVALHO, 1997; CÂMARA et al., 2001; SILVA, 2001; DRUCK, et al., 2004; SILVA; ZAIDAN, 2004) divide em três partes, padrões pontuais, superfícies contínuas e áreas. Logo, pode-se perceber é fundamental a escolha de um modelo que permita extrair conclusões sobre a população a partir de amostra e considere os relacionamentos espaciais dos fenômenos.

O presente estudo, que leva em consideração o território como base de análise. Este estudo está fundamentado nos dados de área com classes temáticas, contagem e taxas agregadas, advindas das instituições responsáveis pela coleta primária dos dados. Estes dados são em geral booleanos, e podem não representar de maneira correta a realidade do território. Desta maneira, é importante ressaltar que nem sempre o território é homogêneo e delimitado por fronteiras cartesianamente definidas. Isto pode levar a distorções que terão que ser analisadas e avaliadas para não comprometerem a análise espacial empregada no estudo.

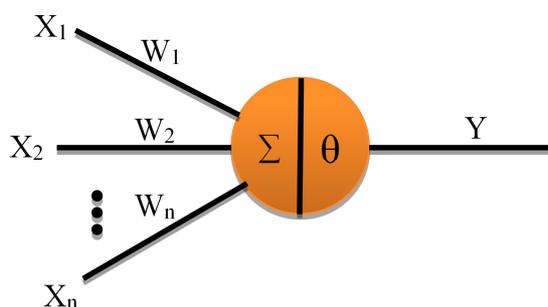
### **2.3.4 Análise espacial por redes neurais artificiais**

Segundo Openshaw (1997) o uso de RNAs na análise espacial intensificou-se a partir dos anos 90 e foi um grande avanço para os interessados em modelar fenômenos geográficos. As RNAs tem a capacidade de aprender através de exemplos e de generalizar a informação aprendida com o intuito de resolver problemas complexos.

Silva (2004) mostra que as RNAs não são, necessariamente, mecanismos automáticos de análise exploratória de dados, mas funcionam sem que nenhuma hipótese a priori seja feita, além de serem métodos não lineares.

A estrutura de análise da informação das RNAs se aproxima muito das configurações neurobiológicas dos neurônios. Sua descrição matemática resultou em um modelo com  $n$  terminais de entrada  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (que representam os dendritos) e apenas um terminal de saída  $y$  (representando o axônio) (Figura 2). Para emular o comportamento das sinapses, os terminais de entrada do neurônio têm pesos acoplados  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , cujos valores podem ser positivos ou negativos, dependendo das sinapses correspondentes serem inibitórias ou excitatórias (BRAGA et al., 2000).

Figura 2 - Neurônio de McCulloch e Pitts (MCP).

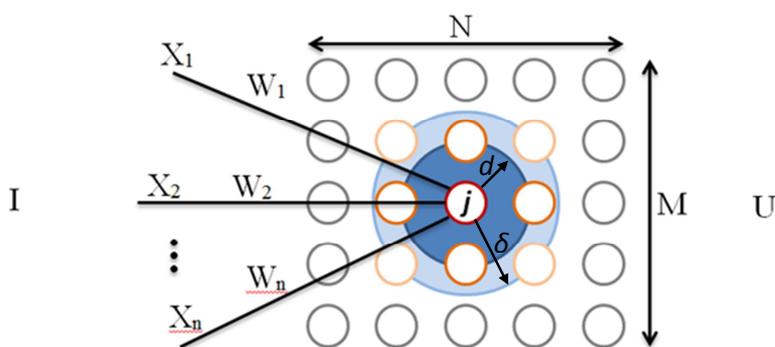


Fonte: Adaptado de Braga et al. (2000).

Existem várias arquiteturas de RNAs e isso é importante, pois cada uma delas é restrita à resolução de determinados problemas. São parâmetros definidores das redes: o número de camadas da rede, o número de nodos em cada camada e o tipo de conexão entre os nodos e topologia da rede. Isso faz com que a RNA tenha características de adaptabilidade, generalização e tolerância a ruídos, dentre outras, que são de fundamental importância para resolução de problemas geográficos complexos (SILVA, 2004).

Na RNA SOM, que é um modelo de inspiração neurofisiológica onde, os nodos se organizam em uma grade ou reticulado, geralmente bidimensional com a camada de entrada I e a camada de saída U, tendo a forma de uma superfície plana, onde os nodos de saída estão organizados em linhas e colunas (Figura 3). A SOM tem o seguinte funcionamento, quando uma amostra de entrada  $p$  é oferecido, a rede busca a unidade mais parecida com  $p$ . Durante o seu treinamento, a rede aumenta a semelhança do nodo escolhido e de seus vizinhos ao padrão  $p$ . Desta forma, a rede constrói um mapa topológico onde nodos que estão topologicamente próximos respondem de forma semelhante a padrões de entrada semelhantes (BRAGA et al, 2000).

Figura 3 - Exemplo de um Mapa Auto-Organizável bidimensional NxM.



Fonte: Adaptado de Silva (2004).

A SOM é estruturada em três fases, competitiva, cooperativa e adaptativa. Na fase competitiva, segundo Silva (2004), os neurônios da camada de saída competem entre si, considerando algum critério, geralmente a distância Euclidiana, para encontrar um único vencedor ( $j$ ), também chamado de *Best Match Unit* (BMU). Na fase posterior, também chamada de cooperativa, é onde se definem os vizinhos deste neurônio ( $d$  e  $\delta$ ). E por fim, na fase adaptativa é feito o ajuste dos vetores do neurônio vencedor e de seus vizinhos.

Durante o processo de análise é preciso treinar a RNA, o treinamento da SOM pode ser definido como competitivo e não-supervisionado<sup>1</sup>. Cada vez que um novo padrão de treinamento é apresentado à rede, os nodos competem entre si para ver quem gera a melhor saída. Uma vez definido o nodo vencedor, tem início o processo de atualização de pesos. Neste processo, apenas o nodo vencedor e seus vizinhos dentro de certo raio ou área de vizinhança atualizam seus pesos. Durante o treinamento, a taxa de aprendizado e o raio de vizinhança são continuamente decrementados (BRAGA, et al. 2000).

Após as etapas de treinamento é feito o agrupamento de padrões de entrada em clusters. Isto será feito duas etapas dependendo da fase de treinamento. No primeiro momento tem-se o mapeamento mais grosseiro e posteriormente um refinamento, desta forma, a rede descobre quantos clusters ela deve identificar e suas posições relativas no mapa.

Existem várias formas de visualização dos resultados da ordenação topológica, como o plano de componentes, a matriz de distâncias unificada (U-Matriz), o

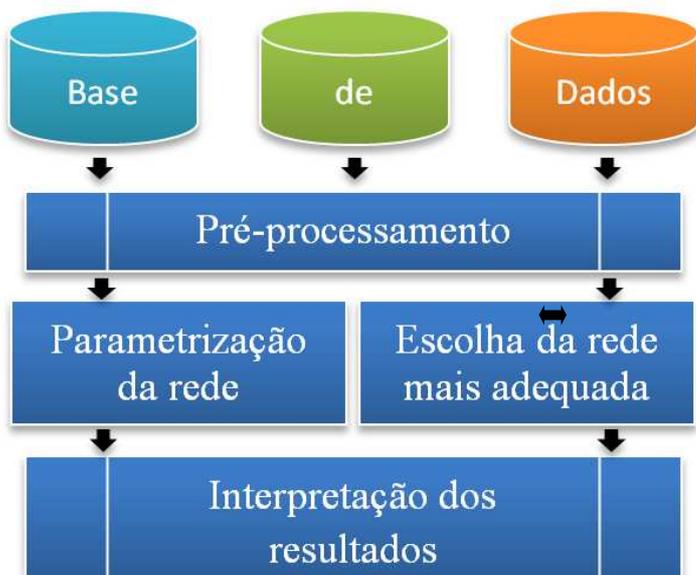
<sup>1</sup> Embora possa utilizar uma fase supervisionada para rotular os nodos

dendrograma e o cluster, cada uma com suas especificidades para serem analisados onde geralmente obtêm-se gráficos, matrizes celulares e mapas coropléticos.

É importante lembrar que para problemas estatisticamente bem conhecidos, quanto maior o volume de dados amostrais melhor a acurácia da análise. Para problemas complexos esta tarefa torna-se difícil e exige que vários métodos sejam avaliados até que se chegue a algum resultado conclusivo (SILVA, 2004). Desta maneira, problemas complexos podem exigir a integração de diversos métodos para que se tenha um resultado satisfatório e a SOM permite isso por trabalhar bem com a não linearidade.

Basicamente as etapas da análise exploratória de dados por meio de RNA SOM envolvem a escalação do conjunto de dados, o pré-processamento dos dados, a parametrização da rede, escolha da rede mais adequada e a interpretação dos resultados (Figura 4) (XIMENES, 2008).

Figura 4 - Fluxograma do processo resumido de análise exploratória de dados com SOM.

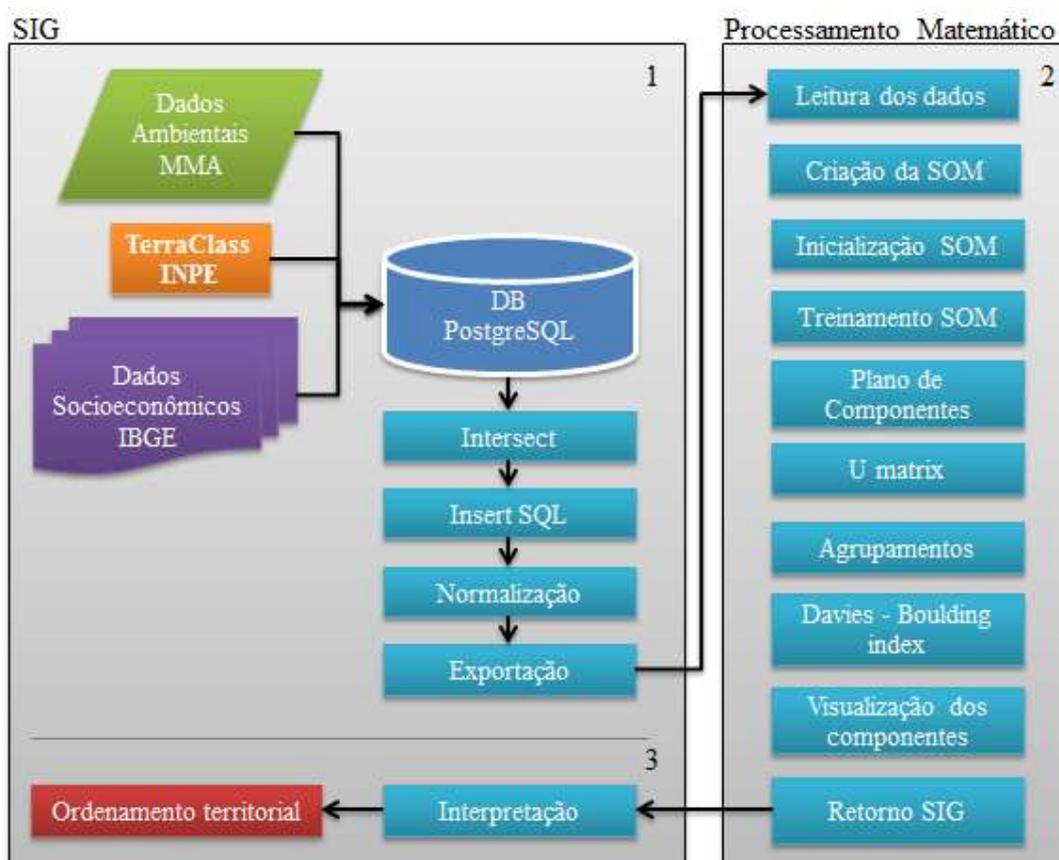


Fonte: Adaptado de Silva (2004).

### 3 MATERIAL E MÉTODO

A figura 5 resume a sequência de procedimentos adotados. A primeira fase constitui-se pela aquisição de dados, que foi feita nas seguintes instituições: Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para posterior criação do banco de dados e o pré-processamento das variáveis.

Figura 5 - Procedimento metodológico empregados na pesquisa.



A segunda fase compreende o processamento dos dados de entrada com os parâmetros da RNA SOM, que apresentam a U-Matiz e os planos de componente gerando os grupamentos de regiões homogêneas, que serão usados na terceira fase como subsidio interpretativo para a o ordenamento territorial.

### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 6) é marcada por alta dinâmica de uso e ocupação do território desde a era colonial, onde predominavam as atividades agrícolas, recebendo uma série de infraestruturas e uma grande quantidade de migrantes vindos de todas as regiões do país desde então. Ela compreende apenas 16 municípios do Estado do Pará, totalizando uma área de 84.774,46 km<sup>2</sup>, que agrega uma população de 795.782 hab (PNUD, 2013). (Tabela 1)

Essa região é bastante recortada por rodovias, estradas e vicinais que facilitam o escoamento da produção e tornam a área muito atrativa para investimentos econômicos (madeireira, pecuária e agrícola). Os polos madeireiros mais importantes da zona leste da Amazônia estão concentrados nos municípios de Paragominas, Tailândia, Tomé-Açu e Ulianópolis que em 2009 chegavam a somar 21% da extração madeireira da Amazônia segundo Hummel et al. (2010).

Figura 6 - Mapa da área de estudo.

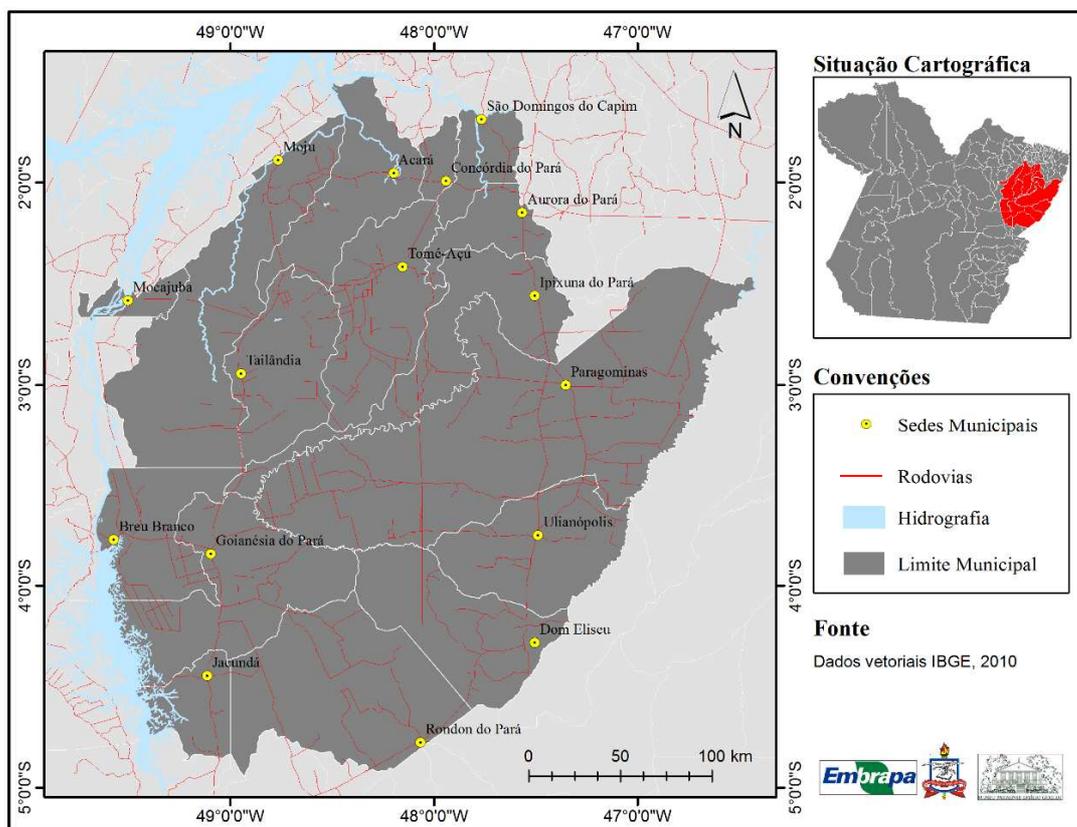


Tabela 1. Características socioeconômicas dos municípios componentes da área de estudo.

Municípios	População			IDH	GINI	Acesso à energia	Abastecimento de água
	Total	Rural	Urbana	Total			
Acará	53569	40948	12621	0.506	0.530	73.66	64.01
Aurora do Pará	26546	18378	8168	0.519	0.560	80.60	83.68
Breu Branco	52493	23185	29308	0.568	0.530	97.40	88.19
Concordia do Pará	28216	13128	15088	0.566	0.500	91.68	82.49
Dom Eliseu	51319	18803	32516	0.615	0.520	96.18	83.71
Goianésia do Pará	30436	9354	21082	0.560	0.540	97.16	85.42
Ipixuna do Pará	51309	39082	12227	0.489	0.570	77.37	76.56
Jacundá	51360	5677	45683	0.622	0.590	97.42	91.28
Mocajuba	26731	8452	18279	0.575	0.580	83.19	76.10
Moju	70018	44856	25162	0.547	0.630	84.32	81.68
Paragominas	97819	21308	76511	0.645	0.600	98.67	93.20
Rondon do Pará	46964	12268	34696	0.602	0.540	89.83	84.44
São Domingos do Capim	29846	23257	6589	0.532	0.600	73.16	68.89
Tailândia	79297	20584	58713	0.588	0.520	97.87	95.47
Tomé-Açu	56518	24955	31563	0.586	0.540	88.16	87.72
Ulianópolis	43341	14816	28525	0.604	0.700	88.89	85.58

No que tange as questões agrícolas, essa região é polo na produção de dendê cultivado pela agricultura familiar e pelas grandes empresas como a Biopalma, Agropalma e Belém Bioenergia. Os municípios polos são Moju, Tailândia, Tomé-açu e São Domingos do Capim e representam cerca de 90% da produção do Brasil, chegando a 770 mil ton/ano com a produção de biodiesel segundo dados do projeto norte integrado.

Essa atividade faz com que o campo tenha um desenvolvimento sustentável e o meio ambiente não sofra com novos desflorestamentos uma vez que essa monocultura é inserida em áreas já consideradas corte raso (COUTO et al., 2012).

Segundo dados do IBGE (2012), nessa região os municípios de Rondon do Pará, Paragominas, Dom Eliseu e Ulianópolis tem o maior rebanho bovino,, principalmente considerando-se os novos projetos que vem sendo desenvolvidos, como o programa municípios verdes e o pecuária verde que tem potencializado a produção de gado com uma preocupação ambiental e fundiária (WHATELY; CAMPANILI, 2013).

No ambiente natural (Figura 7) a região se caracteriza basicamente por coberturas superficiais cenozoicas, onde se encontram sedimentos Pós-Barreiras, rochas pertencentes ao Grupo Barreiras, além de coberturas lateríticas (VASQUEZ et al., 2008).

Figura 7 - Unidades ambientais da área de estudo.



## A- Unidades geomorfológicas

- Acumulação Planície Fluvial
- Acumulação Planície Terraco Fluvial
- Acumulação de Inundação
- Dissecção Convexa
- Dissecção ao Aguçada
- Dissecção ao Tabular
- Pediplano Degradado Inundado
- Pediplano Retocado Desnudado
- Plano indiscriminado

## B - Unidades geológicas

- Milonitos, Quartzito, Muscovita, Biotita, Clorita xisto
- Aluviões Fluviais
- Sedimentar - arenitos argilosos
- Arenitos e Siltitos
- Massa de água
- Clorita xistos, Filitos, Quartzitos e Mármore
- Derrames basálticos e Grauwacas
- Sedimentos arenosos com leitos argilosos
- Areias, Siltos e Argilas diversas
- Sedimentos areno-argilosos, arenosos, argilo-siltosos

## C – Cobertura vegetal

- Ombrofila Aberta, terras baixas com cipós
- Ombrofila Aberta, submontana com cipós
- Ombrofila Densa, aluvial
- Ombrofila Densa, aluvial, com dossel uniforme
- Ombrofila Densa de terras baixas, com dossel emergente
- Ombrofila Densa de terras baixas, com dossel uniforme
- Ombrofila Densa, Submontana
- Ombrofila Densa, Submontana, , com dossel emergente
- Ombrofila Densa, Submontana, , com dossel uniforme
- Pioneira influência fluvial, Herbácea
- Pioneira influência. fluvial, herbácea, sem palmeiras
- Vegetação secundária sem palmeiras

## D – Cobertura de solos

- Areias Quartzosas
- Gleissolo
- Latossolo Amarelo
- Latossolo Vermelho-Amarelo
- Plintossolo
- Podzol Hidromorfo
- Podzolic Vermelho-Amarelo
- Solos Aluviais
- Solos Hidromorficos Indiscriminados
- Solos Petrolinticos

E – Precipitação pluviométrica ( $\text{mm}^3.\text{dia}^{-1}$ )

- 0,17 - 0,11
- 0,25 - 0,18
- 0,31 - 0,26

Também se encontra inserida na área de estudo, unidades pertencentes às Bacias do Marajó e Grajaú, tais como Formação Ipixuna e Codó, e rochas do Grupo Itapecuru, todas datadas do cretáceo tendo arenitos, siltitos, argilitos e pelitos, como os principais componentes para a formação do relevo, que segundo a classificação do RADAM Brasil, fazem parte do planalto rebaixado da Amazônia, unidade morfoestrutural que representa uma superfície erosiva, suavemente ondulada e pouco dissecada, com altitudes baixas, e as planícies aluviais, além de rochas metamórficas pertencentes ao Grupo Baixo Araguaia (BRASIL, 1982; IDESP, 2011).

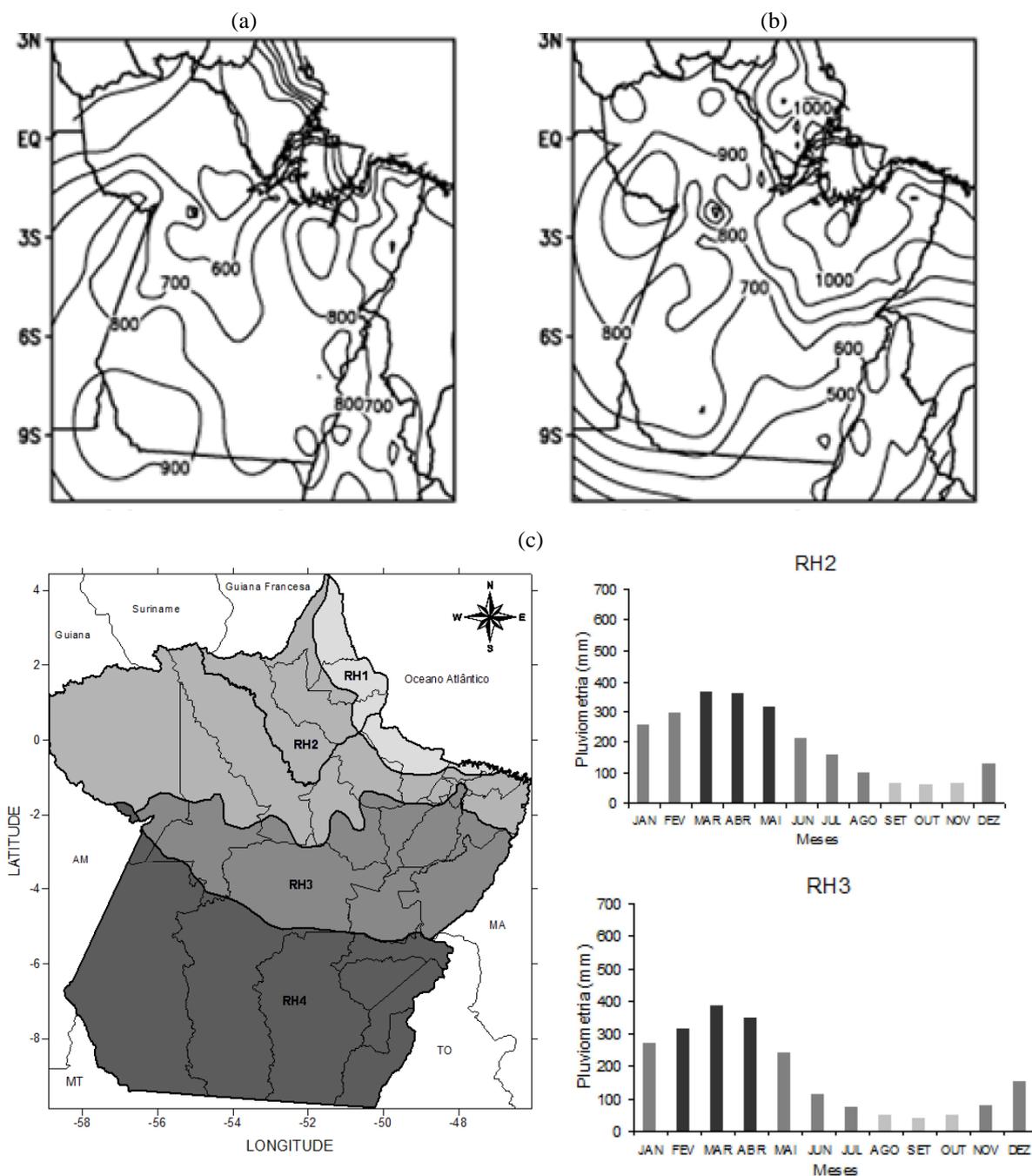
Tendo esse cenário geológico como fundo, os solos da região são do tipo latossolo amarelo com textura argilosa e média, e concrecionários lateríticos geralmente indiscriminados em áreas de terra firme. O entorno de rios (várzea) é outra porção da região com muita expressividade. Várzeas com solos hidromórficos indiscriminados eutróficos e distróficos como o gley pouco húmico (EMBRAPA, 2012; IDESP, 2011).

Com esse substrato, a vegetação que ainda resta na região é do tipo equatorial úmida e densa nas áreas de terra firme e nos baixos platôs, além de matas de várzea com presença de palmeiras, coincidindo com as áreas de baixos relevos e alagáveis, além disso, em grande parte, a vegetação alterada da região se configura por vegetação secundária latifoliada ou capoeiras (IDESP, 2011).

Essa composição da paisagem é também transformada e transformadora do clima na região, que segundo a classificação de Köppen é do tipo *Am* e *Af*, caracterizado por apresentar-se chuvoso, úmido e quente, com maior incidência de chuvas no período de novembro a maio e o mais seco de junho a outubro, com temperaturas que podem variar de 38 °C a 22 °C, com precipitação média de 2000 mm<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar em torno de 85% (FISCH et al., 1998; IDESP, 2011).

Souza et al. (2004, 2009) destacam que durante o trimestre DJF evidencia-se um máximo pluviométrico, situado na faixa litorânea e no nordeste paraense, com valores acima de 1000 mm (Figura 8a); este máximo é devido à influência da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), cuja posição central da banda de nebulosidade tropical posiciona-se em latitudes equatoriais nestes meses. Durante o trimestre MAM (Figura 8b) ocorre uma diminuição significativa da precipitação, devido ao retraimento dos episódios da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) ou de sistemas frontais com a intensificação e generalização do máximo pluviométrico sazonal entre 1000 e 1400 mm no NE do Pará.

Figura 8 - Precipitação (mm) climatológica sazonal observada: (a) Dezembro-Janeiro-Fevereiro, DJF e (b) Março-Abril-Maio, MAM. (c) Espacialização das regiões homogêneas e histogramas da distribuição temporal da chuva por regiões homogêneas.



Fonte: Souza et al. (2009); Amanajás e Braga (2012).

A área de estudo concentra-se em duas regiões homogêneas (RH3 e RH2) da classificação proposta por Amanajás e Braga (2012) para o estado do Pará (Figura 8c); a RH3 é a terceira porção mais chuvosa da região, com total anual em torno de 2100 mm, tendo o trimestre Fev/Mar/Abr, como o mais chuvoso (1052,7 mm); e a RH2 tem total

anual médio de precipitação de 2376 mm, com mês mais chuvoso em março e mais seco em outubro, com totais mensais pluviométricos de 361 e 56 mm, respectivamente.

### 3.2 BASE DE DADOS DE ENTRADA

A escolha das variáveis de entrada (variáveis físicas - precipitação pluviométrica, geomorfologia, geologia, cobertura vegetal e de solos; socioeconômicas - população rural e urbana, IDH total, GINI, energia e abastecimento de água) foi feita de acordo com a metodologia adotada para os trabalhos de vulnerabilidade natural à perda de solo (CREPANI et al., 2001) e o documento do detalhamento da execução da metodologia para do Zoneamento Ecológico-Econômico para estados da Amazônia Legal como mostrado na tabela 2 (BECKER; EGLER, 1996; BRASIL, 2006; BRASIL, 2010).

Os dados socioeconômicos escolhidos se relacionam com as potencialidades socioeconômicas da região como, população rural e urbana, IDH total, GINI renda (exclusão social), energia e abastecimento de água. A escolha destas variáveis foi realizada após alguns testes que apontaram que outras variáveis, como por exemplo, educação e renda, não influenciavam no resultado. Isto ocorreu devido a que estas variáveis já estarem diluídas dentro de IDH total, por exemplo. Outros dados presentes na proposta metodológica do ZEE para a Amazônia não foram usados por inexistência ou por dificuldade de obtenção dos mesmos, como foi o caso da arrecadação do INSS.

O dado vetorial sobre uso e ocupação da terra é um dado de integração entre a etapa ambiental e a socioeconômica (CREPANI et al., 2001; BRASIL, 2010), pois integra o desenvolvimento da região, a expansão das áreas de produção e a fixação de novos contingentes populacionais (SILVA et al., 2013). Sendo assim, os dados ambientais e socioeconômicos são correlacionados pelo uso e foram utilizados conjuntamente para o zoneamento da região.

Tabela 2 – Materiais que serão usados na pesquisa.

<b>Materiais</b>		<b>Escala</b>	<b>Fonte</b>
Uso e cobertura (TerraClass 2010)	Base vetorial de uso e cobertura do solo	1:100 000	INPE/EMBRAPA
Dados Socioeconômicos 2010	Dados vetoriais e numéricos associados a informações socioeconômicas (populacionais, atividades econômicas, limites territoriais...)	Municipal	IBGE e PNUD
Dados Ambientais	Cobertura de solos	1:250 000	EMBRAPA/MMA
	Precipitação pluviométrica	jan/dez	Satélite TRMM
	Unidades geológicas	1:250 000	CPRM/MMA
	Cobertura vegetal	1:250 000	MMA
	Unidades geomorfológicas	1:250 000	IBGE/MMA
PRODES 2010	Informações sobre o desmatamento na Amazônia	1:250 000	INPE
Base Cartográfica	Rede de drenagem, vias de acesso, sedes municipais	1:250 000	IBGE/SIPAM/IBAMA
Imagens de satélite	Suporte a análise das informações	-	INPE/USGS/NASA
PostgreSQL/PostGIS	Gerenciador de banco de dados espacial	-	PostgreSQL - sistema de banco de dados relacionais de código aberto
TerraView 4.2.2	Georreferenciamento e análise espacial	-	INPE
MatLAB	Análise espacial	-	MATLAB® - Ambiente e linguagem interativos para computação numérica
SOM Toolbox 2.0	Processamento das informações	-	LCIS - Laboratoty of Computer and Information Science (acesso eletrônico em <a href="http://www.cis.hut.fi/somtoolbox/">http://www.cis.hut.fi/somtoolbox/</a> )

### 3.3 CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS

O banco de dados foi criado utilizando o gerenciador de banco de dados objeto-relacional de código aberto (PostgreSQL) por ser mais robusto e altamente escalável, tanto na quantidade de dados que pode gerenciar e quanto no número de usuários concorrentes que pode acomodar (SIMKOVICS, 1998) facilitando assim, a inserção de outros dados para subsidio de outras pesquisas, sendo um banco de dados vivo que pode atender diversas demandas.

Com o banco de dados criado, foram inseridas as bases vetoriais pertinentes ao desenvolvimento da pesquisa. Para isso foi utilizado o SIG TerraView 4.2.2 que tem capacidade de gerir este tipo de dado. Este SIG também foi usado para realizar as operações geográficas de intersecção dos dados ambientais entre si e com o limite dos

municípios. Para eliminar polígonos concatenados que pertençam a mesma classe foi utilizado o TerraView para agregar os dados ambientais fragmentados. Além disso, foram feitos os ajustes necessários onde foram inseridos os valores de vulnerabilidade das classes temáticas e os dados socioeconômicos em cada um dos polígonos. Também foram associados os valores de potencialidade a cada polígono em cada município.

### 3.4 NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

A normalização dos dados adotou dois critérios: as variáveis naturais (precipitação pluviométrica, geomorfologia, geologia, cobertura vegetal e de solos) foram avaliadas segundo a vulnerabilidade a perda de solo ou seu grau de influência para ocorrência do processo (precipitação pluviométrica, cobertura vegetal). As socioeconômicas (população rural e urbana, IDH total, GINI, energia e abastecimento de água) foram ponderadas considerando sua influência (ou contribuição direta) para a manutenção das condições de conservação/preservação do ambiente natural; algumas variáveis (energia e abastecimento de água) indicaram o nível de consolidação do espaço antropizado.

Para esse trabalho considerou-se que a rede neural deveria trabalhar com um conjunto de valores contínuos entre 0 e 1 para todas as variáveis de entrada, evitando que uma dimensão se sobreponha a outra. Os dados ambientais foram normalizados através de uma transformação linear simples por máximo (eq. 3). Já os dados socioeconômicos foram normalizados por índice como no caso do IDH (eq. 4) onde (*ev*) é a expectativa de vida ao nascer, (*ei*) é o índice de educação e (*ir*) é o índice de renda (UNDP, 2013), ou por porcentagem tornando os dados entre 0 e 1 quando divididos por 100.

$$f(x) = \frac{x}{Max(x)} \quad \text{eq. (3)}$$

$$IDH = \sqrt[3]{ev * ei * ir} \quad \text{eq. (4)}$$

E por fim, o dado de uso e ocupação foi normalizado pela técnica AHP (Anexo 1) onde cada uma das 16 classes do TerraClass (Figura 9) foi ajustada levando em consideração, na matriz de preferência, o que menos favorece (vermelho) ou mais favorece (verde) as questões ambientais de preservação e conservação (SAATY, 1992).

Esse método foi empregado em um software matemático e teve como resultado a tabela 3.

Após a criação da matriz de preferência foram feitos os cálculos para verificação da consistência dos valores pela eq. 5 de índice de consistência, onde  $\lambda$  é o maior autovalor (20.083) e  $n$  é o tamanho da matriz de comparação. Segundo Saaty (1991), para se ter uma matriz consistente o seu autovalor máximo deve ser igual a dimensão da matriz e isso foi verificado e confirmado para o conjunto de dados aqui trabalhados.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad \text{eq. (5)}$$

Figura 9. Carta de uso e cobertura do solo, derivada do projeto TerraClass 2010.

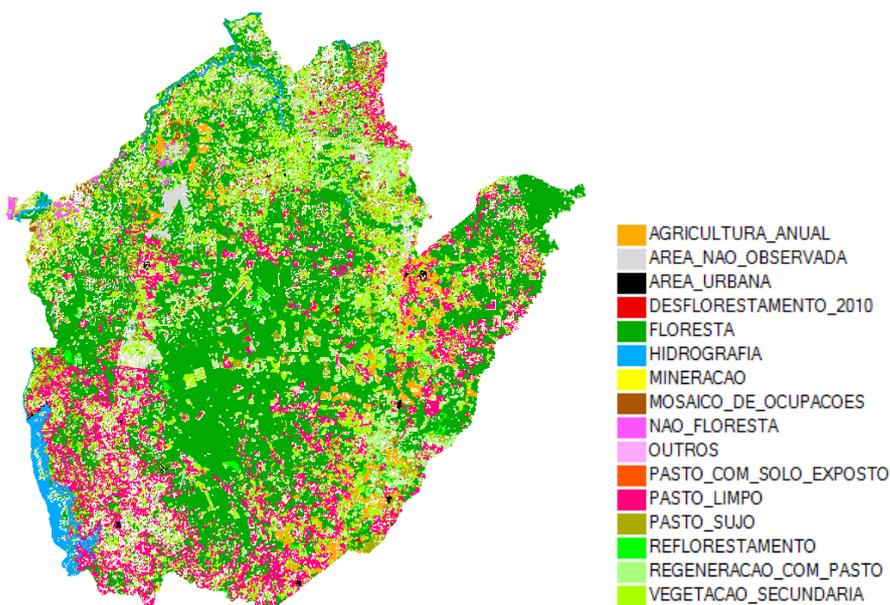


Tabela 3 - Preferências das classes do TerraClass de acordo com a metodologia AHP-AN (Área Não Observada), DSF-2010 (Desflorestamento do ano 2010), FL (Floresta), Hidro (Hidrografia), MI (Mineração), NF (Não Floresta), PL (Pasto Limpo), RE (Reflorestamento), RCP (Regeneração com Pasto), VS (Vegetação Secundária), AG (Agricultura), AU (Área Urbana), MO (Mosaico de Ocupações), OU (Outros), PSE (Pasto com Solo Exposto), PS (Pasto Sujo).

	AN	DSF_2010	FL	HIDRO	MI	NF	PL	RE	RCP	VS	AG	AU	MO	OU	PSE	PS
AN	1.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
DSF_2010	0.11	1.00	9.00	9.00	0.11	5.00	2.00	6.00	8.00	7.69	2.00	2.00	2.00	5.00	6.00	2.00
FL	0.11	0.11	1.00	1.00	0.11	0.14	0.11	0.11	0.11	0.17	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
HIDRO	0.11	0.11	1.00	1.00	0.11	0.14	0.11	0.11	0.11	0.17	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
MI	0.11	9.00	9.00	9.00	1.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
NF	0.11	0.20	7.00	7.00	0.13	1.00	0.17	0.33	0.50	5.00	0.25	0.25	0.25	0.50	0.20	0.50
PL	0.11	0.50	9.00	9.00	0.13	6.00	1.00	7.00	6.00	8.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.33	2.00
RE	0.11	0.17	9.00	9.00	0.13	3.00	0.14	1.00	2.00	3.00	0.25	0.20	0.50	1.00	0.17	0.33
RCP	0.11	0.13	9.00	9.00	0.13	2.00	0.17	0.50	1.00	3.00	0.20	0.17	0.20	0.20	0.14	0.25
VS	0.11	0.13	6.00	6.00	0.13	0.20	0.13	0.33	0.33	1.00	0.14	0.13	0.14	0.14	0.13	0.17
AG	0.11	0.50	9.00	9.00	0.13	4.00	1.00	4.00	5.00	7.00	1.00	0.50	1.00	2.00	0.33	2.00
AU	0.11	0.50	9.00	9.00	0.13	4.00	2.00	5.00	6.00	8.00	2.00	1.00	2.00	3.00	1.00	4.00
MO	0.11	0.50	9.00	9.00	0.13	4.00	1.00	2.00	5.00	7.00	1.00	0.50	1.00	0.33	0.25	2.00
OU	0.11	0.20	9.00	9.00	0.13	2.00	1.00	1.00	5.00	7.00	0.50	0.33	3.00	1.00	0.50	2.00
PSE	0.11	0.17	9.00	9.00	0.13	5.00	3.00	6.00	7.00	8.00	3.00	1.00	4.00	2.00	1.00	6.00
PS	0.11	0.50	9.00	9.00	0.13	2.00	0.50	3.00	4.00	6.00	0.50	0.25	0.50	0.50	0.17	1.00

Porém, para confirmação final da consistência, Saaty (1991) indica que os valores para a razão de consistência ( $RC$ ) (eq. 6) devem ficar abaixo de 0.1 e nesse caso, obteve-se o valor de 0.170, mostrando que realmente a matriz estava consistente e que os pesos obtidos, após 10ª rodada, tinham uma boa distribuição só apresentando variação na 5ª casa decimal, por isso foram executadas 30 rodadas até o ponto ótimo.

$$RC = \frac{IC}{2.7699 * N - 4.3513 - n} \quad \text{eq. (6)}$$

As 16 classes do TerraClass ficaram com os pesos normalizados de 0 a 1. Onde para uma melhor separabilidade entre os valores das classes, a AHP foi ajustada para que a SOM pudesse usar de forma mais efetiva esses valores discretizados. Com isso a ordem dos pesos considerou quanto mais próximo de 0 – não favorável a manutenção das condições de preservação/conservação ambiental; mais próximos de 1 – favorável a manutenção das condições de preservação/conservação ambiental (Tabela 4).

Tabela 4 - Peso das classes de uso do TerraClass 2010 estipulados pela técnica AHP e ajustados por razão logarítmica.

Classes de uso	PESOS <i>Log</i>
Área não observada	0
Desflorestamento – 2010	0.6815
Floresta	0.9999
Hidrografia	0.9999
Mineração	0.0199
Não floresta	0.9559
Pasto limpo	0.8208
Reflorestamento	0.9559
Regeneração com pasto	0.9559
Vegetação secundaria	0.9999
Agricultura	0.8663
Área urbana	0.7749
Mosaico de ocupações	0.8663
Outros	0.8663
Pasto com solo exposto	0.7284
Pasto sujo	0.9113

### 3.5 EXPORTAÇÃO DOS DADOS DO SIG PARA ENTRADA NA SOM

Para se trabalhar com os dados na SOM é necessário um ajuste da tabela de saída, ou seja, uma limpeza para remover os dados textuais e outras informações que não serão usados nos cálculos, deixando somente os campos pertinentes para a SOM, já que o dado no geral possui todos os campos vindos dos vetores que foram intersectados no SIG e alguns dados nulos ou sem valores que não serão usados no desenvolvimento da SOM. Esse processo foi feito por uma declaração SQL simples, que especificou um conjunto de resultados válidos e foi salvo como arquivo no formato \*.csv (comma-separated values), que é o formato nativo de exportação do PostgreSQL.

### 3.6 ESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO DA RNA SOM

A biblioteca da RNA SOM (Somtoolbox) foi desenvolvida pela equipe do Laboratório de Ciência da Informação e Computação da Universidade de Tecnologia de Helsinki, uma das mais importantes instituições da Finlândia. A biblioteca foi criada sob a GNU General Public License, sendo uma distribuição livre que pode ser modificada e redistribuída pela mesma licença (VESANTO et al., 2000).

### 3.6.1 Leitura dos dados

Para serem lidos pelo algoritmo SOM os dados precisaram ser convertidos para o formato de arquivo \*.xlsx no software Microsoft Excel 2010<sup>®</sup>. O Somtoolbox requer um arquivo no formato tabular para fazer a leitura dos dados de entrada. A tabela que tinha diversas outras informações, tanto das classes quanto das questões socioeconômicas, foi ajustada para conter apenas os dados numéricos, que fariam parte dos cálculos para geração dos grupamentos. Posteriormente esses dados puderam ser usados, pois na tabela usou-se um identificador (chave primária) para cada vetor de entrada.

### 3.6.2 Execução da rede som

Na formatação da RNA SOM foram divididas, a matriz estrutural, contendo os identificadores e o cabeçalho e a matriz de dados com 319.705 polígonos de entrada, que contém os dados numéricos sobre os quais foram feitos os cálculos. Essa formatação foi usada para criar a estrutura de inicialização, treinamento e verificação do erro na SOM contendo assim, para além da matriz de dados, os nomes dos componentes, os rótulos para cada vector, e um nome para todo o conjunto de dados.

### 3.6.3 Criação, inicialização e treinamento da SOM

Antes de dar início ao processo de treinamento é necessário identificar o número de neurônios possíveis na matriz, que é obtido por meio da eq. 7 (VESANTO et al., 2000; ALHONIEMI et al., 2003).

$$Map = 5 * \sqrt{\textit{numero de poligonos de entrada}} \quad \text{eq. (7)}$$

As dimensões da matriz segundo Vesanto et al. (2000), são obtidas pela razão entre os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados de entrada, e ajustadas de tal forma que a multiplicação das dimensões seja próxima ao número desejado de neurônios do mapa neural. Associado à isso o formato hexagonal foi usado para uma

melhor análise da U-Matriz já que permite um maior numero de vizinhanças e é provavelmente o método mais popular de exibir SOMs segundo Guthikonda (2005).

Dentre os parâmetros estabelecidos por padrão na SOM, o uso da inicialização linear, fixa os pesos sinápticos através dos maiores autovetores designando valores aleatórios em um intervalo [0,0 – 1,0] para cada componente (RGB) de cada nó, criando uma primeira matriz (Figura 10) e a cada simulação os valores da rede vão se tornando mais parecidos. Com esse procedimento linear a U-matriz e os planos de componentes não mudam conforme as iterações vão ocorrendo (KOHONEN, 2001; ALHONIEMI, 2003; XIMENES, 2008).

Figura 10 - Rede recém-inicializada onde cada pixel representa um nó da rede, extraída de Kohonen (2001).



O treinamento iterativo em *batch* usa todo o conjunto de dados no mapa antes de qualquer ajuste, em cada etapa de treinamento, o conjunto de dados é dividido de acordo com o diagrama de Voronoi, decompondo o dado pelo vetor de peso e criando grupos onde a distância do grupo não é maior que sua distância para os outros objetos (AURENHAMMER, 1991; VESANTO et al., 2000; ALHONIEMI et al., 2003).

Para o desenvolvimento desse processo o algoritmo calcula os raios inicial ( $R_i$ ) e final ( $R_f$ ), dividindo a lateral de maior dimensão do mapa neural por 8 no processo inicial e finalizando com a divisão desse raio ( $R_i$ ) por 4, chegando a representar o próprio neurônio quando igual a 1 para outros casos (eq. 8 e 9) (ALHONIEMI et al., 2003). Seguindo o treinamento da SOM, a função de vizinhança utilizada para esse processo foi a gaussiana, que leva em consideração o raio da vizinhança.

$$R_i = \text{Max} \left( \frac{\text{Mapsize}}{8} \right) \quad \text{eq. (8)}$$

$$R_f = \text{Max} \left( \frac{R_i}{4} \right) \quad \text{eq. (9)}$$

Segundo Ximenes (2008) os neurônios podem ser previamente classificados com a possibilidade de relacionar o espaço de atributos no formato de planos de componente ou no espaço geográfico, onde um neurônio pode até mesmo ter várias classes, mostrando que há paridade ou redução da dimensionalidade dos dados. Para este trabalho escolheu-se o modelo ‘add’ que classifica ou rotula todos os dados, até mesmo várias cópias do mesmo, pois era necessário que todos os polígonos fossem classificados na ‘som\_autolabel’ (VESANTO et al., 2000; ALHONIEMI et al., 2003).

Além disso, usou-se o número de épocas parametrizado no algoritmo para o treinamento que passa por um treinamento mais grosseiro (*rough*) e em seguida é refinado (*Finetuning*) usando a seguinte formulação (eq. 10), onde *fr* é o fator de arredondamento para um número inteiro mais próximo na matriz, *munits* é o número de unidades no mapa e o *dlen* é a dimensão da rede. Nesse parâmetro se *munits/dlen* não puder ser calculado ele assume o valor de 0.5. Em todos os casos o treinamento passa por pelo menos uma época (ALHONIEMI et al, 2003).

$$\mathit{Finetuning} = \mathit{fr} \left( 40 * \left( \frac{\mathit{munits}}{\mathit{dlen}} \right) \right) \quad \text{eq. (10)}$$

### 3.6.4 Validação da SOM

Na validação da qualidade da SOM, foram usados os erros de quantização e topologia. O erro de quantização corresponde à média das distâncias de cada vetor de entrada e o seu correspondente neurônio vencedor (BMU). Já o erro de topologia avalia o quanto, em proporção, a estrutura do mapa neural aproxima os vetores de entrada no espaço de atributos, ou seja, a proporção do primeiro e do segundo BMUs não serem unidades adjacentes (KOHONEN, 2001; ALHONIEMI et al., 2003; SILVA, 2004; XIMENES, 2008).

O índice de Davies-Bouldin foi usado para avaliar a similaridade entre os agrupamentos gerados pelo algoritmo k-means. Este índice leva em consideração as quantidades e as características inerentes ao conjunto de dados, sendo composto basicamente pela distância euclidiana entre os centroides de cada agrupamento (DAVIES; BOULDIN, 1979; VESANTO et al., 2000).

### **3.6.5 U-MATIZ**

Com a RNA SOM objetiva-se a identificação dos grupamentos em torno dos neurônios vencedores durante o processo de treinamento. Esses neurônios são representados para matriz de distância unificada ou U-Matriz, que possibilita uma interpretação visual das relações topológicas entre os neurônios. Segundo Silva (2004) a U-Matriz pode ser interpretada pela correlação dos hexágonos criados pelo algoritmo, de acordo com a intensidade de cada componente, onde os valores altos indicam vizinhanças dissimilares e valores baixos satisfazem a similaridade com os vizinhos como mostrado na figura 11.

### **3.6.6 Plano de componentes**

Os planos de componentes (Figura 11) são usados nessa metodologia como uma verificação da distribuição espacial dos grupamentos das variáveis de entrada segmentando os dados, que juntamente com o Davies-Bouldin index valida a criação dos grupamentos da U-matriz. Eles também são amplamente usados para a análise visual da contribuição de cada componente na geração dos grupamentos pela correlação entre as variáveis. Esse processo foi utilizado neste trabalho juntamente com análises gráficas por classe e por variável para interpretação dos grupamentos (Figura 12).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESULTADOS DA RNA SOM

A intersecção entre os dados ambientais e socioeconômico resultou em 298.302 polígonos isentos de valores nulos. Ao executar a SOM esses polígonos foram agrupados a 2.760 centros de classe em formato hexagonal, para a produção da U-Matriz e das matrizes de componentes (Figura 11) com dimensões de 69 x 40. Isso significa que em média cada centro de classe está associado a 108 polígonos. Ao fim do treinamento a rede conseguiu agrupar os dados em 12 classes (Figura 10). O erro de quantização foi de 0,102 e o erro topológico foi de 0,192. Como mostramos na metodologia esses valores são automaticamente calculados pelo algoritmo no intuito de identificar o melhor número de classes para o conjunto de dados apresentado na entrada, o algoritmo identifica o ponto de encontro entre os dois erros e decide pelo número de classes. O menor valor do índice de Davies-Bouldin usado pelo algoritmo de agrupamento k-means cujo foi de 0,7265 quando os neurônios foram agrupados em 12 classes distintas.

Na figura 11 é possível analisar as correlações positivas e negativas entre as variáveis utilizadas para o zoneamento. A parte superior do plano de componentes indica uma alta correlação entre as variáveis ambientais *psolo*, *pgeom* e *pclima*, esta correlação pode ser resultado da intemperização que o clima ocasiona nas rochas modelando o relevo e formando os solos.

As variáveis *pveg*, *psolo*, *peso\_uso* e *pclima* igualmente apresentam correlação positiva, pois o clima é um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento da vegetação. Esta por sua vez contribui para a redução de erosão e para a fertilização dos solos, que por conseguinte, potencializa as formas de uso.

Dentre as correlações positivas da figura 11, também é possível perceber variáveis como *pgeom*, *pclima* e *pop\_rural* se relacionando, neste caso pode ser resultado da atuação da pluviometria sobre as formas de relevo e a população rural que pode selecionar as áreas na região para cultivar monoculturas e por consequência a retirada da cobertura vegetal.

Dentre as variáveis socioeconômicas tem-se uma correlação positiva entre a *pop\_urbana* e as variáveis *luz*, *idhm* e *agua*, mostrando que as regiões urbanas são mais dotadas de infraestrutura em detrimento das regiões rurais.

Figura 11 - Resultados dos grupamentos da SOM - matriz de componentes. (p – peso; solo – solo; geom – geomorfologia; geo – geologia; veg – vegetação; clima – clima; uso – uso e cobertura; pop – população)

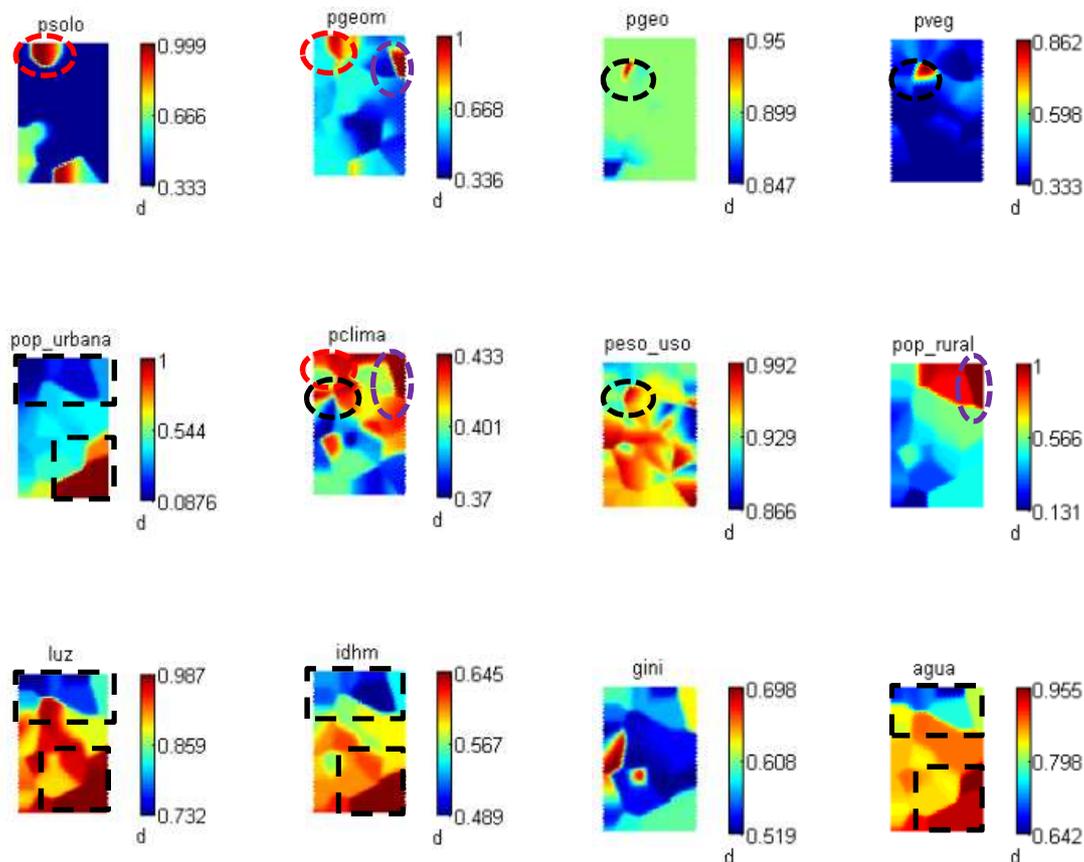
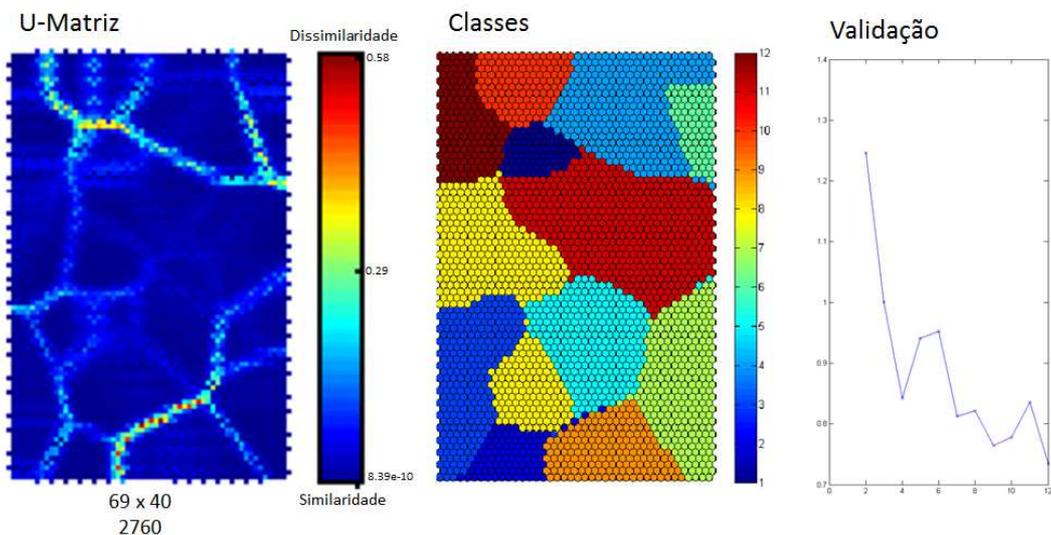


Figura 12 - Resultado dos grupamentos de classes por k-means na SOM.



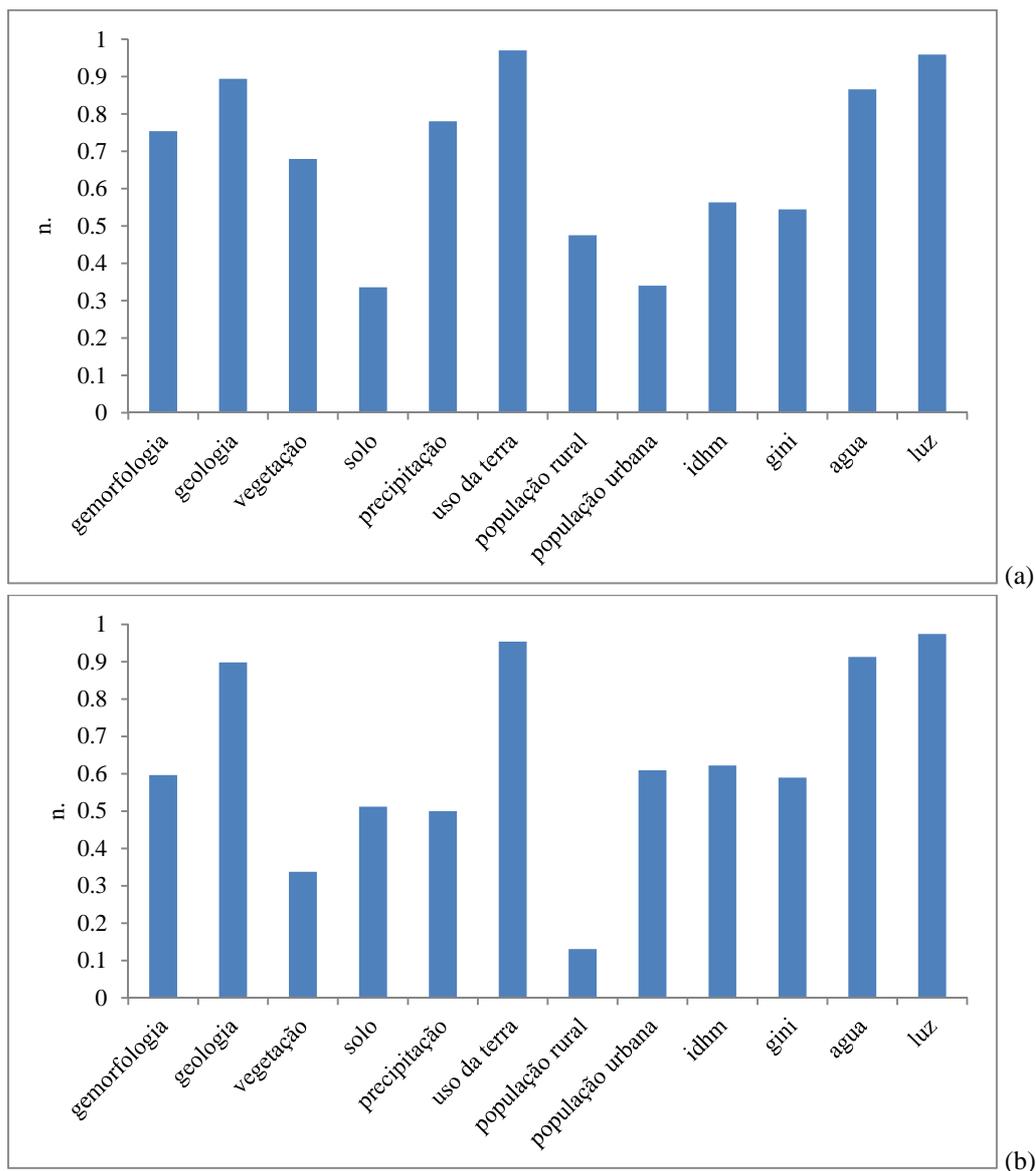
## 4.2 INTERPRETAÇÃO DOS GRUPAMENTOS (CLASSES)

A **Classe 0** foi uma classe criada à parte da RNA SOM para comportar os dados que não influenciavam a rede, esses dados geralmente eram da variável uso da terra e representavam principalmente áreas não observadas pelo projeto TerraClass como as áreas de nuvens tendo valores 0.

A **Classe 1** mostrou-se com vulnerabilidade elevada para as componentes cobertura vegetal, geomorfologia, precipitação e geologia (Figuras 11 e 13a). Configura áreas de várzea com vegetação secundária e pastagens abandonadas com um elevado grau de regeneração, estando concentrada em municípios com população rural mais acentuada e com baixo potencial de desenvolvimento socioeconômico. Esse tipo de ambiente para uma gestão territorial sustentável deve ser indicado para proteção permanente, pois são áreas de diversidade biológica bastante elevada e protegem os mananciais garantindo a manutenção do sistema hídrico (BALBINOT et al., 2008).

A **Classe 2** representa áreas com maior densidade populacional (nas áreas urbanas), e infraestrutura urbana, tendo melhores qualidades de ensino, saúde e renda, com as menores taxas de desigualdade social. São áreas em que a atividade agropecuária é bastante desenvolvida e existe uma razoável infraestrutura de escoamento da produção. Essa classe pode ser considerada, do ponto de vista da gestão territorial, como áreas que podem ser potencializadas para as atividades econômicas sem a necessidade de abrir novas áreas (Figura 13b). Para Balbinot et al. (2009) a garantia da qualidade do solo (considerando a composição de condições naturais e antrópicas favoráveis) refere-se à sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando o rendimento biológico, mantendo a qualidade do ambiente.

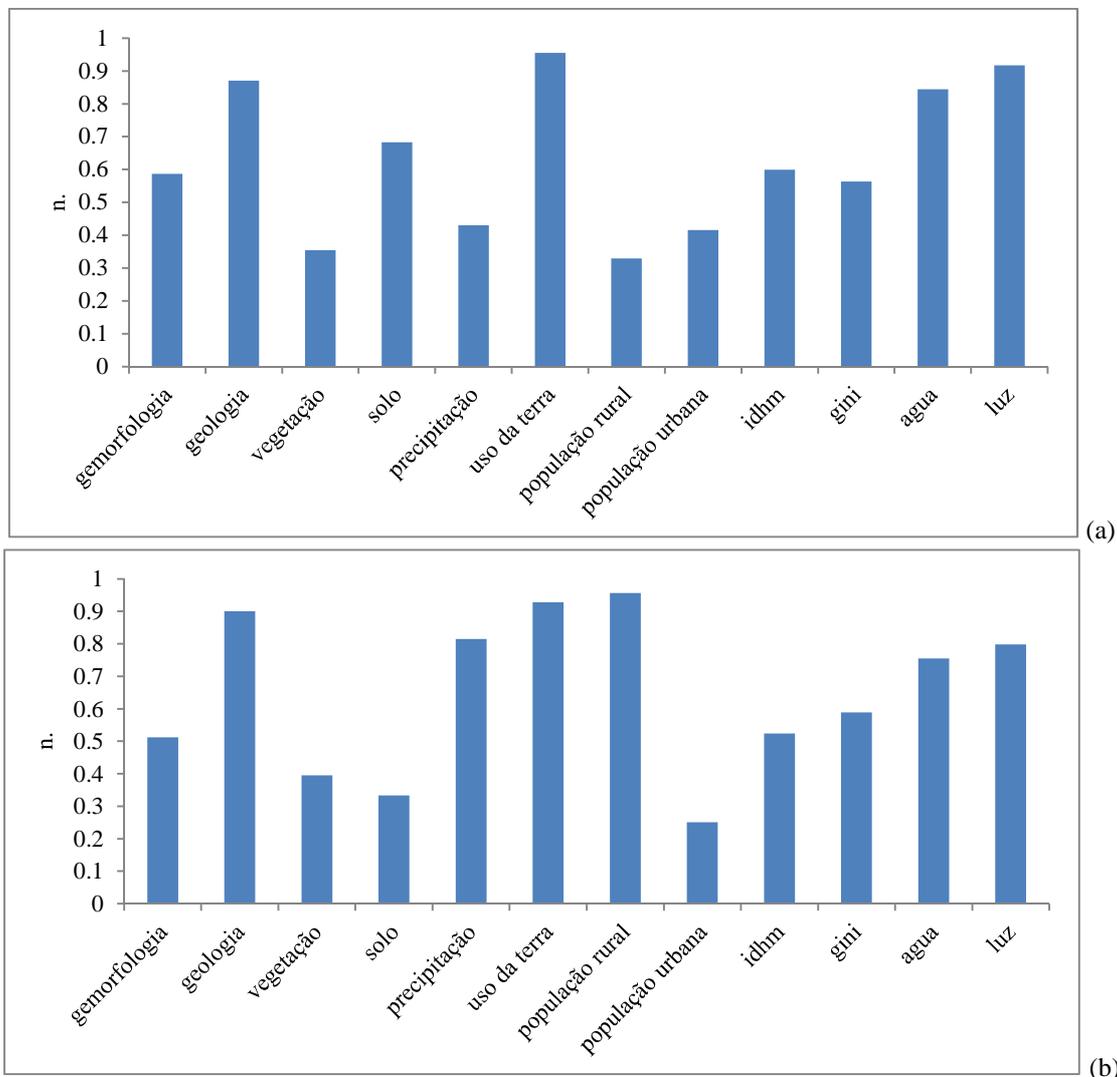
Figura 13 - Média dos valores das variáveis que compõem: (a) Classe 1; (b) Classe 2.



A **Classe 3** é condicionada principalmente pelo comportamento das variáveis geologia e solo, sendo essa última, determinante para a criação desse agrupamento. As demais variáveis ambientais apresentam vulnerabilidade moderada. No referente as questões socioeconômicas essa classe não apresenta grande potencialidade e os usos na região estão voltados para regeneração de pastos abandonados, áreas de reflorestamento, várzeas com vegetação secundária entre outros. Quanto ao ordenamento territorial, essa classe seria propícia para conservação com recuperação das áreas de pastagens abandonadas (Figura 14a). Segundo Reich e Francelino (2012) a regeneração do ecossistema é influenciada pelas características de uso e ocupação da área, tanto

pretérita como atual, pela qualidade do solo e pela existência de fragmentos florestais nas proximidades.

Figura 14 - Média dos valores das variáveis que compõem: (a) Classe 3; (b) Classe 4.

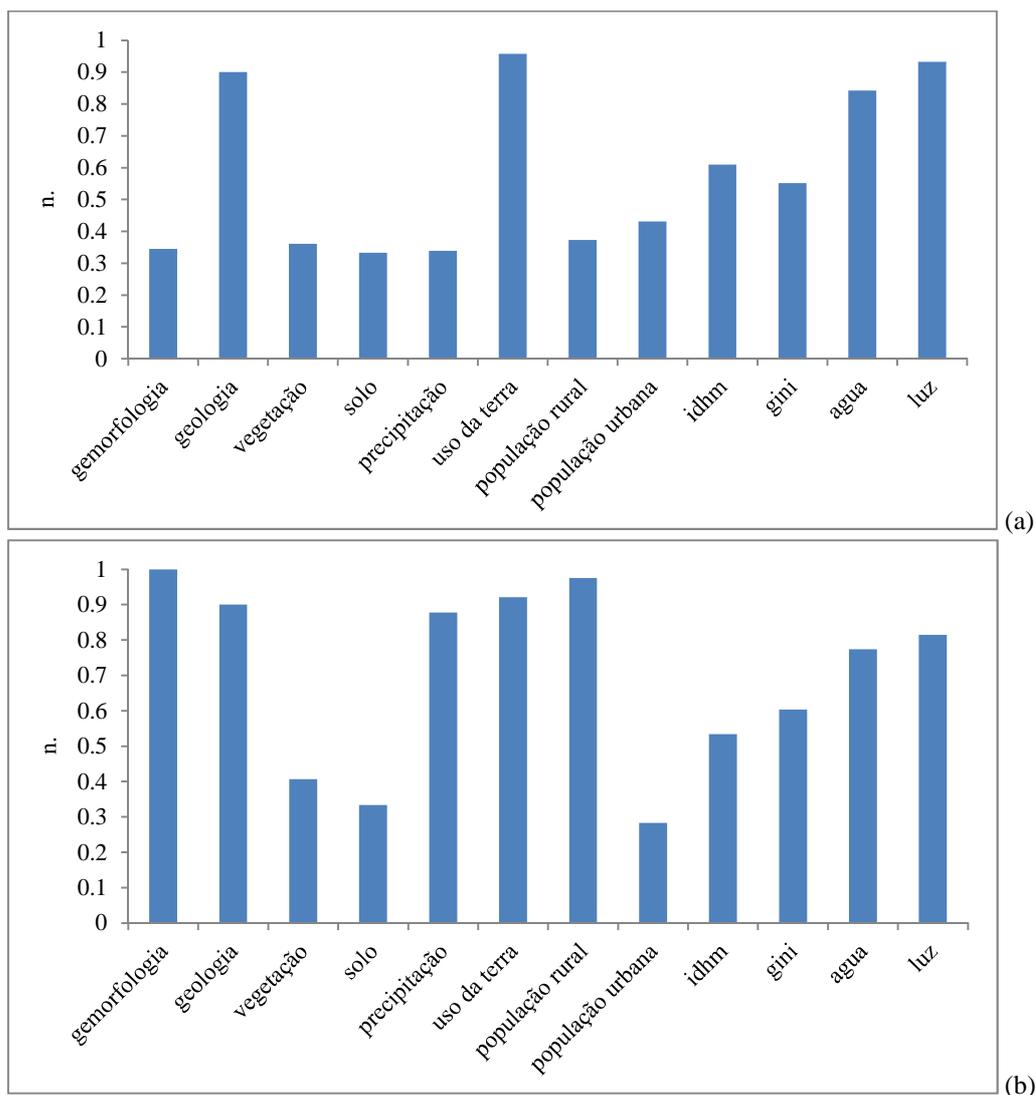


A **Classe 4** foi basicamente definida pela densidade populacional rural elevada, juntamente com a variável precipitação e com uma grande complexidade de usos. Logo, do ponto de vista ambiental, tem características moderadamente estáveis quanto à perda de solo, com baixa infraestrutura de escoamento da produção e um desenvolvimento humano muito baixo. Sendo assim, pode-se considerar que o direcionamento dessa área para fins de ordenamento territorial é mais voltado para expansão das atividades e ampliação das formas de escoamento da produção (Figura 14b).

A **Classe 5** é basicamente neutra, não tendo nem potencial natural, nem potencial humano bem definidos. A figura 15a ilustra que os atributos naturais (geologia) indicam

alta vulnerabilidade. São áreas de várzea, com unidades de uso entre reflorestamento, regeneração com pasto, vegetação secundária e outros, totalizando aproximadamente 85% da área. Seu potencial socioeconômico é bastante baixo, assim como a densidade populacional. Logo essa área pode ser destinada à recuperação das áreas degradadas e fortemente indicada para conservação assim como a **Classe 3**.

Figura 15 - Média dos valores das variáveis que compõem a: (a) Classe 5; (b) Classe 6.

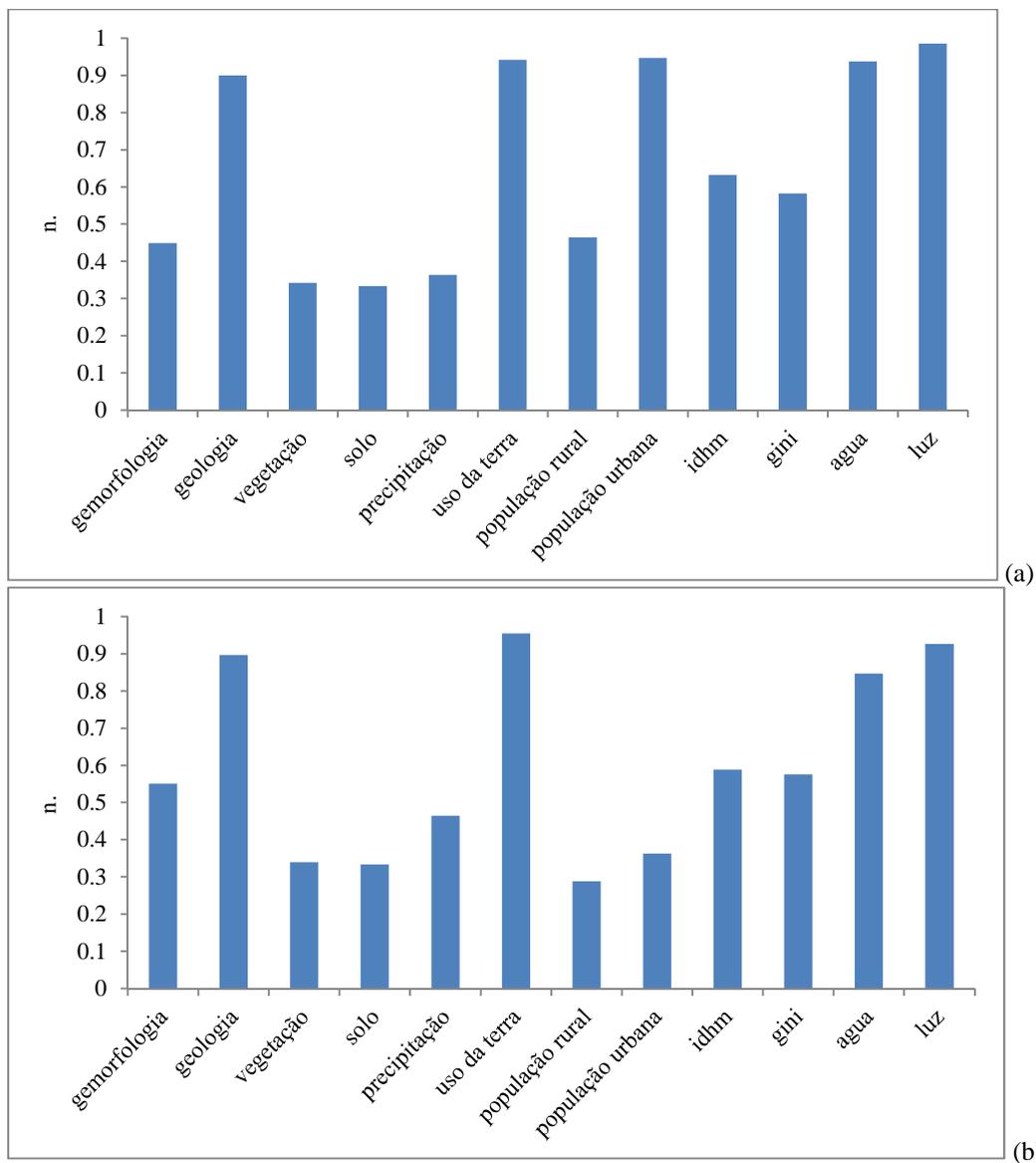


A **Classe 6** foi essencialmente modulada pelas variáveis naturais (geomorfologia, precipitação) e pela densidade populacional (população rural). Apresenta alta vulnerabilidade, com uma população predominantemente rural e um baixo potencial de desenvolvimento humano e infraestrutura urbana (Figura 15b). Por isso essas áreas devem ser destinadas à conservação.

A **Classe 7** ambientalmente é semelhante à **Classe 5**, porém tem uma densidade populacional elevada, com socioeconomia bem desenvolvida e infraestrutura densa,

tendo melhores qualidades de ensino, saúde e renda, deixando a população com menores taxas de desigualdade social (Figura 16a).

Figura 16 - Média dos valores das variáveis que compõem a: (a) Classe 7; (b) Classe 8.

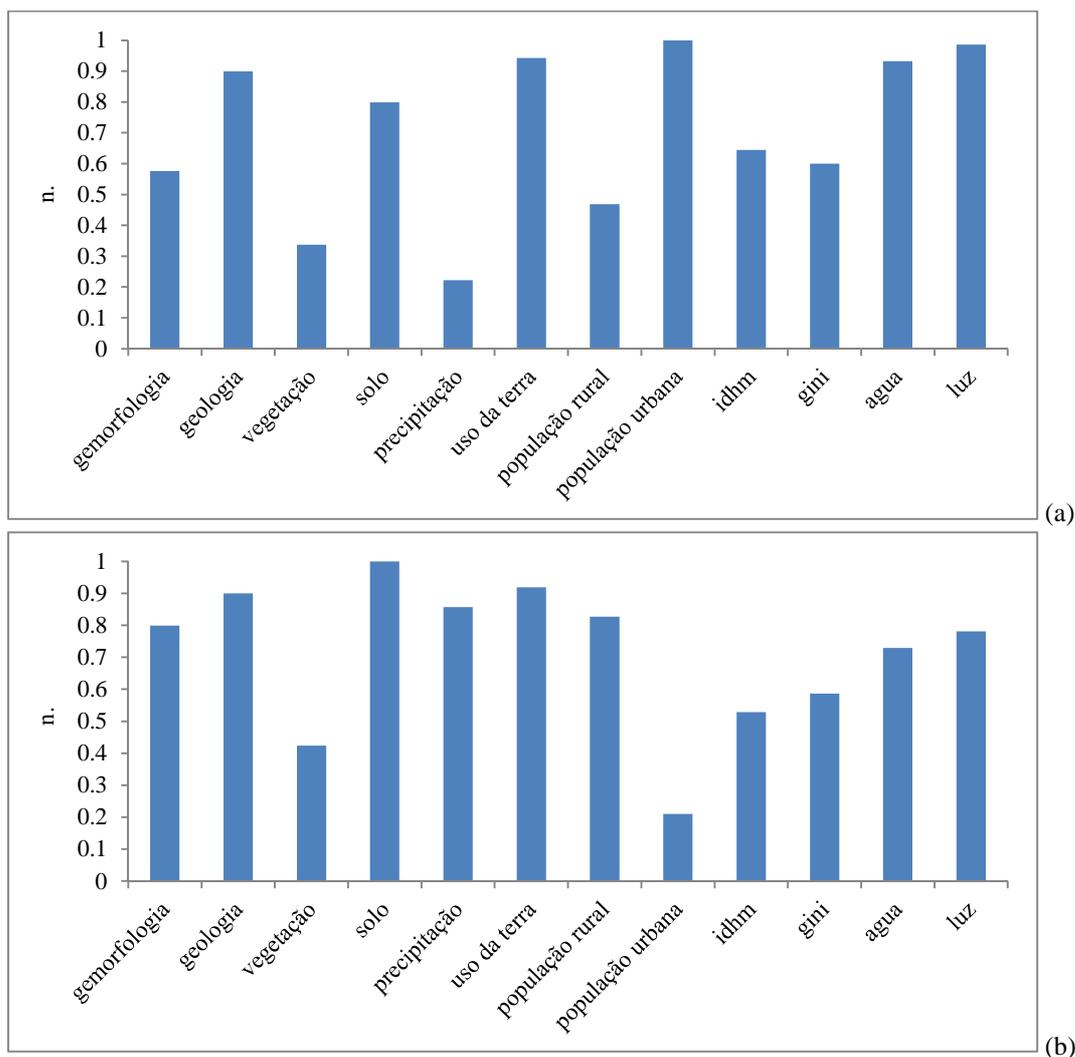


Como já são áreas em que as atividades agropecuárias estão consolidadas, já existe uma razoável infraestrutura de escoamento da produção e as questões ambientais se apresentam na maioria estáveis, essa classe pode ser considerada, do ponto de vista da gestão territorial, como áreas que podem ser potencializadas para as atividades econômicas sem a necessidade de abrir novas áreas.

A **Classe 8** apresenta uma grande semelhança com as **Classes 2 e 7** tendo alta potencialidade de desenvolvimento humano com uma boa infraestrutura de escoamento da produção e uma baixa vulnerabilidade ambiental, porém a população da região é bem

menor (Figura 16b). A **Classe 9** foi definida pelas variáveis naturais (geologia, solo e geomorfologia) e população urbana, indicando uma alta vulnerabilidade ambiental (Figura 17a). É uma região bastante desenvolvida e tem ampla infraestrutura e o uso presente na região está dividido entre áreas de pastagem e vegetação secundária, sendo indicada como uma área que deve ser recuperada.

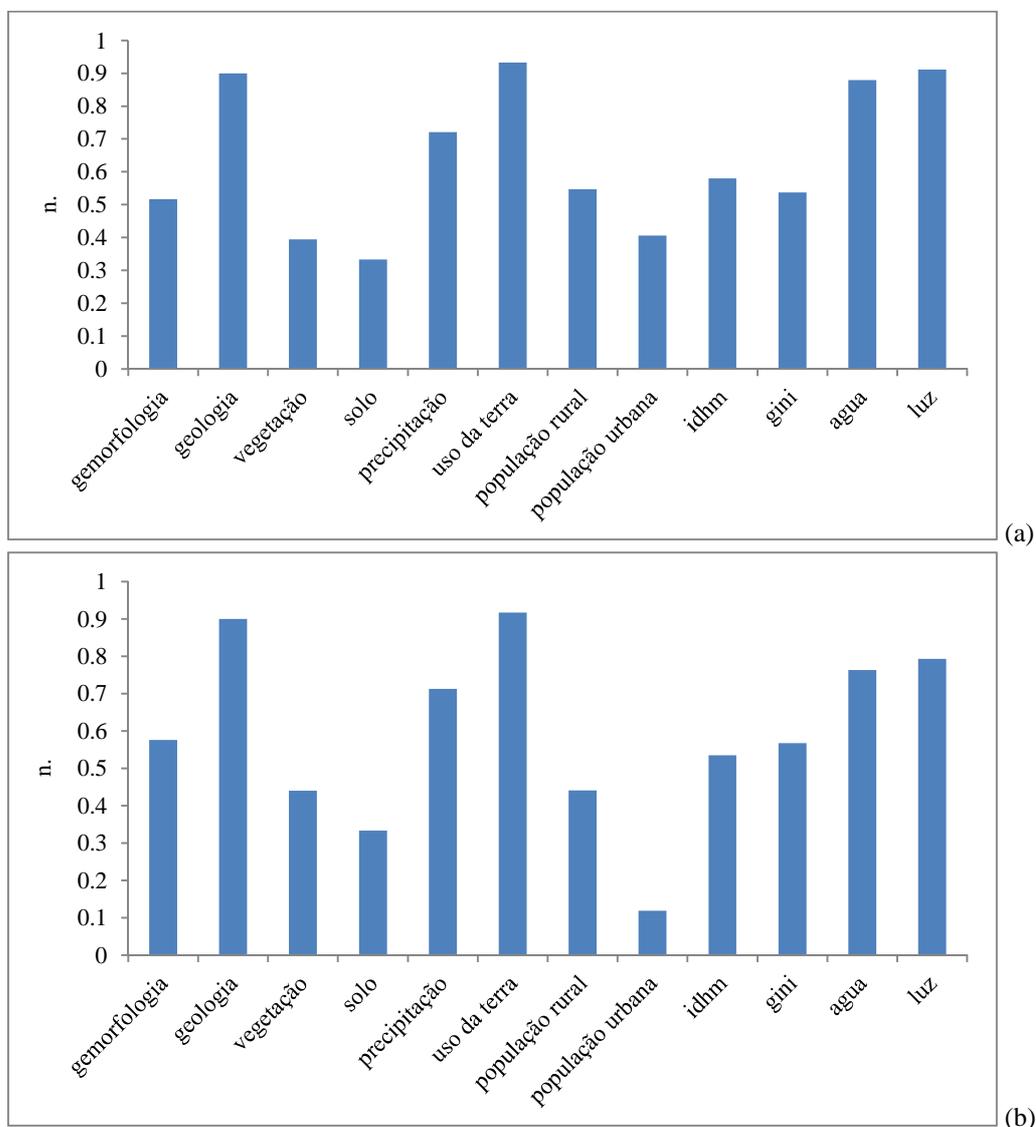
Figura 17 - Média dos valores das variáveis que compõem a: (a) Classe 9; (b) Classe 10.



A **Classe 10** se mostrou a mais vulnerável entre as 12 classes. Está localizada em áreas de várzea e condicionada pelas variáveis naturais (solo, geomorfologia e precipitação) (Figura 17b). Como essa classe apresenta alta vulnerabilidade ambiental e baixa potencialidade socioeconômica, pela metodologia do ZEE ela deve ser destinada prioritariamente para áreas de conservação.

As **Classes 11 e 12** tem comportamento intermediário. Na Classe 11 as questões socioeconômicas e a infraestrutura são mais determinantes para a formação do grupamento (Figura 18a).

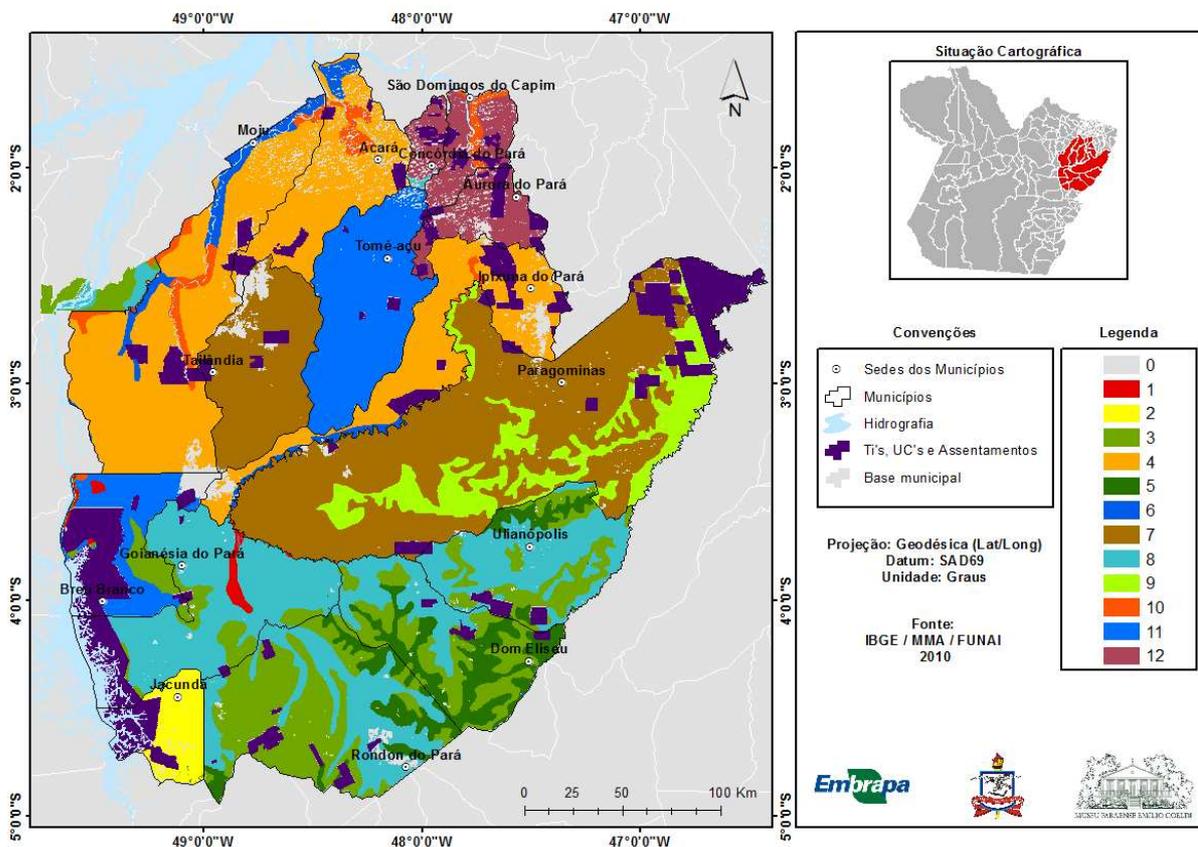
Figura 18 - Média dos valores das variáveis que compõem a: (a) Classe 11; (b) Classe 12.



Em ambas as variáveis ambientais (geologia e precipitação) indicam vulnerabilidade alta. Essas classes tendem a serem destinadas a consolidação no intuito de fortalecer o potencial humano e de ampliar a infraestrutura para um melhor desenvolvimento da região. A **Classe 12** tem quase que 67% da área está relacionada a algum tipo de pastagem. Por conta desse cenário, espera-se que seja uma região propícia à expansão.

A Figura 19 ilustra o mapa síntese gerado a partir das 12 classes definidas pela SOM.

Figura 19 - Mapa das classes geradas pela SOM.



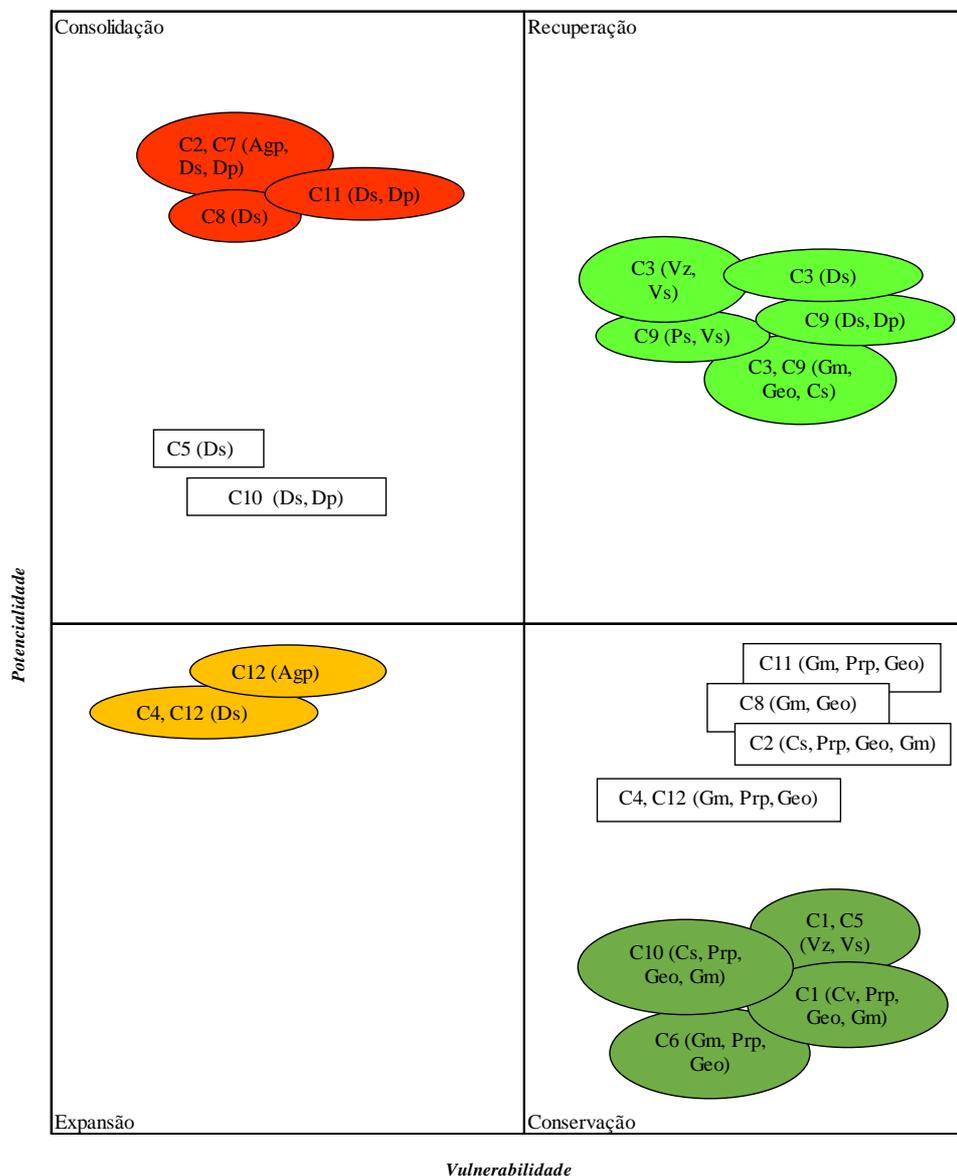
### 4.3 VISUALIZAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DO MAPA SÍNTESE

A figura 20 ilustra segundo o diagrama apresentado na figura 1 a distribuição das classes em grupamentos segundo as categorias de consolidação, recuperação, expansão e conservação. Esse processo se deu pelo método *AD HOC*, que é baseado no conhecimento empírico de especialistas no assunto e/ou na área em questão.

- As Classes 1, 5, 6 e 10 tendo em vista as questões ambientais, que apresentam alta vulnerabilidade à perda de solo e baixa potencialidade socioeconômica devem ser conservadas;
- As Classes 3 e 9 se mostraram com alto potencial socioeconômico, mas também com elevada vulnerabilidade tendendo ao processo de recuperação;

- A maior parte do território deve ser destinada à consolidação, que está representada pelas Classes 2, 7, 8 e 11, onde o potencial humano tem um certo desenvolvimento e precisa ser fortalecido e o ambiente encontra-se na maioria estável;
- As Classes 4 e 12 que apresentam grandes áreas produtivas em áreas moderadamente vulneráveis e com potencial de desenvolvimento ainda em formação, podendo ser destinadas a expansão da produção.

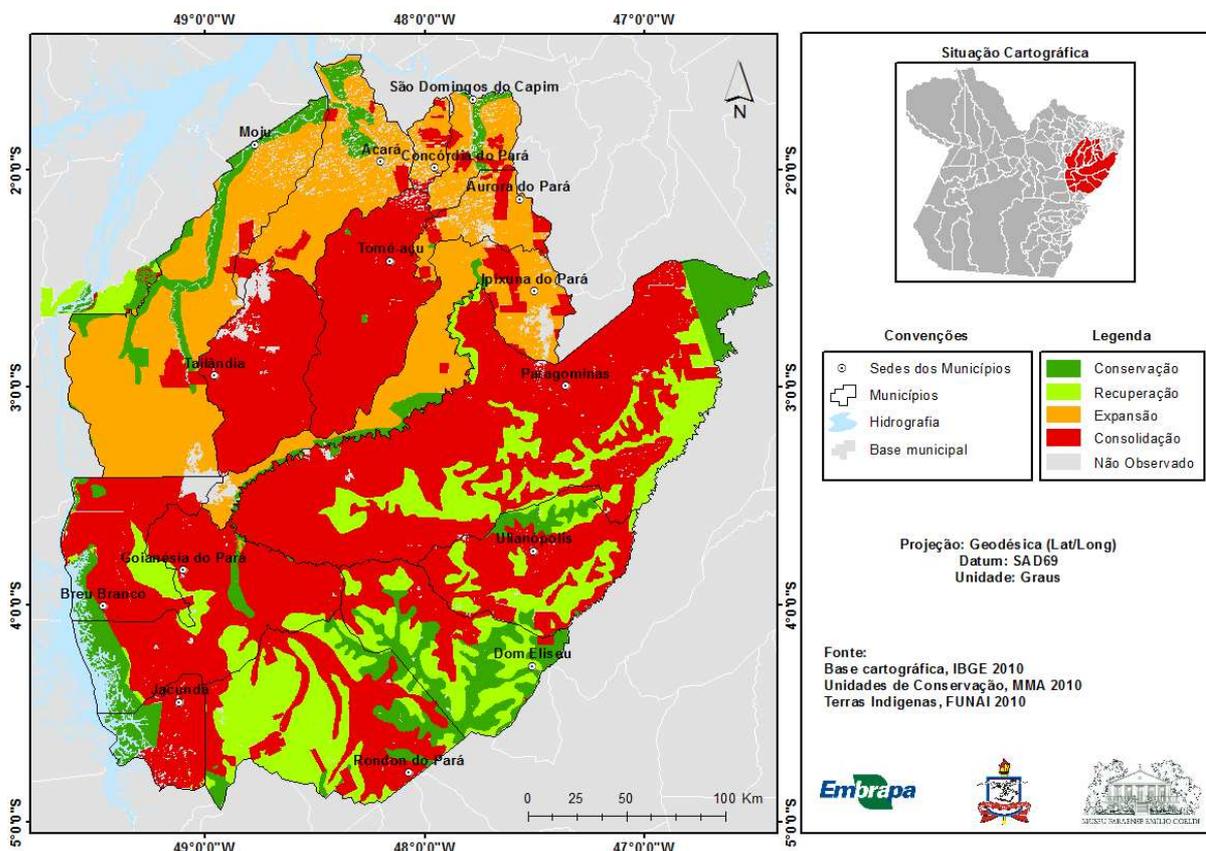
Figura 20. Gráfico de síntese de subsídios à gestão do território, com base em: Becker e Egler (1996), Crepani et al. (2001), Silva (2001) e MI (2006): Classe (C) de 1 a 12, cobertura vegetal (Cv), geomorfologia (Gm), precipitação (Prp), geologia (Geo), cobertura de solos (Cs), áreas de várzea (Vz), vegetação secundária (Vs), pastagem (Ps), agropecuária (Agp) densidade populacional (dp), desenvolvimento socioeconômico (Ds); considerando as variáveis que apresentam  $n > 0.5$  por classe das Figuras 13 a 18.



Destaca-se que as classes agrupadas para expansão e consolidação também apresentam alta vulnerabilidade ambiental; assim como as Classes 5 e 10 destinadas a conservação, também apresentam potencial socioeconômico; o que demonstra que uma real proposta de sustentabilidade ambiental, deve buscar uma relação a integração entre seus diversos indicadores, uma vez que conforme Guimarães e Feichas (2009), existe uma complexidade de fenômenos sociais e ambientais que não pode ser captada por simples parâmetros e relações. Logo, devem ser consideradas as interações entre os processos naturais, econômicos, culturais e sociais (SATORI et al., 2014).

As variáveis definidoras de cada classe atuam como indicadores de uma determinada condição apontando a existência de vulnerabilidades, potencialidades e tendências. Sua reclassificação nas categorias de consolidação, recuperação, expansão e conservação (Figura 21), visam congregar características que permitam relacionar variáveis, já que a realidade não é linear nem unidimensional (FREITAS et al., 2007; GUIMARÃES; FEICHAS, 2009).

Figura 21 - Mapa síntese do grupamento de unidades territoriais baseado na interpretação das classes geradas pela SOM.



### **4.3.1 Zona de Conservação**

As zonas de conservação apresentadas na figura 21 estão relacionadas a áreas de entorno de rios (leito menor) e cabeceiras, ou seja, áreas de preservação permanente. Segundo Silva et al (2011), essa paisagem tem a função ecológica de preservar os recursos hídricos, a estabilidade geológica e pedológica e a biodiversidade, assim como facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, assegurando o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012). Além disso, essas populações podem usufruir da área através do extrativismo vegetal não madeireiro e da pesca artesanal tradicional (PARÁ, 2008).

Além dessas áreas, foram também agregadas as áreas de unidades de conservação já estabelecidas como a APA do lago de Tucuruí, que é uma unidade de uso sustentável e portanto busca compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais, garantindo qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2002).

Ainda nessa zona, foram agrupadas as terras indígenas como a Alto Rio Guamá, que são áreas tradicionalmente ocupadas pelos povos indígenas e que tem a função de preservação dos recursos naturais e atividades produtivas dessa comunidade, levando ao bem-estar e a reprodução física e cultural (VERÍSSIMO et al., 2001).

### **4.3.2 Zona de Recuperação**

As zonas de recuperação estão localizadas nas regiões onde a paisagem sofreu com degradações ao longo da história, por uma pecuária extensiva (MARGULIS, 2003), e que agora foram abandonadas, entrando em estágios de sucessão muitas vezes avançada com grandes porções de vegetação secundária e pastos sujos com regeneração. Essa área também representa o entorno das áreas de conservação ou de rios que necessitam de uma intervenção socioambiental para um melhor desenvolvimento sustentável.

Além disso, essas áreas demonstram, especialmente, uma forte tendência à conectividade entre as unidades da paisagem das bacias do rio Capim e do rio Tocantins, fato esse que potencializa a diversidade biológica e assegurar a dinâmica natural do balanço dos fluxos hidrológicos (NICOLODI et al., 2009). Como são áreas a serem recuperadas a dinâmica de uso dentro delas ainda se mostra muito alta e esse

pode ser reordenado para sistemas agroflorestais que também aumentam a capacidade de absorção de carbono e reflorestamentos (BRASIL, 2012a).

#### **4.3.3 Zona de Expansão**

A zona de expansão está localizada a norte da área de estudo e tangencia a região econômica da capital Belém e também a zona portuária de Barcarena de onde saem as ligas metálicas de alumínio e bauxita, porém essa região está muito mais voltada para as questões agrícolas com a produção de dendê principalmente, sendo incentivada pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel desde 2004 (GLASS, 2013).

Nesse programa o governo busca incentivar o desenvolvimento de atividades econômicas, estimulando a implantação de empresas beneficiadoras do dendê para produção de biodiesel, assim como trazer um bem estar social para a população através do selo combustível social, que é um conjunto de medidas específicas visando estimular a inclusão social da agricultura (BRASIL, 2004a; GLASS, 2013).

No entanto, a região não apresenta ainda uma larga infraestrutura de escoamento da produção para um potencial desenvolvimento dessas atividades, podendo atender somente pequenas empresas (LIMA, 2002), sendo assim, a expansão com implementação de infraestrutura seria muito benéfica para o desenvolvimento da região. Além disso, as áreas de plantio estão alocadas geralmente em áreas onde o desflorestamento já é histórico, não abrindo ou degradando áreas com regeneração elevada (HOMMA, 2005) o que dá mais credibilidade e amplia os investimentos sobre a região.

#### **4.3.4 Zona de Consolidação**

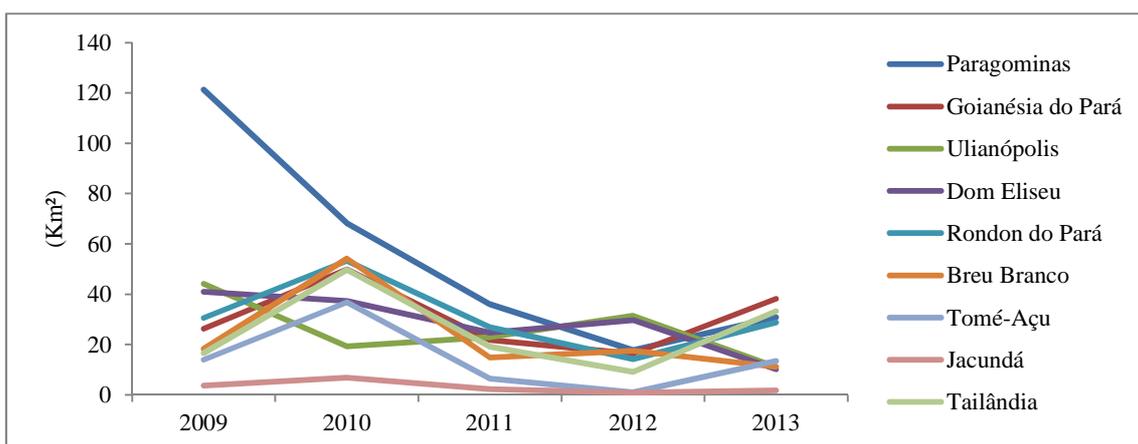
A zona de consolidação é aquela onde as formas de uso já estão perfeitamente definidas, tendo um histórico de ocupação principalmente por madeireiros, pecuaristas e agricultores. Apresenta uma infraestrutura de escoamento da produção com uma densidade bastante elevada com as rodovias BR 010, BR 222, PA 150, PA 125 e PA 256 além das vicinais (ARIMA et al., 2005) e está sobre um solo consolidado (Figura 12) esses fatores também foram determinantes na forma de uso da região.

Ao que tudo indica o governo do Pará já vem tomando medidas para o fortalecimento das atividades produtivas, sem esquecer o pilar da sustentabilidade

(ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente diverso), com projetos e programas como: municípios verdes, pecuária verde, cadastro ambiental rural entre outros. Esses projetos, segundo Guimarães et al. (2011), dão orientação aos produtores para intensificar seus sistemas de produção com áreas regularizadas e sem a necessidade de abrirem novas áreas para desenvolvimento das atividades.

Sendo assim, a zona de consolidação proposta aqui para o ano de 2010, já vem tendo resultados positivos, com a redução do desflorestamento na maioria dos municípios observados, segundo dados do PRODES (Figura 22), com revitalização de áreas degradadas, por reflorestamento e sem trabalho escravo sendo socialmente justo e tendo lucratividade com as atividades agropecuárias, estando economicamente viável (GUIMARÃES et al., 2011).

Figura 22 - Dados de desflorestamento para os municípios da zona de consolidação.



#### 4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPOSTAS DE ORDENAMENTO TERRITORIAL

A metodologia convencional de zoneamento (Figura 23) segue a proposta estabelecida por Becker e Egler (1996) e por Crepani et al. (2001) já a metodologia desenvolvida aqui por RNA SOM (Figura 21) tem como base os trabalhos de Medeiros (1999), Vesanto et al (2000a), Ximenes (2008) e Adami et al. (2009). Essas duas metodologias estão comparadas na tabela 5. Ao avaliar os dois resultados, observa-se que a maior individualização de categorias obtidas pela RNA SOM pode estar associada à técnica não linear, empregada para sua geração; não tendo passado por um comitê político/cultural que interfira na determinação da criação das classes de ordenamento territorial.

Figura 23 – Mapa do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Pará desenvolvido pelo método convencional.

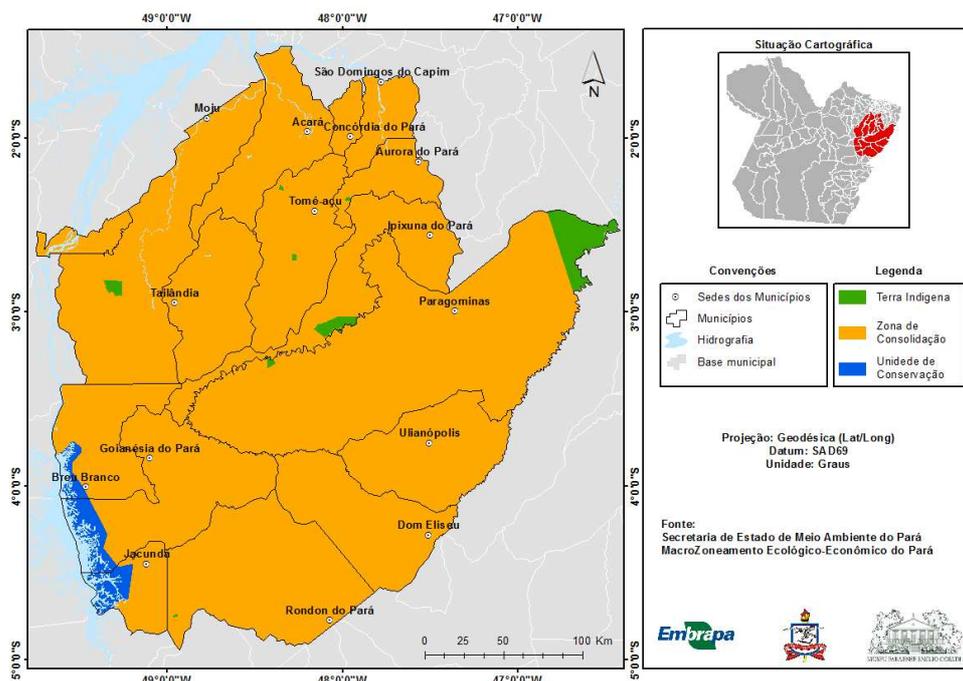


Tabela 5 - Comparação dos métodos de ordenamento territorial.

	Convencional	SOM
Base de dados	Preferencialmente matricial, mas também pode utilizar dados vetoriais.	Trabalha com dados tabulares que podem ser derivados da tabela do vetor agregado.
Normalização	Os dados variam de 1 a 3 sendo que os dados ambientais se subdividem em 21 intervalos de pesos únicos que posteriormente são intervalados em 5 grupos; já os dados socioeconômicos variam de 1 a 3.	Todos os dados, ambientais e socioeconômicos, são normalizados de 0 a 1 respeitando os pesos dados.
Processamento	É feito de forma supervisionada etapa por etapa como mostrado no fluxograma criado por Medeiros (1999) e Dantas (2011). Nesse processo a equipe precisa verificar cada resultado intermediário até o mapa síntese.	É não supervisionado, bastando apresentar os dados normalizados à rede para que seja executado o processamento matemático e seja gerado o mapa de classes (grupamento).
Técnica	Operações lineares adequados aos dados de entrada podendo ocasionar erros na demarcação das classes de saída (MEDEIROS, 1999).	Operações não lineares contendo um grande número de elementos de processamento associados que aprendem a tomar decisões mesmo com dados imperfeitos, sendo tolerante à falhas e a outros problemas passíveis de ocorrer (MEDEIROS, 1999).
Ajuste	Os ajustes são feitos a cada etapa. Resumidamente as etapas são: Mapa de vulnerabilidades; Mapa de potencialidades; Mapa de sustentabilidade do território; e Mapa síntese de gestão territorial. Se uma dessas etapas precisar de ajustes é necessário voltar um nível do fluxograma de Medeiros (1999) e/ou Dantas (2011) para ajustar.	Uma vez configurada a RNA SOM, os ajustes são de forma geral, no dado de entrada somente. Após o ajuste a rede pode ser executada novamente.
Mapa síntese	Após todas as etapas de processamento e ajustes e as oficinas participativas é gerado o mapa síntese, que está baseado tanto em questões socioambientais, quanto em questões políticas e culturais.	O mapa síntese é gerado baseado na interpretação socioeconômica e ambiental das classes geradas pela SOM e nada impede que esse mapa seja posto em discussão pelas comunidade locais.

#### 4.4.1 Potencialidades e limitações da SOM

A RNA SOM tem sido empregada em diversas atividades que necessitam a criação de grupamentos como identificação de ecorregiões, análise exploratória de dados geoespaciais multivariados, regionalização de unidades socioeconômicas, gestão territorial e muitas outras que variam das ciências médicas até as ciências econômicas, com isso podemos ver o seu largo emprego.

Logo algumas potencialidades podem ser observadas como, a capacidade de analisar todo o conjunto de dados, unificando diversas abordagens de análise espacial de forma integrada, apresentando geralmente um maior detalhamento dos resultados quando comparados com outras metodologias (SILVA, 2004; XIMENES, 2008).

O tempo de processamento também é uma grande vantagem, pois deixa a equipe de tomada de decisão com mais tempo para planeja melhor as territorialidades dentro da dinâmica do espaço geográfico (BECKER; EGLER, 1996; MEDEIROS, 1999). As formas de visualização, U-Matriz e a matriz de componentes, são bastante simples e fáceis de interpretar, além de possibilitar o retorno ao mapa (SILVA, 2004).

No entanto, ela também apresenta algumas desvantagens, quando se olha para o processo de implementação, pois é preciso um conhecimento específico para programação, mesmo a biblioteca (SOMToolBox) já estando desenvolvida (SPÖRL et al., 2011).

Outro problema é que apesar da SOMToolBox ser distribuída livremente ela só está programada para o MATLAB que necessita de licença, logo seria necessário um esforço de converte-la para linguagens livres como a TerraLIB (SILVA, 2004) e nessa direção também deve se atentar para as questões de hardware, pois o processamento da SOM usa muita memória e processador da máquina (XIMENES, 2008).

## 5 CONCLUSÃO

O método por redes neurais Self Organizing Maps, empregado aqui como uma proposta de subsídio ao ordenamento territorial nos moldes do ZEE se mostrou bastante eficiente para obtenção do objetivo e também muito mais rápido que o método convencional.

Percebeu-se que a base de dados deve ser mais bem elaborada, tentando deixá-la sem erros topológicos de sobreposição ou lacunas e para isso deve-se usar softwares que permitam a criação de regras topológicas, assim como seguir um padrão como os já estabelecidos pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE

A normalização dos dados é um ponto crucial do processo, pois é a partir desses valores que todos os cálculos dentro da SOM serão feitos, logo é preciso gastar um certo tempo avaliando se os dados estão totalmente ajustados, se é preciso remover ou preencher dados vazios da tabela de atributos. Muitas vezes é necessário executar a rede para perceber que os dados não estão bem normalizados.

O uso de gerenciadores de banco de dados facilita muito a integração entre os dados vetoriais dentro do SIG e a tabela de trabalho para o processamento matemático, pois está pautado na linguagem SQL que foi formidável em todas as etapas do trabalho, podendo ser considerado como uma acessória para a tomada de decisão dentro do ordenamento territorial.

Chegando ao resultado final concluiu-se que o conhecimento empírico da área em estudo e seus usos são de fundamental importância e para isso é fundamental uma equipe de especialistas para o entendimento semântico do mapa gerado e para a análise e reclassificação que dará origem ao mapa síntese de ordenamento territorial.

Baseado nos resultados e no que já vem sendo implementado como política pública na região estudada, percebe-se que muito ainda deve ser discutido para fortalecer o debate sobre políticas públicas voltadas ao ordenamento territorial, que se desenvolva numa perspectiva interdisciplinar e integrada, tendendo o desenvolvimento equilibrado das regiões e a organização fiscal do espaço segundo uma estratégia de conjunto, como mencionado na carta europeia do ordenamento do território.

Lembra-se por fim, que o mapa síntese é uma proposta metodológica de representação do conhecimento da área de estudo, que deve ser colocado em discussão nas reuniões com as comunidades locais.

## 6 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. Zoneamento ecológico e econômico da Amazônia: questões de escala e método. **Estudos Avançados**, v. 3, n. 5, p. 17, p. 4-20, 1989.
- ADAMI, M.; LIMA, A.; FREITAS, R. M.; MONTEIRO, A. M.; MOREIRA, M. A. Regionalização da agropecuária paranaense por meio de redes neurais artificiais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal. Anais ... Natal-RN: INPE, p. 3411-3418, 2009.
- ALHONIEMI, E.; HIMBERG, J.; PARHANKANGAS, J.; VESANTO, J. **SOM Toolbox**: Online documentation. Laboratory of Computer and Information Science, 2003. Disponível em: < <http://www.cis.hut.fi/somtoolbox/documentation/> >
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, 2012.
- ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M. **Pecuária na Amazônia**: tendências e implicações para a conservação ambiental. Belém-PA: Imazon, 2005. 68p.
- AURENHAMMER, F. Voronoi diagrams: a survey of a fundamental geometric data structure. **ACM Computing Surveys**, v. 23, n. 3, p. 345-405, 1991.
- BALBINOT, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009.
- BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, P.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.
- BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? **Parcerias Estratégicas**, v. 12, p. 135-159, 2001.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.
- BECKER, B. K. A Amazônia e a política ambiental Brasileira. In: SANTOS, M.; BECKER, B. K (Orgs.). **Território, territórios**: ensaio sobre o ordenamento territorial. Rio de Janeiro - RJ: Lamparina, p. 22-42, 2007.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da execução metodologia para do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: MMA, 1996, 43p.
- BENATTI, J. H. **Ordenamento territorial e regularização fundiária no Pará**. Belém-Pa: ITERPA, p. 1-33, 2008.
- BENATTI, J. H.; TRECCANI, G. D.; MANSOS, F.; CONDURU NETO, J. M.; SODRÉ, W. M.; FISCHER, L. R. C. ITERPA e o ordenamento territorial no Estado do Pará. In: **PARÁ. ITERPA e o ordenamento territorial no Estado do Pará**. Belém: ITERPA, 2007.
- BOAS, J. H. V. **Bases teóricas e metodológicas, da abordagem geográfica ao ordenamento territorial, aplicadas para o desenvolvimento de sistema de banco de dados georreferenciáveis**: exemplo da Bacia do Rio Itapecuru - São Paulo. 2001. 292p. Tese (Doutorado), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2001.
- BRAGA, A. P.; LUDERMIR, T. B.; CARVALHO, A. P. L. F. **Redes neurais artificiais**: teoria e aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 262 p.
- BRASIL. **Código Florestal Brasileiro**: Lei n. 12.651/2012. Brasília: Congresso Federal, 2012.

BRASIL. **Decreto n. 7.378, de 1 de dezembro de 2010:** Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal - MacroZEE da Amazônia Legal, altera o Decreto no 4.297, de 10 de julho de 2002. Brasília: Casa Civil, 2010.

BRASIL. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura.** Brasília: MMA, 2012a, 173 p.

BRASIL. **Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil.** Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

BRASIL. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel:** Selo Combustível Social. Brasília-DF: Ministério de Minas e Energia, 2004a.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL:** Folha SA 22. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia - Secretaria Geral. 1982. (Levantamento de Recursos Naturais).

BRASIL. **SNUC:** Sistema Nacional de Unidade de Conservação. Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. Decreto nº 4.340, de 22 de Agosto de 2002. Brasília: MMA, 2002.

BRASIL. **Subsídios para a definição da Política Nacional de Ordenamento Territorial – PNOT.** Brasília-DF: Ministério da Integração Nacional, 2006.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL:** Folha SA 23. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia - Secretaria Geral, 1982. (Levantamento de Recursos Naturais).

CÂMARA, G; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001.

CARDOSO, F. H. **Avança Brasil:** Proposta de Governo. Rio de Janeiro - RJ: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2008.

CARVALHO, M.S. **Aplicação de Métodos de Análise Espacial na Caracterização de Áreas de Risco à Saúde.** 1997, 138f. Tese (Doutorado em Engenharia Biomédica), Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 1997.

CAZELLA, A. A. As bases sociopolíticas do desenvolvimento territorial: uma análise a partir da experiência francesa. **REDES**, v. 13, p. 5-27, 2008.

COUTO, A. C. O.; SOUSA, R. B.; MACEDO, C. O. A Fronteira do Dendê na Amazônia: o caso do Nordeste Paraense. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 21, 2012. Uberlândia-MG. Anais .... Uberlândia-MG: UFMG, 2012.

CREPANI, E.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos - SP: INPE, 2001, 103p.

DANTAS, M. M. O. **Zoneamento Ecológico Econômico como instrumento de desenvolvimento do Estado de Roraima.** 2011, 109f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós Graduação em Economia, Porto Alegre-RS, 2011.

DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. A Cluster Separation Measure. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 1, n. 2, p. 224–227, 1979.

DAVIS Jr.; C. A.; FONSECA, F. T.; CÂMARA, G. Infraestruturas de dados espaciais na integração entre ciência e comunidades para promover a sustentabilidade ambiental. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS, 1, 2009, Bento Gonçalves-RS. Anais.. Porto Alegre: SBC, 2009.

DONI, M. V. **Análise de Cluster: Métodos Hierárquicos e de Particionamento**. 2004, 93f. Monografia (Bacharel em Sistemas de Informação), Graduação em Sistemas de Informação, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo-SP, 2004.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004, 209p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2012, 59 p.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

FREITAS, C. M.; SCHÜTZ, G. E.; OLIVEIRA, S. G. Environmental sustainability and human well-being indicators from the ecosystem perspective in the Middle Paraíba Region, Rio de Janeiro State, Brazil. **Caderno de Saúde Pública**, v. 23, n. 4, p. 513-528, 2007.

FRITZSONS, E.; CORREA, A. P. A. **O Zoneamento Ecológico-Econômico como Instrumento de Gestão Territorial**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2009, 52p.

GLASS, V. **Expansão do dendê na Amazônia brasileira: elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará**. São Paulo - SP: Repórter Brasil, 2013.

GONÇALVES, M. L.; LUIZ, M.; NETTO, de A.; et al. Classificação não-supervisionada de imagens de sensores remotos utilizando redes neurais Auto-Organizáveis e métodos de Agrupamentos Hierárquicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 1, p. 17-29, 2008.

GUIMARÃES, J; VERÍSSIMO, A; AMARAL, P; DEMACHKI, A. **Municípios Verdes: caminhos para a sustentabilidade**. Belém - PA: Imazon, 2011, 154 p.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q. Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, v. 12, n. 2, p. 307-323, 2009.

GUTBERLET, J. Zoneamento da Amazônia: uma visão crítica. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 46, p. 157-174, 2002.

GUTHIKONDA, S. M. **Kohonen Self-Organizing Maps**. Wittenberg University, 2005, 19p.

HAESBAERT, R. Dos múltiplos territórios à multiterritorialidade. **GEOgraphia**, Ano IX, n. 17, p. 19-46, 2007.

HOMMA, A. K. O. Amazônia: como aproveitar os benefícios da destruição? **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 115-135, 2005.

HUMMEL, A. C.; ALVES, M. V. DA S.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém - PA: Serviço Florestal Brasileiro e Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2010. 32 p.

IBGE. **Censo 2010**. Brasília-DF: IBGE, 2010.

IDESP. **Estatística Municipal**, Belém – PA: IDESP, 2011.

KOHLHEPP, G. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 37-61, 2002.

KOHONEN, T. **Self-organizing maps**. Springer, 2001, 502p.

LEFEBVRE, H. **La Production de l'Espace**. Paris: Anthropos. 1986.

LIMA, S. M. V.; FREITAS FILHO, A.; CASTRO, A. M. G.; SOUZA, H. R. **Desempenho da cadeia produtiva do dendê na Amazônia Legal**. Belém - PA: SUDAM, 2002, 164 p.

- LOUREIRO, B. P. **O Plano de Integração Nacional de 1970 e as rodovias na Amazônia: o caso da região amazônica na política de integração do território Nacional.** São Paulo: USP, 2010, 8p.
- MAGALHÃES, J. P. **A ocupação desordenada da Amazônia e seus efeitos econômicos, sociais e ecológicos.** Brasília - DF: Autor, 1990.
- MARGULIS, S. **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira.** Brasília - DF: Banco Mundial, 2003, 100 p.
- MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento.** São Paulo: Atlas, 2005.
- MEDEIROS, J. S. **Banco de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território.** 1999, 221f. Tese (Doutorado), Departamento de Geografia, FFLCH, USP, São Paulo-SP, 1999.
- MORAES, A. C. R. Ordenamento Territorial: uma conceituação para o planejamento estratégico. In: GALVÃO, A. C. F.; FERREIRA, H. V. C. (Orgs.). **Para pensar uma política nacional de ordenamento territorial.** Brasília-DF: Ministério da Integração Nacional, p. 43-47, 2005.
- NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; SANTILLI, M.; VERA DIAZ, M. Frontier Governance in Amazonia. **Science**, n. 295, 2002, p. 629-631.
- NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A.; BARROSO, G. F. Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e Zonas Costeiras no Brasil: Implicações para a Região Hidrográfica Amazônica. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, p. 9-32, 2009.
- OPENSHAW, S.; OPENSHAW, C. Artificial intelligence in geography. Chichester-UK: John Wiley and Sons, 1997.
- PARÁ. **Política Estadual de Desenvolvimento do Extrativismo no Pará:** Decreto Estadual nº 1001/2008. Belém-PA: Ministério Público Federal, 2008.
- PEREIRA, J. R.; FERREIRA, P. A.; VILAS BOAS, A. A.; OLIVEIRA, E. R.; CARDOSO, R. F. Gestão social dos territórios da cidadania: o zoneamento ecológico-econômico como instrumento de gestão do território noroeste de Minas Gerais. **Cad. EBAPE**, v. 9, n. 3, p. 724-747, 2011.
- PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013.** Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2013.
- POWER, D. J. **Decision Support Systems Glossary**, DSSResources.COM, World Wide Web, <http://DSSResources.COM/glossary/>, 2014.
- QUEIROZ, G. R. **Extensão do SGBD PostgreSQL com operadores espaciais.** São José dos Campos-SP: INPE, 2002, 53p.
- REICH, M.; FRANCELINO, M. R. Avaliação do potencial de recuperação de áreas alteradas em Áreas de Proteção Permanente de cursos d'água no município de Rio Branco, Acre. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 7, n. 2, p. 157-168, 2012.
- RIBEIRO, U. F.; LEOPOLDO, P. R. Colonização ao longo da Transamazônica: Trecho Km 930 - 1035. **Revista científica eletrônica de agronomia**, ano 2, n. 3, p. 1-8, 2003.
- ROSA, R., Análise espacial em geografia. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, p. 275-289. 2011.
- SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica.** São Paulo: McGrawHill Pub. Co., 1991, 367 p.
- SAATY, T. L. **Multicriteria decision making: the analytical hierarchy process**, Pittsburg: RWS Publications, 1992.

SANTOS, T. C. Algumas considerações preliminares sobre Ordenamento Territorial. In: GALVÃO, A. C. F.; FERREIRA, H. V. C. (Orgs) **Para pensar uma política nacional de ordenamento territorial**. Brasília - DF: Ministério da Integração Nacional, p. 49-54. 2005.

SARTORI, S.; LATRONICO, F.; CAMPOS, L. M. S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 1, p. 01-22, 2014.

SERRA, M. A.; FERNÁNDEZ, R. G. Perspectivas de desenvolvimento da Amazônia: **Economia e Sociedade**, v. 13, n. 23, p. 107-131, 2004.

SILVA, J. A. A.; NOBRE, A. D.; MANZATTO, C.V. et al. **O Código Florestal e a Ciência Contribuições para o diálogo**. São Paulo - SP: [s.n.], 2011. p. 124

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para a análise ambiental**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2001, 227p.

SILVA, J. X.; Z Aidan, R. T. **Geoprocessamento & Análise Ambiental aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, 363p.

SILVA, M. A. S. **Mapas auto-organizáveis na análise exploratória de dados geoespaciais multivariados**. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, 2004.

SILVA, M. A. S.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. Geografia computacional: um experimento em inferência geográfica com redes neurais artificiais. In: WORKSHOP DOS CURSOS DE COMPUTAÇÃO APLICADA DO INPE, 2, São José dos Campos-SP. Anais ... São José dos Campos-SP: INPE, 2002.

SILVA, M.; NASCIMENTO, C. P.; COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C. A.; VENTURIERI, A.; ESQUERDO, J. C. D. M. A transformação do espaço amazônico e seus reflexos na condição atual da cobertura e uso da terra. **Novos Cadernos NAEA**, v. 16, n. 1, p. 229–248, 2013.

SIMKOVICS, S. **Enhancement of the ANSI SQL Implementation of PostgreSQL**. Department of Information Systems, Vienna University of Technology, November 29, 1998.

SOUSA, S. R. **Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida**. 2008, 87f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2008.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 113–122, 2004.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, J. R. A.; GUIMARÃES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO, M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

SOUZA, J. S. A.; MEDEIROS, J. S. Modelagem da carta síntese de subsídios à gestão do território do sul do Amapá, através de análise geográfica em Spring. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, v. 1, n. 1, p. 185-189, 2005.

SPÖRL, C; CASTRO, E G; LUCHIARI, A. Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 21, p. 113–135, 2011.

SUDAM. **Síntese do Polamazônia**. Belém-PA: Coordenação de Informática, Divisão de Documentação, 1976.

- SUDAM. **Subsídios ao plano regional de desenvolvimento** (1972/74). Belém-PA: Divisão de Documentação, 1971.
- UNDP. **The Rise of the South Human Progress in a Diverse World**. Technical note 1 - Human Development Index, 2013, 8p.
- VASCONCELOS, V. V.; HADAD, R. M. MARTINS JUNIOR, P. P. Methodologies for integrated studies of natural resources: a discussion on ecological-economic zoning. **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 1, p. 21-30, 2013.
- VASQUEZ, M. L.; SOUSA, C. S.; CARVALHO, J. M. A. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, escala 1:1.000.000**. Belém-PA: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém, 2008, 328p.
- VEDOVATO, L.B. **Estimativas de áreas potenciais de incêndios no Pará por meio da técnica AHP**. São José dos Campos: INPE, 2014, 15p.
- VERÍSSIMO, A.; ROLLA, A.; VEDOVETO, M.; FUTADA, S. M. **Áreas Protegidas na Amazônia Brasileira: avanços e desafios**. Belém/São Paulo: Imazon e ISA, 2011, 87p.
- VESANTO, J.; ALHONIEMI, E. Clustering of the Self-Organizing Map. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 11, n. 3, p. 586-600, 2000.
- VESANTO, J.; HIMBERG, J.; ALHONIEMI, E.; PARHANKANGAS, J. **SOM Toolbox for Matlab 5**. Technical Report A57, Neural Networks Research Centre, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland, 2000.
- WALKER, R. T.; HOMMA, A. K. O.; CONTO, A. J.; et al. As contradições do processo de desenvolvimento agrícola na Transamazônica. **EMBRAPA Documentos**, v. 93, 1997, 120 p.
- WHATELY, M.; CAMPANILI, M. **Programa Municípios Verdes: lições aprendidas e desafios para 2013/2014**. Belém-PA: Governo do Pará. 2013
- XIMENES, A. C. **Mapas auto-organizáveis para a identificação de ecorregiões do interflúvio Madeira-Purus: uma abordagem da biogeografia ecológica**. 2008, 155f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, 2008.

## ANEXO 1

```

% Sadeck AHP
% usando como referência o artigo
%Ye et al.
%(http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4664667)

%% definição da matriz de preferência
% usando os seguintes critérios para o dado de uso do solo
%   pior      melhor
%
%           pior  melhor
% igual          1,00  1,00
% um pouco       0,50  2,00
% algo           0,33  3,00
% moderadamente  0,25  4,00
% melhor/pior    0,20  5,00
% bem           0,17  6,00
% muito         0,14  7,00
% criticamente  0,13  8,00
% absolutamente  0,11  9,00

%classes
% AREA_NAO_OBSERVADA
% DESFLORESTAMENTO_2010
% FLORESTA
% HIDROGRAFIA
% MINERACAO
% NAO_FLORESTA
% PASTO_LIMPO
% REFLORESTAMENTO
% REGENERACAO_COM_PASTO
% VEGETACAO_SECUNDARIA
% Agricultura
% Area urbana
% MOSAICO_DE_OCUPACOES
% OUTROS
% PASTO_COM_SOLO_EXPOSTO
% PASTO_SUJO

clear all
close all
clc

pref=
    [1.00    9.00    9.00    9.00    9.00    9.00    9.00
    9.00    9.00    9.00    9.00    9.00    9.00    9.00
    9.00;...
        0.11    1.00    9.00    9.00    0.11    5.00    2.00
    6.00    8.00    7.69    2.00    2.00    2.00    5.00    6.00
    2.00;...
        0.11    0.11    1.00    1.00    0.11    0.14    0.11
    0.11    0.11    0.17    0.11    0.11    0.11    0.11
    0.11;...
        0.11    0.11    1.00    1.00    0.11    0.14    0.11
    0.11    0.11    0.17    0.11    0.11    0.11    0.11
    0.11;...
        0.11    9.00    9.00    9.00    1.00    8.00    8.00
    8.00    8.00    8.00    8.00    8.00    8.00    8.00
    8.00;...
        0.11    0.20    7.00    7.00    0.13    1.00    0.17
    0.33    0.50    5.00    0.25    0.25    0.25    0.50    0.20
    0.50;...

```

```

        0.11    0.50    9.00    9.00    0.13    6.00    1.00
7.00    6.00    8.00    1.00    0.50    1.00    1.00    0.33
2.00;...
        0.11    0.17    9.00    9.00    0.13    3.00    0.14
1.00    2.00    3.00    0.25    0.20    0.50    1.00    0.17
0.33;...
        0.11    0.13    9.00    9.00    0.13    2.00    0.17
0.50    1.00    3.00    0.20    0.17    0.20    0.20    0.14
0.25;...
        0.11    0.13    6.00    6.00    0.13    0.20    0.13
0.33    0.33    1.00    0.14    0.13    0.14    0.14    0.13
0.17;...
        0.11    0.50    9.00    9.00    0.13    4.00    1.00
4.00    5.00    7.00    1.00    0.50    1.00    2.00    0.33
2.00;...
        0.11    0.50    9.00    9.00    0.13    4.00    2.00
5.00    6.00    8.00    2.00    1.00    2.00    3.00    1.00
4.00;...
        0.11    0.50    9.00    9.00    0.13    4.00    1.00
2.00    5.00    7.00    1.00    0.50    1.00    0.33    0.25
2.00;...
        0.11    0.20    9.00    9.00    0.13    2.00    1.00
1.00    5.00    7.00    0.50    0.33    3.00    1.00    0.50
2.00;...
        0.11    0.17    9.00    9.00    0.13    5.00    3.00
6.00    7.00    8.00    3.00    1.00    4.00    2.00    1.00
6.00;...
        0.11    0.50    9.00    9.00    0.13    2.00    0.50
3.00    4.00    6.00    0.50    0.25    0.50    0.50    0.17    1.00];
% pref=[1 7 1/3; 1/7 1 1/9; 3 9 1]

%% autovalores e autovetores

x=eig(pref);
autovetor=x(1);

media_linha=mean(pref,2);
soma_coluna=sum(pref);

scaling=media_linha./(max(media_linha));

normaliza=scaling./sum(scaling);

%% interações
scaling1=zeros(length(media_linha),10);
normaliza1=zeros(length(media_linha),10);

intera=pref*media_linha;
scaling1(:,1)=intera./max(intera);
normaliza1(:,1)= scaling1(:,1)./sum( scaling1(:,1));

for i =2:30
    intera=pref*scaling1(:,(i-1));
    scaling1(:,i)=intera./max(intera);
    normaliza(:,i)=scaling1(:,i)./sum(scaling1(:,i));
    check(i)=sum(( normaliza(:,i)- normaliza(:,(i-1))).^2);
end

```

```
t=size(normalizal);

for i=1:length(pref)-1
    for j=(i+1):length(pref)
        cgi(i,j)=(log(pref(i,j))-
log(normalizal(i,t(2))/normalizal(j,t(2)))).^2;
    end
end

cgi2=(2.*sum(sum(cgi))./(length(pref)-1)./(length(pref)-2);

rc=(autovetor-(length(pref)))./((2.7699.*(length(pref))-4.3513)-
(length(pref)));
```

## ANEXO 2

```

% Programa para executar a rede SOM

%% Leitura dos dados
%
clear all
close all
clc

%[D cab]=
xlsread('F:\DISSERTAÇÃO\Resultados\sadeck_som.xlsx',1,'a1:s1000');
[D cab]=
xlsread('F:\DISSERTAÇÃO\Resultados\sadeck_som_sxy_snoobs.xlsx',1);
%normalização
d=D(:,2:12);
% d(:,6)=D(:,10)./(D(:,10)+D(:,11));
% d(:,7)=D(:,11)./(D(:,10)+D(:,11));
% d(:,8:11)=D(:,12:15);
% d(:,12)=D(:,16)./100;
% d(:,13)=D(:,17)./100;
%d(:,12)=D(:,13)./(max(D(:,13)));
%d(:,13)=D(:,14)./(max(D(:,14)));
1
xD=d;

%clear D
clear d

clear ans

% criação da rede som
% maneira automática para definição do melhor numero de celulas

sD = som_data_struct(xD,'name','Dados Sadeck',
'comp_names',{cab{1,2:12}});
2
a=D(1:298301,1);
%a=D(1:999,1);
clear cab
%sD.label_names=a{1,1}(:);
sD.labels=a;
clear a
sD.labels = num2cell(sD.labels);
sM = som_make(sD);
sM = som_autolabel(sM,sD,'add');
%sD = som_label(sD,'add',[101:150],'Virginica');
som_show(sM,'umat','all','comp',[1:11],'empty','Labels','norm','d');
saveas(gcf,'Figural.fig');
close all

%Z = som_linkage(sM);
%som_dendrogram(Z,sM);
%som_show_add('label',sM.labels,'textsize',8,'textcolor','r','subplot',
,17);
%echo on
%bmu = som_bmus(sMap,[0 0 0]);
3
[Pd,V,me,l] = pcaproj(sD,2); Pm = pcaproj(sM,V,me); % PC-projection
Code = som_colorcode(Pm); % color coding

```

```

hits = som_hits(sM,sD); % hits
U = som_umat(sM); % U-matrix
Dm = U(1:2:size(U,1),1:2:size(U,2)); % distance matrix
Dm = 1-Dm(:)/max(Dm(:)); Dm(find(hits==0)) = 0; % clustering info

subplot(1,3,1)
[c,p,err,ind] = kmeans_clusters(sM, 12); % find at most 7 clusters
plot(1:length(ind),ind,'x-')
[dummy,i] = min(ind)
cl = p{i};

% The Davies-Boulding index seems to indicate that there are
% two clusters on the map. Here is the clustering info
% calculated previously and the partitioning result:

subplot(1,3,2)
som_cplane(sM,Code,Dm)
subplot(1,3,3)
som_cplane(sM,cl)

saveas(gcf,'Figura2.fig');

close all

%% Identifica cada id com a classe
clear sD
clear c
clear Code
clear Dm
clear Pd
clear Pm
clear U
clear V
clear ans
clear dummy
clear err
clear hits
clear i
clear ij
clear j
clear l
clear me
clear p
clear xD

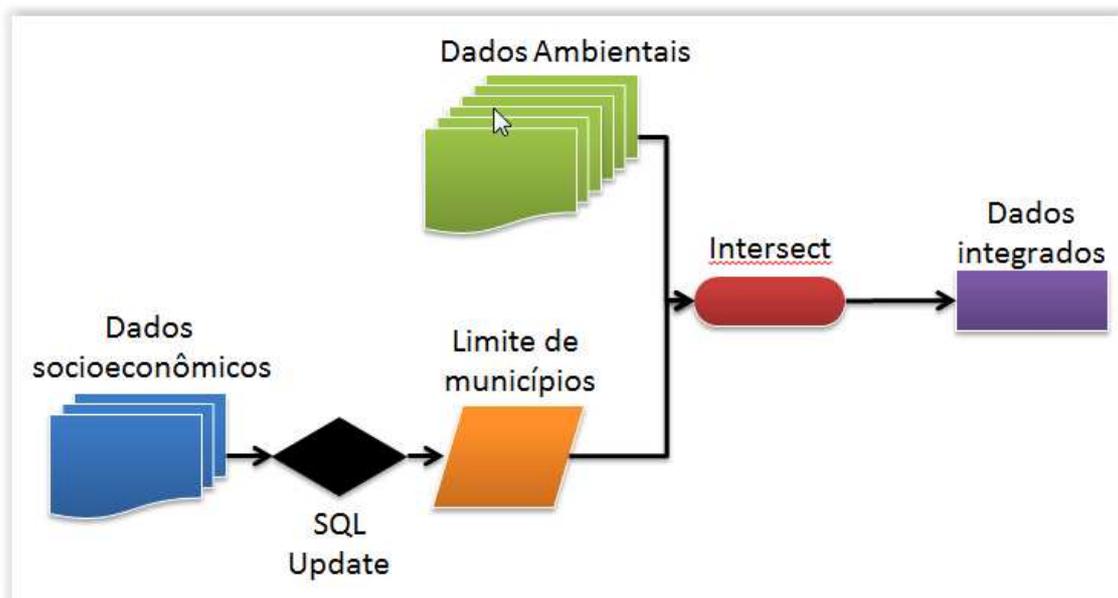
coisa=size(sM.labels)

ij=1
for i=1:coisa(1)
    for j=1:coisa(2)
        if ~isempty(sM.labels{i,j})
            zz(ij,1)=sM.labels{i,j};
            zz(ij,2)=cl(i,1);
            ij=ij+1
        end
    end
end

%dlmwrite ('E:\TESTE\SADECK\Class_Sadeck\Class_4cluster_sxy.txt',zz,
'precision',6)

```

## APENDICE 1



**Update** é uma instrução da linguagem SQL que altera os dados de um ou mais registros em uma tabela. Nem todas as linhas precisam ser atualizadas, um subconjunto pode ser escolhido utilizando uma condição.

```
UPDATE "municipios_ibge_2_2"
SET pop_rural_at18 =
  (SELECT "popru18"
   FROM "Pop_rural_at18"
   WHERE "Pop_rural_at18".nome = "municipios_ibge_2_2".nomemunicp)
```

**Intersect** calcula um cruzamento geométrico dos dados de entrada, considerando as características ou porções dos dados que se sobrepõem em todas as camadas e/ou classes dos dados que serão inscritos nos dados de saída.

