

## Mapas auto-organizáveis e parâmetros geofísicos para a caracterização da heterogeneidade de paisagens.

Arimatêa de Carvalho Ximenes<sup>1</sup>  
Júlio Resende Ribeiro<sup>2</sup>  
Silvana Amaral<sup>1</sup>

Departamento de Processamento Digital de Imagens - DPI  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos, SP.  
{arimatea, silvana}@dpi.inpe.br

Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos, SP.  
julioresende@gmail.com

**Abstract:** This paper presents a self-organizing map approach to characterize landscape heterogeneity based on geophysical parameters. Climatic, topographical and soil humidity variables were selected for a region between Madeira e Purus River, municipality of Manicoré, in the state of Amazonia. The region is apparently homogeneous but contains different physiognomy as tropical dense forest, “várzea” forest, “campina” and “campinarana”. Working with 2 km cells, a self-organizing map approach (SOM) was applied to identify homogeneous regions. Twelve classes were obtained, identifying apparently homogeneous areas, similar to the ecoregions concept. Such characterization can be considered as an indicator of biodiversity variability, and could be used to identify priority areas for a future fieldwork.

**Palavras-chave:** landscape heterogeneity, ecoregions, self-organization map (SOM), heterogeneidade de paisagens, parâmetros geofísicos, ecorregiões, mapas auto-organizáveis.

### 1. Introdução

A heterogeneidade da paisagem contém informações intrínsecas que podem ser indicadoras da composição e riqueza de espécies (van Rensburg *et al*, 2002). Uma maneira de identificar diferentes unidades numa paisagem é delimitando unidades homogêneas, que podem ser denominadas de ecorregiões. “Ecorregião” é um termo muito usado para definir metas de conservação, e possui diferentes definições. Neste trabalho, ecorregiões são as regiões caracterizadas por padrões de ecossistemas recorrentes, associadas com a combinação de suas características de solo, clima e formas de relevo (Brunckhorst, 2000). Desta forma, as ecorregiões pode fornecer informações que ajudam na visualização e no entendimento da similaridade através da complexidade dos fatores ambientais (Hargrove e Hoffman, 2005). O conceito de ecorregiões contribui ainda com informações que podem auxiliar no planejamento estratégico para fins de conservação, subsidiando escolha de Unidades de Conservação.

Recentemente, a Amazônia Legal foi representada em diferentes ecorregiões que tiveram seus limites estabelecidos por diversos fatores como, efeitos de distância geográfica, solo, chuva, inundação e principalmente rios como barreiras à troca gênica para fauna.

Na Amazônia alguns gradientes ambientais principalmente os climáticos não possuem variações representativas, todavia algumas espécies podem ocupar um nicho estreito (Hutchinson, 1957), apresentando uma sensibilidade a estas variações ambientais, e assim ter sua distribuição determinada por estes fatores. Com a caracterização das diferentes ecorregiões pode-se estabelecer prioridades para aquisição de dados de campo. Pode-se assim, auxiliar a determinação de rotas de sobrevôo ou transectos de amostragem no campo para amostrar os diversos gradientes ambientais, que podem influenciar a distribuição das espécies e condicionar a composição, diversidade e riqueza.

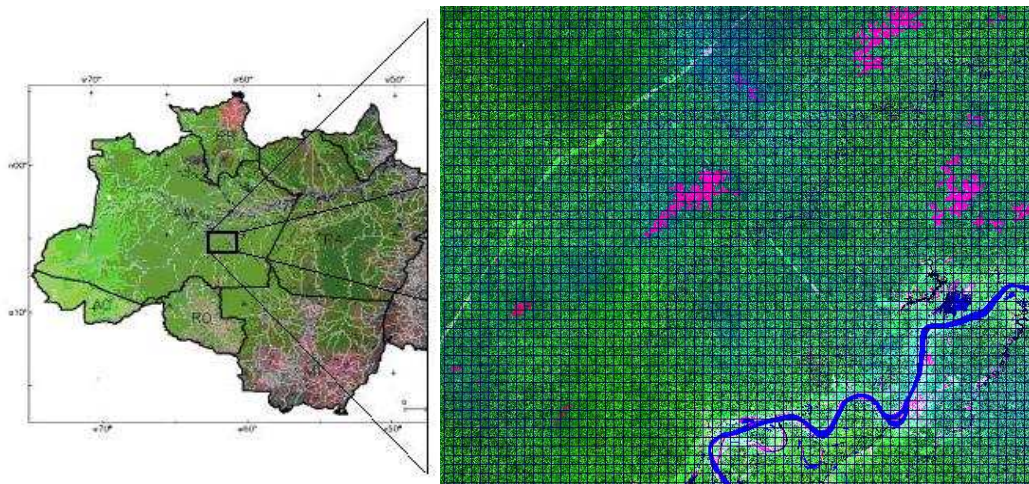
Diante desta complexidade e extensão das formações florestais na região Amazônica, dados de sensoriamento remoto, variáveis climáticas e métodos de processamento digital de imagens apresentam-se como alternativa complementar aos estudos da biodiversidade. Estes dados proporcionam visão sinótica e potencial identificação de padrões espaciais em diferentes escalas. Adicionalmente, as redes neurais também têm sido aplicadas com sucesso na área de reconhecimento de padrões e delimitação de ecorregiões (Hargrove e Hoffman, 2005), de onde se questiona a utilidade dos mapas auto-organizáveis para a identificação da heterogeneidade da paisagem.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para identificar a heterogeneidade da paisagem em uma área do bioma Amazônia, utilizando parâmetros geofísicos para classificar o ambiente em unidades homogêneas. Este trabalho se insere no escopo da Rede GEOMA - Rede Temática de Pesquisa em Modelagem ambiental na Amazônia, do Ministério da Ciência e Tecnologia, no componente de estudos da Biodiversidade.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido para uma sub-região de Floresta Tropical, no domínio do bioma Amazônia, entre os Rios Madeira e Purus. Neste interflúvio, a região localiza-se próximo à sede do município de Manicoré (**Figura 1**), com as coordenadas centrais de longitude s 61°36'00" e latitude o 5°27'13".



**Figura 1** – Localização da área de estudo, coordenadas centrais com longitude s 61°36'00' e latitude o 5°27'13". As células possuem área de 2km<sup>2</sup> e somam um total de 3618.

Esta área foi selecionada por se tratar de uma região com diferentes fitofisionomias como, por exemplo: florestas de várzea, floresta tropical densa com entraves de campina e campinarana. Outro critério foi o fato de haver estrada comunicando a BR-319 ao Rio Madeira, o que a torna uma região mais vulnerável no caso do asfaltamento da BR-319. Pela dificuldade de acesso, a região encontra-se relativamente preservada, não registrando até o momento atividades de desmatamento significativa.

Através de decreto presidencial, no dia 02 de janeiro de 2006 foi criada a ALAP (Área sob Limitação Administrativa Provisória) para a região do entorno da BR-319. Uma proposta de mosaico de unidades de conservação no entorno da rodovia encontra-se em estudo, incluindo a criação de Distrito Florestal Sustentável (Ministério do Meio Ambiente, 2006). Desta forma, estudos sobre as diferentes formações vegetais, cobertura da terra na região e indicadores de biodiversidade são fundamentais para subsidiar as estratégias de conservação em discussão.

O projeto de Biodiversidade da Rede GEOMA considera a região do interflúvio Madeira-Purus uma das áreas de estudo prioritárias, na qual deverá ser realizada uma missão de campo para caracterização da biodiversidade local. Estudos de modelagem, simulando os impactos do asfaltamento da BR-319, juntamente com as Unidades de Conservação propostas apontam áreas que serão alvos de desmatamentos ([http://www.dpi.inpe.br/geoma/Interfluvio\\_Madeira-Purus/](http://www.dpi.inpe.br/geoma/Interfluvio_Madeira-Purus/)). Contudo, o estágio atual do conhecimento da diversidade biológica e variabilidade ambiental da região não permite a real quantificação das perdas.

## **2.2 Variáveis utilizadas**

O critério para selecionar as variáveis, baseou-se na escolha das que possivelmente possuem um significado biológico em relação ao caso estudado (Fairbanks et al. 2001; van Rensburg et al. 2002). Devido a dificuldade de informações precisas e completas sobre a ocorrência das espécies, o uso de variáveis indicadoras torna-se cada vez mais promissor. Nelson et al. (2006) argumentam que nem as coleções biológicas, nem a modelagem preditiva baseada em nicho ecológico dão conta da heterogeneidade espacial da Amazônia e a descrição precisa de sua diversidade biológica. Sugerem o uso de indicadores que representariam o grau de dissimilaridade na composição de fauna e flora, entre sítios. Algumas variáveis, como a distância geográfica entre sítios, as barreiras à dispersão como os grandes rios, os atributos químicos e estruturais do substrato, a altitude e o clima (na Amazônia, intensidade e duração do período seco) poderiam servir como indicadores do grau de dissimilaridade (diversidade beta) entre unidades de planejamento dentro da Amazônia.

As variáveis selecionadas para este trabalho resumiram-se aos dados de topografia, caracterização climatológica e umidade do solo. Os dados de altitude foram obtidos através do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução de 90 m (disponível em: <http://srtm.usgs.gov/>).

Dados de pluviosidade foram obtidos a partir do Projeto WorldClim (disponível em <http://www.worldclim.org/>), com resolução de 1 km<sup>2</sup>, calculados através da diferença dos índices de pluviosidade seccionais a um período de 50 anos (1950/2000) (Hijmans et al. 2005). Os dados referentes à umidade do solo foram fornecidos pelo CPTEC (INPE), e também foram calculados através da diferença das medias seccionais referentes aos últimos 5 anos (Rossato et al. 2004). Devido à sazonalidade da região Amazônica, para os dados de pluviosidade e umidade do solo, foram selecionados os meses de fevereiro, para representar a época das chuvas (inverno) e o mês de junho para o período da seca (verão).

## **2.3 Pré-processamento dos dados**

Os dados foram trabalhados em uma estrutura de células: para cada elemento de 2 km x 2 km no espaço há um conjunto de atributos climáticos e ambientais que o descreve. Estas células foram as unidades que alimentaram a rede neural para classificação do espaço em regiões homogêneas. Para tanto, foram necessários procedimentos para gerar as células, extrair os valores específicos para cada unidade, o que permitiu a classificação final da área de estudo.

Inicialmente, utilizando a software TerraView ([www.dpi.inpe.br/terraview](http://www.dpi.inpe.br/terraview)), tomando as coordenadas geográficas como referência inicial, as células (de 2 km<sup>2</sup>) foram automaticamente geradas. As grades, contendo as variáveis de topografia, clima e umidade do solo, foram interpoladas pelo método bilinear, para obter uma resolução de 2 km, compatível com a unidade de análise, no sistema SPRING (Câmara et al., 1996). As células foram importadas também para o banco de dados do SPRING, e através de um operador de média zonal, utilizando um código em LEGAL do software SPRING, calculou-se o valor médio de cada variável para cada uma das 3618 células.

Finalmente, a tabela com os atributos de cada célula foi manipulada em planilha (Excel) para as duas últimas atividades do pré-processamento dos dados:

- Os valores médios de cada variável mensal (umidade do solo e pluviosidade) do mês de junho foram subtraídos dos respectivos valores de fevereiro.
- Normalização dos valores de todas as variáveis entre 0 e 1, onde a partir do valor máximo de cada variável foi dividida por cada valor obtido.

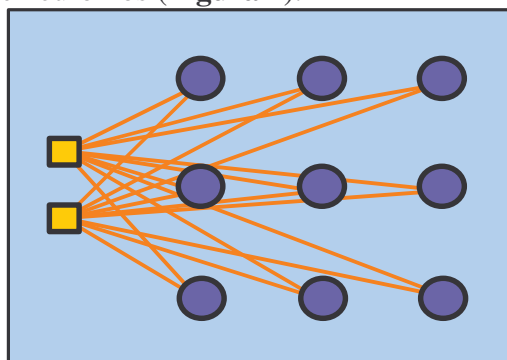
Após este pré-processamento, os dados estavam adequadamente formatados para dar entrada no procedimento de classificação, através do mapa auto-organizável implementado.

## 2.4 Mapas auto-organizáveis

Para caracterizar a heterogeneidade ambiental da área de estudo, procedeu-se o agrupamento das regiões, manipuladas como células neste trabalho, com características semelhantes. Além de agrupar, o objetivo inclui descobrir o número de grupos significativos de heterogeneidade existentes na área (Haykin, 2002). A ferramenta escolhida para promover esta análise de agrupamentos, ou “clusterização” foi uma rede neural do tipo SOM (Self-Organizing Maps).

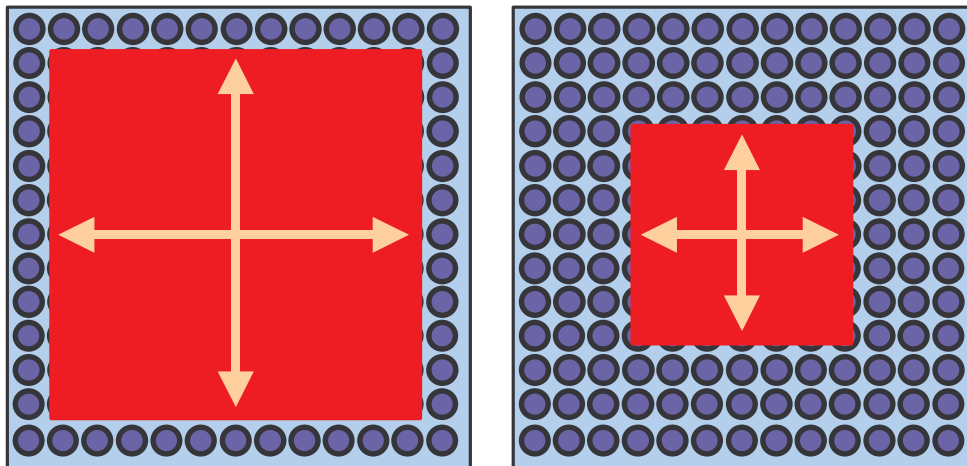
Teuvo Kohonen por volta de 1972 definiu um novo modelo de rede neural, conhecido como mapa de características auto-organizável (Kohonen, 1990). Este modelo, baseado em aprendizagem não supervisionada, apresenta as seguintes características:

- Topologia: A camada de entrada é totalmente conectada a uma camada multidimensional de neurônios (**Figura 2**).



**Figura 2** – Topologia SOM. Os quadrados em laranja são as camadas de entrada, os círculos em azul são os neurônios.

- A aprendizagem utilizada pelas redes do tipo SOM é do tipo competitiva, onde os neurônios competem para ser o vencedor e ter seus pesos sinápticos atualizados (Haykin, 2002).
- Existe um fator de colaboração nesse processo de aprendizagem. O neurônio vencedor possui influência sobre a sua vizinhança, o que permite que os pesos sinápticos dos neurônios vizinhos a um neurônio vencedor também sejam atualizados. É interessante destacar que normalmente essa área de influência do neurônio vencedor deve diminuir progressivamente ao longo do processo de aprendizagem (Haykin, 2002). A **Figura 3** exemplifica esta característica do processo de aprendizagem.



**Figura 3** – Área de colaboração do neurônio vencedor ao longo do tempo.

### 3.0 Resultados

Para este trabalho projetou-se uma rede neural com uma camada de três neurônios de entrada e uma camada bidimensional de 400 neurônios.

A base de dados normalizada, composta por 3618 padrões, referentes a cada célula de 2 km<sup>2</sup>, foi apresentada à rede por 1000 épocas. Estabeleceu-se uma taxa de aprendizagem inicial de 0,3%, e como área inicial de influência do neurônio vencedor igual a quatro. A área de influencia do neurônio vencedor foi reduzida progressivamente até ser igual a um, estes valores foram escolhidos, com base em métodos exploratórios.

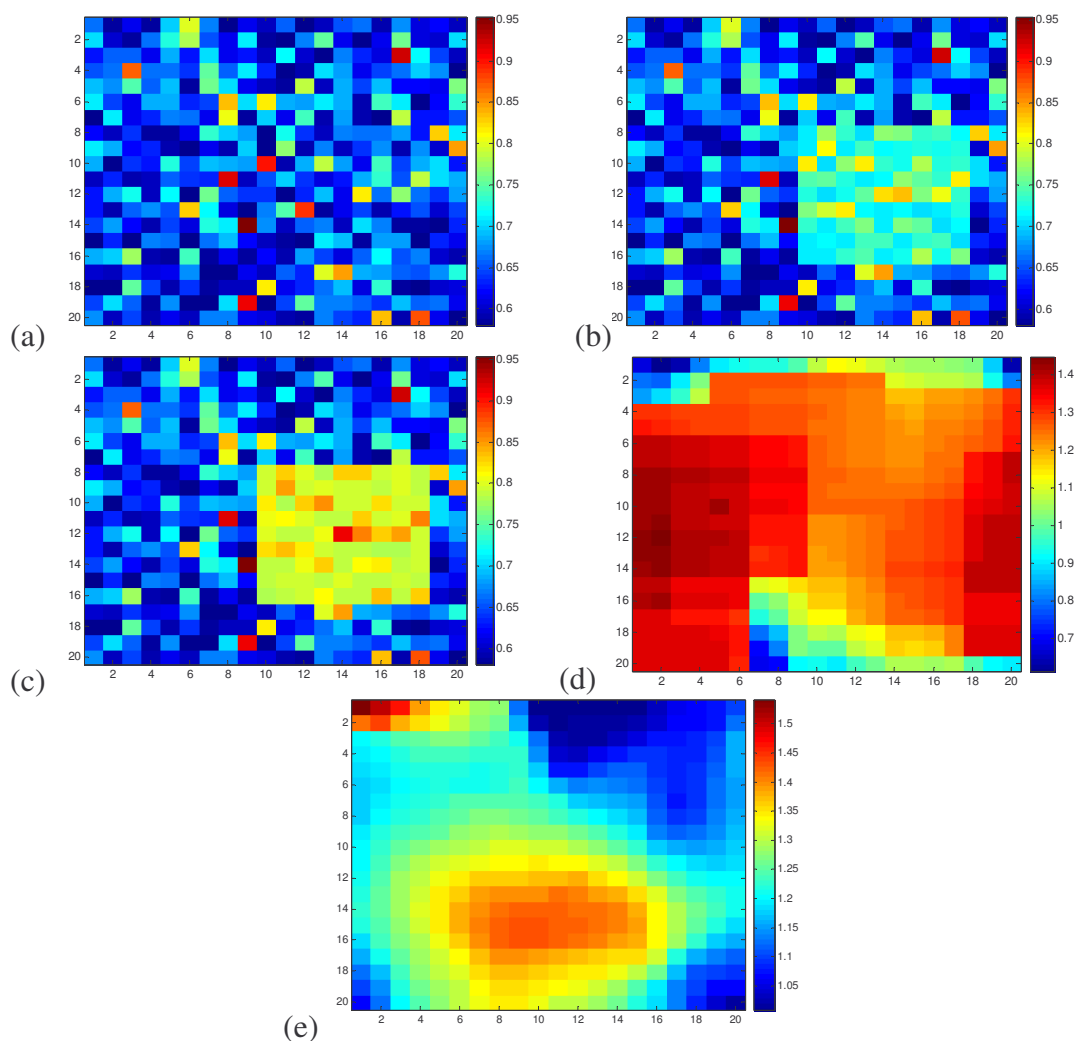
O tempo total demandado para o treinamento da rede foi de 102 minutos. O progresso do treinamento, ao longo das 1000 épocas, encontra-se ilustrado na **Figura 4**.

O mapa obtido (**Figura 4**) retrata as classes encontradas durante o treinamento e a especialização dos neurônios da rede em reconhecer as mesmas. Estes mapas não representam o espaço geográfico da área de estudo, mas o espaço dos atributos, das variáveis geofísicas utilizadas na rede. Ao término do treinamento todos os padrões foram rerepresentados à rede com a finalidade de mapear os neurônios correspondentes às células. Através desse mapeamento para cada célula foi determinada uma classe.

Para visualizar a distribuição das classes encontradas dentro da região de estudo, os índices indicadores da classe de cada célula foram adicionadas à tabela do plano de informação original, no banco de dados TerraView. Foram encontradas 12 classes, a cada qual foi associada uma legenda, o que permitiu a visualização da área de estudo baseada nas classes da rede neural (**Figura 5**).

De modo a avaliar o resultado sobre a área de estudo, os limites das classes, agrupadas a partir das células são apresentados na **Figura 6**. Analisando integradamente as Figuras 5 e 6, observa-se que áreas relativamente homogêneas na visualização da imagem de satélite (**Figura 6**) foram subdivididas em classes distintas ao se aplicar a rede neural considerando as variáveis geofísicas deste estudo.

Observa-se genericamente que o relevo parece ter condicionado a maioria das classes identificadas. A classe 4, por exemplo, está associada à floresta de várzea, observada em toda margem do rio Madeira. Esta classe é também encontrada contornando a região de baixios.



**Figura 4** – (a) mapa antes do início do treinamento; (b) mapa após apresentação do primeiro padrão na primeira época; (c) mapa após apresentação do segundo padrão na primeira época; (d) mapa após apresentação de todos os padrões da primeira época; (e) mapa após 1000 épocas.

As classes 1 e 2 encontram-se aparentemente associadas a pequenos rios e mata de igapó, e às áreas mais planas, de platô no interflúvio. Na classe 8 encontra-se o complexo de campina e campinarana (representadas pela cor magenta na imagem de satélite da **Figura 6**), mas não definem exatamente os limites desta fisionomia. Como as regiões de campina são áreas de captação de água e estão nos divisores das micro-bacias, talvez esta peculiaridade tenha sido capturada na classificação, e não apenas a feição florestal predominante

As classes 10, 11 e 12 estão fora do interflúvio Madeira-Purus e não tiveram área semelhante no interior do interflúvio, o que pode sugerir características distintas na outra margem do Rio Madeira.

Em uma abordagem semelhante a este trabalho, Hargrove e Hoffman (2005), utilizando análise de cluster geográfico multivariado, definiram ecorregiões para os Estados Unidos. Os autores justificam que não há critério estatístico que permita avaliar se as regiões estão certas ou erradas, mas defendem que ecorregiões devem ser criadas de modo que todas as regiões em um mesmo mapa tenham heterogeneidade ambiental similares. Desta forma, acredita-se que a caracterização aqui apresentada é uma proposta inicial para capturar a heterogeneidade desta importante região Amazônica.

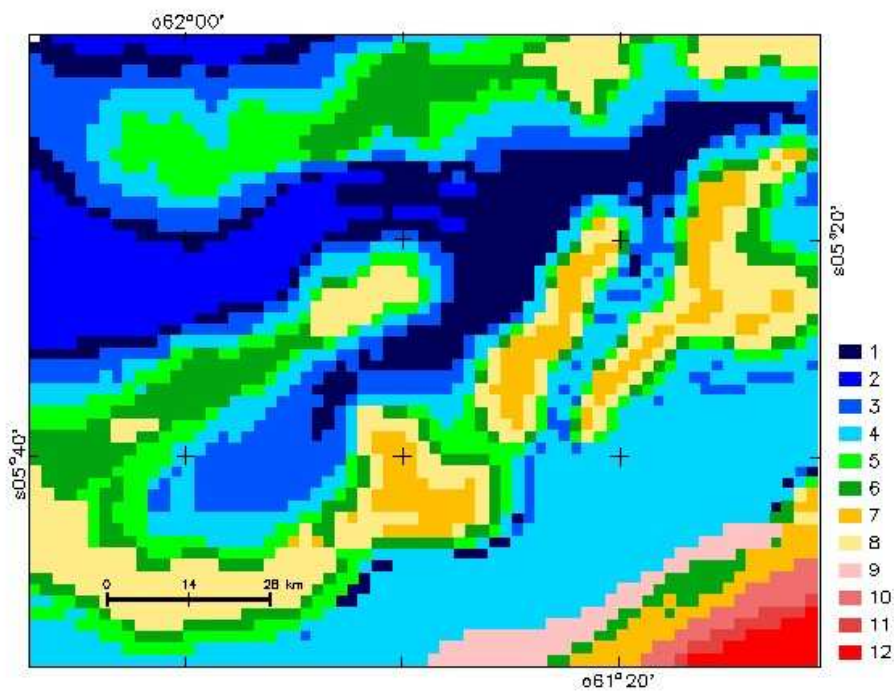


Figura 5 – Classificação da área de estudo baseada na rede neural.

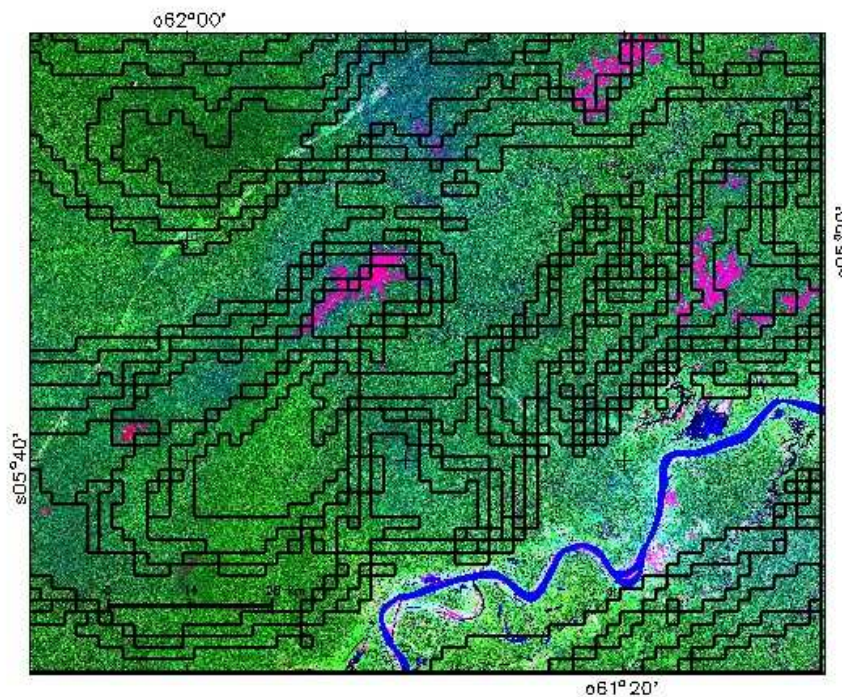


Figura 6 – Limites das 12 classes, sobrepostos a imagem ETM+/Landsat, composição 7(R)4(G)2(B).

#### 4.0 Considerações finais

Este trabalho apresentou uma primeira proposta de caracterização de uma área do interflúvio Madeira-Purus, classificando-a a partir da análise de agrupamentos sobre as variáveis geofísicas. Estas informações revelam uma heterogeneidade intrínseca da área, não observável por cada uma das variáveis independentemente, ou nos mapas de vegetação e solo disponíveis.

Esta caracterização será útil para definir o desenho amostral de um trabalho de campo que deverá avaliar estes resultados.

Os dados geofísicos utilizados mostraram a heterogeneidade da região de estudo, identificando classes semelhantes ao conceito adotado para determinar as “ecorreções”. Contudo, outras simulações, considerando um conjunto maior de variáveis para o qual se avalie a importância de variável, e análises mais criteriosas dos resultados devem aprimorar este resultado inicial para propor uma caracterização mais definitiva da área. Caso os dados de campo corroborem esta proposta, mais uma informação valiosa para estudo e inferência da diversidade biológica será disponível para exercícios de planejamento e propostas de conservação.

## Referências

- Brunckhorst, D. **Bioregional planning: resource management beyond the new millennium**. Harwood Academic Publishers: Gordon & Breach, Amsterdam. 2000.
- Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- Fairbanks, D. H. K.; Reyes, B.; van Jaarsveld, A. S. Species and environment representation: selecting reserves for the retention of avian diversity in KwaZulu-Natal, South Africa. **Biological Conservation**, v. 98, p. 365-379, 2001.
- Haykin, S. S. **Redes Neurais – Princípios e Prática**. Bookman Companhia Ed. 2ª edição, 2001.400 p.
- Hargrove, W. W.; Hoffman, F. M. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualizations of ecoregions. **Environmental Management**, v. 34, n. 1, p. S39-S60, 2005.
- Hijmans, R. J.; Cameron, S. E.; Parra, J. L.; Jones, P. G.; Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, 2005, 25: 1965-1978 p.
- Hutchinson, G. E. Concluding remarks. **Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology**, v. 22: p. 415-427, 1957.
- Kohonen, T. The Self-Organizing Map. **Proceedings of the IEEE**, v. 78, n. 9, p. 1464-1480, 1990.
- Ministério do Meio Ambiente 2006. Consultas públicas para criação de unidades de conservação na região de entorno da BR-319 (Manaus-Porto Velho), Área sob Limitação Administrativa Provisória – ALAP. Brasília, 12p.
- Nelson, B.; Albernaz, A.L.M.; Soares Filho, B. 2006. **Estratégias de Conservação para o Programa ARPA**, Relatório de Atividades, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Áreas Protegidas, Ministério do Meio Ambiente. Cuiabá. 69 p.
- Rossato, L.; Alvalá, R. C. S.; Tomasella, J. Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: Análise das condições médias para o período de 1971-1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 113-122, 2004.
- van Rensburg, B. J., Chow, S. L., Gaston, K. J. Species richness, environmental correlates, and spatial scale: a test using South African Birds. **The American Naturalist**, v. 159 n. 5, p. 566-577, 2002.