

## Avaliação da aplicabilidade de técnicas estatísticas multivariadas no estabelecimento de relações de equivalência em compartimentação fisiográfica

Mirley Ribeiro Moreira<sup>1</sup>  
Paulina Setti Riedel<sup>1</sup>  
Paulo Milton Barbosa Landim<sup>1</sup>  
Samia de Moura Passarella<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP/IGCE  
Avenida 24 A, 1515 – 13506-900 - Rio Claro - SP, Brasil  
{mirleyrm;psriedel;plandim;samiamp}@rc.unesp.br

**Abstract:** Satellite images record surface features based on their different spectral behaviors and spatial arrangements. As such, these features are discernable from different shades of gray and textural variations seen in the images. These textural variations represent a systematic utilization of various techniques, which converge for a single objective: compartmentalization of the image. In general, texture is used as an important tool in the interpretation of relief forms, drainage patterns and vegetative cover and land-use patterns. Through the application of multivariable statistical analyses, it is possible to reduce the subjective character of textural analysis and correspondence between homologous zones, enhance the discrimination of different elements in an image. These methods can help find a model that allows for a better explanation of the compartmentalization and equivalence between zones that consist of similar textures.

**Palavras-chave:** remote sensing, texture, cluster analysis; sensoriamento remoto, textura e análise de agrupamento.

### 1. Introdução

As imagens orbitais são de fundamental importância para estudos que requerem a análise da distribuição espacial de fenômenos e se tornaram grandes aliadas nas pesquisas em diversos ramos das Ciências da Terra. Atualmente, tem-se procurado analisar a imagem não somente de forma qualitativa e sim também quantitativa, adequando técnicas com bases estatísticas, no intuito de extrair, explorar e possibilitar maior velocidade, objetividade e sistematização das análises envolvidas em um determinado estudo de caso.

Para se estudar o meio físico, com o apoio de imagens de sensoriamento remoto, muitas vezes é necessário compartimentá-lo. Uma vez compartimentado, torna-se necessário agrupar compartimentos que tenham as mesmas características para facilitar as análises que venham a ser desenvolvidas sobre estas áreas.

O princípio utilizado para a compartimentação de terrenos, a partir da interpretação sistemática de produtos de sensoriamento remoto, baseia-se no fato de que os elementos fisiográficos interagem de maneira diferente de área para área em função de variações nos fatores (clima, tectônica, etc.) que regem sua evolução. Isso faz com que esses elementos apresentem-se sob formas particulares em cada região, determinando assim diferentes paisagens. Essas paisagens específicas são refletidas na imagem através de texturas também específicas e que são resultado da organização espacial dos diferentes tipos de elementos texturais (Vedovello e Mattos, 1989).

As imagens normalmente são interpretadas pela variação de tonalidade associada a diferentes respostas de cada alvo terrestre no momento do seu imageamento. Essa variação é também representada pela textura, que sob o aspecto fisiográfico é identificada por regiões de iluminação e sombreamento, as quais se apresentam em pares alternados diante da superfície. Essas texturas, normalmente estudadas através dos elementos texturais de relevo e drenagem,

englobam uma diversidade de fatores no momento de sua interpretação, como: propriedades das formas, organização, estrutura dos elementos texturais, entre outros. Essas propriedades dependem exclusivamente do alvo ou do conjunto de alvos que foi imageado.

Ao se trabalhar no estabelecimento de limites entre zonas ou compartimentos da imagem, e sua posterior equivalência, o sistema visual humano ou a percepção humana irá trabalhar basicamente com duas características: a tonalidade e a textura, as quais possuem uma inter-relação, pois sem variações tonais, nenhuma mudança na textura poderia ser percebida na imagem. Por conseguinte, no momento da delimitação e da equivalência das áreas, o fotointérprete as classifica segundo suas propriedades e características semelhantes, seguindo determinados critérios. Portanto, diante da percepção intrínseca de cada fotointérprete com relação a uma imagem de satélite, surge uma problemática, a subjetividade, que é consequência da diversidade da percepção humana.

Para reduzir esta subjetividade, pode-se trabalhar com técnicas de processamento digital de imagens, que trazem inúmeras vantagens na manipulação de dados do sensoriamento remoto, facilitando detectar informações que, às vezes, o olho humano não consegue identificar ou ainda com técnicas estatísticas, que muitas vezes são a própria base dos algoritmos de processamento digital de imagens .

Em geral, a textura apresenta-se como uma ferramenta valiosa na interpretação de formas de relevo, drenagem e de padrões da cobertura vegetal e de uso da terra. Acredita-se que, a partir da utilização das técnicas estatísticas pode-se contribuir para a redução do caráter subjetivo da análise textural, favorecer a discriminação de elementos imageados e encontrar um modelo que possibilite explicar mais satisfatoriamente o estabelecimento de equivalência entre áreas interpretadas da imagem.

## 2. Objetivo

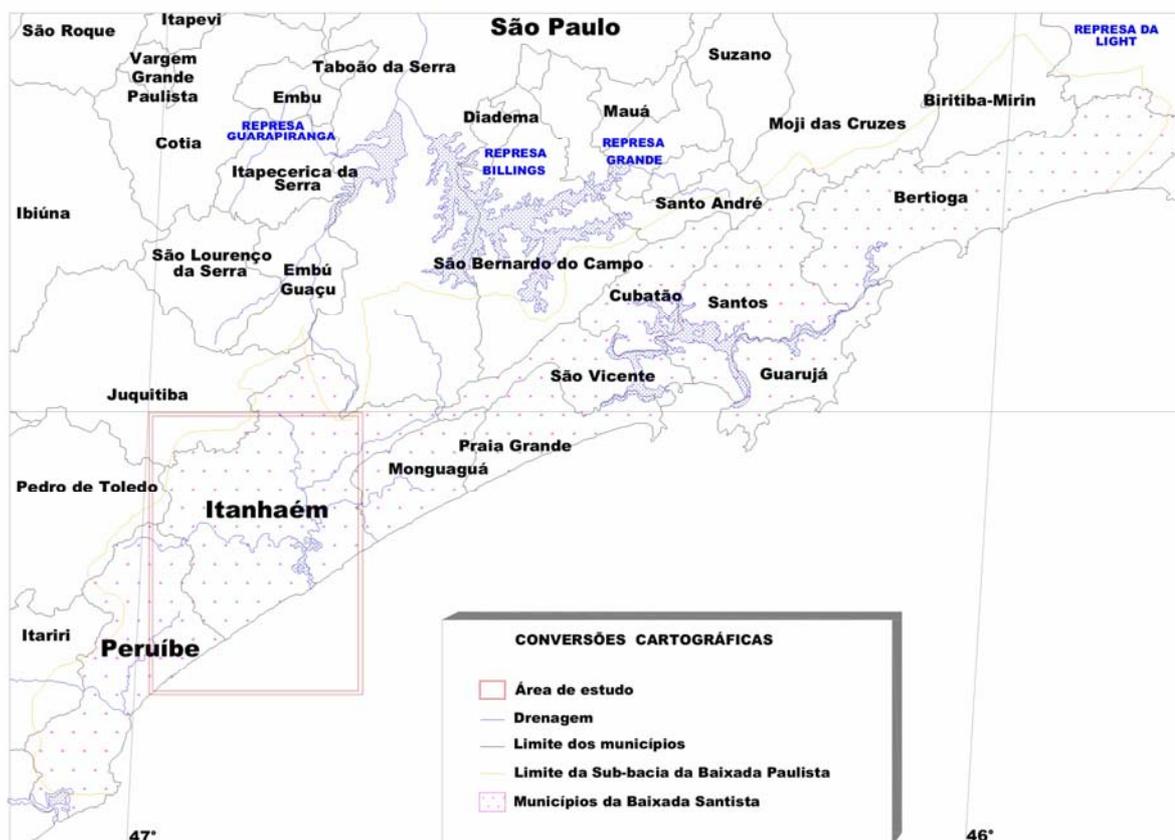
A interpretação visual se utiliza de uma sistematização de várias técnicas, que fornecem subsídios à compartimentação de uma imagem de sensoriamento remoto. Esta compartimentação, baseada nas propriedades dos elementos texturais da imagem, pode ser voltada a fins específicos, como a separação de diferentes tipos de uso e cobertura vegetal, de diferentes litologias ou diferentes compartimentos fisiográficos, que ser.

A partir desse propósito, o objetivo geral do trabalho é avaliar como a análise estatística multivariada pode contribuir para a redução da subjetividade inerente aos processos de equivalência , necessários em uma compartimentação fisiográfica.

## 3. Localização da área em estudo

A área de estudo, ilustrada na **Figura 1** , abrange os municípios de Itanhaém e Peruíbe, estando compreendida entre os paralelos 24° e 24°20' de latitude sul e entre os meridianos 46° e 46°45' de longitude oeste . As vias de acesso são a BR-116 (Rod. Régis Bittencourt) que liga a SP-165 e a SP-055 (Rod. Manoel da Nóbrega).

Segundo IPT (1981b), a área de estudo está geomorfologicamente situada em 4 unidades geomórficas: planície costeira, relevo de morrotes, relevo de morros , relevo montanhoso e escarpas. A planície costeira é representada pelas porções mais externas, junto ao litoral, e internas, ao pé da zona serrana, da área de afloramentos quaternários; tratam-se de terrenos baixos e mais ou menos planos, drenados e sujeitos a inundações. Geologicamente esta área se apresenta com sedimentos marinhos e mistos, onde predominam depósitos marinhos localmente retrabalhados por ação fluvial e/ou eólica termos areno-siltico-argilosos de deposição flúvio-marinho-lacustre e depósitos de mangue. (IPT; 1981a e Giannini; 1987).



**Figura 1** – Localização da área em estudo

As áreas com serras alongadas, com altitudes máximas variando entre 800 a 1000m, são caracterizadas por topos angulosos, vertentes ravinadas e drenagem de alta densidade, com padrão paralelo-pinulado. Esta unidade geomórfica é representada na região da serra de Peruíbe. Ocorrem morros com serras restritas, definidos por topos arredondados, vertentes com perfil retilíneo, vales fechados e padrão de drenagem dentrítico a pinulado (IPT, 1981b).

As escarpas festonadas são caracterizadas por anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, drenagem de alta densidade, padrão subparalelo a dendrítico e vales fechados, constituído de migmatitos heterogêneos de estruturas variadas.

#### 4. Materiais

Para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se imagem LANDSAT 7 ETM+, em formato digital, referente à órbita 219, ponto 077, data 30/04/2000, bandas 3, 4 e 5, azimute 41.58, elevação solar 39.68. Os produtos cartográficos foram obtidos junto ao Instituto Geológico (IG-SMA), em formato digital, na escala de 1:50.000. Os *softwares* utilizados foram o *Idrisi for Windows*, versão 3.2 e o *software XLSTAT* versão 5.0.

#### 5. Métodos

A metodologia foi organizada em duas seqüências de trabalho: na primeira realizou-se a compartimentação fisiográfica a partir da análise integrada dos elementos de relevo e

drenagem observados na imagem, os quais refletem as características texturais de cada compartimento, aqui denominado de unidade básica de compartimentação (UBC), segundo Vedovello (2000).

A interpretação da imagem foi realizada visualmente, conforme metodologia de Soares e Fiori (1976), adaptada por Veneziani e Anjos (1982). Segundo esta metodologia, a interpretação é baseada na análise dos elementos texturais de relevo e drenagem, pois os mesmos permitem separar feições com significado diferente ou associar feições com o mesmo significado, dado por condições naturais. As propriedades descritas foram: densidade; tropia; tipo de encosta; forma do topo. Estas propriedades são fundamentais para a interpretação e delimitação de zonas homólogas, as quais são definidas pela composição dessas propriedades e de interesse à pesquisa.

Na segunda seqüência procurou analisar os compartimentos segundo suas similaridades, aplicando duas técnicas estatísticas multivariadas, a análise das correspondências e análise de agrupamentos (*Cluster*).

O primeiro método a ser explorado, pode ser apresentado como uma técnica geométrica capaz de representar em um espaço bidimensional a distribuição simultânea de amostras e variáveis, ou seja, linhas e colunas (Landim, 2001). É melhor aplicado em tabelas de contingência (codificação binária), que consiste em dois critérios: sim ou não.

Desta forma, para a aplicação do método, as variáveis em análise que podem ser qualitativas, são traduzidas em valores quantitativos binários, onde o valor 1 significa presença da variável e o valor 0 representa sua ausência. Os resultados obtidos no processamento da análise das correspondências são normalmente visualizados de forma gráfica no espaço bidimensional, onde as porcentagens ao longo de cada eixo representam a variabilidade presente nos dados.

O segundo método utilizado é a análise de agrupamentos (*cluster analysis*) que é uma ferramenta que procura agrupar dados homogêneos a partir de coeficientes de similaridade ou de correspondência. O coeficiente de similaridade indica a força de relação entre os indivíduos ou variáveis, fixando um valor comum aos mesmos (Everitt, 1993).

Existem técnicas de agrupamentos que vem sendo propostas, no entanto o mais comumente usado, segundo Landim (2001), é o agrupamento pareado igualmente ponderado (*unweighted pair-group method "UPGM"*), que realiza o cálculo dos valores médios das variáveis e atribui sempre o mesmo peso aos dois elementos que estão sendo integrados.

O resultado do processamento da análise de agrupamento são classificações hierárquicas, que podem ser representadas por um diagrama bidimensional conhecido como dendograma, que ilustra de forma gráfica o resultado final dos diversos agrupamentos. Nele estão dispostos linhas ligadas segundo os níveis de similaridade, que agrupará pares de indivíduos ou de variáveis segundo Everitt (1993) e Landim,(2001).

## 6. Resultados

Ao se realizar a compartimentação, através da interpretação visual em tela, seguindo critérios avaliados por Soares e Fiori (1976); Veneziani e Anjos (1982) e IPT (1981b); foram obtidos 72 compartimentos. As propriedades descritas para cada compartimento foram organizadas na forma de uma tabela, conforme é mostrado a seguir (**Tabela 1**):

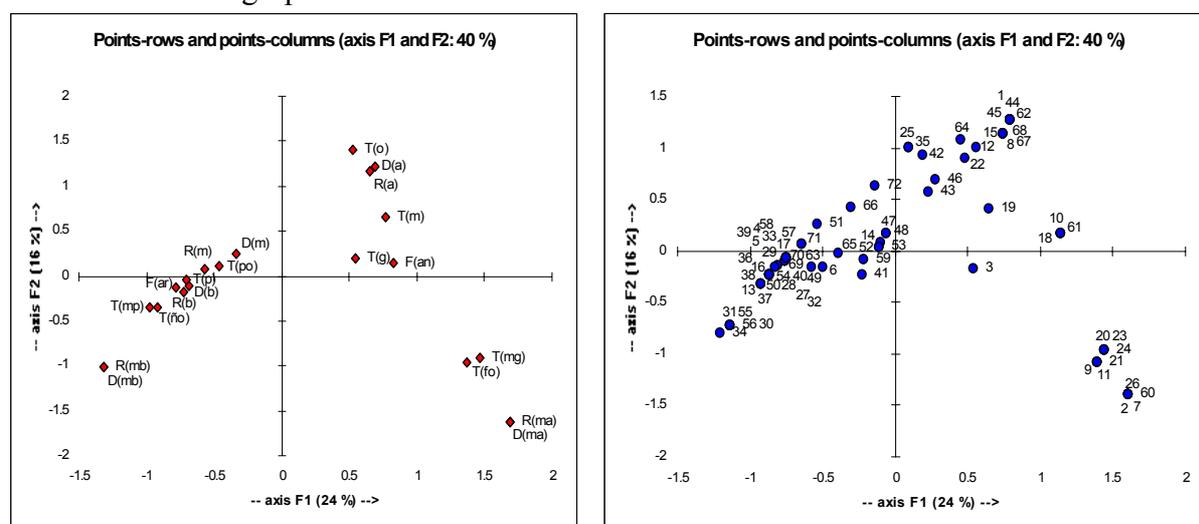
**Tabela 1** – Caracterização dos compartimentos fisiográficos, segundo critérios fotointerpretativos. Exemplo para algumas das 72 unidades básicas de compartimentação (UBCs)

**Legenda:** Para **densidade:** MA (muito alta), A (alta), M (média), B (baixa), MB (muito baixa); **Tropia:** NO (não orientado), PO (pouco orientado), MO (muito orientado); **Tipo de Encosta:** X (convexa), R (retilínea), V (côncava), VX (côncavo-convexa); **Forma de Topo:** C (contínuo), R (restrito), A (agudo).

UBCs	Densidade	Tropia	Tipo Encosta	Forma topo
SKE1	M	P O	X	C A
SKE2	M	P O	R	R A
SKE3	M	M O	R	C A
SKE4	A	P O	RX	R X
SKE5	M A	M O	R	C X
SKE6	M	Ñ O	X	R X

Após a interpretação visual da imagem, realizada em tela, houve uma certa dificuldade em avaliar a similaridade entre os vários compartimentos. Desta forma, buscou por meios estatísticos analisar e avaliar a similaridade e/ou a correspondência dos compartimentos com os seus vizinhos. Essa análise se apresentou de grande importância para completar o processo de compartimentação, a partir do conhecimento de semelhanças e diferenças entre cada compartimento.

Analisando-se os resultados obtidos no processamento da análise das correspondências (**Figura 2**), observa-se que os compartimentos distribuíram-se por quadrantes distintos, de acordo com a distribuição das variáveis utilizadas na análise e responsáveis pelo agrupamento (**Figura 2A**). Nota-se que a princípio os quadrantes apresentaram dois grandes grupos orientados: lado esquerdo e o lado direito dos quadrantes. Analisando-se os compartimentos traçados, conjuntamente com o mapa geomorfológico, pode-se identificar que há dois relevos bastante marcantes, o da escarpas festonadas e o relevo de morros e morrotes. Portanto, explicar esse agrupamento por formas diferenciadas de relevo seria bem mais fácil, no entanto o objetivo de usar uma técnica estatística multivariada é de analisar compartimentos similares formadores de subgrupos.



**Figura 2** – Análise das correspondências entre variáveis (A) e amostras (B).

O resultado do processamento da análise das correspondências é melhor avaliado por meio de quadrantes individuais, os quais proporcionam uma melhor avaliação dos agrupamentos formados pelo processamento. Portanto no quadrante superior direito da **Figura 2B**, são identificados uma dispersão dos identificadores 12, 19, 22, 42, 43, 46 e 64, juntamente com a presença de quatro subgrupos, **1º** - 10, 18 e 61; **2º** - 8, 15, 67 e 68; **3º** - 1, 44, 45 e 62 e **4º** - 25 e 35, os quais são pertencentes à classificação de escarpas festonadas. A amostra 15, caracterizada visualmente como serra alongada no mapa geomorfológico, se agrupou no segundo subgrupo. Esse resultado foi devido ao compartimento se apresentar com características de densidade de relevo e drenagem alto, que designa uma região de escarpas festonadas.

As amostras 12, 19, 22, 43, 46 e 64 corresponderam ao grupo de escarpas festonadas e apenas o identificador 42 que quando comparado ao mapa geomorfológico apresentou-se como relevo de morrotes. Analisando a amostra 42 verificou-se uma densidade de relevo alta e com uma tropia orientada. Essas características favoreceram o agrupamento da variável 42, pois apresentava uma densidade de relevo e drenagem alta, tamanho das feições variando de médio a grande, tropia orientada e forma dos topos angulosos. Essas características foram determinantes para o agrupamento deste compartimento na classe de escarpas.

Analisando-se o quadrante inferior direito da **Figura 2B**, verificou-se basicamente 3 grupos distintos: **1º** - 2, 7, 26 e 60; **2º** - 9, 11 e 21 e **3º** - 20, 23 e 24, que quando analisados foram identificados como pertencentes a um grupo maior, com a caracterização de escarpas festonadas. As variáveis que determinaram essa concentração foram a densidade de relevo e drenagem muito alta, tropia fortemente orientada e tamanho das feições muito grande, conforme pode se observado na **Figura 2A**. Essas características determinam compartimentos com anfiteatros bem definidos e de forte expressão. O identificador 3 localizado próximo ao eixo F1, apresentou um certo isolamento dos demais grupos, que quando verificado no mapa geomorfológico apresentou-se como morros isolados.

Analisando-se o quadrante superior esquerdo na **Figura 3**, foram identificados 3 subgrupos, sendo eles: **1º** - 47 e 48; **2º** - 52 e 53 e **3º** 57 e 71, e demais identificadores 14, 51, 59, 66 e 72. Esses identificadores apesar de estarem próximos, não se agruparam em nenhum subgrupo.

Esses subgrupos se agruparam pelos aspectos determinantes da tropia pouco orientada e densidade de relevo e drenagem médio, conforme pode ser observado na **Figura 2A**.

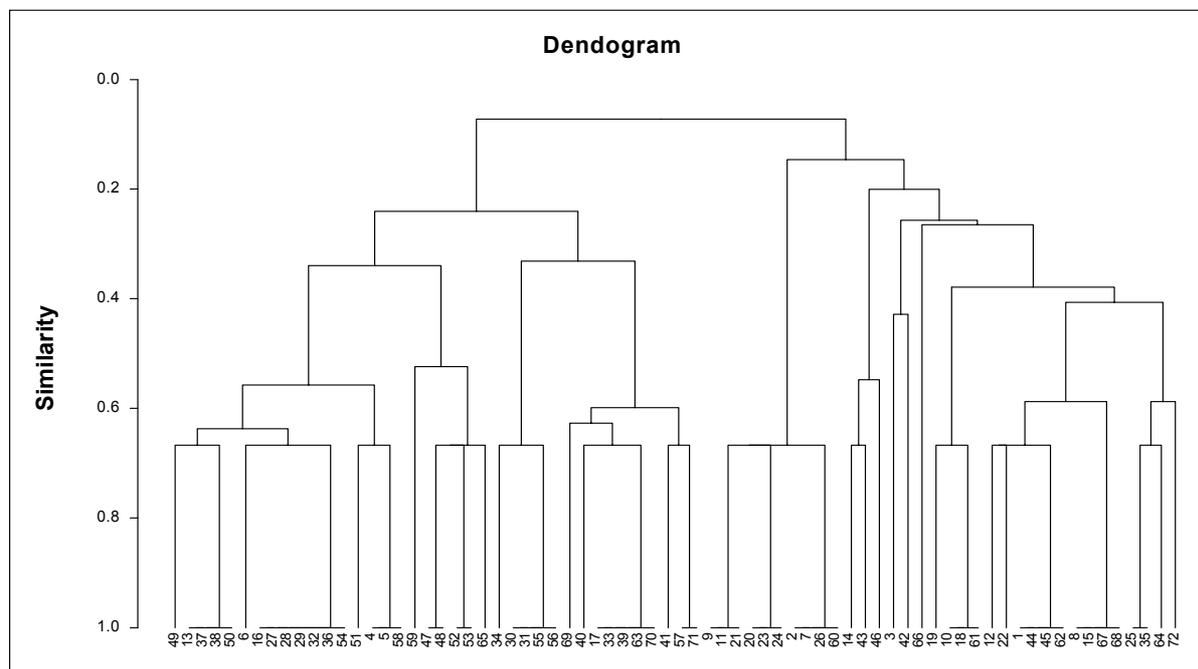
Ao se analisar o quadrante inferior esquerdo em ambas as **Figuras, 2A e 2B**, nota-se que vários compartimentos se aglomeraram devido à presença da tropia não orientada, tamanho das feições pequeno a muito pequeno, densidade de drenagem e de relevo baixa a muito baixa e forma dos topos arredondados. Essas características proporcionaram uma aproximação do relevo de morrotes (morrotes baixos e morrotes em meia laranja) com o relevo de morros (morros com serras restritas e morros isolados). As variáveis mais incidentes nesses compartimentos foram a tropia não orientada T(ño) e pouco orientada e a densidade de relevo e drenagem baixa a muito baixa.

Diante da análise constatou-se a formação de 7 subgrupos que foram: **1º** - 13, 37, 38 e 50, **2º** - 16, 27, 28 e 29; **3º** - 32, 36 e 54; **4º** - 40 e 69; **5º** - 4, 5 e 58, **6º** - 17, 33, 39, 63 e 70, **7º** - 30, 31, 55 e 56, no entanto alguns compartimentos apresentaram-se únicos (6, 34, 41, 49, 59 e 65) ,ou seja, com uma classificação indefinida quanto ao seu subgrupo ao longo dos quadrantes.

Outro método estatístico utilizado para subsidiar a análise da similaridade entre os vários compartimentos da área de estudo foi a análise de agrupamentos.

A escolha do procedimento de agrupamento a ser adotado foi baseada na análise da matriz inicial de dados, conforme sugere Landim(2001). Optou-se pela utilização do

agrupamento igualmente pareado (UPGM), com a utilização do coeficiente de Jaccard. A Figura 3 apresenta o dendograma produzido pela análise de agrupamentos.



**Figura 3** - Dendograma resultante do modo (UPGM) com a utilização do coeficiente de Jaccard.

Na **Figura 3** pode-se visualizar dois grandes agrupamentos principais, os quais se dissipam em agrupamentos menores.

O agrupamento mais marcante é o classificado como escarpas festonadas que apresentou um total de 9 subgrupos; avaliando-se os subgrupos, observou-se que o 1º, 2º, 3º e 4º apresentaram elementos qualitativos que os classificam como um relevo de escarpas festonadas. Somente o identificador 15, presente no 2º subgrupo, que quando analisado com o mapa geomorfológico, foi classificado como serra alongada, fugindo então do espaço classificatório de escarpas festonadas.

Analisado o 2º grupo e classificado como relevo de morros e morrotes, observou-se 7 subgrupos. Houve identificadores que, quando comparados com o mapa geomorfológico, apresentaram tipos diferenciados de relevos, como é o caso dos identificadores 3 e 42 que se encontram no grupo de escarpas festonadas e no entanto são classificados geomorfológicamente como morros isolados.

## 7. Conclusão

O método convencional de fotointerpretação apresenta grande potencial de discriminação de áreas. O resultado deste processo, aliado à utilização de técnicas estatísticas multivariadas para subsidiar a análise de correspondência entre os compartimentos traçados foi bastante positivo. Os resultados obtidos foram muito satisfatórios, mas deve-se deixar claro que quanto maior for o detalhamento qualitativo utilizado na descrição das propriedades dos compartimentos, maior o quantitativo associado, e portanto, maior a precisão dos resultados. Diante dos resultados obtidos fica claro que a subjetividade não pode ser eliminada, talvez minimizada quando a fotointerpretação for associada aos procedimentos aqui avaliados.

## **Bibliografias**

Everitt, B. S. **Cluster Analysis**. London, 1993. Ed. Arnold. 3º Ed.

Figueiras, E. Q., **Síntese de texturas utilizando modelos estatísticos espaciais**, 2000(INPE - 7499-TDI/714). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000,

Franzoni, A.M. B; Lapolli, É. M. E Mattos, J. T.; **O uso do Sensoriamento Remoto na caracterização do meio físico visando o estudo do sistema viário**. IIIº Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais ao Setor de Transportes, 1998. [http://200.180.38/ii encontro/autores/PIG/principal.htm](http://200.180.38/ii Encontro/autores/PIG/principal.htm).

Giannini, P. C. F. **Sedimentação quartenária na planície costeira de Peruíbe-Itanhaém (SP)**, Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. 1987.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. IPT, v. 1, São Paulo, 1981a. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. IPT, v. 1, São Paulo, 1981b. Escala 1:500.000.

Landim, P. M. B. **Geologia Quantitativa: Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados**. Rio Claro - SP, 2001.(Livro em CD-ROM).

Vedovello, R. **Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana**.1993, 90pg. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993.

Vedovello, R. **Zoneamento geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs**. , 2000, 154p. Dissertação (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista - Campus de Rio Claro, 2000.

Vedovello R. e Mattos, J. T. de, A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas. Uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**. Florianópolis, 1998 (Artigo em CD-ROM).