



INTERPRETAÇÃO DAS FISIONOMIAS DA PAISAGEM E SUA FISIOLOGIA A PARTIR DO SENSORIAMENTO REMOTO NO SUL DO BRASIL

Roberto Luiz dos Santos **Antunes**¹; Jurandyr Luciano Sanches **Ross**².

(1 - Universidade de São Paulo - USP, Doutor em Geografia Física, roberto.anthunes@gmail.com; 2 - Universidade de São Paulo - USP, professor Titular do Departamento de Geografia, juraross@usp.br)

Resumo: Os elementos que compõem a paisagem estão relacionados e interconectados de tal forma que os mecanismos de funcionamento que refletem na diversidade das suas fisionomias são entendidos como decorrentes das relações de troca de energia e matéria entre esses componentes. Desta forma, para a verificação dos níveis de interconexão, da estrutura e da funcionalidade de diversas porções da superfície terrestre, incorpora-se a análise integrada da paisagem. Utilizando-se esta abordagem, muitas pesquisas têm se direcionado à verificação de aspectos particulares que permitem a compreensão do todo. Ao longo do tempo, diversas metodologias e técnicas foram testadas no sentido de um melhor e mais completo entendimento sobre a funcionalidade dos sistemas ambientais, incluindo-se aí os procedimentos advindos do Sensoriamento Remoto. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo compreender a contribuição da Análise por Componentes Principais (ACP) para a identificação e interpretação da fisionomia e fisiologia das paisagens naturais e a relação entre os seus componentes, na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, Rio Grande do Sul. Entende-se que o tratamento das bandas espectrais, a partir de imagens de satélite, configura-se em uma complementação no estudo e no entendimento dos elementos constituintes da paisagem: solos, relevo, litologia e vegetação, além de gerar produtos cartográficos com níveis de detalhamento mais precisos. A ACP foi aplicada a partir do mapeamento de uso e cobertura da terra e do relevo, tendo como base a hipsometria e as declividades, litologias, vegetação e os solos. Foram geradas imagens de Componentes Principais (CP's) e as cinco primeiras foram analisadas, correlacionando-as com os elementos da paisagem. Com a combinação de bandas, identificaram-se novas interfaces e feições, a partir da contribuição e representatividade de cada CP, configurando-se em fisionomias que expressaram as



diferenças e/ou similaridades no uso da terra, permitindo o seu agrupamento, a partir das suas principais características.

Palavras-chave: Fisionomia, Fisiologia, Componentes Principais.

INTERPRETATION OF LANDSCAPE PHYSIOGNOMY AND YOUR PHYSIOLOGY FROM REMOTE SENSING IN THE SOUTH OF BRAZIL

Abstract: The elements that compose the landscape are related and interconnected in such a way that the functioning mechanisms that reflect in the diversity of their physiognomies are understood as arising from the relations of energy and material exchange between these components. In this way, integrated landscape analysis is incorporated to verify the levels of interconnection, structure and functionality of various portions of the earth's surface. Thus, to verify the levels of interconnection, structure and functionality of various portions of the earth's surface, integrated landscape analysis is incorporated. Using this approach, a great deal of research has focused on the verification of particular aspects that allow the comprehension of the whole. Over time, several methodologies and techniques have been tested for a better and more complete understanding of the functionality of the environmental systems, including the procedures derived from Remote Sensing. The objective of this work was to understand the contribution of Principal Component Analysis (PCA) to the identification and interpretation of the physiognomy and physiology of natural landscapes and the relationship between their components in the Botucaraí river basin, Rio Grande do Sul. It is understood that the treatment of the spectral bands, from satellite images, is a complement in the study and the understanding of the constituent elements of the landscape: soil, relief, lithology and vegetation, besides generating cartographic products with levels of more accurate detailing. The PCA was applied from the use of the mapping of land cover and relief, based on the hypsometry and slope, lithology, vegetation and soils. Images of Principal Components (PCs) were generated and the first five were analyzed, correlating them with the elements of the landscape. From the combination of bands, new interfaces and features were identified, based on the contribution and representativeness of each PC, being configured in physiognomies that expressed differences and/or similarities in land use, allowing their grouping, from its main characteristics.

Keywords: Physiognomy, Physiology, Principal components.



INTERPRETACIÓN DE LAS FISIONOMÍAS DEL PAISAJE Y SU FISIOLÓGIA A PARTIR DE LA DETENCIÓN REMOTA EN EL SUR DE BRASIL

Resumen: Los elementos que componen el paisaje están relacionados e interconectados de tal manera que los mecanismos de funcionamiento que reflejan en la diversidad de sus fisionomías son entendidos como de parte de las relaciones de cambio de energía y materia entre estos componentes. De ese modo, para la verificación de los niveles de interconexión de la estructura y de la funcionalidad de diversas porciones de la superficie terrestre, incorporase al análisis integrado del paisaje. Utilizando este abordaje muchas investigaciones se han direccionado a la verificación de aspectos particulares que permiten la comprensión del todo. A lo largo del tiempo diversas metodologías y técnicas han sido probadas en el sentido de un mejor y más completo entendimiento sobre la funcionalidad de los sistemas ambientales, incluyendo los procedimientos que advienen de la Detención Remota. En este sentido este trabajo tuvo como objetivo comprender la contribución del Análisis por Componentes Principales (ACP) para la identificación e interpretación de la fisionomía y fisiología de los paisajes naturales y de la relación entre sus componentes en la bacía hidrográfica del rio Botucaraí, en el estado de Rio Grande do Sul, Brasil. Se puede comprender que el tratamiento de las bandas espectrales desde imágenes de satélite se configura en una contemplación en el estudio y en el entendimiento de los elementos constituyentes del paisaje: suelos, relevo, vegetación y litología, además de generar productos cartográficos con niveles de detalle más precisos. La ACP fue aplicada desde el mapear del uso y cobertura de la tierra y del relevo, teniendo como base la hipsometría y las declividades, litologías, vegetación y los suelos. Fueron generadas imágenes de componentes principales (CP's) y las cinco primeras fueron analizadas, correlacionándolas con los elementos del paisaje. A partir de la combinación de bandas se han identificado nuevas interfaces, desde la contribución y representatividad de cada PC, configurando fisionomías que expresan las diferencias y/o similitudes en el uso de la tierra, permitiendo su agrupamiento desde sus principales características.

Palabras-clave: fisionomía, fisiología, componentes principales.

1. INTRODUÇÃO



Ao se estudar os sistemas ambientais que compõem a superfície terrestre, pode-se perceber o quão complexos são a estrutura e o modo como a natureza se comporta. Os níveis de interação e interconexão ocorrem de tal forma que reproduzem arranjos e formas de representação dos elementos constituintes da paisagem em modelos distintos e diversamente recíprocos entre si.

Em várias porções da Terra há muitos indícios desta interconexão, o que nos remete à noção de diversidade, mas que, ao mesmo tempo, nos releva a intrínseca “teia” de mecanismos na qual a paisagem está estruturada, e o nível de ligação entre os seus componentes: a interação sistêmica.

Esta interação é estudada a partir de uma análise integrada da paisagem, com a verificação de aspectos particulares que permitem a compreensão do todo. Neste contexto, adota-se a concepção da teoria geral dos sistemas, a partir da qual os diferentes ambientes naturais encontrados na superfície da terra são entendidos como decorrentes das relações de troca de energia e matéria entre os seus componentes, sendo denominados de ecossistemas ou geossistemas.

Dolfuss (1973, p.61) destaca que “o estudo dos sistemas oferece a possibilidade de decompor as operações, de observar as relações de causalidade e as inter-relações, de verificar a eficácia de certos agentes e processos, além de medir as inércias e coerções”.

Alinhada a estas considerações, adotou-se como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Botucaraí, localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul. Esta área abrange a interface entre o Planalto Meridional Basáltico, a escarpa da Serra Geral, a Depressão central e a Planície Fluvial do Rio Botucaraí. Devido a estas características, o transecto de pesquisa é representativo, permitindo observar diferenciações entre os elementos da paisagem, que formam “mosaicos-chave” para a interpretação da correlação ou não entre os componentes.

Para Ross (2009, p.13) é a Geografia Física geral ou Geografia da natureza que cumpre o objetivo de “investigar os fenômenos naturais, sempre inter-relacionados, que se caracterizam por processos dinâmicos de fluxos de energia e matéria entre partes de um todo indissociável”. O autor destaca ainda que estes processos (físicos e químicos e as morfologias dos materiais) “definem os componentes que formam um significativo segmento denominado por Grigoriev (1968) como estrato geográfico da terra”.



A partir desta perspectiva, considera-se as definições de Delpoux (1974), que pode ser aplicado como conceito de paisagem para esta análise integrada na área de estudo. Delpoux (1974) define os princípios ecológicos para o estudo sistemático de porções da superfície terrestre, que para ele é composta por duas unidades elementares, primeiramente, o suporte e suas características (forma, cor, textura, microrelevo), ligados às características geológicas (orogênese, estratigrafia, litologia), climáticas e antrópicas.

Como segunda unidade, Delpoux (1974, p.5) define: “a cobertura com seus caracteres, que materializa a influência dos parâmetros climáticos, pedológicos biológicos (florístico, faunístico), e entre eles do parâmetro antrópico”.

Sochava (1977, p.2) também contribui com esta questão, evidenciando que em condições normais se devem estudar não só os componentes da natureza, mas as conexões entre eles. Descreve ainda que “não se deve restringir somente à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas, de preferência, projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional, conexões, etc.”.

Destaca-se que a maioria dos estudos integrados do meio ambiente tem como foco principal de análise as referidas inter-relações entre os elementos que formam a paisagem, como evidentemente deveria tratar.

Entretanto, considera-se importante a inserção de metodologias, técnicas, e outros procedimentos existentes que facilitem e ampliem este espectro nos estudos deste porte. Neste contexto, esta pesquisa insere as geotecnologias, mais especificamente o Sensoriamento Remoto (SR), como elemento importante na perspectiva de gerar possibilidades de uma interpretação mais acurada entre os elementos da paisagem.

Desta forma, por ser uma ferramenta importante, as técnicas advindas do SR podem ser intensamente exploradas, a partir dos dados e das informações que são obtidas através das observações de fenômenos identificados pelos sensores e suas respectivas imagens de satélites.

A utilização destas técnicas é essencial em diversos tipos de levantamentos ambientais, em diferentes escalas, facilitando os processos de obtenção de dados necessários a estes estudos. No que se refere a esta pesquisa, as combinações entre os elementos do meio físico, e a associação com as técnicas de Sensoriamento Remoto revelam novas interfaces na análise geocológica pretendida.



Um destas técnicas é à Análise por Componentes Principais (ACP), que podem fornecer algumas contribuições e respostas, que tão somente a associação dos componentes da paisagem não conseguiria nos proporcionar. Isto é possível porque a ACP é uma técnica linear de “n” variáveis originais (por exemplo, multispectrais) em “n” novas variáveis (Componentes Principais) em que cada nova variável é uma combinação linear das variáveis originais (FLORENZANO, 2008, p.43).

Esta técnica de estatística multivariada, de acordo com a descrição de grande parte dos pesquisadores que a utilizam, permite a discriminação das relações existentes entre variáveis correlacionadas (ou um conjunto destas variáveis) transformando-as em variáveis não correlacionadas.

Desta forma, podem-se estudar as relações existentes entre os dados do qual objetiva-se a análise, pois, é possível que os resultados gerados pela ACP evidenciem as relações pré-existentes, ou revelem um novo conjunto de dados com características comuns entre ambos.

Cabe destacar que a aplicação desta técnica, além de criar novas estratégias de abordagens, contribuindo para o aperfeiçoamento dos estudos em geotecnologias, fornece informações importantes para um diagnóstico físico-territorial mais eficiente, contribuindo para o planejamento ambiental de bacias hidrográficas e dos municípios que fazem parte da mesma.

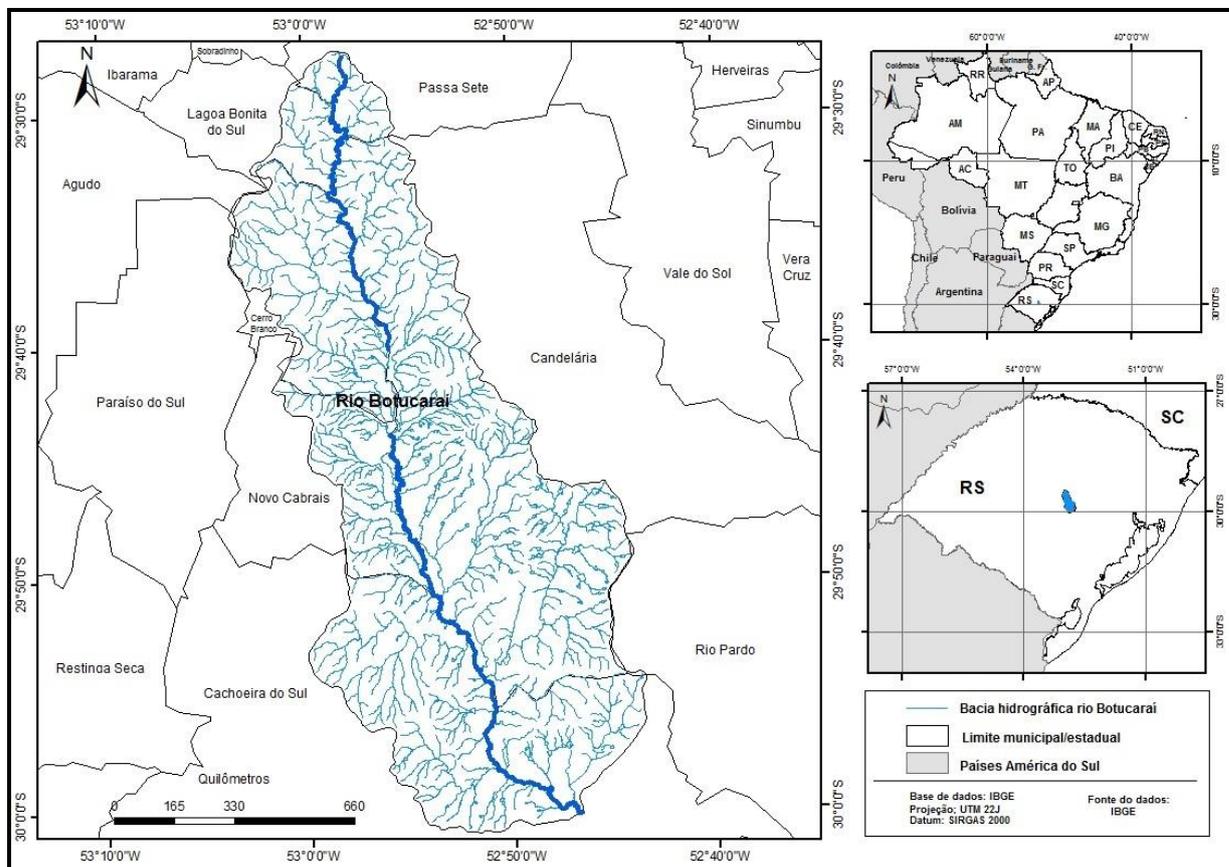
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado na sub-bacia hidrográfica do rio Botucaraí (Figura 1) pertence à sub-bacia do Baixo Jacuí, que compõem a bacia do Rio Guaíba, umas das três grandes bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul. Situa-se na transição entre o Planalto Meridional basáltico, a escarpa da Serra Geral e Depressão central, contendo ainda a planície fluvial do rio Botucaraí.

As coordenadas geográficas nos pontos limites da área são: 29°27'6.98"S; 52°57'51.07"W a 30° 1'1.04"S; 52°51'21.84"W e 29°35'45.17"S; 53° 3'41.72"W a 29°49'14.73"S; 52°44'13.40"W, situando-se na Folha SH.22-V-C – Santa Maria. A área total da bacia é de aproximadamente 103.046,84 hectares.

Figura 1. Bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, região central do Rio Grande do Sul.



2.2 Procedimentos e suporte técnico

2.2.1 Aquisição e processamento das imagens de satélites

Utilizou-se dois tipos de imagens de satélites para a operacionalização da pesquisa e a geração dos produtos cartográficos, imprescindíveis para a realização deste estudo:

- *Imagens do sensor TM8 Landsat*: As imagens Landsat 8/OLI foram adquiridas no site do U.S. Geological Survey (USGS) (<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>).

- *Imagens de alta resolução espacial Rapid Eye*: adquiridas através do *Geo Catálogo*, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

2.2.2 Geração de mapas e produtos cartográficos

Foram utilizadas bases cartográficas disponibilizadas por diversos órgãos governamentais, de agências ambientais, universidades, centros de pesquisas, entre outros,



sendo que a escala de trabalho adotada foi de 1:10000. Os softwares utilizados foram o Envi 4.7 e o ArcGis 10.1.

Para esta análise que se detém na identificação e interpretação da fisionomia e fisiologia da paisagem, utilizou-se como base o mapa geomorfológico e o mapa de classificação do uso e cobertura da terra. Entretanto, para um melhor entendimento das relações entre os componentes da paisagem foram gerados os mapas que compreendem a hipsometria, as declividades, as litologias, a vegetação e os solos da área de estudo.

A hipsometria e as declividades foram geradas a partir das curvas de nível disponibilizadas a partir da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000 por Hasenack, H.; Weber, E. (2010).

Foram definidas 10 classes hipsométricas que permitiram a identificação da diferença altimétrica entre as formas de relevo presentes na Depressão central, Planalto Meridional e a Depressão central que compõem os patamares dos quais, a área de estudo faz parte, iniciando em 20 metros até os 500 metros de altitude.

As classes de declividades foram definidas a partir da classificação proposta por Ross (2012) (Tabela 1), que esclarece que a variável relevo nas análises em escalas de maior detalhe, como 1: 25.000, 1: 10.000, 1: 5.000 e 1: 2000, requer a utilização de intervalos de classes já consagrados nos estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola.

Tabela 1. Classes de declividades propostas por Ross (2012).

Fragilities classes by the variable declivities of the slopes	
1-Very weak	zero to 2% - plans and high reliefs, or 1° (degree)
2-Weak	3% to 15% or 8°
3-Medium	16% to 30% or 17°
4-Strong	31% to 50% or 25°
5-Very strong	50% or above 25°
5-Very strong	2% or lesser 1° - relief from the flood plains

Fonte: Ross (2012).

O método utilizado para a identificação do uso e cobertura da terra foi a classificação supervisionada Máxima Verossimilhança, disponibilizado a partir do Software de Geoprocessamento ENVI 4.5. Neste método, de acordo com SULSOFT (2003) assume-se que



as estatísticas para cada classe em cada banda seguem padrão de distribuição normal, sendo possível desta forma, calcular a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica.

Desta forma, definiram-se para a área de estudo as seguintes classes de uso e cobertura do solo: **Floresta Estacional Decidual; Mata Galeria; Campos Naturais; Terras com Uso Agrícola e Água.**

Quanto aos solos identificaram-se quatro classes principais na bacia de estudo (Quadro 1) hidrográfica do rio Botucaraí.

Quadro 1. Classes de solos identificadas na área de estudo.

Classe	Nomenclatura	Nome
A – Alissolos	(Apt 2)	Alissolo Hipocrômico Argilúvico típico
M – Chernossolos	(Mtf-Rle)	Chernossolo Argilúvico Férrico típico
	(Mto 1)	Chernossolo Argilúvico Órtico saprólico
P – Argissolos	(PVAa 1)	Argilossolo Vermelho-Amarelo Alumínico Alissólico
	(PVd 2- AR)	Argilossolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico Argilossolo
	(PVd 5)	Vermelho Distrófico Latossólico
S – Planossolos	(SGe 1)	Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico

Fonte: Streck et al. (2012).

O quadro 2 identifica as litologias encontradas na bacia hidrográfica e os materiais do qual as mesmas são constituídas.

Quadro 2. Litologias identificadas na área de estudo.

Litologia	Nomenclatura	Material
Depósitos Aluviais	Q4a	típico areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso
Fácies Caxias	K1 α cx	riodacitos a riolitos
Fácies Gramado	K1 β Gr	Basaltos
Formação Botucatu	J3 k1 bt	Arenitos
Formação Sanga do Cabral	T1sc	conglomerado intraformacional, siltito e raro argilito
Formação Santa Maria	T23sm	Arenito conglomerático
Formação Caturrita	T3c	arenito, conglomerado, siltito arenoso, argilitos e folhelho

Fonte: CPRM (2009).

2.2.3 Geração Componentes Principais (CP's)

Foram geradas CP's com a combinação de bandas e entre os mapas temáticos e específicos para análise da interação entre os componentes da paisagem, partir do software Envi 4.7.

Com o aumento de número de bandas, a variabilidade dos dados vai se reduzindo, pois é nas primeiras CP's que se encontra a maioria da informação utilizada para a identificação de aspectos e características importantes no estudo da relação entre a técnica e os elementos que compõem a paisagem na área de estudo.

Desta forma utilizou-se para análise as cinco primeiras CP's geradas e a partir delas é que foram realizadas as combinações e a interpretação a partir dos mapas temáticos e dos elementos da paisagem. Desta forma, esta análise da relação entre as CP's e os componentes da paisagem permitiu a verificação da correlação e do nível de representatividade, gerando as estatísticas básicas e a variabilidade dos dados na ACP.

2.2.4 Interpretação da contribuição da ACP

Este estudo teve como foco os resultados gerados em relação aos elementos da paisagem, entretanto, como os dados fazem parte de um estudo que relacionou todos os componentes da paisagem (Antunes, 2017), optou-se por analisar de forma mais específica o relevo, que serve como base para a interpretação da fisionomia da paisagem e o uso e cobertura da terra, que permitem a verificação da influência antrópica, o que repercute na análise das feições identificadas.

Entretanto, os mapas temáticos básicos (hipsometria e declividades), a litologia, os solos e a cobertura vegetal forneceram importantes conexões que mesmo não sendo o foco principal desta pesquisa são fundamentais para explicar as relações identificadas na área de estudo.

Com a geração das imagens de CP's foi possível fundamentar as características comuns a cada região, que foram agrupadas, permitindo a concretização de um zoneamento. Neste caso, os resultados gerados com a aplicação da ACP permitiram o entendimento a respeito da fisiologia, adotada neste trabalho, como a expressão do funcionamento atual da paisagem, dos processos e da funcionalidade dos seus componentes e, da fisionomia, que corresponde a descrição e a caracterização das paisagens.



A partir disto, a análise conjunta da fisionomia e fisiologia permitiu uma melhor compreensão das inter-relações e conexões existentes na área de estudo.

Sendo assim, os resultados gerados, a partir das imagens de satélites (Sensor ETM8 Landsat), compreenderam a representatividade das componentes principais, a partir de 11 bandas espectrais, sendo que destas, utilizou-se as cinco primeiras CP's, as quais possuíam a maior representatividade dos dados e das informações geradas.

A aplicação da ACP teve como base a verificação da variância dos dados nas imagens de Componentes Principais (CP's) geradas. As primeiras componentes geradas podem explicar uma proporção elevada da variação do conjunto original total das CP's que foram processadas.

Este fato se explica logicamente porque, durante o processo de cálculo das CP's, a maioria das informações comuns a todas as bandas multiespectrais concentra-se na primeira Componente Principal (CP1). Nas próximas CP's geradas ocorre uma diminuição da variabilidade dos dados.

Como destaca Varella (2008, p.3) a ACP “agrupa os indivíduos de acordo com sua variação, isto é, os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população”.

3. RESULTADOS

3.1 Representatividade e contribuição das Componentes principais

Interpretando-se a estatística básica das imagens de CP's, verificou-se que os dados gerados, a partir combinação de bandas e a análise a partir das relações entre os componentes da paisagem, vão ao encontro do especificado por outros estudos que trataram desta temática.

Chaves et al. (1991) e Pereira et al. (2010), identificaram em suas análises que a primeira componente - CP1 apresentou a maior contribuição com relação as informações geradas pelo conjunto das bandas utilizadas para a geração das CP's. Esta variância se confirma nos dados gerados para a bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.

A tabela 2 identifica os valores máximos e mínimos, o desvio padrão e a representatividade dos autovalores (porcentagem de variância de cada CP). Esta componente concentra a maior variabilidade dos dados obtidos no conjunto de todas as componentes geradas.



Tabela 2. Estatísticas Básicas das CP's oriundas das 11 bandas, a partir da imagem Landsat.

	Min	Max	Média	Desvio Padrão	Autovalores
CP 1	0	24665	4838.698209	4829.986190	660398463.996138
CP 2	0	16053	4442.844825	4441.679890	5651052.003320
CP 3	0	19944	4301.034362	4317.526904	2965620.103734
CP 4	0	21835	4057.371717	4136.666668	533307.549689
CP 5	0	27006	8197.046726	8367.689139	120105.615199

Desta forma, a representatividade expressa pelos autovalores, porcentagem de variância de cada Componente Principal, foi positiva, 98,60%, o que significa que esta porcentagem expressa a maior quantidade de informações concentradas para esta imagem, constituindo-se no conjunto de variabilidade dos dados que melhor correlaciona as CP's geradas.

Neste sentido, destaca-se que a representatividade dos autovalores da CP1 identificados para a área de estudo é considerada alta, quando comparados com resultados encontrados em outros estudos, pois representam “o comprimento dos eixos das componentes principais de uma imagem e são medidos em unidade de variância” (INPE, 2016, p.1).

Antunes (2012) em estudo com a ACP e sua variação a partir do NDVI, identificaram 85,83% no valor dos autovalores e Castro et al, (2008) em estudo sobre elementos físicos da paisagem, obtiveram um conjunto de variáveis que explicam aproximadamente 70% da variância comum total.

Esta representatividade positiva, que é alta nos dados identificados para a bacia hidrográfica do Rio Botucaraí, mostra a contribuição das bandas iniciais para uma maior correlação dos dados, pois, a maior variância (maior contraste) das bandas iniciais, contrasta com a menor variância das últimas bandas utilizadas, comportamento observado nos dados gerados.

Outra característica identificada em relação aos dados gerados a partir das imagens de CP's refere-se a explicação da estrutura de covariância por meio de poucas combinações lineares das variáveis originais em estudo, ou seja, relaciona a estrutura de variância-covariância da matriz de dados através de combinações lineares não correlacionadas das “p” variáveis originais. Na tabela 3, apresentam-se os dados da matriz de covariância para as três primeiras bandas geradas.



Tabela 3. Matriz de covariância para as três primeiras bandas geradas.

Covariância	CP 1	CP 2	CP 3
CP 1	19266216.239018	17694712.744.843	17123532.385828
CP 2	17694712.744843	16267416.915303	15762028.470302
CP 3	17123532.385828	15762028.470302	15333748.560249
CP 4	16072419.879321	14843475.558738	14486222.244307
CP 5	32901030.961332	30158232.268767	29321682.567974

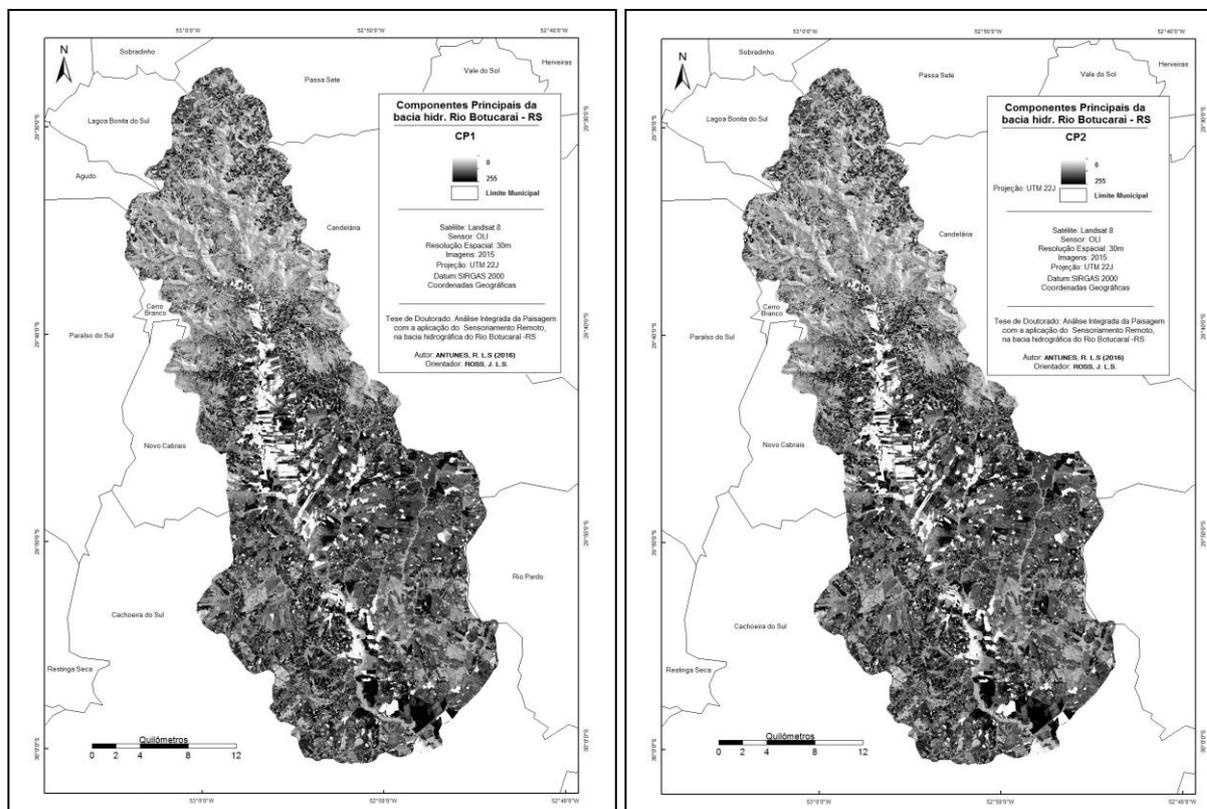
Sob este aspecto, considera-se que o comportamento identificado na CP2, porcentagem de representatividade dos autovalores, foi muito reduzido em relação a CP1. Entretanto, quando comparado com as próximas CP's geradas pode-se considerar que a variância e a representatividade são muito superiores, característica que também é comumente verificado em outros estudos que envolvem a ACP.

A partir da CP1 teve-se uma considerável diminuição da representatividade dos dados em cada uma das CP's. O primeiro autovalor corresponde à maior porcentagem da variabilidade total presente e, assim, sucessivamente com os demais. Desta forma, há um decréscimo significativo que se inicia na primeira componente e vai reduzindo mais suavemente até a estabilização da última componente. A CP2, junto com a CP1 (Figura 2), contém a variabilidade dos dados mais significantes do conjunto.

As componentes seguintes (CP3, CP4 e CP5), contêm uma menor variabilidade dos dados, até que a última CP gerada, praticamente conterà somente a informação que sobrar, a qual estará com número significativo de ruídos, se estabelecendo na CP menos significante (CROSTA, 1992).

Neste sentido, analisando as informações e os dados gerados pode-se inferir que a variabilidade expressou as diferenças entre o uso da terra, que foram evidenciadas na espacialização gerada pela imagem, pois, a partir da observação da imagem gerada pela CP2, foi possível realizar a identificação e a interpretação das feições espectrais mais significantes desta componente.

Figura 2. Representação da CP1 e CP2 da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.



3.2 Identificação da relação da fisionomia e fisiologia da paisagem a partir da ACP

As associações identificadas a partir das cinco CP's utilizadas para a análise revelaram características (feições) que foram relacionadas com a fisionomia da paisagem e se ligam diretamente com a fisiologia.

Entretanto, quanto a fisiologia os resultados gerados mostraram que não foi possível afirmar categoricamente relações que denotassem mudanças na estrutura funcional do sistema ambiental do qual a área de estudo compõe: uma bacia hidrográfica.

Com relação a fisionomia, ligada diretamente ao uso da terra e as modificações expressas a partir do relevo, as primeiras associações passíveis de análise revelaram as características expressas pelas cores, categorizadas como “manchas” ou feições, como denomina-se neste trabalho.

Neste contexto, na CP2 (ver figura 2) a associação entre o uso e cobertura da terra foi significativo, estabelecendo-se a relação de alteração da fisionomia da paisagem em locais,

caracterizados por situarem-se em área de relevo relativamente baixo, nas planícies aluvio-coluvionares, compostas por planossolos hidromórficos.

No médio curso da bacia hidrográfica, onde a rede de drenagem está associada a terras agrícolas, a coloração branca ficou evidenciada. Neste caso, a interpretação a respeito desta característica liga-se a áreas compostas por solo exposto, cujas atividades agrícolas, estão sendo executadas mais recentemente, ou que a antropização da área é mais intensa, realçadas pelas “manchas brancas” identificadas a partir da imagem de Componente Principal.

Nas feições com colorações mais escuras, em tons pretos, a associação identificada pode estar relacionada as áreas cuja atividade de plantio de cultivos já vem sendo desenvolvidas a muito tempo, havendo uma consolidação do terreno. Estas áreas estão sobrepostas a unidades geomorfológicas da depressão do Rio Jacuí, do qual o rio principal da bacia, Botucaraí é um afluente, compondo-se principalmente por argissolos.

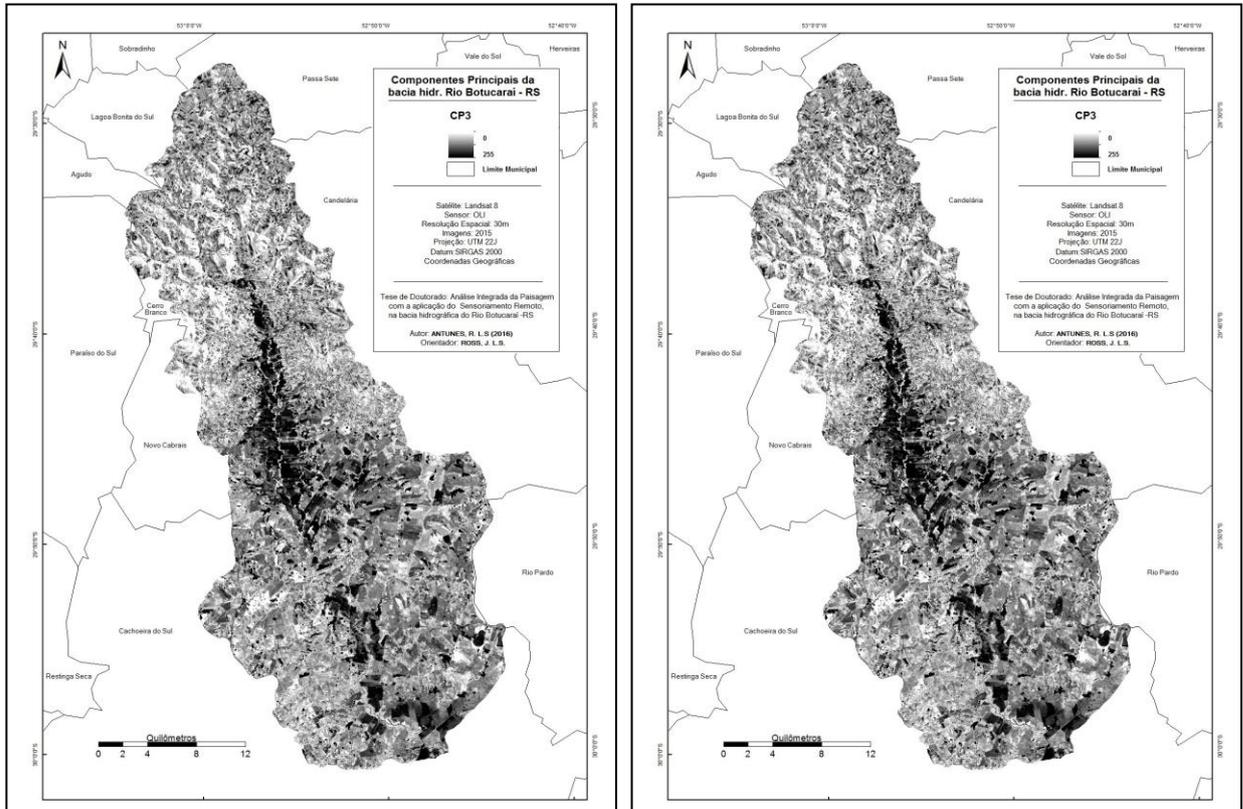
As outras feições identificadas a partir das componentes principais não trouxeram contribuições significativas que pudessem ser expressas a partir de correlações com o uso e cobertura da terra. É possível apenas identificar os patamares presentes na região da depressão central, quando comparado com o mapa clinográfico, revelando modificações acerca dos percentuais de declividades expressos no mapeamento.

A figura 3 se refere a CP3 e a CP4. Destaca-se a diminuição da variabilidade dos dados nestas componentes, como referenciado na literatura sobre ACP, pois ao longo das próximas CP's que vão sendo geradas, a variabilidade torna-se menos significativa em relação a todas as bandas das imagens.

As informações expressas por estas CP's indicam as mudanças do uso e cobertura da terra, evidenciadas através das tonalidades clara e escura das imagens. Percebe-se que as áreas do Planalto meridional e da Serra geral ficaram evidenciadas, assim como a região que margeia o curso d'água principal da bacia hidrográfica, o rio Botucaraí.

Nestas imagens as combinações entre as CP's também permitiram identificar algumas informações importantes que evidenciam as características do uso e cobertura da terra. Por outro lado, a partir da banda 2 ocorre a redução da dimensionalidade dos dados, o que implica na dificuldade de interpretação das CP's. A identificação de algumas conexões que seriam importantes para verificar a contribuição da ACP no estudo integrado da paisagem torna-se mais complexa.

Figura 3. Representação da CP3 e CP4 da bacia hidrográfica do Rio Botucaraí.



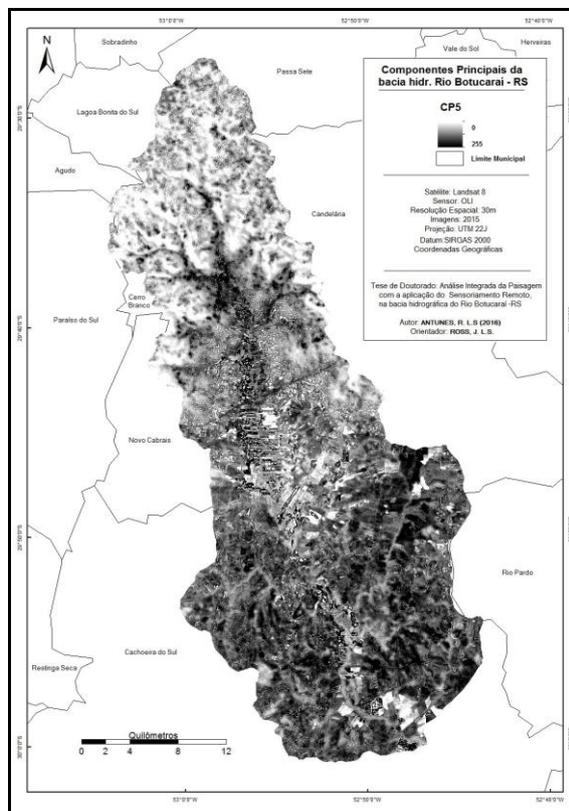
Esta perda da variabilidade dos dados nas outras CP's geradas foi o fator que definiu a representação a partir das cinco primeiras CP's. As outras CP's geradas tornaram-se irrelevantes para a interpretação pretendida, de explicar as conexões entre os elementos que constituem a paisagem e individualizar uma característica importante que pudesse servir como chave de ligação entre os mesmos.

Um exemplo desta individualização foi apontado no trabalho de Castro et al. (2008), no qual aplicaram a ACP, para a definição dos indicadores da paisagem (geomorfologia, geologia, clima, hidrografia, solos e vegetação), obtendo assim resultados que possibilitaram determinar conjuntos de indivíduos estatísticos que apresentaram paisagens semelhantes, ou pelo menos caracterizadas pelas mesmas variáveis.

Aquém desta individualização e representada como a imagem que apresentou a maior diminuição da variabilidade dos dados entre as cinco CP's apresentadas está a CP5 (Figura 4).

Considera-se também que a individualização ligada a correlação das bandas e a representatividade dos autovetores, constituiu na contribuição relativa de cada banda as CP's.

Figura 4. Representação da CP5 da bacia hidrográfica do Rio Botucarai.



Estas feições identificadas nas cinco CP's estão diretamente ligadas na contribuição e representatividade expressa em cada banda das imagens geradas a partir da ACP. Desta forma, como já especificado, o comportamento observado foi o mesmo identificado na maioria dos estudos que utilizaram a ACP como parâmetro na identificação da correlação entre as variáveis estudadas.

Sato et al. (2011), utilizaram a ACP aplicada à série de imagens-fração vegetação, resultantes do modelo linear de mistura espectral. Com isso, os autores obtiveram a espacialização da variação temporal da cobertura da terra presentes na área de estudo. Estes referidos autores verificaram que os locais com presença de água e áreas com cobertura florestal densa “mantiveram-se predominantemente estáveis aparecendo em azul”. Identificaram também que “as regiões com variações medianas aparecem em tons de amarelo e laranja, e áreas que passaram por processos antrópicos (alta variação) aparecem em vermelho”.



Esta capacidade da individualização das cores, refletindo na geração de feições com características do uso da terra mais próximas entre si, está ligado, de acordo com Watrin et al. (1996, p.438) “ao fato de que, os produtos gerados por tal transformação apresentam somente cores espectrais puras e intensamente saturadas, facilitando substancialmente a individualização das diferentes feições espectrais de interesse”.

Neste contexto, estão as CP's geradas na bacia hidrográfica do rio Botucaraí, com a combinação entre as componentes geradas. Destaca-se que a tonalidade das cores possibilitou a individualização de características, associadas a partir de uma análise minuciosa à modificações da fisionomia da paisagem, principalmente ligadas ao relevo nas áreas de rebordo do planalto e a estrutura dos solos. Todas as modificações mencionadas foram provocadas pelo crescente aumento das áreas de plantio.

Este resultado, em conjunto, está de acordo com o que a bibliografia específica sobre ACP, prevê a identificação de individualizações nas imagens que podem ser associáveis com as formações de feições individuais, apresentando características semelhantes e permitindo um zoneamento.

Para a área de estudo, esta individualização gerou o mapa síntese da espacialização das interconexões da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí (Figura 5). Desta forma, as características comuns a cada região da área de estudo foram agrupadas, permitindo o zoneamento das referidas feições.

Cabe destacar, que cada feição espacializada no mapa compreende uma região, que representa determinada característica, considerando-se os elementos que compõem a paisagem na área de estudo.

A partir desta espacialização gerou-se uma organização (Quadro 1), apresentando as principais características em cada uma das fisionomias, identificando a sua composição referente ao relevo, a litologia, aos solos, a vegetação e ao uso e cobertura da terra.

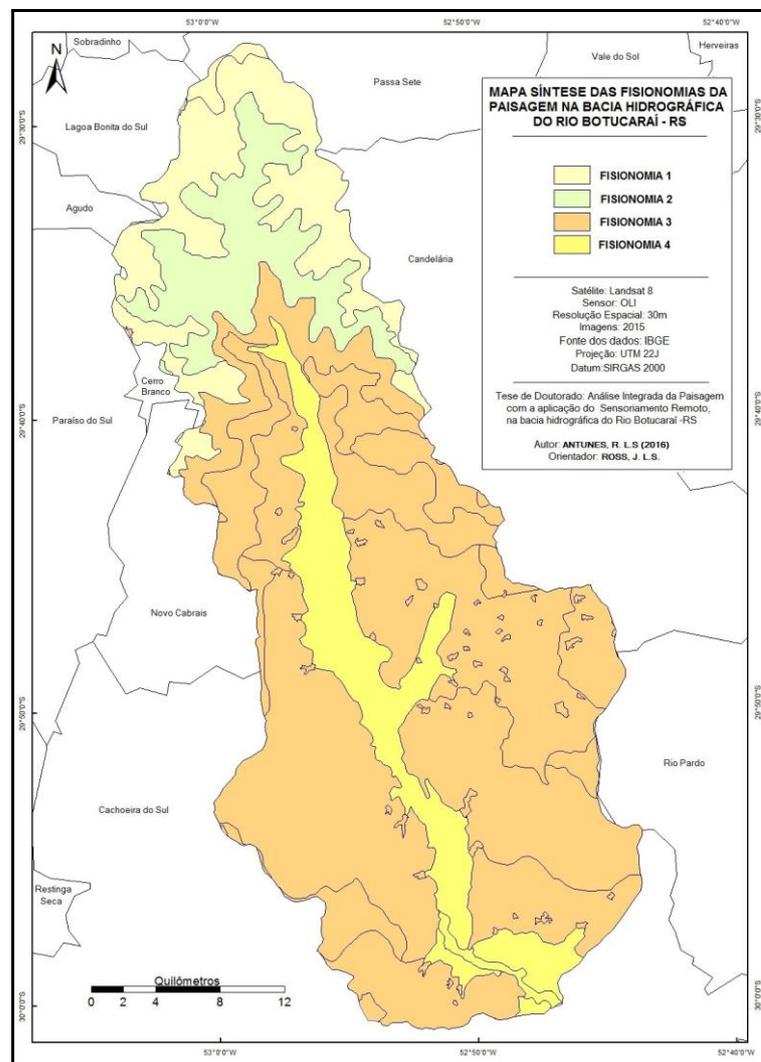
A Fisionomia 1 tem suas características evidenciadas ao norte da área de estudo, ligada ao Planalto Meridional, assim como a Fisionomia 2 está relacionada a área pertencente a unidade Serra Geral.

A Fisionomia 3 compreende a área da Depressão central e sua área vai do norte, considerando os limites das áreas mais elevadas da bacia, abrangendo o rebordo do Planalto,

até o sul da área de estudo. Esta fisionomia espacializa-se também nas bordas leste e oeste da bacia hidrográfica.

A Fisionomia 4 está vinculada a planície de inundação do curso d'água principal, o rio Botucaraí, estendendo-se praticamente no polígono da unidade geomorfológica dos Depósitos Aluviais, que ocupa todo o médio curso da bacia hidrográfica do rio Botucaraí.

Figura 5. Mapa síntese da Fisionomia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Botucaraí.



Quadro 1. Síntese das Interconexões da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Botucarai.

	Relevo	Litologia	Solos	Vegetação	Uso da terra
FISIONOMIA 1	Planalto	Fácies Caxias	Argissolos Argilúvicos	Floresta Estacional Decidual Montana	Campos Naturais
		Formação Botucatu			
FISIONOMIA 2	Serra Geral	Fácies Gramado	Argissolos Arênicos	Floresta Estacional Decidual Sub-Montana	Florestas
		Formação Santa Maria	Alissolos	Floresta Estacional Decidual Sub-Montana	
FISIONOMIA 3	Depressão Central	Formação Caturrita	Argissolos Latossólicos	Contato Savana-Estepe	Mata Galeria
		Formação Sanga do Cabral	Chernossolos		
FISIONOMIA 4	Planície do Rio Botucarai	Depósitos Aluviais	Chernossolos Férrico Típico	Floresta Aluvial	Terras de Uso Agrícola

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da técnica de Análise por Componentes Principais (ACP) possibilitou a setorização de algumas “características”, que foram ressaltadas com a combinação de bandas espectrais e analisadas sob a ótica de sua representatividade em relação ao conjunto da variância total identificada nas imagens de satélites.

Esta representatividade foi significativa para as amostras ou bandas selecionadas para o estudo, uma vez que, os autovalores e autovetores puderam ser comparados com o identificado em pesquisas que tratam sobre a ACP, mostrando que as correlações serviram de variáveis necessárias ao entendimento das feições identificadas.

Este instrumento geotecnológico contribuiu para interpretação das relações e conexões do qual os elementos da paisagem se constituem, ou seja, permite uma abordagem cujas relações tornam-se mais completas e perceptíveis.

As fisionomias da paisagem setorizadas referem-se a alguns padrões, expressos por diferenças nas cores das componentes principais, pois, as primeiras bandas apresentam grande parte da variabilidade dos dados, que vai decrescendo a partir da primeira componente gerada.



A individualização das características evidenciadas em cada imagem gerada pela ACP estava ligada diretamente ao uso e cobertura da terra, bastante antropizado. Estas feições expressaram as diferenças e/ ou similaridades, possibilitando um agrupamento, a síntese das interconexões da paisagem, na bacia hidrográfica do rio Botucaraí: Fisionomia 1, Fisionomia 2, Fisionomia 3, Fisionomia 4 e Fisionomia 5.

A identificação de novas interfaces e a interpretação das relações oriundas da ACP, forneceram relações mais consistentes na fisionomia da paisagem. Isto se explica devido a concepção de funcionamento desta técnica, em que a variabilidade dos dados converte-se em informações, as quais podem ser associadas com as características da área estudada.

De outra forma, para a fisiologia não foi possível afirmar categoricamente, relações que denotaram mudanças na estrutura funcional do sistema ambiental da bacia hidrográfica em estudo, já que outras pesquisas mais específicas seriam necessárias para que a investigação chegasse a conclusões a este respeito, o que não se enquadra no objetivo proposto por este trabalho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, R. L. S. **Variação espaço-temporal de NDVI em área de aproveitamento hidroelétrico - UHE Santo Antônio, Porto Velho (RO)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ANTUNES, R. L. S. **Análise Integrada da Paisagem com a aplicação do Sensoriamento Remoto, na Bacia Hidrográfica do Rio Botucaraí - Rio Grande do Sul**. 2017. 201f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

CASTRO, E.; CUNHA, L.; SANTOS, N. P. Análise integrada da paisagem da raia central portuguesa. **Minerva**. v. 5, n. 2, p. 139-147, 2008.

CHAVES, P. S.; SIDES, S. C.; ANDERSON, J. A. Comparison of three difference methods to merge multi resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 57, n. 3, p. 295-303, 1991.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa geológico do Rio Grande do Sul**. 2009. Disponível em: geobank.cprm.gov.br. Acesso em ago. 2017.

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências, Unicamp, 1992. 170p.

DELPOUX, M. **Ecossistema e Paisagem. Métodos em Questão**. São Paulo: IGEO/USP. n. 13, p. 1-23, 1974.

DOLFUSS, Olivier. **A Análise Geográfica**. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1973. 130 p.

FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GRIGORIEV, A. A. The Theoretical Fundaments of Modern Physical Geography. In: **The Interaction of Sciences in the Earth**. Moscou, 1968.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3).

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tutorial de Geoprocessamento/Componentes Principais**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/compon.html>. Acesso em set. 2017.

PEREIRA, L. O.; CARDOZO, F. S.; MOURA, Y. M.; FONSECA, L. M. G.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C. **Delimitação das áreas alagadas do Pantanal a partir da análise por Componentes Principais e Transformada Wavelet**. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3, 2010, Cáceres, 2010. p. 200-209.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**. v. especial, 2012; 38-51.

SATO, L. Y.; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. Uso da análise por componentes principais na avaliação da mudança da cobertura florestal da Floresta Nacional do Tapajós. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: [s.n.]. 2011. p. 6696 - 6702.

SOCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão**. São Paulo, v16. IG-USP, n. 16, p. 1-50, 1977.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS – UFRGS, 2002.

SULSOFT. **Guia do ENVI em Português**. Disponível em: <http://www.envi.com.br/index.php/downloads>. Acesso em: dez. 2017.

VARELLA, C.A.A. 2008. **Análise de Componentes Principais**. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p. 1-12. Disponível em: <http://www.ufrjr.br/institutos/it/deng/varella/Downloads>. Acesso em: dez. 2017.

WATRIN, O. S.; FILHO, M. V.; SANTO, J. R. **Transformação por Componentes Principais e por Decorrelação de Bandas Aplicadas à Caracterização de Feições da Paisagem do Nordeste Paraense**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VIII., Salvador. Anais... Salvador, 1996. p.435-441.