

Análisis Multivariada en el Estudio y en la Espacialización de la Desertificación - Contribuciones para la Ordenación Territorial del Semiárido de Paraíba / Brasil

Multivariate Analysis of the Study and Spatialization of the Desertification Process - Contributions to the Territorial Planning of the Semi-arid Region of Paraíba/Brazil

Eduardo Rodrigues Viana de Lima

eduvianalima@gmail.com

Departamento de Geociências, Universidade Federal da Paraíba/Brasil

Resumen

El objetivo de este trabajo fue el de buscar entender los factores involucrados en el proceso de desertificación en el semiárido del estado de Paraíba-Brasil, a través de la utilización de técnicas de análisis multivariada, asociadas con un sistema de información geográfica. La metodología fue compuesta por cuatro fases: Definición de los indicadores del Programa de Combate a la Desertificación y Mitigación de los Efectos de la Seca, el SIGINDES Monitor; Fase de generación de una base de datos espacial sobre los aspectos físicos del área de estudio; Fase de generación de una base de datos (con las unidades espaciales compuestas por sectores censales rurales y municipios) para espacialización de los datos socioeconómicos; Fase de integración de datos utilizando técnicas de análisis multivariado y sistema de información geográfica. Los resultados fueron expresados en los mapas de los indicadores generados en el SIG SPRING para los años 2000 y 2010 y la integración de los datos fue hecha utilizando la técnica del análisis factorial de las correspondencias a través del software Philcarto. Es posible identificar, para los años 2000 y 2010, cuáles son los factores pueden estar relacionados con el proceso de desertificación, y que son diferentes de una fecha a otra.

Palabras clave: desertificación, semiárido, Brasil, análisis multivariado, sistema de información geográfica.

Abstract

The purpose of this paper is to analyse the factors involved in the desertification process in the semi-arid state of Paraíba, Brazil, using multivariate analysis techniques that are related to a geographic information system. The methodology applied consisted of four phases: definition of the indicators of the Program of Combat Desertification and Mitigation of the Effects of Drought, SIGINDES Monitor; phase of generation of a spatial database of the physical aspects of the analysed area; phase of generation of a database (with spatial units composed of rural census sectors and municipalities) for spatialization of socioeconomic data; and phase of data integration using multivariate analysis techniques and geographic information system. The results were shown in the maps of the indicators generated in the SIG SPRING according to the years 2000 and 2010, and the data integration was carried out with the technique of factorial analysis of the correspondences using the Philcarto software. For the years 2000 and 2010, it was possible to identify the factors that may be related to the desertification process that change from one date to another.

Key words: desertification; semi-arid; Brazil; multivariate analysis; geographic information system.

Introdução

Para o estudo da desertificação, diversos fatores têm que ser considerados, tanto em relação aos aspectos físicos como sociais, econômicos, de infraestrutura, etc. Sendo assim, esse é um fenômeno ao qual se aplica com grande propriedade o uso de técnicas de análise multivariada, no sentido de identificar as áreas que estão sendo afetadas, e que fatores estão exercendo maior contribuição para isso.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho é o de buscar entender, em sua expressão espacial, os fatores envolvidos no processo de desertificação no semiárido do estado da Paraíba, através da utilização de técnicas de análise multivariada associadas com um sistema de informação geográfica. Esses recursos permitirão que seja possível considerar uma grande quantidade de variáveis com expressão espacial, relacionadas com o processo de desertificação.

Através do uso desses recursos técnicos, é possível que se identifique outras variáveis que, a priori, não estariam relacionadas com o processo, ou teriam uma participação secundária.

O processo de desertificação, conforme foi mencionado, por ser um processo social, é uma interação complexa de fatores físicos, biológicos, políticos, sociais, culturais e econômicos, onde causas e consequências muitas vezes se confundem. Conti (1994) afirma que o desmatamento é a principal causa do processo de desertificação, pois ele leva a redução da biomassa e conseqüente redução da capacidade de absorção de água pelo solo. Sem a cobertura vegetal o solo torna-se mais vulnerável à erosão, e com maior exposição à luz solar há um aumento no albedo da superfície, oxidando a matéria orgânica, diminuindo a fertilidade do solo e levando a perda do horizonte superficial.

Esse processo faz parte das discussões que envolvem a problemática ambiental, e tem sido usado de maneira amíúde nas últimas décadas. O termo desertificação surgiu em 1949 no livro do engenheiro florestal Aubreville, que tratava da regressão florestal de algumas áreas da África. Embora o termo tenha surgido a partir desse momento (1949), existem registros sobre desertificação que datam de 2000 a.C., na Mesopotâmia, uma região que é considerada o berço de várias civilizações.

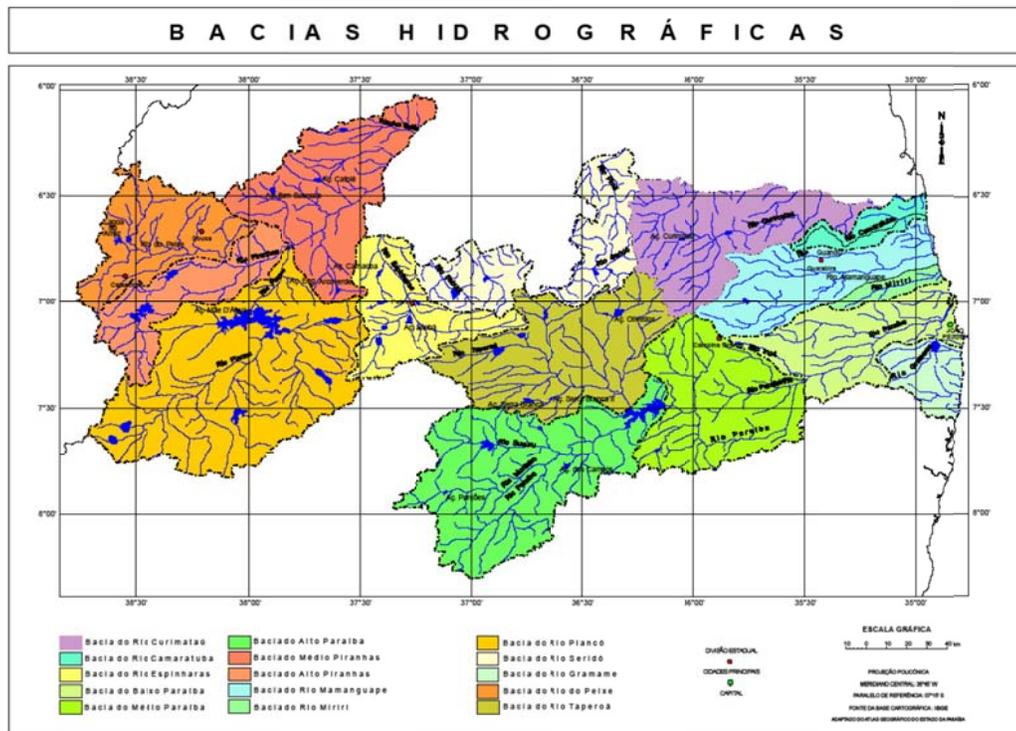
Atividades humanas como desmatamento, criação de cidades e irrigação, já eram apontadas como responsáveis pelo processo de desertificação. Onde se desenvolveram cidades e uma agricultura com base na irrigação, florestas foram desmatadas para essas práticas (DREGNE, 1983).

Segundo Bermudez (1988 apud Silva, 2000) a consagração definitiva do conceito de desertificação ocorreu em 1977, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação que ocorreu em Nairobi (1977). Esse evento teve como finalidade aprofundar, discutir e propor soluções para os principais problemas socioambientais, com ênfase para a desertificação, suas causas, suas consequências sociais, econômicas e ambientais, e deu projeção mundial ao termo que foi retomado e adotado em escala mundial por ocasião da devastadora seca no Sahel, no período de 1968 a 1973. Nessa conferência o processo de desertificação foi redefinido como sendo a diminuição ou destruição do potencial biológico das terras, podendo levá-las a condições semelhantes às dos desertos (MAINGUET, 1994).

Procedimentos

Foi feita uma pesquisa sobre sistemas de indicadores para o estudo da desertificação e verificou-se que o mais adequado seria utilizar os indicadores do Projeto SIGINDES Monitor (ABRAHAM, 2004). Sendo assim, foi feita uma avaliação de quais desses indicadores poderiam ser utilizados no trabalho, haja vista que alguns deles não estariam disponíveis para a área de estudo (Fig. 1).

Fig. N° 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Alto Paraíba no Estado da Paraíba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema SIGINDES Monitor define indicadores para duas escalas, uma local e uma nacional, diferindo em relação ao detalhamento de alguns indicadores para a escala local. De acordo com os indicadores definidos, foi mais adequado utilizar os indicadores da escala nacional, uma vez que seriam de mais fácil obtenção. Sendo assim, foram selecionados os indicadores nacionais possíveis de serem obtidos.

Definidos os indicadores, foi necessário fazer algumas adaptações e a inclusão do indicador Produção de carvão vegetal. Este indicador está disponível e juntamente com o indicador Consumo de lenha, pode ajudar na identificação da taxa de desmatamento, que é outro indicador proposto pelo programa, mas que não está oficialmente disponível.

Considerando que a investigação da desertificação não deve ser feita em apenas um momento no tempo, mas é necessário que se verifique sua dinâmica para avaliação de possíveis alterações, foram definidos os anos de 2000/2006 e 2010 como base para estudo, haja vista a disponibilidade de dados censitários.

Além das adaptações feitas nos indicadores para avaliar a situação no primeiro momento (2000/2006), foram necessários ajustes para que fosse possível fazer as comparações necessárias com o segundo momento (2010), conforme mostra o quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Obtenção e adaptação de dados para geração dos indicadores propostos.

Categoria	Tema	Indicador	Forma de Cálculo	Valores de referência	Forma de obtenção/adaptação dos dados (2000/2006)	Forma de obtenção/adaptação dos dados (2010)
Fatores abióticos	Clima	Índice de aridez	Precipitações/ Evapotranspiração Potencial	> 0,05: Hiperárido 0,05 a 0,20: Árido 0,20 a 0,45: Semiárido 0,45 a 0,70: Subúmido Seco < 0,70: Subúmido Úmido	O indicador foi mantido e foi utilizado como fonte de informação o trabalho de Costa e Brito (2004).	O indicador foi mantido e foi utilizado como fonte de informação o trabalho de Costa e Brito (2004).
	Água	Disponibilidade de águas superficiais	Volume estimado m ³ /segundo	A determinar com a aplicação do Programa	Considerando o dado de forma qualitativa, a disponibilidade hídrica foi estimada com base na área dos corpos d'água, identificada utilizando imagens de satélite (Banda do infravermelho próximo).	Considerando o dado de forma qualitativa, a disponibilidade hídrica foi estimada com base na área dos corpos d'água, identificada utilizando imagens de satélite (Banda do infravermelho próximo).

		Disponibilidad de aguas subterráneas	Volumen estimado m ³ /segundo	A determinar con la aplicación del Programa	Considerando el dato de forma cualitativa, la disponibilidad fue estimada con base en la información sobre la cantidad de pozos, disponible en el sitio de la Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).	Considerando el dato de forma cualitativa, la disponibilidad fue estimada con base en la información sobre la cantidad de pozos, disponible en el sitio de la Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).
	Solo	Grau de erosão hídrica	Grau de erosão hídrica observada en el área de estudio	1 – Leve; 2 – Moderada; 3 – Forte; 4 – Muito forte.	O indicador fue generado con base en el trabajo de Castro (2011), con imágenes orbitales de 2005/2006.	O indicador fue generado con base en el trabajo de Castro (2011), con imagen orbital de 2010.
		Porcentaje de suelo desnudo	Utiliza el infravermello termal para determinar la emitiencia espectral de la superficie terrestre. Se usan imágenes de satélite.		Para generar este indicador fue utilizado el dato de Terras degradadas (en ha), disponible en el Censo Agropecuario de 2006.	Para generar este indicador fue utilizado el dato de Terras degradadas (en ha), disponible en el Censo Agropecuario de 2006.
Factores biofísicos	Flora e fauna	Porcentaje de cobertura vegetal	Índice Verde (NDVI) NDVI= (DNnir – DNr) / (DNnir + DNr) Onde DN es el número digital de cada banda (reflectancia), nir es el infravermello próximo (banda 4 del Landsat), e r es el rojo (banda 3 del Landsat)	El índice varía entre 1 y -1; los valores negativos indican ausencia de actividad fotosintética	El indicador fue mantenido y generado de acuerdo con lo propuesto, utilizando imágenes del CCD/CBERS referentes al año de 2005/2006.	El indicador fue mantenido y generado de acuerdo con lo propuesto, utilizando imágenes del TM/LANDSAT-5 referentes al año de 2010.
Uso de la tierra		Carga animal	Animales/superficie	Debe considerarse todas las especies, utilizando equivalentes.	Este indicador fue obtenido de datos disponibles en la Pesquisa Pecuária Municipal de 2000.	Este indicador fue obtenido de datos disponibles en la Pesquisa Pecuária Municipal de 2010.
		Consumo de leña	Porcentaje de leña usada como combustible	A determinar con la aplicación del Programa	Este indicador fue adaptado, utilizando el dato de Producción de leña en metros cúbicos, disponible en la Producción de la Extracción Vegetal y la Silvicultura de 2000.	Este indicador fue adaptado, utilizando el dato de Producción de leña en metros cúbicos, disponible en la Producción de la Extracción Vegetal y la Silvicultura de 2010.
		Porcentaje en el área con diferentes	Propietarios/total del área. Arrendatarios/total del área;	A determinar con la aplicación del Programa	Este indicador fue generado a partir de datos disponibles en el Censo Agropecuario	Este indicador fue generado a partir de datos disponibles en el Censo Agropecuario

		formas de propiedad e	etc.		de 2006.	de 2006.
		Porcentagem de produtores com menos de 5 ha	(Produtores 5ha/Superfície total) x 100	A determinar com a aplicação do Programa	Este indicador foi gerado a partir de dados disponíveis no Censo Agropecuário de 2006.	Este indicador foi gerado a partir de dados disponíveis no Censo Agropecuário de 2006.
		Produção de carvão	Toneladas	A determinar com a aplicação do Programa	Este indicador gerado a partir de dados de Produção de Carvão Vegetal em toneladas, disponível na Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura de 2000.	Este indicador gerado a partir de dados de Produção de Carvão Vegetal em toneladas, disponível na Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura de 2010.
		Densidade da população urbana e rural	Habitantes por km ²	A determinar com a aplicação do Programa	Este indicador foi gerado a partir de dados disponíveis no Censo Demográfico de 2000 (Dados do Universo).	Este indicador foi gerado a partir de dados disponíveis no Censo Demográfico de 2010 (Dados do Universo).
	População	Porcentagem de mulheres chefes de família	(Mulheres chefes de Família/ Total chefes de casa) x 100	A determinar com a aplicação do Programa	Este indicador foi gerado a partir de dados disponíveis no Censo Demográfico de 2000.	Este indicador foi gerado a partir de dados disponíveis no Censo Demográfico de 2010.
		Porcentagem de analfabetismo funcional	(Pessoas de 5 anos ou mais não alfabetizadas/ Pessoas de 5 anos ou mais) x 100	A determinar com a aplicação do Programa	Este indicador foi gerado a partir do dado de analfabetismo geral, e não apenas funcional, disponível no Censo Demográfico de 2000 (Dados do Universo).	Este indicador foi gerado a partir do dado de analfabetismo geral, e não apenas funcional, disponível no Censo Demográfico de 2010 (Dados do Universo).
		Porcentagem em da população abaixo da linha de pobreza	As estimativas da incidência da pobreza se realizam por meio do método do custo das necessidades básicas. Se os recursos obtidos pelas famílias não cobrem as mesmas, as famílias se encontram abaixo da linha.	A determinar com a aplicação do Programa	Este indicador foi gerado a partir de dados disponíveis no Censo Demográfico de 2000 (Dados do Universo).	Este indicador foi gerado a partir de dados disponíveis no Censo Demográfico de 2010 (Dados do Universo).

Os dados de disponibilidade hídrica superficial e subterrânea foram mantidos, visto que não houve acesso a novos dados de poços e não houve alterações significativas em relação a novos corpos d'água (açudes).

Considerando que vários dos dados utilizados para gerar os indicadores são da categoria de fatores sociais e econômicos, poderia ser utilizada como referência espacial a menor unidade político-administrativa possível, ou seja, o setor censitário, entretanto foram verificadas diversas divergências de setores do censo de 2000 para o censo de 2010, exigindo que fosse utilizado o município como unidade espacial básica de trabalho em se tratando dos dados censitários. No que se refere aos dados do meio físico, foi mantida como menor unidade espacial o setor censitário, visto que representaria melhor a realidade dos mesmos.

Outro aspecto que deve ser mencionado é o fato de que alguns indicadores estão relacionados com dados que estão disponíveis apenas no censo agropecuário. Considerando que o censo seguinte só seria realizado no ano de 2015, esses indicadores foram mantidos, ou seja, foram utilizados os dados do censo de 2006, e os novos dados só poderão ser utilizados em estudos futuros, com a atualização da atual base de dados.

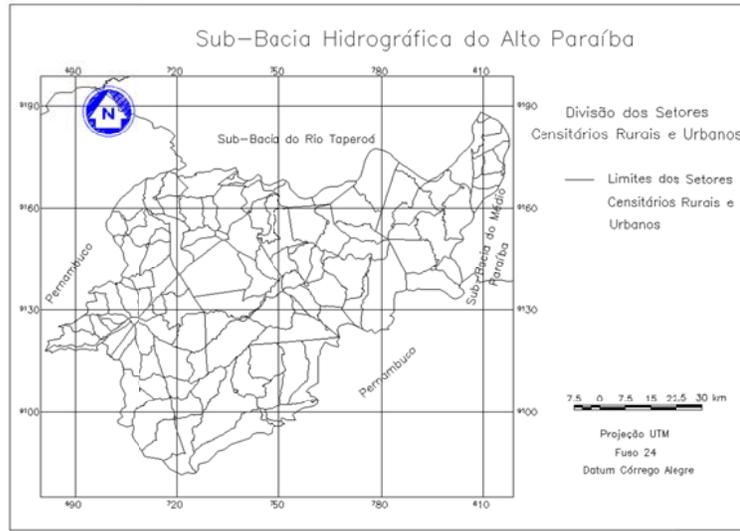
De acordo com o exposto, foram geradas bases cartográficas com a divisão municipal (Figura 2) e com a divisão dos setores censitários rurais e urbanos (Figura 3), para que os indicadores fossem espacializados.

Fig. N° 2 – Divisão municipal da Sub-Bacia Hidrográfica do Alto Paraíba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fig. N° 3 – Divisão dos setores censitários rurais e urbanos da Sub-Bacia Hidrográfica do Alto Paraíba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para seguir os mesmos procedimentos utilizados no projeto SIGINDES Monitor, os dados referentes aos indicadores foram classificados em cinco níveis, como uma forma de normalização, para que fosse utilizada uma mesma unidade em todos os indicadores.

Sendo assim, foram utilizadas as seguintes classificações:

Índice de aridez	Número de Poços	Área açudes (m ²)	Grau de Erosão hídrica	Carga animal (Número de animais por área - km ²)	Escala Monitor
> 1	> 60	> 10000000	Nula	36 - 50	1
0,65 - 1	45 - 60	5000000 - 10000000	Ligeira	50 - 60	2
0,51 - 0,65	30 - 45	2000000 - 5000000	Moderada	60 - 70	3
0,21 - 0,5	15 - 30	200000 - 2000000	Forte	70 - 80	4
0 - 0,2	0 - 15	0 - 200000	Muito forte		5

Porcentagem de terras degradadas	Produção de carvão vegetal - Toneladas	Produção de lenha - Metros cúbicos	Porcentagem da área sob diferentes formas de propriedade	Porcentagem de produtores com menos de 5 ha de terras	Escala Monitor
0 - 0,02	2 - 10	490 - 2500	44,29 - 50	8,0 - 15	1
0,02 - 0,2	10 - 15	2500 - 5000	50 - 60	15 - 25	2
0,2 - 0,29	15 - 20	5000 - 7500	60 - 70	25 - 35	3

0,29 - 0,65	20 - 30	7500 - 10000	70 - 80	35 - 45	4
0,65 - 2,2	> 30	> 10000	> 80	> 45	5

Densidade da população	Porcentagem de analfabetismo	Porcentagem de mulheres chefe de família	Porcentagem da população abaixo da linha de pobreza	Escala Monitor
0 - 5	0 - 10	0 - 10	0 - 5	1
5 - 10	10 - 20	10 - 20	5 - 10	2
10 - 15	20 - 30	20 - 30	10 - 15	3
15 - 50	30 - 40	30 - 40	15 - 20	4
> 50	> 40	> 40	> 20	5

Porcentagem de Cobertura Vegetal	Valores NDVI	Escala Monitor
Água	< 0,02	1
Alta	> 0,55	2
Média	0,35 - < 0,55	4
Baixa	0,02 - < 0,35	5

Obs: Para obtenção deste indicador as imagens do CCD/CBERS e do TM/LANDSAT foram submetidas a processamento digital para geração de imagem NDVI.

Para a geração dos produtos cartográficos representando cada um dos indicadores foi utilizado o software SPRING (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil).

Para integração das informações e geração dos produtos finais do trabalho, com a aplicação da estatística multivariada, foi feita a utilização do software Philcarto. Isso foi motivado pelo fato de que o trabalho se torna mais fácil e rápido, e também porque o software gera os produtos como mapas isopléticos, fugindo da rigidez de representação das unidades político-administrativas.

Com o uso desse software torna-se mais fácil atualizar a base de dados e realizar novos estudos e comparações no futuro.

Dessa forma, a sequência de procedimentos adotada foi a seguinte:

- a) Obtenção dos dados dos censos de 2000, 2006 e 2010;
- b) Geração de todos os mapas temáticos no SPRING;
- c) Geração de duas matrizes, no software Excel, para cada indicador, referentes aos dois períodos considerados no estudo;

- c) Para cada matriz foi gerado de um arquivo no formato txt para ser inserido no software Philcarto;
- d) Organização dos dados espaciais e não espaciais no software Philcarto;
- e) Utilização da Ferramenta - Multiv, opção Análise dos dados - AFC;
- f) Gravação dos resultados da Análise Multivariada;
- g) Edição dos mapas com a Ferramenta Carto;
- h) Exportação dos mapas.

Vale salientar que foram realizados alguns trabalhos de campo para checagem de vários dos aspectos abordados na pesquisa, principalmente os relacionados ao meio físico. Esses trabalhos ajudaram principalmente no entendimento das zonas de desertificação definidas no mapa-síntese.

Resultados e discussão

Os resultados serão apresentados seguindo a sequência dos indicadores dos quadros 1.

Todos os indicadores gerados foram especializados, entretanto devido a limitação de espaço neste trabalho, não será possível apresentá-los. Apenas os resultados finais serão representados em produtos cartográficos.

O primeiro indicador gerado foi o Índice de aridez, obtido do trabalho de Costa e Brito (2004).

Os dados mostram que a área de estudo está quase que totalmente inserida em uma zona de semi-aridez, com características climáticas típicas do semiárido nordestino.

Apenas um pequeno trecho, na porção nordeste da área, apresenta características de aridez, localizada especificamente no município de Cabaceiras.

A estimativa de disponibilidade hídrica subterrânea para geração do indicador "Disponibilidade hídrica subterrânea", foi feita levando em consideração a existência de poços na área. Essa informação não é a mais precisa, considerando que podem existir poços desativados, mas é a que está disponível.

Para a espacialização deste indicador foi capturado, na forma de imagem, o mapa de distribuição de poços da área, do site do SIAGAS/CPRM. A imagem foi georreferenciada e levada para o SPRING, onde foi feita a vetorização dos dados. Com a vetorização dos poços, foi gerado um mapa.

Procurou-se adotar a base cartográfica mais detalhada possível para a espacialização dos indicadores relacionados ao meio físico, que foi definida como sendo a dos setores censitários. Sendo assim, os setores foram classificados segundo a quantidade de poços, utilizando a escala do monitor apresentada no item procedimentos.

O resultado mostra que não existe um padrão espacial relacionado com a quantidade de poços na Sub-Bacia do Alto Paraíba. Em trechos da bacia onde é histórico o problema da escassez de água, a exemplo dos municípios ao norte da bacia, verifica-se uma menor quantidade de poços. Para efeito do fenômeno que está sendo estudado, ou seja, a desertificação, este é um fator que pode levar ao agravamento do processo.

Parte do município de Caraúbas é a área com a maior incidência de poços na bacia, embora não seja essa uma área histórica de maior incidência do processo de desertificação. Em outras áreas onde esse processo é nitidamente identificado, como nos municípios do Congo e partes dos municípios de Sumé e Serra Branca, verifica-se uma menor quantidade de poços.

Um aspecto interessante a observar é que no município de Boqueirão, onde existe uma grande reserva de água superficial (Açude Público Epitácio Pessoa), há uma menor quantidade de poços.

A estimativa de disponibilidade hídrica superficial para geração do indicador “Disponibilidade hídrica superficial”, foi feita levando em consideração a existência de corpos d’água na área. Da mesma forma que aconteceu com os poços, essa informação não é a mais precisa, considerando que não há a disponibilidade do volume de água dos corpos d’água e sim uma estimativa da área do espelho d’água. De qualquer forma, para uma análise qualitativa, essa é a informação que está disponível, considerando que nem a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) dispõe dessa informação atualizada e com precisão.

Para a geração deste indicador foi utilizado um mosaico com a imagem da banda 4 do sensor CCD/CBERS, referente ao período úmido (julho de 2005/2006). A imagem foi classificada, buscando-se identificar as áreas com ocorrência de água superficial, nitidamente visível em uma imagem do infra-vermelho próximo.

A classificação da imagem possibilitou gerar um mapa, que posteriormente foi classificado para gerar o indicador “Disponibilidade hídrica superficial” por setor censitário.

Nitidamente pode-se observar que a maior disponibilidade hídrica superficial encontra-se na porção leste da bacia, devido a existência do Açude Público Epitácio Pessoa. Em grande parte da bacia há uma deficiência em relação a esse recurso, notadamente na porção oeste da bacia. Para essa área, esse é um aspecto agravante para o processo de desertificação.

O problema da deficiência na disponibilidade de água está sendo parcialmente resolvido, considerando o fato da transposição das águas do rio São Francisco. A partir de uma maior disponibilidade de água no rio pode haver a possibilidade de criação de novos reservatórios superficiais. Entretanto, esse é um aspecto que dependerá muito de como serão conduzidas as ações após consolidada a transposição.

O fato é que se verifica uma extrema necessidade de recursos hídricos superficiais em grande parte da bacia do Alto Paraíba, para que possa haver redução do risco do processo de desertificação.

O indicador Grau de erosão hídrica foi obtido do produto final do trabalho de Castro (2011), intitulado “Análise dos processos erosivos e as relações com as perdas aceitáveis de solos na Bacia do Alto Paraíba/PB”. Esse produto foi gerado com a aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) e utilizando imagens orbitais dos anos de 2005 e 2006.

Para adotar a mesma base cartográfica utilizada para os demais indicadores do trabalho, o mapa de Grau de erosão hídrica produzido no trabalho de Castro (2011) foi gerado considerando os setores censitários.

As áreas com maior grau de erosão hídrica encontram-se na porção sudoeste da bacia devido, associadas ao relevo mais acidentado. Entretanto, outros trechos da bacia apresentam grau de erosão hídrica, pelo menos moderada, devido a fatores tais como a menor proteção do solo exercida pela cobertura vegetal.

A menor densidade da cobertura vegetal tanto é um aspecto resultante do processo de desertificação, como pode ser um aspecto que pode potencializar esse processo. Isso pode ocorrer através de uma maior propensão aos processos erosivos lineares e areolares, que provocam a perda das camadas superficiais dos solos, já com uma pequena espessura, especialmente nessa região.

O grau de erosão hídrica em 2010 foi gerado tomando também como base o trabalho de Castro (2011), mas utilizando-se a imagem desse ano.

É nítido o aumento do grau de erosão hídrica na área de estudo, motivado principalmente pela menor proteção do solo exercida pela vegetação. Isso ocorre principalmente nas porções central e leste, inclusive ao sul, na APA das Onças, onde deveriam estar ocorrendo ações para inibir a degradação da cobertura vegetal.

O indicador “Porcentagem de solo desnudo” foi gerado com base no dado de Terras degradadas disponível no Censo Agropecuário do IBGE de 2006, uma vez que não foi possível utilizar a metodologia sugerida pelo projeto SIGNDES Monitor. Conforme mencionado anteriormente, os dados disponíveis no Censo Agropecuário têm como base territorial os municípios.

Verifica-se que os municípios que apresentam maior porcentagem de terras degradadas são os de Barra de São Miguel, Serra Branca, Ouro Velho, Sumé, Congo, São Sebastião do Umbuzeiro e São João do Tigre.

Nos municípios de São Sebastião do Umbuzeiro e São João do Tigre esse fato pode estar ocorrendo pelo maior grau de erosão hídrica que existe nessa área, o que leva a existirem áreas erodidas. Nos demais municípios, entretanto, os motivos que levam a ocorrência de terras degradadas devem estar relacionados com as práticas de uso do solo, que provocam o seu esgotamento.

O indicador “Porcentagem de cobertura vegetal” foi gerado de acordo com a metodologia sugerida no projeto SIGNDES Monitor, ou seja, a partir de uma imagem NDVI. Neste trabalho, para a geração do NDVI foram utilizadas imagens dos sensores CCD/CBERS e TM/LANDSAT.

As áreas com baixa porcentagem de cobertura vegetal apresentam uma certa correspondência com a ocorrência de terras degradadas e áreas com maior grau de erosão hídrica. Esse fato mostra que existe uma inter-relação entre esses dados, motivado principalmente pela forma como se dá o uso do solo.

Esse dado de percentual de cobertura vegetal de 2010 comprova o que foi verificado quanto ao grau de erosão hídrica. No caso de 2005/2006 o que se observa é que as áreas nas quais ocorre maior grau de erosão hídrica estão relacionadas com o relevo mais movimentado, e em 2010 passa a haver maior grau de erosão em áreas com relevo menos movimentado, e nesse caso motivado pela menor densidade de cobertura do solo.

O indicador “Carga animal” referente ao ano de 2000 foi gerado com base em dados disponíveis na Pesquisa Pecuária Municipal.

Em relação a esse indicador, verifica-se uma concentração de animais, ou seja, uma maior pressão sobre as culturas e a vegetação, nos municípios do Congo, Caraúbas, São Domingos do Cariri, Cabaceiras, Zabelê e Prata. Verifica-se, principalmente na área central da bacia, que existe uma certa relação entre a maior carga animal e a menor porcentagem de cobertura vegetal, comprovando o fato de que uma maior quantidade de animais pode levar à retirada da vegetação acima do necessário.

O indicador “Carga animal” referente ao ano de 2010 também foi gerado com base em dados disponíveis na Pesquisa Pecuária Municipal.

O que se observa é o aumento da carga animal na área de estudo no intervalo de tempo considerado. Houve a manutenção de uma alta carga animal em alguns municípios, a exemplo de Coxixola, Zabelê, Amparo, Monteiro e São Domingos do Cariri, como também outros municípios tiveram a carga animal aumentada ao longo do período analisado, a exemplo de Prata, Boqueirão e Serra Branca. Uma diminuição na carga animal ocorreu apenas no município de Camalaú.

Diante dos resultados observados até agora, verifica-se, de uma forma geral, um aumento da pressão das atividades agrícolas e pecuárias sobre os recursos naturais.

Outros indicadores que também podem indicar um aumento dessa pressão, é a produção de lenha e carvão, que serão analisados a seguir.

O indicador “Consumo de lenha” foi adaptado, uma vez que esse dado não está disponível, e foi gerado com base no dado de Produção de lenha, disponível na Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura dos anos de 2000 e de 2010.

Além da produção de lenha, dispõe-se também na Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, do dado de Produção de carvão vegetal, o que possibilitou gerar um novo indicador, e com isso se aproximar da informação sobre o desmatamento.

Embora tenha ocorrido uma diminuição pequena na produção de lenha nos municípios do Congo e de Barra de São Miguel, o que chama a atenção é o aumento que houve em vários outros municípios. Sendo assim, o que se constata é que, no geral, houve um aumento da produção de lenha na área de estudo.

Por outro lado, o que se observa em relação ao carvão é o oposto do que ocorreu com a lenha, ou seja, houve redução na produção ao longo do tempo. Os municípios de Monteiro, Congo, Coxixola, Barra de São Miguel, São Domingos do Cariri e Cabaceiras mantiveram, em 2010, a produção nos mesmos níveis de 2000.

A verificação conjunta desses dois indicadores mostra que apenas os municípios do Congo e de São Sebastião do Umbuzeiro mantiveram, em 2010, alta produção de carvão e lenha.

O indicador “Porcentagem da área com diferentes formas de propriedade” foi gerado com dados do Censo Agropecuário de 2006.

Esse indicador mostra a área ocupada por diferentes tipos de proprietários, ou seja, procura, de certa forma, mostrar a área que pode estar ocupada por culturas e pastos e provavelmente com menos ocorrência de cobertura vegetal.

O mapa desse indicador mostra que a maior porcentagem de área ocupada por diferentes formas de propriedade ocorre na porção leste da bacia. Na porção oeste destacam-se os municípios de Monteiro, Prata e Ouro Velho, que estão localizados em áreas onde a cobertura vegetal é mais preservada, e, portanto, a pressão tende a ser relativamente menor.

Esse resultado reforça o fato de que está havendo uma grande pressão sobre a porção leste da bacia no que diz respeito à retirada de cobertura vegetal e conseqüentemente sobre o processo de desertificação.

O indicador “Porcentagem de produtores com menos de 5 há” foi gerado com dados do Censo Agropecuário de 2006.

Esse indicador procura mostrar que uma maior porcentagem de produtores ocupando propriedades menores do que 5 ha tende a exercer uma maior pressão sobre os recursos naturais, notadamente sobre a cobertura vegetal.

A mesma análise também pode ser feita em relação aos municípios da porção oeste, mais precisamente Monteiro e Ouro Velho.

Com esse indicador reforça-se o fato da pressão que está sendo exercida sobre a porção leste da bacia.

O indicador “Densidade da população urbana e rural” foi gerado com dados dos Censos Demográficos de 2000 e de 2010, tendo como base territorial os municípios.

Esse indicador procura mostrar onde pode estar ocorrendo uma maior pressão relacionada com a ocupação da bacia. Verifica-se uma maior densidade de população nas porções central e norte da bacia. Alguns municípios da porção leste da bacia também apresentam uma alta densidade, reforçando o fato de que nessa área há uma maior pressão da ocupação.

Outra questão que pode ser destacada é uma menor densidade populacional na porção sul da bacia, área de relevo mais acidentado e que, portanto, apresenta maiores dificuldades de ocupação.

Numa análise comparativa observa-se que houve um aumento da pressão populacional na área, proporcionado pelos municípios de Coxixola, São Domingos do Cariri e Cabaceiras. Os demais municípios mantiveram o mesmo nível de densidade populacional.

O indicador “Porcentagem de mulheres chefes de família” foi gerado com dados dos Censos Demográficos de 2000 e de 2010.

Esse indicador tem a função de mostrar onde está ocorrendo o deslocamento de homens, devido, muito provavelmente, a dificuldades em desenvolver suas atividades no campo ou na cidade. Essas dificuldades, no campo, podem estar relacionadas a problemas provocados pelo processo de desertificação, tais como, perda de produtividade das culturas, inexistência de terras adequadas para o cultivo, falta de infraestrutura para o desenvolvimento das atividades, entre tantas outras.

Uma consequência imediata desse fato é a existência de um maior número de mulheres responsáveis pelas famílias. Sendo assim, onde houver um maior número de mulheres chefes de família, possivelmente pode estar ocorrendo problemas relacionados com o processo de desertificação.

Os mapas desse indicador mostram claramente que houve aumento, em todos municípios, da porcentagem de mulheres responsáveis pelas famílias. De uma forma geral, a evasão de homens ocorre em áreas onde se constata, de uma certa forma, a existência do processo de desertificação. Observando-se a situação em 2010 verifica-se que a situação mais grave ocorre na porção central da área de estudo.

O indicador “Porcentagem de Analfabetismo” foi gerado com dados dos Censos Demográficos de 2000 e de 2010.

Esse indicador tem uma relação indireta com a temática desertificação, uma vez que pode indicar uma condição de fragilidade da população em como melhor utilizar recursos para conviver com esse processo e como poder encontrar alternativas para debelar e minorar o fenômeno.

Os mapas desse indicador mostram claramente que houve uma redução do analfabetismo na área, com maior porcentagem, nos dois períodos, no município de São João do Tigre.

A exemplo de outros indicadores relacionados com as condições socioeconômicas, o índice de analfabetismo é o reflexo de diferentes políticas públicas implementadas pelo Estado. Sendo assim, pode distorcer uma real compreensão sobre a realidade do processo de desertificação, uma vez que proporciona um quadro artificial da situação.

O indicador “Porcentagem da população abaixo da linha de pobreza” foi gerado com dados dos Censos Demográficos de 2000 e de 2010.

Esse, a exemplo do indicador Porcentagem de analfabetismo, também tem uma relação indireta com o processo de desertificação. Uma alta porcentagem de pessoas abaixo da linha de pobreza pode indicar que esse fenômeno está impedindo que existam condições de geração de renda de um lado, e de outro lado uma menor quantidade de recursos circulando não permite que sejam criadas as condições necessárias para tratar adequadamente o fenômeno.

Sendo assim, cria-se um círculo vicioso em torno da inexistência de recursos financeiros.

O fato é que, mesmo diante das políticas públicas implementadas pelo Estado em diferentes áreas, constata-se que houve um aumento da porcentagem da população abaixo da linha de pobreza.

Isso mostra que houve um agravamento da situação econômica da área, que não possibilita a geração local de renda para a população. Como as atividades econômicas nessa área estão fortemente relacionadas com o campo, denota-se que não estão existindo as condições necessárias para geração de recursos a partir do mesmo. Isso pode estar relacionado com a falta de investimentos, como também pode estar relacionado com a inexistência de condições físicas para o desenvolvimento das atividades, o que pode ser gerado pela instalação ou pelo agravamento do quadro de desertificação.

Para a geração dos mapas-síntese do processo de desertificação, os dados de todos os indicadores (variáveis) foram submetidos à técnica da Análise Fatorial das Correspondências (AFC) com o software Philcarto.

Inicialmente os dados espacializados de cada indicador armazenado no SPRING foram transformados em uma matriz. Em seguida as matrizes foram exportadas para o formato txt.

O passo seguinte foi inserir os dados no software Philcarto e gerar os resultados.

Interpretando os dados, pode-se considerar que os dois primeiros eixos fatoriais explicam aproximadamente 60% dos resultados, e podem indicar que variáveis estão contribuindo com a definição das áreas afetadas pelo processo de desertificação.

Sendo assim, observando-se as figuras 2 e 3, pode-se considerar que as colorações do mapa que estão no intervalo de aproximadamente -88 a 114 (marrom ao laranja escuro), definem áreas que podem estar sob o processo de desertificação, influenciadas pelas variáveis índice de aridez, disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, grau de erosão, porcentagem de cobertura vegetal, terras degradadas, diferentes formas de propriedade, propriedades com menos de 5 ha, densidade de população, analfabetismo e mulheres chefes de família.

As condições físicas relacionadas com a degradação das terras e da cobertura vegetal, e as formas de ocupação que podem levar a uma maior pressão sobre a terra são os aspectos que possivelmente estão provocando mais altos níveis de desertificação na área de estudo nesse período.

É possível perceber com maior nitidez que o processo ocorre na porção nordeste da área, embora sejam verificados também trechos descontínuos na porção oeste.

Os resultados gráficos e cartográficos dos dados do ano de 2010 foram os seguintes:

Fig. Nº 4 – Dois primeiros eixos fatoriais que explicam, o primeiro (FAC1) 28,51% e o segundo (FAC2) 22,64%, dos resultados.

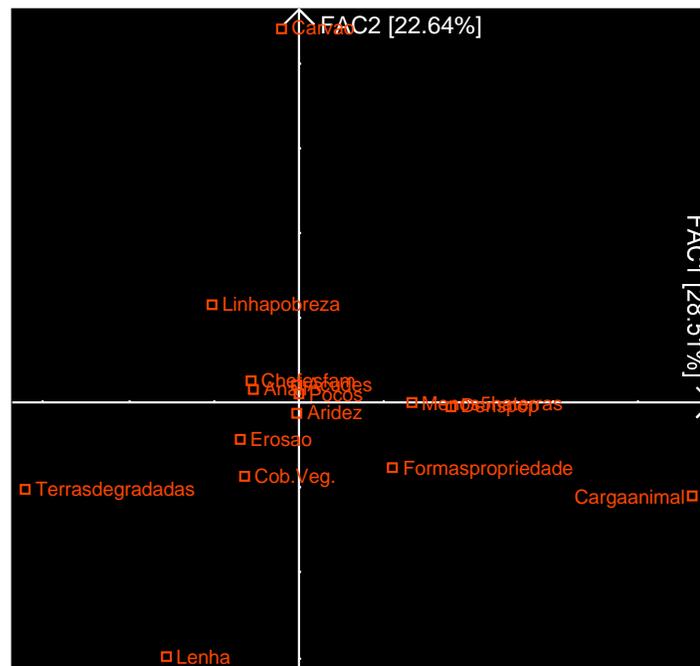
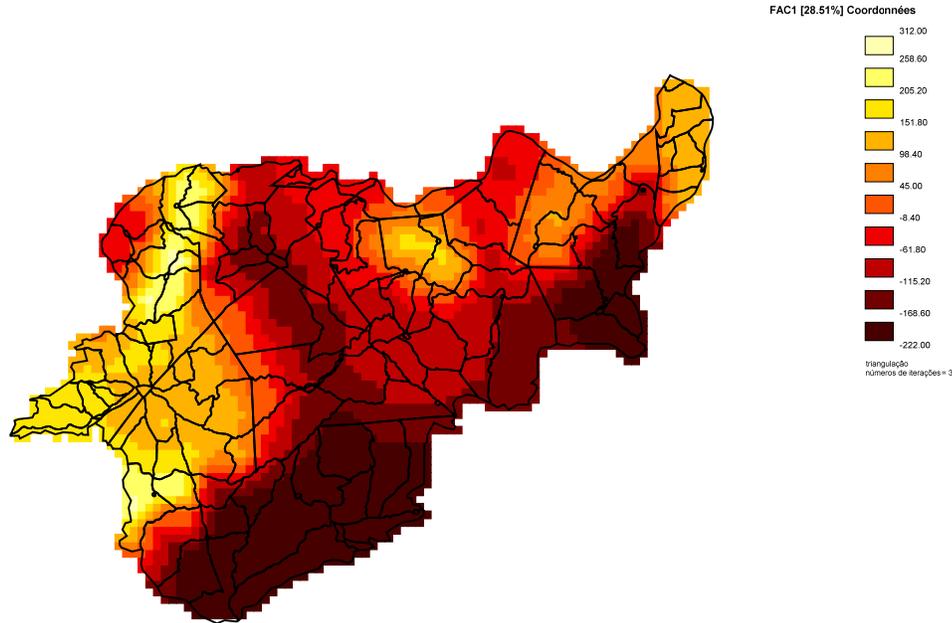


Fig. N° 5 – Mapa com os resultados do primeiro eixo fatorial - 2010.



Os dois primeiros eixos fatoriais neste caso explicam pouco mais de 50% dos resultados, um percentual menor do que foi encontrado para os dados do outro período, mas mesmo assim é um percentual significativo.

Observando-se as figuras 4 e 5, pode-se considerar que as colorações do mapa que estão no intervalo de aproximadamente -101 a 180 (marrom claro ao laranja), definem áreas que podem estar sob o processo de desertificação, influenciadas pelas variáveis índice de aridez, disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, grau de erosão, porcentagem de cobertura vegetal, diferentes formas de propriedade, propriedades com menos de 5 ha, densidade de população, analfabetismo, mulheres chefes de família e população abaixo da linha de pobreza.

Em relação ao período anterior houve uma pequena diferença nas variáveis que mais influenciam no processo de desertificação, ou seja, houve a inclusão da variável população abaixo da linha de pobreza e a exclusão da variável terras degradadas.

Novamente as condições físicas relacionadas com a cobertura vegetal e as formas de ocupação que podem levar a uma maior pressão sobre a terra, são os aspectos que possivelmente estão provocando mais altos níveis de desertificação. Entretanto, todas as variáveis relacionadas com os aspectos socioeconômicos utilizadas no estudo, passaram a ter relação com o processo de desertificação, indicando que esses fatores podem estar sendo o reflexo da degradação que está ocorrendo na área.

Também houve uma ampliação das áreas afetadas pelo processo, com a incorporação de novos trechos na porção oeste. A porção nordeste continua sendo área de ocorrência do processo, desta feita mais ampliada em relação ao período anterior.

De acordo com as observações realizadas em campo e com base nos resultados obtidos em Souza (2008), as zonas de desertificação obtidas com a aplicação das técnicas utilizadas demonstram estar coerentes.

Considerações finais

As técnicas utilizadas permitiram alcançar os objetivos propostos no trabalho e abrem perspectivas para a continuidade da pesquisa, com a possibilidade do monitoramento do fenômeno.

Como dificuldade encontrada registram-se as alterações na delimitação dos setores censitários, que motivou a adoção do município como unidade espacial para algumas variáveis, diminuindo a variabilidade espacial possivelmente existente em alguns dados.

Outra dificuldade normalmente encontrada quando se trabalha com muitas variáveis, é o fato da não correspondência temporal de algumas delas, a exemplo dos censos agropecuário e demográfico.

Superadas essas dificuldades, o software utilizado (Philcarto) permitiu que os mapas-síntese e gráficos fossem gerados de acordo com o previsto e os relatórios alfanuméricos de apoio também.

Uma vantagem do software utilizado foi a possibilidade de gerar os produtos cartográficos finais como mapas isopléticos, fugindo-se da rigidez dos limites político-administrativos e que não condizem com os dados do meio físico, também utilizados na pesquisa.

Considerando a espacialização do fenômeno, percebe-se uma correspondência com as observações realizadas em campo ao longo dos últimos anos de pesquisas. Entretanto, um fato interessante é o da identificação de quais são os fatores mais relevantes que proporcionam a configuração espacial do fenômeno.

Bibliografía

ABRAHAM, E. (2004). Recopilación y armonización de indicadores de desertificación. Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul. IICA Brasil. 2004.

AUBREVILLE, A. Climats, forêts et desertification de l'Afrique tropicale. Société d'Éditions Géographiques Maritimes et Coloniales, 1949. p. 351. Paris.

CONTI, J. (1994). Conceito de desertificação. In: 5º Encontro Brasileiro de Geógrafos. AGB. Curitiba. Anais, vol.1, pp.366-70.

COSTA, D.; BRITO, J.(2004). Contribuição do DCA/UFCG ao Plano Nacional de Controle da Desertificação. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004. Fortaleza.

CASTRO, C. (2011) Análise dos processos erosivos e as relações com as perdas aceitáveis de solos na Bacia do Alto-Paraíba/PB. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - FIBGE.(2006). Censo Agropecuário. Rio de Janeiro.

------(2000) Censo Demográfico. Rio de Janeiro.

------(2010)Censo Demográfico. Rio de Janeiro.

Serviço geológico do Brasil. (2011). "Base de dados sobre Poços da CPRM". [En Línea] Disponible em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php[acesso em julho de 2011]

LIMA, E. (2014). Relatório Final de Estágio de Pós-Doutorado na Universidade de Sevilla/Espanha. CNPq.

LIMA, E. ; Artigas, R.; Souza, B. (2014). Regimes Ecodinâmicos e Intensidade Bioclimática Real no Alto Curso do Rio Paraíba – PB, Brasil. Em Anais do VIII Congresso Español de Biogeografia, Sevilla, Espanha.

MAINGUET, M. (1994.). Desertification: natural background and human mismanagement. (2.ed.). p. 314. Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona; Budapest: Springer-Verlag,

SILVA, J. (2003). *Análise Multivariada em Zoneamento para Planejamento Ambiental - Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Alto Rio Taquari MS/MT. Tese de Doutorado.* São Paulo: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, J. ; Carvalho, J. ; SANTOS, R. ; FELGUEIRAS, C. (2007). Zoneamentos ambientais: quando uma unidade territorial pode ser considerada homogênea?. Em Revista Brasileira de Cartografia No 59/01, 2007. (ISSN1808-0936).

SOUZA, B. (2008). *Cariri Paraibano: Do silêncio do lugar à desertificação. Tese de Doutorado*. p.198. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.