

LÓGICA FUZZY NA MODELAGEM DA DESERTIFICAÇÃO NO ESTADO DA BAHIA

Jocimara Souza Britto LOBÃO¹

Raquel Matos Cardoso VALE²

Resumo

A desertificação deriva, sobretudo, do uso massivo das terras em domínios morfoclimáticos sazonais. A Bahia possui 393.056 km², mais de 69% de seu território no semiárido, o que a insere nas Áreas Suscetíveis à Desertificação/ASD's, devendo elaborar políticas públicas de mitigação ao processo. Imbuído nessa premissa, este estudo objetiva identificar áreas que apresentem vulnerabilidade à desertificação. Foram utilizadas imagens *Spot Vegetation* e MODIS, dados de uso agropecuário e classes de vegetação e de solos; analisados e integrados pelo modelador Lógica Fuzzy. Nos mapas produzidos foram selecionados quatro Pólos, para estudos focais, com padrões ambientais de degradação mais aguda, nos quais foram identificadas áreas críticas. Estas atingem 12.894 km² de superfícies dotadas de tipologias de paisagens com forte potencial para estar desenvolvendo desertificação.

Palavras chave: Sensoriamento Remoto. SIG. Agropecuária.

Abstract

Fuzzy logic in modeling of the state of Bahia desertification

Desertification mainly derives from the massive use of lands in seasonal morphoclimatic domains. Bahia has 393.056 km², more than 69% of its territory in the semi-arid, what inserts it in the Susceptible Areas of Desertification/SAD's, having to prepare public policies of mitigation to the process. Imbued in this premise, this study aims to identify vulnerable areas to desertification. Were used *Spot Vegetation* and MODIS images, vegetation and soil classes and agricultural data; analyzed and integrated by Fuzzy Logic modeler. From the produced maps were selected four poles with environmental standards of more acute degradation to focal studies, in which were critical areas identified. These reach 12.894 km² of superficies with landscape typologies with strong potential to be developing desertification.

Key words: Remote Sensing. GIS. Agriculture. Cattle Raising.

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS. Av. Transnordestina s/n, CEP:44026-900. Feira de Santana-BA - E-mail: juci.lobao@gmail.com

² Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS. Av. Transnordestina s/n, CEP:44026-900. Feira de Santana-BA - E-mail: valeraquel@gmail.com

INTRODUÇÃO

A degradação severa das terras derivada do uso e manejo inadequado dos solos é amplamente estudada e discutida por um número expressivo de profissionais de múltiplas áreas do conhecimento. Sahelização, estepização e sudanização, são termos empregados para caracterizar a perda do estrato arbóreo e, aridificação ou aridização, indicam uma evolução natural para climas mais secos. A confusão que passou a ser gerada com esta proliferação conceitual e falta de critérios claros para distingui-los entre si, culminou com o abandono dos termos e pouco incentivo a novas proposições. No entanto, manteve-se arenização, para os fenômenos erosivos descritos pioneiramente por Suetergaray em Alegrete - Rio Grande do Sul (DUARTE; POZZA FILHO, 2005) "retrabalhamento de depósitos areníticos (pouco consolidado) ou arenosos (não consolidados), que promove, nessas áreas, dificuldade de fixar vegetação devido a constante mobilidade dos sedimentos" (SUERTEGARAY, 2004, p. 268). Persistiram, no entanto, controvérsias e imprecisões na terminologia empregada para conceituar processos que deflagram a desertificação, especialmente quando esta se refere aos fatores sócio-econômicos e ambientais. Para Nimer

Desertificação é a crescente degradação ambiental expressa pelo ressecamento e perda da capacidade de produção de solos. Este ressecamento crescente do meio natural pode ser uma decorrência da mudança do clima regional e / ou do uso inadequado dos solos pelo homem ou ambos simultaneamente (NINER, 1988 in: SUERTEGARAY, 2004, p.262).

As discussões realizadas nos principais fóruns, especialmente na década de 1990, inclusive Agenda 21 (1992) e Resolução Conama 238/97, apontam a ação humana como a causa fundamental do processo. No entanto, há que se chamar a atenção para pesquisas que colocam sua origem relacionada às mudanças climáticas globais. O livro "Indicadores de Desertificação" organizado por Matallo Jr. em 2001 tem sido uma das mais importantes referências sobre o tema. Questões relativas às fragilidades conceituais e pequeno número de trabalhos científicos sobre o tema são amplamente demonstradas pelo autor:

A idéia de "degradação da terra" é ela mesma uma idéia complexa, com diferentes componentes: a) degradação de solos, b) degradação da vegetação, c) degradação de recursos hídricos, e d) redução da qualidade de vida da população. Esses 4 componentes dizem respeito a 4 grandes áreas do conhecimento: físicos, biológicos, hídricos e socioeconômicos;

Uma análise crítica do conceito de "desertificação" aponta para algumas fragilidades teóricas e/ou metodológicas, tais como: a) amplitude conceitual; b) ausência de métodos de estudo universalmente aceitos; c) ausência de métodos confiáveis para a identificação de processos de desertificação; e d) falta de uma metodologia de avaliação econômica da desertificação. (MATALLO JR. 2001. p. 23 e 24)

O conceito de desertificação tal qual estabelecido pelas Nações Unidas (ONU/CNUCD, 1994, p.4) e adotado pela Agenda 21 "degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas", não é consenso e, pelo contrário, gera muitas discussões e digressões (MATALLO JR., 2001). Por degradação

entende-se a redução ou perda, nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, da produtividade biológica ou econômica e da complexidade das terras agrícolas de sequeiro, das terras agrícolas irrigadas, das pastagens naturais, das pastagens semeadas,

das florestas e das matas nativas devido aos sistemas de utilização da terra ou a um processo ou combinação de processos, incluindo os que resultam da atividade do homem e das suas formas de ocupação do território, tais como: a erosão do solo causada pelo vento e/ou pela água; a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou econômicas do solo; e a destruição da vegetação por períodos prolongados (PNUD, p.4).

Apesar da conhecida semiaridez do Bioma Caatinga, da sua farta utilização pelos meios de comunicação, e até mesmo do uso do termo 'desertificação' para descrever as áreas desoladas pelos longos períodos de seca, esta, enquanto processo, não foi objetivamente e cientificamente identificada e descrita para o semiárido baiano. Tal procedimento traria profunda influência no planejamento e execução de políticas públicas de combate à miséria e de estímulo ao desenvolvimento sustentável. A desertificação é, pois, um tema dos mais controversos, seja no que se refere ao aspecto conceitual quanto ao metodológico. Ainda há falta de concordância, clareza e objetividade, que conduz a certa insegurança na abordagem científica.

Os primeiros estudos realizados no Brasil tiveram início na década de 1970 não seguiram uma trajetória crescente, ao contrário tornaram-se esparsos e fragmentados, como aponta a lista dos principais trabalhos publicados feita por Matallo Jr. em 2001. Dentre as contribuições mais relevantes têm-se as pesquisas produzidas por Vasconcelos Sobrinho (1974) e Aziz Ab'saber (1970, 1974, 1977, 1979); infelizmente, o professor Vasconcelos faleceu em 1989 e não pode dar continuidade aos seus estudos. Em 1971 elaborou monografia intitulada "Núcleos de Desertificação no Polígono das Secas", sendo considerada obra inaugural dos estudos sobre desertificação no Brasil (apud MATALLO JR., 2001). Publicou em 1974 o livro "O Grande Deserto Brasileiro" e coordenou, em Recife, o primeiro Relatório Nacional sobre Desertificação no Brasil, apresentado na Conferência de Nairóbi em 1977. Em seguida, a SUDENE/CNPq/FINEP/UFPI, criaram em 1980 o Núcleo Desert (Núcleo de Pesquisa e Controle da Desertificação no Nordeste) que produziu diversos estudos e experimentos no núcleo de desertificação de Gilbués-PI. Ferreira *et al.* (1994) com o trabalho apenas mimeografado intitulado "A desertificação no nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectiva" e Rodrigues *et al.* (1995) com o trabalho intitulado "Avaliação do Quadro da desertificação no Brasil", ambos citados por Matallo Jr. (2001), fizeram a primeira formulação de uma metodologia de 19 indicadores, muitos com forte viés econômico e sem valorizar a quantificação da biodiversidade. Viana e Rodrigues (1999) representaram uma importante tendência para a avaliação econômica da situação da desertificação, com a formulação de índices de origem interdisciplinar, permitindo o estabelecimento de classes de desertificação variando entre muito fraco a forte. Como consequência deste desenvolvimento conceitual, trabalhos com a avaliação do grau de desertificação foram publicados, permitindo a avaliação do efeito de fenômenos climáticos como o *El Niño* nos processos de desertificação (SILVA NETO *et al.*, 2007). Sales (2003) realizou uma análise comparativa entre os cinco principais trabalhos realizados para o nordeste brasileiro e verificou que em relação às abordagens e à escala de mapeamento, existem duas situações: para escalas regionais o estudo com foco na climatologia, índices de vegetação e umidade dos solos, é o mais recomendado. Já para escala local, o detalhamento de microclimas, erosão, dinâmica da vegetação, uso do solo, estrutura fundiária, população e agropecuária, são mais apropriados para o diagnóstico da desertificação.

A Resolução Conama Nº 238, de 22 de dezembro de 1997, Art. 1º, aprovou a Política Nacional de Controle da Desertificação, tendo por marco conceitual o deliberado na Agenda 21 da Convenção das Nações Unidas sobre Desertificação/CNUCD, assinado por 155 países e que entrou em vigor em 26 de dezembro de 1996 "desertificação é a degradação da terra nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas". Este conceito foi adotado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA que definiu que as áreas suscetíveis à

desertificação estão localizadas sob ação de climas árido, semiárido e sub-úmido seco. O índice de aridez é o parâmetro para categorizar as regiões secas e varia segundo as classes: Hiper-árido (<0,05) Árido (0,05 a 0,20) Semi-árido (0,21 a 0,50) Sub-úmido seco (0,51 a 0,65) Sub-úmido e Úmido (>0,65). Para as regiões de aplicação da Convenção, o índice de aridez varia de 0,21 até 0,65. Para o Brasil, estes índices apontam o trópico semiárido e seu entorno, como Área Suscetível à Desertificação – ASD a partir das classes ‘Alta’, ‘Muito Alta’ e ‘Moderada’ de acordo com o mapa da susceptibilidade do Brasil elaborado pelo MMA (BRASIL, 2007) a partir de trabalho realizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA (Tabela 1) e compreende parte dos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo. As ASD’s apresentam duas categorias de análise: Núcleos de Desertificação - ND e Áreas Afetadas por Processos de Desertificação - AAPD.

Tabela 1 – Classes, área e critério adotado para ASD’s

Classes	Critério – Índice de Aridez	Área para o NE km ²
Alta	Árido (0,05 a 0,20)	384.029,71
Muito Alta	Semiárido (0,21 a 0,50)	238.644,47
Moderada	Diferença entre a área do Polígono das Secas e as demais categorias	358,037,40

Fonte: Brasil, 2005

Desde a Conferência de Nairobi (1977) foram inúmeras as tentativas para se estabelecer um consenso universal quanto aos indicadores de desertificação. As propostas de revisões para aperfeiçoar o sistema de indicadores têm sido frustrantes e por enquanto, adotam-se, integral ou em parte, os 19 indicadores definidos no *workshop* realizado pela Fundação Grupo Esquel - Brasil em 1996. Desde então tem se tentado formular um Plano de Ação Regional, com o estabelecimento dos Indicadores de Situação (econômicos) e dos Indicadores de Desertificação (vegetação, solos e recursos hídricos). Esta classificação levou em conta que os dados econômicos, por si só, podem refletir situações desfavoráveis que não possuem relação direta com a desertificação. De fato, são os indicadores ambientais que melhor identificam os processos relativos à perda da capacidade produtiva da terra. Os indicadores econômicos devem, também, ser avaliados com cuidado, visto que:

a) condições macroeconômicas podem ter impactos críticos no nível local, tais como crise econômica ou atração de população para áreas com grandes investimentos; b) áreas em processo de desertificação podem coexistir tanto com indicadores que apresentam bons quanto maus resultados (significa dizer que existem situações onde existem péssimos indicadores sociais e não existe processo de desertificação e a situação inversa também é verdadeira, áreas onde existem bons indicadores sociais e desertificação); c) a ação governamental pode modificar o comportamento dos indicadores sociais sem que os padrões de exploração e degradação da terra sejam modificados. Portanto não se pode pensar que a desertificação leve, necessariamente, ao “deserto econômico”, pois o Estado pode, e freqüentemente o faz, intervir no processo induzindo redirecionamentos econômicos através de medidas compensatórias. (MATALLO JR, 2001, p.46).

Ainda segundo o Plano, deve-se considerar que o clima não é um indicador de desertificação, apesar da capacidade deste fenômeno poder exercer consequências negativas, por exemplo, ampliando o índice de aridez. No entanto, as variáveis climáticas como precipitação e evapotranspiração são necessárias na avaliação das áreas de risco. Na nona

reunião da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (COP9) realizada entre 21/09 e 02/10/2009, foi apresentada uma proposta de 11 indicadores de desertificação, ainda não consensuados pela comunidade científica.

OS NÚCLEOS DE DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL

O trabalho de Vasconcelos Sobrinho (1971) lançou os primeiros critérios que consubstanciaram a identificação dos núcleos, ou unidades espaciais mínimas de desertificação no nordeste brasileiro: Gilbués-PI, Irauçuba-CE, Seridó-RN e Cabrobó-PE, totalizando uma área de 18.743,5 km². As áreas-piloto (VASCONCELOS SOBRINHO, 2005) para aprofundamento das pesquisas foram também definidas (Quadro 1). Ana Lúcia Oliveira-Galvão e Carlos Hiroo Saito (2003) apontaram 5 categorias de susceptibilidade à desertificação para o nordeste brasileiro: muito baixa, baixa, moderada, elevada, e muito elevada, e ressaltaram que a região semiárida nordestina é potencialmente sujeita ao processo. Segundo o estudo, a Bahia apresenta susceptibilidade moderada, elevada e muito elevada.

Quadro 1 - Áreas-piloto no Nordeste Brasileiro

Áreas Piloto	Estados	Municípios
1	Piauí	Gilbués , Simplício Mendes, Cristino Castro, Ribeiro Gonçalves, Corrente e municípios vizinhos.
2	Ceará	Tauá, Arneiroz, Mombaça, Aiuaba, Catarina, Saboeiro, Irauçuba e municípios vizinhos.
3	Rio Grande do Norte	Currais Novos, Acari, Parelhas, Equador, Cranaúba dos Dantas, Jardim do Seridó e municípios vizinhos.
4	Paraíba	Juazeirinho, São João do Cariri, Serra Branca, Cabaceiras, Camalaú, Piauí e municípios vizinhos.
5	Pernambuco	Salgueiro, Parnamirim, Cabrobó , Itacuruba, Belém do São Francisco, Petrolina, Afrânio, Ouricuri, Araripina e municípios vizinhos.
6	Bahia	Uauá, Macururé, Chorrochó, Abaré, Rodelas, Curaçá, Glória, Jeremoabo, Juazeiro e municípios vizinhos.

Fonte: Vasconcelos Sobrinho (2002). In: Brasil, 2005

A região semiárida da Bahia corresponde a 40% do Semiárido Brasileiro, com uma área de 393.056,1 km², possui uma população de 6.576.409 habitantes (IBGE, 2007), onde foram identificadas quatro áreas suscetíveis à desertificação (Projeto Áridas/CAR-AOUAD, 1995) 1- Campo de Dunas à margem esquerda do Lago de Sobradinho (Remanso, Casa Nova, Pilão Arcado e Barra), 2 - Raso da Catarina, 3 - Oeste Baiano (eixos de drenagem dos principais afluentes do rio São Francisco), 4 - Litoral Norte Baiano com formação de dunas. Estudos realizados por Vasconcelos Sobrinho (2002) apontam como área piloto para estudo da desertificação no Sertão do São Francisco: Uauá, Macururé, Chorrochó, Abaré, Rodelas, Curaçá, Glória, Jeremoabo, Juazeiro e municípios vizinhos. O Programa de Combate à Desertificação – PROÁGUA Semiárido – Antidesertificação (2006, pg.137) indicou áreas-piloto na Bahia nos municípios de: Abaré, Canudos, Chorrochó, Curaçá, Glória, Jeremoabo, Macururé, Paulo Afonso, Pedro Alexandre, Rodelas, Santa Brígida e Uauá, classificados como

em processo severo de degradação. De acordo com o Programa, constituem espaços multivariados e de complexidade socioambiental ainda pouco conhecida, que alcançam 31.314,10 km² da região semiárida baiana.

O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NA BAHIA

A compreensão crítica e analítica do desenvolvimento sustentável para regiões semiáridas onde as condições ambientais são frágeis é complexa, pois a aridez predominante limita ou impede várias atividades produtivas. Grande parte da região nordeste do Brasil se enquadra dentro do Domínio Morfoclimático Semiárido (AB'SABER, 1970, 1974, 1977, 2003) caracterizado por deficiência hídrica, com irregular e imprevisível distribuição de chuvas. Sua localização é controlada pelas depressões Sertaneja e São Franciscana (200 a 400 m. de altitude), desenvolvidas principalmente sobre rochas magmáticas. Nestas depressões, predominam solos rasos e pedregosos, lajedos e areões, e acentuadas taxas de insolação e evaporação que concorrem para a instalação de um sistema ambiental frágil, onde o bioma caatinga é majoritário e submetido a longos períodos de seca absoluta. Os sistemas fluviais são intermitentes, entretanto, o exorreísmo, contribui para a ausência de taxas de salinidade muito elevadas no solo e nos lençóis de água subterrâneos, favorecendo, sob certas restrições, a ampla ocupação do espaço e a utilização dos recursos ambientais.

O Brasil apresenta 1.338.076 km² (15,7% do território) de áreas com algum grau de desertificação que abrigam uma população de mais de 31,6 milhões de habitantes, 18,6% da população, atingindo 1.482 municípios (BRASIL, 2005). As condições de permanência e sobrevivência nessa região são profundamente limitadas, levando à instituição, entre 2003 e 2004 pelo Governo Federal, do Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN/Brasil. Esta ação é um dos desdobramentos da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação - CNUCD e da Agenda 21, e está contemplada no Plano Plurianual de Investimentos PPA 2004-2007 e 2008-2011 (Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos, 2007) o que reflete o compromisso firmado pela Resolução CONAMA Nº 238, que aprovou a Política Nacional de Controle da Desertificação. Em agosto de 2007, foi realizado o I Seminário Internacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, para definir diretrizes da política do PAN-Bahia. No estado, além da Região do Sertão do São Francisco, reconhecida como em desertificação, e em coerência com o disposto no conceito, todos os 266 municípios do semiárido baiano estão sujeitos a este processo.

Os estudos para a modelagem da desertificação na Bahia foram realizados para o conjunto do território do estado com o objetivo de identificar áreas degradadas e, dentre elas, os setores que apresentam processos de desertificação ou estejam a ele susceptíveis. A Bahia possui cerca de 70% de sua área sob a ação de clima semiárido (Projeto Áridas/CAR-AOUAD, 1995), com amplas repercussões sobre os sistemas sociais, biológicos e físicos, agravadas por uma histórica estrutura de relações sociais e de produção ainda arcaica, com forte pressão sobre os recursos ambientais. A degradação ambiental que acompanhou essa organização socioespacial vem se agravando progressivamente e produzindo, não só a perda dos recursos, com a transformação e supressão dos ecossistemas naturais, mas também desestruturando as bases produtivas locais e regionais. Os reflexos sociais são muito negativos, sobretudo, pobreza, analfabetismo, desagregação das famílias, violência e êxodo. O stress ambiental decorrente é potencializado, provocando e retroalimentando o empobrecimento físico-hidro-biológico e a falência das estruturas e das organizações sociais, cujo desfecho é, entre outros, a migração das populações. Atualmente a dinâmica migratória vem assumindo uma conotação até então desconhecida e que demanda investigação mais detalhada: a fuga de grupos de famílias, derivada da absoluta falta de atributos ambientais que propiciem o mínimo de condições dignas de sobrevivência. Identificar e compreender esses

processos, intrinsecamente associados à desertificação, bem como o aprimoramento do planejamento sócio-econômico-ambiental, é vital para a reversão de situações-limite, principalmente onde a desertificação já está em desenvolvimento, a exemplo de espaços ao longo das bacias dos rios Salitre, Vaza Barris e Itapicuru, no norte do estado. É nesse âmbito que o trabalho ora apresentado objetivou subsidiar as ações do PAE-Bahia, por meio de uma modelagem à vulnerabilidade à desertificação no estado, utilizando técnicas de geoprocessamento e tendo como princípio a lógica *fuzzy*.

MODELAGEM DA VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO

Para atingir os objetivos propostos, concomitante com a revisão bibliográfica, o primeiro passo foi a seleção e organização de dados secundários pré-existentes que compuseram um banco dados em forma de Sistemas de Informações Geográficas, criado com o objetivo de subsidiar as análises e favorecer as etapas posteriores.

Considerando que o processo de desertificação analisado está baseado principalmente na degradação das terras e com base nos indicadores físicos de desertificação selecionou-se, três variáveis (Quadro 2) que passaram a integrar a modelagem da vulnerabilidade à desertificação: i) Índice de Vegetação, ii) Tipologia de Solos e o iii) Vegetação e Uso do Solo. Na execução da modelagem foram estabelecidos graus de pertinência entre **zero** e **um**, onde valores próximos a zero correspondem às superfícies sem vulnerabilidade à desertificação; próximos a um, fortemente vulneráveis; e valores intermediários à pouco, regular ou vulnerável à desertificação. Apesar da importância dos aspectos climáticos para a análise do processo de desertificação, estes não foram incluídos na modelagem, devido à descontinuidade e inconsistência temporal presente nos dados disponíveis para o estado. Além do mais, partiu-se do princípio de que a desertificação é um fenômeno fundamentalmente antrópico e, o clima, condiciona padrões ecológicos de paisagens naturais, que nem sempre têm uma relação direta com a desertificação. Acresce também, o fato de que as ASD's mapeadas pelo MMA (BRASIL, 2007), e aqui consideradas, utilizaram o clima como critério de identificação.

Quadro 2 - Variáveis adotadas para modelagem de áreas degradadas

Variáveis	Importância para a modelagem
Índice de Vegetação (Cena MODIS 17.01.2009)	É indicador de desertificação (Matallo Jr, 2001). Traduz o vigor da vegetação por meio da absorvância e reflectância e nas bandas do visível e infravermelho respectivamente.
Tipologia de solos (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOREFERENCIADAS – SIG-BAHIA, 2003)	Existem classes de solos mais suscetíveis à erosão e à desertificação referidas na literatura.
Vegetação e uso dos solos (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOREFERENCIADAS – SIG-BAHIA, 2003)	O tipo de vegetação implica em recobrimento diferenciado do solo. O uso dos solos é um importante fator antrópico determinante do processo de desertificação.

Fonte: Lobão, J. S. B e Vale, R. C. M., 2011

Os índices de vegetação são amplamente utilizados e compõem um dos principais parâmetros para identificação de áreas vulneráveis, pois ao identificar a biomassa verde é capaz de sintetizar os diversos elementos da natureza que fazem parte do sistema ambiental,

como clima, solos, morfologia dos relevos, dentre outros. Para a geração destes índices utilizam-se duas bandas do espectro eletromagnético para aquisição de imagens: o vermelho, onde se tem uma maior absorção da clorofila, e a do infravermelho próximo que possui sua maior curva de reflectância. Vários índices de vegetação podem ser gerados com base nessa diferença entre bandas, entretanto, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) é o mais utilizado, principalmente, por encobrir, parcialmente, os efeitos atmosféricos, e as perturbações radiométricas e geométricas e ser sensível à vegetação, e insensível ao fundo. Este índice foi aplicado em imagens de dois sensores diferentes: O *SPOT Vegetation*, com resolução espacial de 1 km e o MODIS com 500m. Na imagem SPOT, obtida para um período seco, o NDVI foi gerado e as áreas com os menores índices, selecionadas para levantamentos de campo. Além disso, foi utilizado para delimitar quatro Pólos no estado para detalhamento dos estudos de desertificação pelo Instituto de Gestão das Águas e do Clima - INGÁ. Em campo as áreas mais representativas de NDVI baixo foram caracterizadas e registradas por meio de fotografias georreferenciadas. A imagem MODIS, pela disponibilidade de dados atualizados e melhor resolução espacial, espectral e radiométrica, compôs junto com os outros dados, a modelagem para identificação das áreas mais vulneráveis à desertificação.

Para integrar os dados foi utilizada a Lógica Fuzzy, como alternativa à *Booleana*, que busca uma análise estatística computacional que possibilite pertinências parciais de contribuição ao processo investigado, capaz de demonstrar, de forma mais coerente, as realidades espaciais, discretizar os limites interclasses e identificar transições espaciais, gerando mapas com superfícies contínuas, sem limites abruptos.

Para avaliação em maior nível escalar, quatro Pólos localizados nas regiões centro/norte e sudoeste foram selecionados pelo antigo Instituto de Gestão das Águas e do Clima - INGÁ, com base no NDVI da Imagem *SPOT Vegetation* e por decisão política administrativa. Somam uma superfície de 111.925,725 Km², aproximadamente 20% do estado baiano (Quadro 3).

Quadro 3 - Pólos selecionados para estudos focais

Pólos	Qde/ municípios	Municípios Integrantes	Área (km ²)*
Juazeiro	9	Remanso, Sento Sé, Casa Nova, Sobradinho, Curaçá, Campo Formoso, Jaguarari, Abaré e Juazeiro.	48.166,05
Jeremoabo	13	Canudos, Uauá, Macururé, Rodelas, Chorrochó, Paulo Afonso, Glória, Santa Brígida, Pedro Alexandre, Coronel João de Sá, Novo Trunfo, Antas e Jeremoabo.	24.749,20
Irecê	16	São Gabriel, Jussara, Central, Uibaí, Ibititá, João Dourado, Ibipeba, Barra do Mendes, Barro Alto, Canarana, Cafarnaum, Itaguaçu da Bahia, Lapão, Presidente Dutra, América Dourada e Irecê.	15.246,41
Guanambi	14	Palmas de Monte Alto, Caetitê, Matina, Igaporã, Candiba, Sebastião Laranjeiras, Urandi, Lagoa Real, Iuiú, Pindaí, Licínio de Almeida, Guanambi, Malhada e Livramento de Nossa Senhora.	19.367,00
Total	52		107.528,66

* valor calculado considerando a base cartográfica do IBGE (2005) e excetuando-se as áreas recobertas por espelho d'água

Fonte: Lobão, J. S. B e Vale, R. C. M., 2011.

Os critérios adotados para a seleção destes Pólos fundamentaram-se em estudos que apontaram as regiões norte e nordeste da Bahia como susceptíveis a graves processos de degradação ambiental, muitas das quais, à desertificação (VASCONCELOS SOBRINHO, 2002, In: BRASIL, 2005, p. 17) e na metodologia empregada para avaliação do índice de vegetação NDVI, que apontou amplas superfícies com índices muito baixos (inferior à -0,15). Este resultado é bastante significativo, mesmo admitindo que parte destas superfícies correspondam a relevos rochosos ou múltiplos afloramentos, muito freqüentes no semiárido sob a forma de lajedões e inselbergues. Independente do nível de desmatamento ou substituição da vegetação por agropecuária ocorre comprometimento dos recursos hídricos e dos solos, sobretudo através do rebaixamento dos níveis freáticos, maior intermitência hidrográfica e erosão.

Para identificação do grau de exposição dos solos no estado foi utilizada quatro cenas do satélite MODIS por possuírem boa resolução temporal e radiométrica. Além disso, sua resolução espectral possibilita a geração do NDVI com boa qualidade; a espacial é compatível com a abrangência da área em estudo, de dimensão regional. Acresce que a interferência de nuvens é bastante reduzida, pois os produtos disponibilizados correspondem a sínteses de oito cenas. A cena utilizada foi selecionada após análise, adotando-se por critérios: data mais recente, baixa interferência de cobertura de nuvens, especialmente sobre a região semiárida, e período de imageamento coincidente com a estação chuvosa, buscando um cenário mais otimista, visto que na estação seca os espaços desnudos ampliam-se exponencialmente. As melhores cenas foram obtidas em 17.01.2009, as quais foram re-projetadas para coordenadas geográficas e mosaicadas para a extração do NDVI. Os intervalos foram separados em 5 classes, para as quais se atribuíram o grau de contribuição ao processo que variaram entre zero e um. Para a Modelagem com *Lógica Fuzzy* os maiores valores foram atribuídos à índices baixos por representarem superfícies mais expostas, que podem ter algum tipo de relação com processos de desertificação, interesse deste estudo. As pertinências parciais ao processo foram aplicadas de acordo com a tabela 2. Vale ressaltar que solos expostos num período chuvoso são por si só, um forte indicador de degradação.

Tabela 2 - Pertinências fuzzy, área e localização na Bahia das classes de NDVI

NDVI - MODIS 17.01.09	Pertinências	Área aproximada (Km²)	% em relação à área total	Localização (principal)
Sem dado	-	1.193	0,21	Lago de Sobradinho e corpos d'água.
0,0 – 0,4	1,0	66.691	11,80	Depressão sertaneja, planalto de Irecê.
0,4 – 0,6	0,9	134.123	23,73	Depressão sertaneja, planalto de Irecê, oeste baiano.
0,6 – 0,7	0,6	111.670	19,76	Manchas dispersas
0,7 – 0,8	0,3	145.843	25,81	Planícies vegetadas à margem direita do Rio São Francisco.
0,8 – 1,0	0,0	105.636	18,69	Planícies vegetadas à margem esquerda do Rio São Francisco.

Fonte: Lobão, J. S. B e Vale, R. C. M., 2011

O mapa de solos (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOREFERENCIADAS – SIG-BAHIA, 2003) e o sistema de classificação de solos (EMBRAPA, 1999) subsidiaram o reconhecimento dos principais tipos de solos encontrados na Bahia e suas características físico-químicas. A partir desta análise foi inferida a vulnerabilidade destes solos para desenvolver processos de degradação ambiental e desertificação, considerando para tanto o grau de evolução pedogenética, espessura, textura, concentração por bases, pedregosidade e localização morfoclimática. Em função das informações atribuíram-se os graus de pertinências de cada classe ao processo chegando à seguinte situação: a) os neossolos, planossolos, luvissolos, vertissolos, cambissolo e argissolo representam categorias com potencial físico-químico para desenvolver degradação ambiental, sendo atribuídos pesos entre 0,6 e 1,0; b) os chernossolos situam-se numa posição intermediária (peso 0,5); c) os demais constituem solos com baixo potencial para desenvolver degradação sob domínios de semi-aridez, bem como são pouco representativos ou ausentes nesse ambiente. A contribuição de cada classe foi relatada na tabela 3.

Tabela 3 - Pertinências fuzzy e área na Bahia para as tipologias de solo

Tipos de solos predominantes	Pertinências	Área aproximada (km²)	% em relação à área total
Neossolos Litólicos e Quartzarênico	1,0	121.144	21,72
Neossolo regolítico	0,9	3.467	0,62
Planossolos e Luvissolos	0,8	51.956	9,31
Neossolos Flúvicos, Cambissolo e vertissolos	0,7	45.872	8,22
Argissolo	0,6	102.950	18,46
Chernossolo	0,5	6.432	1,15
Latossolo	0,2	216.410	38,80
Afloramentos rochosos	0,1	546	0,11
Espodossolo, Gleissolo, Organossolo, Tipos de terreno (litoral e pré-litoral)	0,0	8.996	1,61

Fonte: Lobão, J. S. B e Vale, R. C. M., 2011

Com base nas classes identificadas no mapa de Uso e Cobertura do Solo (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOREFERENCIADAS – SIG-BAHIA, 2003) e considerando que o tipo de cobertura vegetal tem relação com a exposição dos solos à erosão, ao pisoteio e insolação direta, bem como, que a agropecuária tem conseqüências para a instalação da desertificação, foram definidas as pertinências de acordo com a tabela 4.

Tabela 4 - Pertinências *fuzzy* e área na Bahia para as classes de uso do solo

Vegetação / Uso do Solo	Pertinências	Área aproximada (Km ²)	%	Critério
Agropecuária	1,0	294.052	52,01	Provoca forte transformação da paisagem com total supressão da cobertura vegetal. É também atividade que se caracteriza, sobretudo por cultivos temporários, com baixa agregação de tecnologia. A pecuária bovina e caprina extensiva predomina no estado.
Caatinga parque	0,8	9.801	1,73	Grande desenvolvimento do estrato herbáceo (gramíneas) que recobre a superfície do solo. Sobretudo na estação seca há retração destas gramíneas com total exposição do solo, concorrendo para acentuar processos de erosão, evaporação e concrecionamento do solo.
Campo limpo / cerrado gramíneo lenhoso e Reflorestamento	0,7	7.690	1,36	Equivale ao cerrado gramíneo lenhoso, onde grande parte do solo é recoberto por gramíneas, seguidas de arboretos de pequeno porte. Tal qual a caatinga parque, também deixa exposta parte da superfície. O reflorestamento é uma formação totalmente antrópica, porém se constitui, em muitos casos, como verdadeiras florestas que também protegem o solo.
Caatinga arbóreo- arbusativa	0,6	107.770	19,06	Formação densa e fechada que recobre uniformemente a superfície, protegendo-a da insolação direta e da erosão, reduzindo o potencial da paisagem para degradação ambiental.
Cerrado	0,5	78.732	13,93	Produzem bom recobrimento do solo, sobretudo as classes mais arbóreas.
Floresta secundária	0,3	8.627	1,53	Representa uma formação florestada, com árvores acima de 7m, que apesar de se constituir como secundária, ou seja, parcialmente desmatada, favorecendo ao surgimento de clareiras que expõem o solo, predomina o aspecto florestal que protege o solo.
Cabruca,	0,2	10.202	1,80	Técnica com boa sustentabilidade por preservar espécies nativas e favorecer a conservação do solo.
Floresta estacional e Campo rupestre	0,1	30.246	5,35	A floresta estacional abrange uma formação vegetal que protege amplamente o solo. O campo rupestre, que majoritariamente só se desenvolve sobre afloramentos rochosos acima de 800m, não apresenta características naturais e de uso que promovam desertificação.
Veredas, brejo, restinga, mangue, espelho d'água, floresta primária, área urbana	0	18.238	3,23	Manifestam-se em ambientes úmidos e sub-úmidos não favoráveis à processos que possam levar à desertificação e desta forma estão excluídos das áreas de risco, recebendo peso zero.

Fonte: Lobão, J. S. B e Vale, R. C. M., 2011

Esta modelagem integrou dados de NDVI; Classe de Solos e Vegetação e Uso do Solo, conforme descrito anteriormente, e identificou as áreas mais vulneráveis à desertificação. Nesta integração utilizou-se a lógica *fuzzy* como alternativa à lógicas dicotômicas (sim, não). Para muitos pesquisadores (COX, 1994), um benefício significativo dos modelamentos baseados em lógica *fuzzy* é a habilidade de codificação de conhecimentos inexatos, numa

forma que se aproxima muito aos processos de decisão. As simulações baseadas em lógica fuzzy possibilitam, assim, a captura do conhecimento, próximo ao modelo cognitivo, utilizado na análise de problemas. Isto significa que o processo de aquisição do conhecimento é mais confiável e menos sujeito a erros não identificados. A concepção de variável linguística é o cerne da técnica do modelamento fuzzy (COX, 1994) e suas funções indicam o grau de relacionamento de um valor de entrada (atributo) para com um conjunto fuzzy. Tais conjuntos lidam com conceitos inexatos, sendo indicados para estudos que apresentam ambiguidade, abstração e ambivalência, em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos. No modelamento de um sistema, existem mecanismos subentendidos que são representados de modo linguístico, ao invés de puramente matemático. Isto permite lidar de modo melhor com dados imprecisos, incompletos, ambíguos, e/ou vagos (MOREIRA e colaboradores, 2001). Dessa forma, a aplicação de lógica fuzzy como modo de integração das variáveis de um modelo proposto pode resolver melhor as questões relacionadas com o conhecimento, onde cada membro fuzzy pode corresponder a um diferente grau de contribuição ao processo a ser investigado.

Os conjuntos fuzzy são obtidos por meio de um par ordenado $(x, \mu(x))$, onde uma função de pertinência associa um valor $\mu(x)$, para cada valor (x) . Essa função não precisa ser linear e pode assumir qualquer formato analítico ou arbitrário. Os valores devem estar compreendidos em um intervalo de $[0 \text{ a } 1]$, sem nenhuma restrição, onde as classes dos mapas são valoradas em função da importância relativa dos mapas e de suas classes. Desta forma, torna-se necessário a transformação de dados discretos em contínuos. Dentre os operadores fuzzy, optou-se pelo gamma que pode ser expresso pela função: **$m = (\text{soma algébrica fuzzy})g \times (\text{produto algébrico fuzzy})1-y$** . O valor da constante 'g' pode variar de zero a um, sendo estes limites representativos, respectivamente, da dependência apenas da soma ou do produto algébrico Fuzzy (BURROUGH, 1998). Ele se destaca pela possibilidade de controlar os valores de saída flexibilizando os resultados para não se obter nem um cenário otimista, nem pessimista. Para isso utilizou-se a constante '0,7', para a integração dos dados biofísicos na determinação das áreas mais degradadas e vulneráveis à desertificação. A figura 1 apresenta o resultado da modelagem.

É importante salientar que este modelo proposto, não identifica áreas desertificadas, ou mesmo onde o processo já se iniciou, mas retrata a vulnerabilidade, ou seja, o grau de perda de um ou mais elementos, que juntos manteriam maior estabilidade dinâmica ao sistema ambiental, ou ainda, a probabilidade da desertificação vir a ocorrer se mantidas as condições atuais e considerando-se o conhecimento adquirido sobre este processo. De acordo com os resultados obtidos verificam-se que as áreas mais comprometidas estão localizadas na região norte e nordeste do estado, com extensões para áreas meridionais, passando pelo vale do Rio Jacuípe, até a região de Itatim, vale do Rio de Contas e região de Guanambi. O mapa permite observar que grande parte do estado da Bahia apresenta algum nível de suscetibilidade ao processo, exceto as regiões litorâneas e pré-litorâneas, onde os climas úmido e sub-úmido criam condições ambientais favoráveis à estabilidade ambiental e morfopedogenética. Mesmo em situações de forte desmatamento, não ocorrerá desertificação, visto que este é um processo restrito às regiões com índices de aridez acentuados, onde o uso dos solos impugna progressiva degradação ao sistema solo-planta-água. Caso ocorra erosão por mobilização dos sedimentos, estes devem ser enquadrados como processos de arenização, como descrito por Suetergaray (2001).

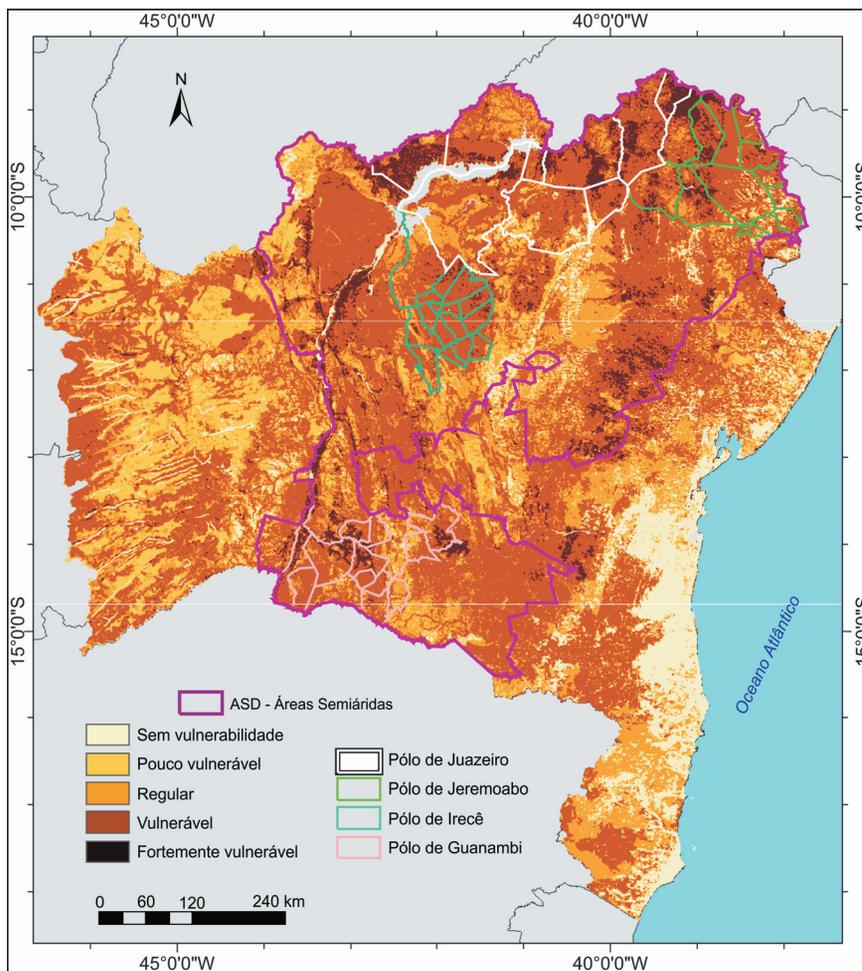


Figura 1 - Modelagem da vulnerabilidade à desertificação na Bahia

A tabela 5 aponta para o estado cerca de 23.000 km² de áreas enquadradas na classe fortemente vulnerável (4,1% do estado) à desertificação e mais de 286.000 km² na vulnerável (51,41%). Este é um cenário preocupante, principalmente se considerarmos que nesta modelagem utilizaram-se dados do índice de vegetação obtidos em imagem tomada num período de chuvas (janeiro). No mapa observa-se que áreas ocupadas por agropecuária e/ou afloramentos, onde os solos são naturalmente frágeis, são mais propícias à instalação do processo de desertificação. Verifica-se também que as áreas suscetíveis à desertificação definidas no Pan Brasil, onde se utilizou apenas o índice de aridez são insuficientes para apontar o processo, pois desconsidera um elemento fundamental para o desencadeamento do processo que é a ação antrópica.

Tabela 5 - Área e porcentagem de áreas na Bahia, das classes de vulnerabilidade a desertificação, mapeadas por meio de lógica fuzzy

Classes	Área Km ²	%
Sem vulnerabilidade	76.824,74	13,80
Pouco vulnerável	68.735,63	12,35
Regular	102.069,88	18,34
Vulnerável	286.138,83	51,41
Fortemente vulnerável	22.802,18	4,10

Fonte: Lobão, J. S. B e Vale, R. C. M., 2011.

No mapeamento aqui apresentado, a vulnerabilidade extrapola os limites da região semiárida, ao mesmo tempo em que subtrai outras, de florestas estacionais ou formações contínuas e preservadas. Outro fato que deve ser observado é a presença de pequenos pontos fortemente vulneráveis e outros vulneráveis, localizadas no oeste da Bahia, onde os cerrados estão sendo substituídos pelo agronegócio. Vale ressaltar que o núcleo de Gilbués/PI apresenta solos maduros e clima sub-úmido, mas a instalação do processo deveu-se, prioritariamente, às formas de uso e de manejos adotados na agropecuária. Condições ambientais similares podem ser encontradas no oeste da Bahia, embora o processo ainda não atinja os mesmos níveis de Gilbués. Os Pólos somam 107.528,66 Km², mas ao considerar os resultados da modelagem para o estado, este valor cresce de forma significativa, elevando o potencial do estado para desenvolver sérios problemas de degradação ambiental. Estas áreas podem conduzir à desertificação, sobretudo nos espaços intensamente ocupados pela agropecuária.

Existem padrões de paisagem com certo grau de semelhança quanto aos arranjos espaciais dos relevos e sistemas agropecuários, que possuem relações intrínsecas com os processos de desertificação nos Pólos. Nestes sistemas podem-se verificar dois importantes fatores que em função de sua abrangência se tornam muito significativos. O primeiro são as técnicas tradicionais de cultivos temporários com baixa produtividade e constante necessidade de rotatividade de áreas; e o segundo, e mais significativo, é a pecuária extensiva que provoca grande degradação, principalmente, pelo pisoteio do gado que é criado solto e necessita de áreas muito extensas. Neste sistema, vigente prioritariamente, na região semiárida, estas práticas se alternam em função da sazonalidade climática, visto que os cultivos temporários ocorrem nos períodos chuvosos, e após a colheita, o gado é solto para aproveitar os restos dos cultivos e aguardar as próximas chuvas.

Para o estado, uma unidade geomorfológica se destaca como a mais propícia a desencadear o processo de desertificação: a Depressão Sertaneja que é a mais representativa nos quatro Pólos, principalmente nos de Juazeiro e Jeremoabo. Sua extensão abrange 53.175 Km² de paisagens típicas do domínio morfoclimático semiárido, onde as dinâmicas socioambientais são mais suscetíveis aos processos de desertificação (VALE et al, 2010). É importante observar que o índice de aridez nestas Depressões é variável e que o nível de rusticidade ambiental das mesmas acompanha o padrão de aridez, o que se reflete diretamente sobre o grau de suscetibilidade citado. Nos Pólos de Juazeiro e Jeremoabo são registrados os mais elevados índices de aridez do estado, o que os coloca no centro das atenções para ações governamentais. O bioma caatinga é dominante, porém apresentam diferenças biológicas devido ao índice de aridez. A caatinga hipoxerófila ocorre em áreas com índices mais baixos e de maior umidade. Possui uma estrutura vertical em três estratos distintos - herbáceo (bromeliáceas e gramíneas), arbustivo (leguminosas, euforbiáceas, crótons e rubiáceas) e arbóreo (anacardiáceas, leguminosas, cactáceas, com árvores de até 15m). A caatinga hiperxerófila se desenvolve em áreas mais secas (incidência de secas entre 7 e

10 meses). Apresenta vegetação de porte mais baixo que a caatinga hipoxerófila, especialmente leguminosas, *solanáceas*, *bignoniáceas*, *cactáceas* e *euforbiáceas* (FRANÇA, et al, In: Vale et al, 2010). Entretanto, são nas áreas de caatinga associadas a cultivos temporários, que se intercalam com criações extensivas, onde os processos se intensificam. É para essa áreas, muitas delas consideradas fundo de pasto e de importante fonte de renda e sobrevivência de populações locais, que devem ser pensadas de forma mais contundente as ações mitigadoras.

As planícies fluviais e lacustres constituem a segunda unidade geomorfológica mais expressiva e estão localizadas ao longo dos rios São Francisco, Verde, Jacaré/Vereda Romão Gramacho, Vaza-Barris, Itapicuru, e dos lagos de Sobradinho, Paulo Afonso, Itaparica, Xingó e Açude de Cocorobó. Constituem unidades fortemente ocupadas por agricultura e pastos, que tem provocado a instalação de processos erosivos degradacionais. Os rebanhos são transferidos para as planícies, sobretudo durante as secas, quando os pastos e a caatinga perdem capacidade para nutrir e sustentar os animais. Consequentemente há uma sobrecarga na demanda pelos pastos que abundam nestas planícies, onde gramíneas e vegetação arbustiva, que constituem o único alimento para os animais neste período, são praticamente suprimidas da paisagem. O sobrepastoreio concorre para que os processos de erosão dos solos e o assoreamento dos mananciais sejam agravados, dinâmica, que se repete anualmente a cada estação seca. As consequências, ao longo dos anos, são perdas na produtividade agrícola com repercussões negativas e aumento do potencial de vulnerabilidade à desertificação.

Considerando os pólos definidos para os estudos de desertificação verifica-se que o pólo de Juazeiro é o que possui a maior área na classe **fortemente vulnerável** com quase 6.500km², seguido por Jeremoabo; áreas um pouco menores ocorrem nos Pólos de Irecê e Guanambi (Tabela 4). Para estas áreas devem-se adotar medidas mais urgentes de recuperação que considerem principalmente a forma de uso, ou melhor, a convivência mais racional e harmoniosa com a natureza rústica destes sertões, com critérios que respeitem as características biofísicas sem desprezar as peculiaridades que permeiam as comunidades que habitam nestas regiões.

Tabela 6 - Área e porcentagem de áreas dos Pólos na classe fortemente vulnerável a desertificação mapeadas por meio de lógica fuzzy

Pólos	Área do km ²	Área na classe fortemente vulnerável	% de área na classe fortemente vulnerável
Irecê	15.246,41	1.416,38	9,29
Juazeiro	48.166,05	6.497,43	13,49
Jeremoabo	24.749,20	3.163,56	12,78
Guanambi	19.367,00	1.817,26	9,38

Fonte: Lobão, J. S. B e Vale, R. C. M., 2011.

A classe considerada vulnerável é aquela em que o desequilíbrio ocorre por não contemplar pelo menos uma das variáveis envolvidas na modelagem. Desta forma, observa-se sua grande abrangência, excetuando-se apenas áreas pré-litorâneas e litorâneas ao sul do estado; áreas no oeste baiano ainda não incorporadas ao agronegócio; e áreas à barlavento da Chapada Diamantina onde estão localizadas florestas estacionais. Portanto, esta classe extrapola muito as áreas dos pólos selecionados, bem como, as consideradas semiáridas na ASD. Nesta classe destaca-se o pólo de Irecê, marcado principalmente, pelo uso de cultivos irrigados (Tabela 7). Esta região é marcada por intenso desmatamento e captação de águas subterrâneas de aquíferos carbonáticos, que contribuiu para uma profunda

descharacterização das paisagens e resultou em processos erosivos acelerados e contínuos. Entretanto, constata-se que todos os pólos possuem mais de 50% de suas áreas vulneráveis ao processo (Tabela 7).

Tabela 7 - Área e porcentagem de áreas dos pólos na classe vulnerável a desertificação mapeadas por meio de lógica fuzzy

Polos	Área do km ²	Área na classe vulnerável	% na classe vulnerável
Irecê	15.246,41	12.031,97	78,92
Juazeiro	48.166,05	29.005,05	60,23
Jeremoabo	24.749,20	17.151,19	69,30
Guanambi	19.367,00	11.239,73	58,04

Fonte: Lobão, J. S. B e Vale, R. C. M., 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem aqui apresentada, traduz o quadro da desertificação na Bahia por meio de um cenário que utilizou a lógica fuzzy para integrar as três variáveis propostas como indicadoras apresentou resultados satisfatórios e condizentes com os trabalhos anteriormente apresentados, bem como, com as atividades de campo realizadas durante o trabalho. As três variáveis ou indicadores, podem ser melhorados, com a utilização de outros e principalmente, utilizando-se dados temporais que possam melhor monitorar este processo.

Os estudos acerca da ocorrência de processos de desertificação no estado da Bahia são insuficientes e exigem aprofundamento, seja na metodologia mais apropriada, seja na consistência conceitual. Para o estudo realizado, as técnicas utilizadas potencializaram os resultados, elevando-os para um patamar relevante frente às produções já publicadas e forneceram um modelo próximo da realidade observada nos levantamentos de campo.

O domínio morfoclimático semiárido compromete o desenvolvimento da agricultura e exige manejos adequados, ainda pouco acessíveis para o conjunto das populações rurais. Aumentam a pressão sobre os recursos ambientais, sobretudo os hídricos, e promovem processos degradacionais, sejam eles naturais e/ou antrópicos. Por sua vez, a sazonalidade potencializa a degradação das terras que se expressa na expansão dos processos de erosivos, perda e exposição dos solos, que retroalimentam a rusticidade ambiental e pode conduzir a processos de desertificação. É a retroalimentação contínua que amplia as áreas degradadas e cria mecanismos que podem levar ao processo. Entretanto, são as atividades antrópicas que mais comprometem este sistema, marcado, na região semiárida, por uma pecuária extensiva e práticas tradicionais de cultivos, principalmente, temporários por isso, recomenda-se: Incorporação de dados sazonais para melhor definir a dinâmica natural; Análises multitemporais para monitoramento dos processos degradacionais; Aprofundamento dos estudos para escalas de maior detalhamento do processo.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, Aziz Nacib. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, n.20, 1970.
- AB'SABER, Aziz Nacib. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, n. 43. 1974.
- AB'SABER, Aziz Nacib. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. São Paulo: Instituto de Geografia da USP. **Geomorfologia**, n. 53. 1977.
- AB'SABER, Aziz Nacib. **Os Domínios de natureza no Brasil** – Potencialidades Paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial. 2003.
- AOUAD, Marilene dos Santos. **Desertificação**. Salvador, CAR - Projeto Áridas Bahia, 1995.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Programa de Ação Nacional de combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca** – PAN-Brasil. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Recursos Hídricos, 2005. Disponível em: www.desertificacao.cnrh-srh.gov.br. Acesso: 11/07/2007.
- BURROUGH, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. **Journal of Soil Science**, v. 40, p. 477-492, 1998.
- COX, E. **The fuzzy systems: handbook a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems**. London: Academic Press, 1994.
- DUARTE, A. C.; POZZA FILHO, E. A. A intensificação da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul: ações antrópicas e políticas educacionais. III SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA – II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA. Jornada Ariovaldo Umbelino de Oliveira. **Anais...** Presidente Prudente, 11 a 15 de novembro de 2005.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999, 412p.
- FRANÇA, F., et al **Degradação ambiental e processos de desertificação no Estado da Bahia**: relatório técnico para convênio Universidade Estadual de Feira de Santana / Raquel de Matos C. do Vale...[et al.]. Salvador: INGÁ, 2010.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. Disponível em: http://parquepaqueta.com.br/site_institutosdesert/download/convencoes/ccd.doc. Acesso: 20/06/2011.
- MATALLO JR., Heitor. Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas. **Cadernos da UNESCO Brasil, série Meio Ambiente e Desenvolvimento**, v. 2. Brasília: Unesco, 2001.
- MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G.; ALMEIDA FILHO, R. **Técnicas de suporte a decisão para modelagem geográfica por álgebra de mapas** - Relatório Técnico - Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas Ação, Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental: São José dos Campos, SP: INPE, 2001.
- OLIVEIRA-GALVÃO; SAITO, C. H. **Mapeamentos sobre Desertificação no Brasil**: uma análise comparativa. Nº 77 – Agosto 2003. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ojs/index.php/braflor/article/viewFile/87/86>. Acesso: 23/06/2010.
- ONU. **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África** - UNCCD. 1994.
- RODRIGUES, V. et al. Avaliação do Quadro da Desertificação no Nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectivas. In: GOMES, G.M. et al. (Ed). **Desenvolvimento Sustentável no Nordeste**. Brasília, IPEA: 1995.

SALES, Marta Celina Linhares. Evolução dos estudos de Desertificação no Nordeste Brasileiro. São Paulo: **GEIOUSP** – Espaço e Tempo, n. 14, p. 9-19, 2003.

SILVA NETO, A. F., BARBOSA, M. P., MORAIS NETO, J. M. A dinâmica da desertificação e a influência dos eventos ENOS na degradação das terras em municípios do Cariri-Ocidental (Paraíba-Brasil). Anais do SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis, **Anais...**, 21-26 abril 2007, INPE, p 4405-4412. 2007.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOREFERENCIADAS – SIG-BAHIA **Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos** – SIRH. Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos, 2003. 2 CD – Rom.

SUERTEGARAY, D. Desertificação: recuperação e desenvolvimento sustentável. In: Guerra, A. J.T.; Cunha, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2004.

VALE, Raquel M. C., et al **Degradação ambiental e processos de desertificação no Estado da Bahia**: relatório técnico para convênio Universidade Estadual de Feira de Santana / Raquel de Matos C. do Vale...[et al.]. Salvador: INGÁ, 2010.

VIANA, M.O.L.; RODRIGUES, M.I.V. Um índice interdisciplinar de propensão à desertificação (IPD): instrumento de planejamento. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 30, n. 3, p. 264-294, 1999.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Desertificação no Nordeste do Brasil**. Recife: FADURPE/UFRPE. 2002.

Recebido em abril de 2012

Revisado em agosto de 2012

Aceito em agosto de 2012