

 Fundação
Joaquim Nabuco

Volume 41
Número 2
2017

CIÊNCIA TRÓPICO



Volume 41
Número 2
2017

CIÊNCIA TRÓPICO

Michel Temer
Presidente da República
José Mendonça Bezerra Filho
Ministro da Educação

Luiz Otávio de Melo Cavalcanti
Presidente da Fundação Joaquim Nabuco
Joana D'arc de Mendonça Cavalcanti
Coordenadora da Editora Massangana

Editora
Alexandrina Sobreira de Moura
Diretoria de Pesquisas Sociais

Conselho Editorial
Esther Caldas Bertoletti
Fundação Biblioteca Nacional e Projeto Resgate –
Secretaria de Articulação Institucional/Ministério da Cultura
Cátia Lubambo
Fundação Joaquim Nabuco
Pedro Hespanha
Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra
José Paulo Chahad
Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo
Maria Cecília MacDowel Santos
Universidade de São Francisco, Califórnia
e Centro de Pesquisas Sociais da Universidade de Coimbra
Marion Aubrée
Centre de Recherche sur le Brésil Contemporain (CRBC)
et no Centre d'Etudes Interdisciplinaires des Falts Religieux (CEIFR)
da Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS - Paris)
Maria do Carmo de Lima Bezerra
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília
Sillvina Carrizo
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

© 2017, Fundação Joaquim Nabuco

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução por meios eletrônicos, fotográficos, gravação ou quaisquer outros, sem permissão por escrito da Fundação Joaquim Nabuco.

E-mail: pesquisa@fundaj.gov.br

<http://www.fundaj.gov.br>

*Pede-se permuta
On demande l' échange
We ask for exchange
Pidese permuta
Si richiede lo scambio
Man bittet um Austausch
Intershangho dezirata*

Revisão linguística e tradução: *Luis Henrique Lopes da Silva e Hyago Raphael Manta Machado*

Diagramação: *Karina Vizeu Winkaler e Patricia Okamoto | Tikinet*

Projeto da capa: *Antonio Laurentino | Editora Massangana*

Ilustração da capa: *Trabalho gráfico executado sobre fotografia de Neison Freire.*

Parque Nacional do Vale do Catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil.

Ciência & Trópico - Recife: Fundação Joaquim Nabuco

1973 - Semestral

Continuação do Boletim do Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais (v. 41-2), 1952-1971. A partir do volume 8, que corresponde ao ano de 1980, o Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais passou a se denominar Fundação Joaquim Nabuco.

ISSN 0304-2685 / ISSN eletrônico 2526-9372

CDU 3: 061.6(05)

SUMÁRIO

Alexandrina Sobreira de MOURA Richard ESCADAFAL Neison FREIRE	7-10	Nota editorial
Admilson da Penha PACHECO	13-32	Téledétection appliquée à l'étude du biome Caatinga: Une Revue De La Littérature
Richard ESCADAFAL	33-50	Remote sensing of drylands: when soils come into the picture
Waldir de CARVALHO JUNIOR Maud LOIREAU Mireille FARGETTE Braz CALDERANO FILHO Abdoulaye WÉLÉ	51-66	Correlation between soil erodibility and Satellite data on areas of current desertification: a case study in Senegal
Sônia Barreto Perdigão de OLIVEIRA Margareth Sílvia Benício de Souza CARVALHO Abdelfettah SIFEDINE Betina FERRAZ Eduardo Sávio P. R. MARTINS	67-96	Uso de sensoriamento remoto para mapeamento de áreas suscetíveis a desertificação na região semiárida do Brasil

ISSN 0304-2685

ISSN eletrônico 2526-9372

Ciência & Trópico	Recife	v. 41	n. 2	p. 1-280	jul./dez.	2017
-------------------	--------	-------	------	----------	-----------	------

Neison Cabral Ferreira FREIRE Admilson da Penha PACHECO	97-128	Uma abordagem geoespacial e espectro-temporal da degradação ambiental no bioma Caatinga na região de Xingó, Brasil
Janaína Barbosa da SILVA Simone Mirtes Araújo DUARTE	129-148	Intermittent rivers of the Brazilian northeast: the case of Alto Paraíba, Brazil

EDITORIAL NOTE

The Editorial Board of the Journal *Ciência&Trópico* is honored to dedicate this issue to the discussion about Desertification in partnership with the Center for the Study of the Biosphere from Space (CESBIO) – Toulouse/France. *Ciência&Trópico* which, over the years, consolidates the interdisciplinarity at national and international level, invited Dr. Richard Escadafal, who is Chair of the *Comité Scientifique Français de la Désertification*, and leader of research projects of CESBIO (France) in the Mediterranean region, to Special Editor of this edition. The debate presented by the authors illustrates the importance of strategies for the definition and monitoring of drylands.

Desertification is the degradation of land in arid, semiarid, and dry sub-humid areas. It is caused primarily by human activities and climatic variations. The drylands do not refer to the expansion of existing deserts. It is known, however, that they are widespread. They cover about 40% of the total land surface of Earth, and are described by a climate with low average rainfall, and recurrent periods of drought. Adapted to those constraints, specific ecosystems have developed, such as arid lands, and formed some of the most beautiful landscapes of our planet. Since the beginning of their development, human societies have learned how to live in those environments, and they continue to develop and tailor strategies and technologies to cope with the constraints of such irregular climates.

Information on the condition of land and vegetation, land use and more generally on changes in the environment is essential for better management of drylands and to enable the populations living in them to improve their conditions. This special issue is illustrating and commenting

on the role of remote sensing techniques and geomatic techniques in the important task of characterization and monitoring of drylands.

Throughout the different contributions, case studies from Brazil and Africa present different approaches based on the use of images obtained from Earth observation satellites. Whereas not covering the full range of applications, the six documents provide an original introduction to the most common issues in drylands and to the way remote sensing technologies help to tackle them.

The article *Téledétection appliquée à l'étude du biome Caatinga: une revue de la littérature*, written by Admilson Pacheco, presents the contribution of remote sensing to the study of the Caatinga Biome by means of a literature review. The author states that some studies in this ecosystem are indispensable because this biome is one of the most threatened because of the unsuitable and unsustainable use of natural resources. Therefore, scientific and technical research works on remote sensing of multispectral and multitemporal satellite image processing techniques, as well as local databases and maps, were used to examine the nature, trend and quantification of the environmental monitoring process of conservation.

With *Remote sensing of drylands: when soils come into the picture*, Richard Escadafal seeks to distinguish biological and mineralogical features from semiarid lands. He points out that soil color seems to be an important parameter of the optical properties of dryland soils, as it was illustrated in the Sahara. The author states that the previously explored causes of “soil noise” in vegetation indices are confirmed, as well as the way to correct them, and the strategies for the optimized use of optical remote sensing of drylands are completed, taking into account the soil surface.

In the article *Correlation between soil erodibility and satellite data on areas of current desertification: a case study in Senegal*, the authors Waldir de Carvalho Junior, Maud Loireau, Mireille Fargette, Braz Calderano Filho e Abdoulaye Wélé verify if there is any correlation between the soil erodibility and the data obtained from satellite images. This paper represents a first attempt of a model that predicts the risk of soil erosion, based on information contained in satellite images. The authors' choice of data, calculations and analyzes is detailed because they state, on the one hand, that there is a moderate positive correlation between soil

erodibility, and on the other hand, the *Normalized Difference Vegetation Index* displayed during the dry season, as well as the Band 5 displayed at the beginning of the dry season.

Following the above parameter, Sônia Barreto Perdigão de Oliveira, Margareth Sílvia Benício de Souza Carvalho, Abdelfettah Sifedine, Betina Ferraz, and Eduardo Sávio P. R. Martins, with the article *Uso de sensoriamento remoto para mapeamento de áreas suscetíveis à desertificação na região semiárida do Brasil*, make evident the possibility of a periodical update and the establishment of a plan to monitor the degradation of drylands in the Brazilian semi-arid region through the use of remote sensing. This sensing was used to map and identify the state of degradation/desertification of the entire Brazilian semi-arid, where the susceptible to desertification areas are. It was also verified the efficiency of the Landsat 8 satellite images and the potential of the remote sensing technique in the mapping of this subject, showing a high degree of reliability in the delimitation of the affected areas.

Neison Cabral Ferreira Freire and Admilson da Penha Pacheco, in the article *Uma abordagem geoespacial e espectro-temporal da degradação ambiental no Bioma Caatinga na região de Xingó, Brasil*, aim to establish a geospatial and spectral-temporal methodology to analyze and map the environmental degradation of the Caatinga biome in the semiarid region of Xingó – state of Alagoas, Brazil, through the crossing of time series of satellite images and demographic data. The authors detected areas under risk which could be desertified in the six municipalities surrounding the Xingó Hydroelectric Power Plant. The results obtained evidenced a desolating context of environmental degradation in the extensive study area, with a significant devastation of the Caatinga, increase of exposed soil and decrease of agro-pastoral areas. They lead to the conclusion that a significant portion of the studied area presents significant environmental problems regarding to the risk of desertification.

To finalize this edition, the article *Intermittent rivers of the Brazilian northeast: the case of Alto Paraíba, Brazil*, written by Janaína Barbosa da Silva and Simone Mirtes Araújo Duarte, aims to identify the surface uses along the Alto Paraíba basin, especially the existence of natural and anthropogenic vegetation; their physiognomies based on the types of densification; superficial use; and susceptible to degradation areas,

considering that the Northeast region of the country is marked by the presence of temporary rivers, also known as intermittent or ephemeral rivers. It was identified, thus, that the presence or absence of water is a preponderant factor in the use of the surface. These results allow the scientific, civil, and political communities to better understand the current conditions of this basin, favoring extensive discussions about its preservation.

The Journal *Ciência & Trópico*, within an interdisciplinary perspective, which has always been a milestone since its origins, publishes this edition in partnership with CESBIO, and reaffirms its international nature by means of the discussion about Desertification. We would like to thank the authors for the articles presented, and notably Dr. Richard Escadafal and Dr. Neison Freire for their collaborative works in this edition of the Journal.

Alexandrina Sobreira de Moura

Editor in Chief

Richard Escadafal

Neison Freire

Guest Editors

ARTIGOS

TÉLÉDÉTECTION APPLIQUÉE À L'ÉTUDE DU BIOME CAATINGA: Une Revue De La Littérature

*Remote Sensing applied to the study of the Caatinga biome:
a literature review*

Admilson da Penha Pacheco¹

RÉSUMÉ

Le Nord-Est brésilien a à peu près 80% de sa superficie classée comme semi-aride avec environ 845.000 km² de Caatinga (l'équivalent à 11% du territoire du Brésil). Des études sur cet écosystème sont essentielles car ce biome est l'un des plus menacés en raison d'une utilisation inadéquate et non durable des ressources naturelles. Des travaux de recherches scientifique et technique en matière de Télédétection à partir de techniques de traitement d'images multispectrales et multi-temporelles de satellites, conjointement avec des bases de données locales et des cartes, ont été utilisés pour examiner la nature, la tendance et la quantification du processus de surveillance environnementale des unités de conservation. La délimitation et la cartographie de la caatinga sont faites pour établir une base fiable pour sa surveillance spacio-temporelle. Dans ce contexte, cet article a comme objectif de contextualiser, à partir d'une revue de la littérature, la contribution de la télédétection pour l'étude du Biome Caatinga.

MOTS-CLÉS: Caatinga. Télédétection. Brésil.

ABSTRACT

The Brazilian Northeastern has around 80% of its area classified as semi-arid, where about 34 million hectares are called Caatinga vegetation. Some studies in this ecosystem are essential because this biome is one of the most threatened due to inadequate and unsustainable use of natural

¹ Professeur Docteur, Professeur Titulaire, Centre de Technologies et de Géosciences, Département d'Ingénierie Cartographique, Université Fédérale de Pernambuco, Recife-PE, Brésil. pacheco3p@gmail.com.

resources. Works of technical and scientific research in remote sensing from multispectral images processing techniques and multi-temporal satellite, together with local databases and maps have been used to examine the nature, trend and quantification of environmental monitoring process of conservation units. The delineation and mapping of the savanna are performed to establish a reliable basis for tracking your timeline. In this context, this article aims to contextualize, from a literature review, the remote sensing contribution to the study of the Caatinga Biome.

KEYWORDS: Caatinga. Remote sensing. Brazil.

Submission date: 11/04/2017

Acceptance date: 28/06/2017

1 INTRODUCTION

Selon Giuliatti *et al.*, (2002), la Caatinga est le type de végétation qui couvre la plus grande partie de la zone à climat semi-aride de la région du Nord-Est du Brésil.

L'élimination partielle ou totale de la végétation dans les zones de la caatinga résulte dans la réduction de la biomasse végétale et dans la diminution de la couverture des sols du semi-aride, des facteurs qui conduisent à une augmentation de la dégradation du biome (COSTA *et al.*, 2009).

Habituellement, la Caatinga est associée à la fourniture de ressources en bois et médicinales, et en raison de la manière de comment sont obtenus certains de ces produits de la nature on n'a pas trouvé de meilleure alternative que celle de la protection complète des zones restantes, en particulier compte tenu de l'utilisation intense de certaines espèces qui ont une distribution éparse et/ou de petites populations (ALBUQUERQUE, 2002). La demande d'utilisation énergétique de la végétation de la caatinga a provoqué des modifications du paysage et une perte de la diversité biologique en raison du manque d'informations sur la gestion des espèces (FIGUEIROA, *et al.*, 2008).

Même étant la seule grande région naturelle brésilienne dont les limites sont entièrement restreintes au territoire national, on a accordé bien peu d'attention à la conservation du paysage hétérogène de la Caatinga (SILVA *et al.*, 2004). Les études dans la région Nord-Est du pays et en particulier dans cet écosystème sont essentielles car ce biome est l'un

des plus menacés en raison d'une utilisation inadéquate et non durable des ressources naturelles. Le Biome Caatinga, exclusivement brésilien, est l'un des plus modifiés par les activités anthropiques au cours des derniers siècles (ALMEIDA *et al.*, 2009).

De nos jours, avec l'amélioration constante des instruments d'acquisition et de traitement des données spatiales, il existe un consensus existant dans les milieux académiques et politiques qu'il est nécessaire d'utiliser d'importantes technologies dont l'objectif principal est la représentation et la quantification des zones de la superficie terrestre pour permettre l'élaboration des diagnostics fins, en particulier ceux liés à l'environnement, vu que ces technologies sont de plus en plus modernes et dynamiques.

Ces nouvelles perspectives scientifiques pour l'analyse environnementale ont comme objectif le paradigme de multidisciplinarité, qui prend en compte les inter-relations et les interactions entre les domaines de connaissance des géosciences et des ingénieries. Ainsi, l'objectif principal pour les différents domaines de la connaissance est de mieux comprendre la distribution spatiale des données issues de phénomènes survenus dans l'espace (CÂMARA *et al.*, 2001).

Les données de Télédétection obtenues par des satellites ont le potentiel de fournir des informations détaillées sur les propriétés spectrales de la superficie terrestre, comprenant des aspects spatiaux et temporels.

Les techniques de Télédétection ont présenté, ces dernières décennies, une évolution majeure grâce à l'apparition de systèmes de capteurs, aériens et orbitaux modernes capables de produire des images multi et hyperspectrales de haute résolution spatiale, temporelle et radiométrique, augmentant la capacité de discriminer, chaque fois mieux, les cibles de la superficie terrestre et en augmentant considérablement les applications liées à l'étude des standards d'utilisation et d'occupation du sol.

Parallèlement à l'évolution des systèmes d'acquisition de données de Télédétection, de nouvelles approches méthodologiques dans le traitement numérique des images sont apparues, optimisant ainsi l'extraction d'informations.

Des images multispectrales et multi-temporelles de satellites, conjointement à des bases de données locales et des cartes, ont été utilisées pour examiner la nature, la tendance et la quantification du processus de surveillance environnementale des unités de conservation. La délimitation

et la cartographie de la caatinga sont faites pour établir une base fiable pour sa surveillance spacio-temporelle (Pacheco et al. 2014).

L'émergence de nouveaux systèmes de capteurs orbitaux, tels que les RapidEye, Landsat-8, WorldView-3 et Sentinel créent une expectative que leurs données permettront une meilleure compréhension de l'évolution des processus de déforestation.

La Télédétection insérée dans l'univers des géotechnologies se présente comme un outil important pour la surveillance du Biome Caatinga, car il permet de classifier et de quantifier les standards spatiaux de toute une mosaïque, au moyen de techniques de traitement numérique d'images.

Dans le contexte présenté, cet article a comme but de contextualiser, à partir d'une revue de la littérature, une contribution de la Télédétection pour la surveillance du Biome Caatinga.

2 TÉLÉDÉTECTION APPLIQUÉE À LA CAATINGA

L'élimination partielle ou totale de la végétation dans les zones de la caatinga résulte dans la réduction du stock et de la production de biomasse végétale et dans la diminution de du couvert végétal des sols du semi-aride, des facteurs qui conduisent à une dégradation accrue du biome (COSTA *et al.*, 2009).

À l'heure actuelle, les techniques les plus précises pour l'étude du couvert végétal font référence aux Indices de Végétation tels que le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDWI (*Normalized Difference Water Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) et IAF (*Foliar Area Index*). De tels indices permettent d'évaluer le degré de modification provoquée par l'action de l'homme dans le paysage de la Caatinga, car « ils facilitent l'obtention et la mise en forme de paramètres biophysiques des plantes, telle que la surface foliaire, la biomasse et le pourcentage de couverture du sol, en particulier pour la région du spectre électromagnétique de l'infrarouge, qui peut fournir d'importantes informations sur l'évapotranspiration des plantes » (JENSEN; EPIPHANIO, 2009; EPIPHANIO *et al.*, 1996).

Les indices de végétation résultent de combinaisons linéaires de données spectrales, mettant en évidence le signal de la végétation, qui minimisent les variations du rayonnement solaire et les effets du substrat

du couvert végétal (JACKSON; HUETE, 1991). L'un des indices de végétation les plus utilisés est l'indice de végétation de la différence normalisée (NDVI). Sa simplicité et sa relative haute sensibilité à la densité du couvert végétal ont permis que des comparaisons spatiales et temporelles de l'activité photosynthétique terrestre deviennent possibles, ainsi que la surveillance saisonnière, interannuelle et des variations à long terme des paramètres structurels, phénologiques et biophysiques de la végétation sur une échelle mondiale (WANG *et al.*, 2003). Les indices de la végétation les plus utilisés obtiennent l'information de la réflectance des couvertures relatives à la région du rouge et de l'infrarouge proche lesquels sont combinés sous la forme de raisons (PONZONI, 2001).

Pour la végétation sèche, le NDVI est faible, mais il est élevé pour une végétation en pleine vigueur. Ceci est dû au fait que la pigmentation de la couleur verte de la végétation saine reflète plus dans l'infrarouge proche et moins la bande du visible, ce qui donne des valeurs élevées pour le NDVI (PARKINSON, 1997). Les indices sont indiqués comme des indicateurs de croissance et de vigueur de la végétation et peuvent être utilisés pour diagnostiquer plusieurs paramètres biophysiques avec lesquels ils présentent des corrélations élevées, y compris l'indice de surface foliaire, la biomasse, le pourcentage de couverture du sol, l'activité photosynthétique et la productivité (PONZONI, 2001).

Le NDWI (*Normalized Difference Water Index*) est le résultat de la combinaison des bandes spectrales dans l'infrarouge proche (NIR) et du SWIR (infrarouge à onde courte) avec, donc, le SWIR plus sensible à la quantité d'eau présente dans la végétation et l'humidité du sol (SILVA *et al.*, 2012, p.24).

L'Algorithme SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) a été développé et validé par Bastiaanssen en 1995 au moyen de campagnes expérimentales en Espagne et en Egypte en utilisant des images du satellite Landsat 5 TM (BASTIAANSEN *et al.*, 1998a). Avec le SEBAL, on obtient le flux de chaleur latente - λE ($W m^{-2}$) en tant que résidu du bilan énergétique, ce qui se produit après l'obtention du solde de rayonnement - R_n ($W m^{-2}$), le flux de chaleur dans le sol - G ($W m^{-2}$) et le flux de chaleur sensible - H ($W m^{-2}$), dans cet ordre. Cet algorithme a été appliqué dans plusieurs pays, et son utilisation généralisée est due au fait que celui-ci ne demande que des images numériques de capteurs qui

permettent la détermination de l'albédo, des indices de végétation et de la température de la surface, dans le cas des capteurs TM - Landsat-5, MODIS - Terre, AVHRR - NOAA, ASTER - Terre, et peu de données de surface. (ALLEN *et al.*, 2002; TASUMI *et al.*, 2008).

L'albédo de la surface est le pourcentage de l'énergie électromagnétique qui est réfléchi par une surface en fonction de l'énergie qui incide sur elle, en prenant en compte, pour le moins, le spectre électromagnétique du visible (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Il contrôle le solde de rayonnement sur la surface terrestre et, par conséquent, le bilan énergétique dans les interactions sol-plante-atmosphère, qui se traduit dans le réchauffage du sol, de l'air et dans l'évapotranspiration de la végétation native ou cultivée (SILVA *et al.*, 2005; MATTAR *et al.* 2014). Dans des systèmes écologiques, l'albédo contrôle les conditions microclimatiques des cultures et l'absorption des rayonnements, affectant les aspects physiques et physiologiques, tels que le bilan énergétique, l'évapotranspiration, la photosynthèse et la respiration (WANG *et al.*, 2001). Cette affirmation montre que la détermination de l'albédo est un paramètre important dans l'étude des impacts des changements climatiques et des impacts environnementaux (SILVA *et al.*, 2005).

L'évapotranspiration est variable dans le temps en raison de la variabilité du climat (ALLEN *et al.*, 2002). Ainsi, les images de satellite deviennent un outil important pour la cartographie et l'évolution temporelle de l'évapotranspiration. Comparoé *et al.* (2008) qualifient le potentiel des images de Téledétection par satellite afin d'examiner des standards spatiaux de distributions régionales d'évapotranspiration.

Kazmierczak (1996) a établi une méthodologie pour la détection d'indices normalisés de végétation de la caatinga, en tant que facteur déterminant dans la détection de zones désertifiées, à partir de séries temporelles du satellite nord-américain météo AVHRR/NOAA et du croisement avec des données pluviométriques de stations dans le semi-aride brésilien. l'auteur a noté que « plus l'indice de végétation est grand, plus la phytomasse verte est dense », car dans la mesure où la végétation augmente, la réflexion dans la bande de l'infrarouge proche augmente également, tandis que la réflexion dans la bande rouge diminue, faisant que le rapport entre elles soit amélioré, faisant ressortir la végétation (apud FREIRE; PACHECO, 2011, p. 45).

Costa *et al.*, (2001) ont présenté une méthode pour la cartographie de la phytomasse de la caatinga, sur la base de l'indice de la Surface de Plante et sur le NDVI, obtenus avec des données du capteur LandSAT 7 ETM+.

Gurgel *et al.* (2003) ont analysé la variabilité du NDVI sur le Brésil, en utilisant l'analyse de groupes. Les analyses ont été faites au moyen d'images NOAA/AVHRR sur la période allant de janvier 1982 à décembre 1993. Dans le cas de la région nord-est du Brésil, la caatinga montre un cycle annuel bien défini, avec une saison sèche marquée, étant entendu que les valeurs les plus élevées de NDVI apparaissent entre les mois d'avril et de mai, qui est la fin de la saison des pluies, et les plus basses en septembre et en octobre (GURGEL, *et al.*, 2003). Conformément à Gurgel *et al.*, (2003), la plus grande corrélation entre le NDVI et la quantité de précipitations apparaît quand on compare les valeurs de NDVI avec les précipitations du mois précédent.

Melo (2003) a utilisé des données de NDVI obtenus à partir d'images AVHRR/NOAA pour estimer l'indice de Surface Foliaire (IAF) et la fraction de la végétation dans la région Nord-Est. Ils ont introduit ces données dans le modèle régional de prévision météo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System).

Jacóbsen *et al.* (2004) ont affirmé que, en plus de donner un aperçu de comment le couvert végétal est distribué sur la superficie, le NDVI permet une étude de la dynamique du couvert, mettant en évidence les variations présentées par celui-ci en raison de situations climatiques isolées, des cycles phénologiques annuels et d'événements épisodiques. Wessels *et al.*, (2004) a comparé la saisonnalité obtenue du NDVI du AVHRR/NOAA pour identifier la quantité de zones dégradées et non dégradées, cartographiées par le NCL (National Land Cover), en utilisant l'image du Landsat-5/TM pour la même type de sol et de climat dans le nord de l'Afrique du Sud. Les résultats ont montré que la résistance et la stabilité de la végétation sur les deux n'ont subi aucun grand changement pour les zones dégradées et non dégradées.

Lopes (2005) a utilisé l'albédo et la température dans l'identification des zones dégradées dans le bassin de la Rivière Brígida PE, concluant que l'utilisation de la Télédétection et de paramètres biophysiques peut être utile comme indicateurs de dégradation de l'écosystème. L'augmentation considérable de la température dans le bassin peut être

associée à la déforestation, affectant la microfaune du sol responsable de la décomposition de la matière organique et de son aération (LOPES, 2005).

Braga *et al.* (2006) ont utilisé des images AVHRR/NOAA pour estimer la distribution spacio-temporelle de la végétation dans l'est de Bahia. Ils ont vérifié que dans les années 1980, il y a eu une réduction de la végétation Caatinga, tandis que dans les années 1990, la végétation a augmenté dans la Caatinga.

Selon Liu *et al.*, (2006), la température de la superficie peut être un paramètre clé pour de nombreuses études sur l'environnement. Herb *et al.* (2008) ont développé un modèle pour déterminer la température de la superficie (LTS) pour l'identification des diverses utilisations et du couvert végétal de la superficie, lequel peut être utilisé pour différencier des changements sur la superficie. Julien et Sobrino (2009) ont innové au moment de cartographier le Solde de Rayonnement en n'utilisant uniquement que des produits MODIS.

Selon Barbosa *et al.*, (2006), les valeurs du NDVI dans le nord-est du Brésil augmentent dans la mesure où il y a une augmentation des précipitations en raison de l'augmentation de la densité et de la vigueur de la végétation et diminue considérablement dans les années sèches.

Carvalho (2007) a évalué la désertification dans le Sud-Ouest de l'État du Piauí, grâce à des techniques de télédétection à l'aide d'une série temporelle d'images Landsat-5/TM pour montrer la dynamique des classes d'utilisation du sol dans la région. Et il a conclu que les images Landsat ont été efficaces pour détecter une tendance à l'augmentation de la zone dégradée dans la région de Gilbués au cours des dernières années.

Accioly *et al.* (2007) ont étudié le potentiel de la télédétection hyperspectrale dans l'étude des pertes de sol dans une zone pilote du Seridó (RN) en processus de désertification. Dans cette étude, ils ont comparé les courbes spectrales de Sols « inaltérés » et de sols dégradés en utilisant le spectroradiomètre FieldSpec Pro FR (ASD, 2006), en opérant dans la plage spectrale de 400 à 2.500 nm avec un intervalle d'échantillonnage de 1 nm dans des conditions d'éclairage artificiel. Les combinaisons de courbes spectrales entre des sols « préservés » et érodés ont été en mesure d'évaluer la profondeur de la couche retirée par l'érosion (ACCIOLY *et al.*, 2007).

Selon Chaves *et al.*, (2008), pour chaque biome de caatinga représentatif d'une région physiographique d'étude il est nécessaire d'établir une valeur de référence de la biomasse pour une condition de préservation maximum; seulement ainsi il est possible de faire l'estimation du volume de la biomasse pour les autres zones d'étude, en multipliant simplement le volume standard de référence par la surface considérée et par l'IBVL (indice de la biomasse pour la condition de végétation) obtenu de la description de la végétation. Le NDVI a présenté une corrélation avec la quantité de biomasse mesurée par la méthode directe destructive (COSTA *et al.*, 2002, VIANA *et al.*, 2009) et l'indice de la zone végétale (COSTA *et al.*, 2002).

Silva *et al.* (2008) ont utilisé une Image du satellite CBERS-2 CCD, de 2007, pour estimer la réflexion et le NDVI du couvert végétal dans la municipalité de Brejo da Madre de Deus/PE, dans l'objectif de permettre le diagnostic et la surveillance de la végétation. Les résultats ont montré qu'environ 56% de la zone de végétation a vu sa vigueur et la densité de sa végétation augmenter avec l'augmentation de l'altitude et que la végétation basse et éparse a occupé environ 40% de la zone étudiée. Le diagnostic fournit des informations initiales qui permettent le suivi de l'altération de la biodiversité végétale dans une municipalité du semi-aride du nord-est en raison des diverses activités anthropiques (SILVA *et al.*, 2008).

Silva *et al.* Al., (2009) ont utilisé les indices de végétation NDVI et NDWI, la température de la superficie et des données climatiques dans le but d'obtenir une évaluation spatio-temporelle de la végétation dans la municipalité de Petrolina - PE en 1991, au moyen de l'analyse d'images de 1991, 1997 et 2001, sur les périodes sèche et pluvieuse. Lors des analyses des indices de végétation, de meilleurs résultats ont été obtenus au cours de la période pluvieuse pour le NDWI et au cours de la période sèche pour le NDVI. En ce qui concerne la corrélation entre les indices et la température de la superficie il a été observé dans les résultats que les températures les plus élevées durant les périodes sèches étaient les mêmes avec des valeurs inférieures de NDVI, et vice-versa (SILVA *et al.*, 2009). En ce qui concerne les périodes pluvieuses on a pu observer de plus basses températures dans les endroits où il y avait des valeurs plus élevées pour les deux indices de végétation (NDVI et NDWI). (SILVA

et al., 2009). Ferreira *et al.* (2012) ont obtenu des résultats similaires en utilisant des images de 1991, 1992, 2000 et 2009.

Costa *et al.* (2009) ont utilisé des images multi-temporelles du capteur TM/Landsat de l'époque sèche pour appliquer un modèle développé à partir de paramètres biophysiques et d'un Potentiel Naturel d'Érosion (PNE) dans l'évaluation de processus de dégradation et l'identification des zones à risque de désertification du Bassin Hydrographique de la rivière Brígida. Les résultats ont montré une augmentation du niveau de dégradation (suppression du couvert végétal natif, suivie d'érosion), révélant ainsi le potentiel du modèle afin de déterminer les risques de désertification (COSTA *et al.*, 2009).

Dantas *et al.*, (2010) a utilisé des données du système de capteurs AVHRR / NOAA et Landsat-5/TM pour trouver un rapport fonctionnel entre l'albédo, l'Indice de Végétation de la Différence Normalisée (NDVI), l'Indice de Végétation Ajusté au sol (SAVI) et l'Indice de Surface Foliaire (IAF) et la Fraction sur la végétation dans divers endroits près de Quixeré - CE (apud, PACHECO *et al.*, 2014). Les résultats ont montré des différences dans la variabilité spatiale et temporelle de l'albédo au cours des deux années de l'étude. Le rapport fonctionnel entre les données AVHRR et TM a montré un coefficient de corrélation (r) égal à 0,75 avec un écart type de 1,67% (DANTAS *et al.*, 2010).

Silva et Santos (2011) ont évalué l'utilisation d'images ALOS/PALSAR dans la caractérisation et la cartographie de l'utilisation et du couvert de la terre dans le semi-aride du Brésil à partir d'algorithmes de classification MAXVER-ICM et de Wishart, impliquant des paires et/ou l'ensemble de composants dérivés de la matrice de covariance [AHH, A HVe AHH*HV]. Des relevés physiologiques et structurels des faciès de caatinga et également de points d'observations des typologies d'utilisation et de couvert de la terre, dûment géoréférencés, ont servi comme échantillons d'entraînement et d'étalonnage thématique, définissant ainsi les classes suivantes d'utilisation et de couvert de la terre pour la zone en étude: caatinga boisée, caatinga boisée-arbustive, caatinga arbustive, agriculture et plans d'eau. La procédure méthodologique appliquée a montré que le meilleur résultat a été obtenu au moyen de la classification MAXVER-MCC, présentant une précision globale de 66% et un indice Kappa de 0.58 (SILVA; SANTOS, 2011).

Rêgo *et al.*, (2012) ont analysé les résultats des Indices de Végétation SAVI et NDVI dans la municipalité de São Domingos-PB obtenus à partir d'images Landsat 5 TM de 2009 et 2010. Les indices de végétation NDVI et SAVI ont présenté des résultats satisfaisants en ce qui concerne la représentation de la végétation de la zone étudiée. Malgré la différence dans la représentation de valeurs minimales et maximales entre les indices, la différence sur les cartes thématiques a été presque imperceptible (RÊGO *et al.*, 2012).

Cunha *et al.*, (2012) ont réalisé une analyse multi-temporelle de variables biophysiques dérivées d'images du satellite Landsat/TM-5 à partir de techniques de traitement numérique d'images du Bassin de São João do Rio do Peixe (Paraíba/Brésil) sur une période de 23 ans. Selon les auteurs, les résultats obtenus indiquent une récupération du couvert végétal, plus évidente dans les régions les plus vallonnées du bassin hydrographique, un fait lié à l'exode de la population rurale survenu au cours de la période d'étude. Il a été également démontré que l'albédo de la superficie a été le paramètre qui s'est le mieux corrélé aux variations de la biomasse végétale (CUNHA *et al.*, 2012).

Leivas *et al.*, (2013) ont réalisé des études multi-temporelles dans l'état de Bahia et ont prouvé que, dans les différentes périodes de disponibilité hydrique, le NDWI est un indicateur d'altérations provoquées par le manque en eau et l'élimination du couvert végétal.

Bezerra (2013) a évalué la dynamique spacio-temporelle dans l'unité de conservation du Parc National da Furna Feia et de ses environs (municipalité de Mossoró RN, Brésil), à partir d'images Landsat TM 5 et de l'algorithme Sebal. La recherche a conclu que le modèle SEBAL a été efficace afin de cartographier la distribution spatiale des paramètres biophysiques et d'évapotranspiration (ET) réelle quotidienne dans la zone semi-aride de Caatinga. Les cartes thématiques d'ET (SEBAL24h) ont démontré des valeurs élevées dans les régions de végétation native de Caatinga de l'ordre de 2,0 à 8,0 mm.jour⁻¹ pour les périodes de sécheresse et d'hiver, respectivement. Dans toutes les scènes analysées, les plus grandes valeurs d'ET se situent dans des zones de couvert végétal dense de Caatinga, à de hautes altitudes (BEZERRA, 2013).

Francisco *et al.*, (2013) ont utilisé des images de satellites, des techniques de traitement d'images, de géotraitement et de relevé sur le

terrain, pour la description de la végétation de caatinga dans le Bassin hydrographique de la rivière Taperoá (Paraíba/Brésil). Grâce à l'utilisation d'images satellites de résolution spatiale moyenne, du NDVI et de l'IBVL (Indice de Biomasse de la Végétation Ligneuse) en plus des programmes ERDAS et SPRING, il a été possible de classer et de cartographier les typologies de végétation de Caatinga dans la zone d'étude avec une bonne précision et rapidité, en obtenant des résultats satisfaisants (FRANCISCO *et al.*, 2013).

Lopes *et al.*, (2014) ont réalisé des études de bilan énergétique dans la région d'Itaparica (PE et BA), comportant une modélisation et une cartographie de paramètres physiques et biophysiques à partir d'images MODIS et de l'algorithme SEBAL dans une zone de végétation de caatinga et d'agriculture irriguée. Les auteurs ont montré qu'il a été possible d'appliquer le modèle sinusoïdal pour déterminer le solde de rayonnement maximum et moyen quotidien en prenant en compte les divers utilisations et couverts végétaux, cependant il est nécessaire de comparer avec des données sur le terrain pour la validation de ce modèle lié à l'écosystème caatinga et les cultures irriguées de manière à évaluer la qualité des estimations de chaque variable (Lopes *et al.*, 2014).

Bezerra *et al.*, (2014) ont réalisé une étude sur la dynamique spacio-temporelle de la Caatinga dans le Semi-aride du Rio Grande Unité de Conservation du Parc National da Furna Feia et ses environs, située entre les municipalités de Mossoró et de Baraúna (RN, Brésil). Le travail a impliqué dans la mise en œuvre d'algorithmes pour la production de cartes thématiques exprimant la variabilité des paramètres: albédo de la superficie, NDVI et la température de superficie. Les résultats obtenus ont été conformes aux données de la littérature pour les différentes utilisations du sol et les variations climatiques, ainsi que de démontrer le potentiel des géo-technologies, la compréhension de la dynamique des standards spatiaux et temporels des processus biophysiques d'interaction sol-plante-atmosphère de la Caatinga dans le Semi-aride (Bezerra *et al.*, 2014).

Júnior *et al.*, (2014) ont étudié la relation entre le NDVI et la biomasse estimée avec l'utilisation d'équations allométriques dans une zone de caatinga hyper-xérophilique, afin d'ajuster un modèle de régression linéaire qui permet l'estimation de la biomasse ligneuse dans les zones de caatinga. Ils ont utilisé des images Landsat-5/TM de 2011. La

régression linéaire entre l'IVDN et la biomasse a obtenu un coefficient de détermination $R^2 = 0,70$ et un écart-type de 8,43 t.h-1: l'erreur de prédiction de l'estimation de la biomasse, calculée par une validation croisée (JÚNIOR *et al.*, 2014).

Cunha *et al.*, (2014) ont utilisé des techniques de télédétection pour la classification d'images Landsat/TM-5 et l'analyse des produits du capteur MODIS-TERRA au moyen de séries temporelles dans un bassin du semi-aride de la Paraíba. Ils ont conclu qu'il a été possible de comprendre la dynamique interannuelle du couvert végétal du sol dans le bassin étudié et qu'il a été possible d'identifier une grande variabilité interannuelle de la végétation et l'influence conséquente sur la température de superficie et les processus hydrologiques (CUNHA *et al.*, 2014).

Nascimento et Araújo (2014) ont analysé la corrélation entre la moyenne des précipitations avec le NDVI à partir d'images Landsat-5/TM et du SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) dans une partie de la micro-région de Mossoró localisée dans la région ouest de l'État du Rio Grande do Norte. Les résultats ont montré une bonne corrélation entre les valeurs moyennes des précipitations avec le NDVI moyen, suggérant que l'utilisation de valeurs moyennes a une bonne représentation de variabilité (A114-2014). L'analyse spatiale et temporelle de l'IVDN moyen conformément aux précipitations moyennes semestrielles a permis de trouver un rapport fonctionnel entre ceux-ci, au moyen du modèle de régression de minimums carrés dans l'ouest du Rio Grande do Norte montrant un rapport significatif ($r = 0,81$) entre les informations avec une erreur type d'estimation de l'ordre de 4,99% (NASCIMENTO; ARAÚJO, 2014).

Cunha *et al.*, (2015) ont présenté les initiatives du projet *EU Brazil Cloud Connect* pour la diffusion des données obtenues par des capteurs orbitaux et des outils d'analyse multi-temporelle et l'analyse des tendances de changements sur la superficie terrestre. Le projet *EU Brazil Cloud Connect* réunit des applications et des services pour donner appui aux études sur les rapports entre la biodiversité et le changement climatique. Par conséquent, des outils de *cloud computing* seront utilisés pour le traitement de l'algorithme SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm*) pour une série supérieure à 30 ans d'images orbitales pour tout le semi-aride brésilien et des services web pour la visualisation, l'analyse et la disposition pour des décideurs et la communauté scientifique (CUNHA

et al., 2015). Des résultats préliminaires ont été obtenus pour le NDVI et l'Évapotranspiration.

3 CONSIDÉRATIONS FINALES

Historiquement, les sécheresses ont été identifiées comme étant la cause des grands problèmes du semi-aride, bien que l'on sache que celles-ci ne font qu'aggraver les séquelles éco-sociales de la région. Dans la recherche de solutions à ces problèmes, on a eu recours à diverses stratégies la plupart d'entre-elles, cependant, se basant sur l'importation de modèles, de technologies et d'intrants qui, par la suite, se sont avérés inadéquats (PEGADO, 2006). Selon Pegado (2006), dans le cas du biome Caatinga, on constate l'absence d'informations scientifiques y compris même les approches de base telles que, par exemple, la succession écologique, la structure phytosociologique des différentes physionomies, la dynamique de régénération, entre autres (apud, PACHECO *et al.*, 2014).

La caatinga en plus d'être rigoureusement frappée par la sécheresse, souffre d'un processus de dévastation causé par l'homme. Par conséquent, les technologies qui permettent de cartographier les processus de désertification sont d'une importance fondamentale pour la protection des zones naturelles encore existantes et également, pour la récupération de zones dégradées de l'environnement (PACHECO *et al.*, 2014).

Parallèlement à l'évolution des systèmes d'acquisition de données de Télédétection, de nouvelles approches méthodologiques en traitement numérique d'images et des améliorations sur les méthodologies déjà existantes ont surgi, optimisant ainsi l'extraction d'information d'images d'unités de conservation.

Des aspects théoriques de l'état de l'art de la télédétection liée à l'étude de la caatinga ont été présentés dans ce travail afin de fournir une contribution technique et scientifique au développement de travaux futurs sur ce thème.

RÉFÉRENCES

ACCIOLY, L. J. O.; MACEDO, M. R. O. B.; PACHECO, A. P.; SILVA, E. A.; LOPES, H. L.; IRMAO, R. A.; ALVES, E. S. .Potencial do sensoriamento remoto hiperespectral no estudo das perdas de solo em uma área piloto do Seridó (RN) sob processo de desertificação. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento

Remoto, 2007, Florianópolis. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2007.

ALBUQUERQUE, U. P.; ANDRADE, L. H. C. Conhecimento botânico tradicional e conservação em uma área de caatinga no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 16, n. 3, p.273-285, 2002.

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and Users Manual–Idaho Implementation, version*, v. 1, p. 97, 2002.

ALMEIDA, S. A. S.; FRANÇA, R. S.; CUELLAR, M. Z. Uso e ocupação do solo no Bioma Caatinga do Estado do Rio Grande do Norte. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal – RN, Brasil p. 5555-5561, 25 a 30 de abril de 2009.

ASD. Spectroradiometers – FieldSpec Pro Line, the benchmark. Disponível em: <<http://www.asdi.com/products-FSP.asp>>. Acesso em: 02 fev. 2006.

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A. 20 year study of IVDN variability over the Northeast Region of Brasil. *Journal of Arid Environments*, v. 67, p. 288-307, 2006.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, v. 212, p. 198-212, 1998.

BEZERRA, J. M. *Estimativa da evapotranspiração real para área de caatinga utilizando SEBAL*. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2013.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B de A.; SILVA, B.B.; LOPES, P.M. O.; SILVA, E. F. de F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.1, p.73–84, 2014.

BRAGA, C. C.; NEVES, D. G.; BRITO, J. I. Estimativa da fração vegetação no leste da Bahia no período de 1982 a 1999. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 14, n.3, p.252 – 260, 2006.

CÂMARA, G.; DAVIS. C.; A. M. MONTEIRO; J. C. D’ALGE. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. 2 ed. São José dos Campos-Brasil: INPE, 2001.

CARVALHO, C. M. *Avaliação da desertificação no Sudoeste do Estado do Piauí-PI, através de técnicas de sensoriamento remoto*. São Jose dos Campos: INPE, 2007.

CHAVES, I. DE B.; LOPES, V. L.; FOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. *Revista Caatinga*, v. 21, n. 2, p.204-213, 2008.

COMPAORÉ, H.; HENDRICKX, J. M.; HONG, S., FRIESEN, J.; VAN DE GIESEN, N. C.; RODGERS, C. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in

the White Volta Basin, Upper East Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.33, p.127-140, 2007.

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, p. 961-974, 2009.

COSTA, T. C. E. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. Phytomass mapping of the Seridó Caatinga vegetation by the plant área and the normalized difference vegetation indeces. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 707-715, 2002.

COSTA, T.; ACCIOLY, L.; OLIVEIRA, M.; BURGOS, N.; SILVA, F. Mapeamento da Fitomassa da Caatinga do Núcleo de Desertificação do Seridó, pelo Índice de Área de Planta (IAP) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), obtido com dados do Sensor Landsat 7 TM. *Anais... X Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, p. 1563-1573, 2001.

CUNHA, J. E. B. L.; TAVEIRA, I. M. L. M.; RUFINO, I. A. A.; ALCANTRARA, H. M. Dinâmica Sazonal da Cobertura do Solo em uma Região Semiárida e seus Impactos no Ciclo Hidrológico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, p. 197-207, 2014.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; BRITO, L. K. F. L.; SOUSA JUNIO, S. S.; RODRIGUES, A. J. S. Computação em nuvem e sensoriamento remoto nos estudos dos efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade do semiárido brasileiro. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - João Pessoa-PB. *Anais...*, 2015, p. 7397-7404.

CUNHA, J. E. de B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B. da; CHAVES, I. de B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.539-548, 2012.

DANTAS F. R. C.; BRAGA C. C.; SOUZA E. P.; SILVA S. T. A. Determinação do albedo da superfície a partir de dados AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT-5. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n.1, p. 24-31, 2010.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. S.; SILVA, H. A.; SANTOS, A. M.; GALVINCIO, J. D. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, p.904-922, 2012.

FIGUEIRÔA, J. M., ARAÚJO, E. L., PAREYN, F. G. C., CUTLER, D. F., GASSON, P., LIMA, K. C., SANTOS, V. F. Variações sazonais na sobrevivência e produção

de biomassa de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. após o corte raso e implicações para o manejo da espécie. *Revista Árvore*, v. 32, n. 6, p. 1041-1049, 2008.

FRANCISCO, P.R.M.; LIMA, E.R.V. de; CHAVES, I.B.; CHAVES, L.H.G. Uso de geotecnologias e de técnicas de descrição e levantamento em campo no mapeamento das tipologias de caatinga da Bacia Hidrográfica do rio Taperoá, PB. In: Simpósio Internacional de Geografia Agrária, 6, 2013, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: UFPB, 2013. Disponível em: <http://www.ppgssufpb.com.br/vi-simposio-internacional-de-geografia-agraria/>. Acesso em: 12 jan. 2017.

FREIRE, N. C. F.; PACHÊCO, A. da P. *Desertificação: análise e mapeamento*. Recife-PE: Editora Universitária UFPE, 2011.

GIULIETTI, A.M.; HARLEY, R.M.; QUEIROZ, L.P.; BARBOSA, M.R.V.; BOCAGE NETA, A.L.; FIGUEIREDO, M.A. Espécies endêmicas da caatinga. *Vegetação e flora da caatinga*, p. 103-115, 2002.

GURGEL, H. da C., Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 1, p.85-90, 2003.

HERB, W. R.; JANKE, B.; MOHSENI, O.; STEFAN, H. G. Ground surface temperature simulation for different land covers. *Journal of Hydrology*, v.356, p.327-343, 2008.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. *Preventive veterinary medicine*, v. 11, n. 3-4, p. 185-200, 1991.

JACÓBSEN, L. O.; FONTANA, D. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do estado do Rio Grande do Sul, observados através do NDVI/NOAA. *Revista brasileira de meteorologia*, Brasília, v. 19, n. 2, p. 129-140, 2004.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JULIEN, Y.; SOBRINO, J. A. The yearly land cover dynamics (YLCD) method: An analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters. *Remote Sensing of Environment*, v.113, p.329-334, 2009.

JÚNIOR, C. de L.; ACCIOLY, L. J. O.; GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. A., SAMPAIO, E. V. S. B, MENESES, R. S. C., Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 289-298, 2014.

KAZMIERCZAK, M. Uso de dados AVHRR/NOAA GAC para análise da sazonalidade da caatinga. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 8, p. 513-518, 1996.

LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; VICENTE, L. E.; TORRESAN, F. E.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Monitoramento da seca de 2011/12 a partir do NDWI e NDVI padronizado do SPOT-Vegetation, anais *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, Brasil, 13 - 18 abril 2013, INPE, p. 364-370.

- LIU, Y., HIYAMA, T., YAMAGUCHI, Y. Scaling of land surface temperature using satellite data: A case examination on ASTER and MODIS products over a heterogeneous terrain area. *Remote Sensing of Environment*, v.105, p.115-128, 2006.
- LOPES, H. L. *Modelagem de parâmetros biofísicos para avaliação de risco à desertificação*. 1999. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Informação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2005.
- LOPES, HL ; SILVA, B. B. ; PACHÊCO, A. P. Distribuição espacial do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo no território de Itaparica, Nordeste do Brasil. RBC. *Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, v. 66, p. 233-244, 2014.
- MATTAR, B.F.; SOBRINO, J.A.; CORBARI, C.; JIMÉNEZ-MUNOZ, J.C.; OLIVEIRAGUERRA, L.; SKOKOVIC, D.; SÓRIA, G.; OLTRA-CARRIÓ, R.; JUKIEN, Y.; MANCINI, M. Impacts of the broadband albedo on actual evapotranspiration estimated by S-SEBI model over an agricultural area. *Remote Sensing of Environment*, v. 147, p. 23-42, 2014.
- MELO, M. L. D. de. *Efeito da vegetação em simulações numéricas com o modelo RAMS*. 2003. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Pb, 2003.
- NASCIMENTO, F. C. A. ; ARAÚJO, F. R. C. D. . Estudo comparativo entre o IVDN e a precipitação na região oeste potiguar. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* , v. 9, p. 269-274, 2014.
- PACHECO, A. da P.; LUCAS, A. de A.; SILVA, B. B.; MARIANO, G. Desertificação: Contextualização e Sensoriamento Remoto. *Estudos Geológicos*, v. 24, p. 2, 2014.
- PARKINSON, C. L. *Earth from above: using color-coded satellite images to examine the global environment*, University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, 1997.
- PEGADO, C. M. A., ANDRADE, L. A; FÉLIX, L. P.; PEREIRA, I. M. Efeitos da invasão biológica de algaroba-Prosopis juliflora (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 20, n. 4, p. 887-898, 2006.
- PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) *Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais*. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, 2001, p 157-199.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 144p.
- RÊGO, S. C. A., LIMA, P. S., LIMA, M. N. S., MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI E SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v.2, n.4, p.1217–1229, 2012.
- SILVA, J. M C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). *Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a*

- conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 382 p.
- SILVA, A. P. N, MOURA, G. B. A, GIONGO, P. R. , SILVA, A. O. Dinâmica espaço-temporal da vegetação no semi-árido de Pernambuco, *Revista Caatinga*, v.22, n.4, p.195-205, 2009.
- SILVA, A.H.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R.M.M. **Índices de vegetação e suas técnicas**. in: GALVÍNCIO, J. D (Org) *Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental*. Recife - PE: Editora Universitária - UFPE, Série extensão 15, 2012, p. 19 - 26
- SILVA, B. B., LOPES, G. M. , AZEVEDO, P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat/5-TM.. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Piracicaba, SP, v. 13, n. 2, p. 11-21, 2005.
- SILVA, F. F.; SANTOS, J. R. Imagens alos/palsar na classificação da cobertura vegetal da região semi-árida brasileira. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 63, Ed. especial 40 anos, p. 75- 83, 2011.
- SILVA, J. M. C. T., M. E FONSECA, M. T. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- SILVA, M. D.; GALVINCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M. Diagnóstico da ocupação vegetacional do município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil, através de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 1, n. 2, p. 15-29, 2008.
- TASUMI, M., ALLEN, R. G., TREZZA, R. At-Surface Reflectance and Albedo from Satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.
- VIANA, H.; LOPES, D.; ARANHA, J. Predição de biomassa arbustiva lenhosa empregando dados de inventário e o índice de diferença normalizada extraído em imagens Landsat 5 TM. *Revista Millenium*, v.14, n. 37, 2009.
- WANG, S.; GRANT, R.F.; VERSEGHY, D.L.; BLACK, T.A. Modelling plant carbon and nitrogen dynamics of a boreal aspen forest in CLASS—the Canadian Land Surface Scheme. *Ecological Modelling*, v. 142, n. 1, p. 135-154, 2001.
- WANG, Z.X. et al. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. *Acta Ecologica Sinica*, Amsterdam, v. 23, n. 5, p. 979-988, 2003.
- WESSELS, K. J.; PRINCE, S. D.; FROST, P. E.; VAN ZYL, D. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR IVDN time-series. *Remote Sensing of Environment*. v. 91, p. 47-67, 2004.

REMOTE SENSING OF DRYLANDS: when soils come into the picture¹

Richard Escadafal²

ABSTRACT

Among the striking features specific to drylands is the discontinuous vegetation cover, discontinuous in space (e.g. steppes) and/or in time (e.g. dry savannas). Soils are more exposed than in any other environment, as a result they are prone to erosion, particularly by wind. A second consequence is soils are an important component of the land surface viewed by satellite sensors, more and more dominant the dryer the climate. Whereas optical properties of vegetation are well studied and widely used in satellite monitoring of the biosphere (i.e. vegetation indices), soil surface features are less known and rarely monitored. In an attempt to fill this gap, this short review allows to distinguish biological and mineralogical characteristics. Soil color appears to be a major parameter of the drylands soils optical properties, as illustrated by examples in the Sahara. Previously explored causes of ‘soil noise’ in vegetation indices are confirmed as well as the way to correct it. Strategies for optimal use of optical remote sensing of drylands taking into account the soil surface are discussed in conclusion.

KEYWORDS: Optical remote sensing. Monitoring drylands. Soil color. Sahara. Vegetation indices.

Submission date: 05/04/2017

Acceptance date: 28/06/2017

1 INTRODUCTION

Drylands cover a large part of the world’s landmass, encompassing a wide range of ecosystems, the vast steppes of Central Asia and North

¹ The Saharan part of this study has been made possible thanks to the contribution of Benoît Duchemin who collected the soil samples in Libya and participated in the data analysis and interpretation.

² PhD in Earth Sciences/remote sensing, University Paris; Senior scientist. UMR Cesbio: CNRS-CNES-IRD-University of Toulouse, France. richard.escadafal@ird.fr

Africa; the Sahelian savannah and the Brazilian ‘Caatinga’ as well as real deserts such as the Sahara in Africa or the Gobi in China.

Drylands are defined as regions under a climate with average annual precipitation level (P) that is less than two-thirds of the evaporative capacity of the air (ETP, evapotranspiration) (ADEEL *et al.*, 2005). Their climate is highly variable both in space and in time, even if these regions also experience seasons. Each of the world’s drylands has its own characteristics, but they have in common the irregularity of precipitation and the corresponding specific vegetation features discussed here in the context of remote sensing.

2 DRYLANDS OBSERVED BY SATELLITES

With regard to remote sensing, drylands have a decisive advantage: minimal cloud cover. This makes the use of optical imaging much easier, especially for observing and monitoring vegetation cover. The use of satellite images to study these vast areas, which are often difficult to observe directly on the ground, has appeared to be promising since the beginning of civilian remote sensing. Optical data are largely dominant in the catalogues of image providers, and widely used to monitor those areas³.

2.1 DISCONTINUITY OF VEGETATION COVER

Whether the satellite sensor used to observe drylands is passive or active, the radiation that it receives is reflected or emitted by land surfaces primarily made up of soil and vegetation, with the latter generally being the less dominant element.

Classically, when optical remote sensing is used for ecological monitoring the emphasis is on monitoring green vegetation and is done mostly with the NDVI (normalized difference vegetation index). However as discussed below, the soil surface is most of the time the dominant component of drylands surfaces and their vegetation is often difficult to monitor with this standard approach (KENNEDY, 1989).

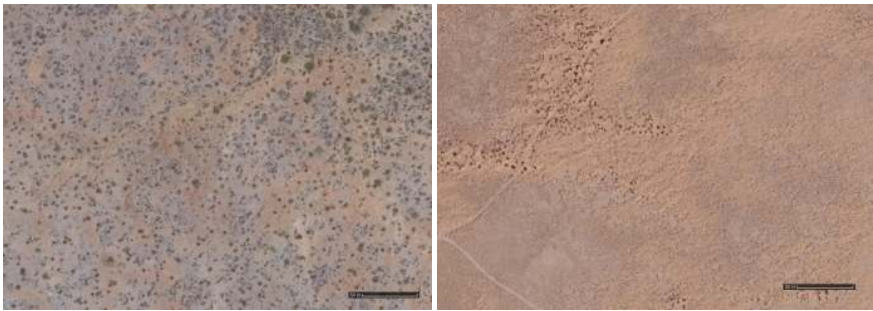
³ A full chapter of the recent book entitled “Land Surface Remote Sensing: Environment and Risks”, is dedicated to Drylands: Escadafal R. 2016, p. 1-23.

2.1.1 Discontinuity in time

In many drylands, the limited rainfall is occurring during a short rainy season, allowing the development of annual plants, fully covering the soil, like in dry savannas. This green cover will later become dead vegetation and litter, ultimately often disappearing and leaving the soil surface exposed. The vegetation cover is then discontinuous in time (see for example DARDEL *et al.*, 2014).

2.1.2 Discontinuity in space

Figure 1 – Example of Drylands surfaces with discontinuous vegetation in clumps (bushes) exposing the soil (images from Google Earth)



Note: Left : Belem de Sao Francisco, Pernambuco, Brazil (8.742°W 38.938°S,) ‘open caatinga’; right: Bir Lahmar, South Tunisia (33.212°N 10.549°E), sandy steppe (rangeland).

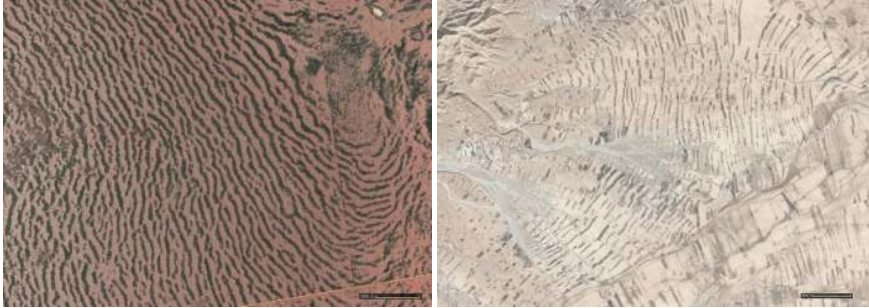
In regions with steppic vegetation such as Northern Africa and the Middle East, and large parts of north and south American drylands, woody shrubs or perennial grasses form a sparse vegetation cover made of ‘clumps’. The dryer the climate, the more spaced the plants, forming a discontinuous vegetation cover, where soil is also largely dominant (*figure 1*).

Another type of spatial discontinuity occurs when vegetation is organized into bands creates formations known as “tiger bush” in the Sahel. Field studies of the ecologic and hydrologic functioning of these environments have revealed that they represent an excellent adaptation to aridity (RIETKERK *et al.*, 2004). It should also be noted that this type of organization in bands of vegetation separated by bands of bare ground is found, for example, in the traditional dry farming techniques on soft slopes in southern Tunisia (*Figure 2*).

Whether it follows identified patterns or not, the spatial distribution of vegetation on the soil surface has a strong impact on the

water cycle. It determines this partition of the water and nutrients that it transports. Assessing it is a tool for a diagnosis of the state of ecological functioning.

Figure 2 – Example of Drylands surfaces with banded vegetation (images from Google Earth)



Note: Left: Kordofan, South Sudan (11.159 °N 28.279°E), natural ‘tiger bush’; right: Belkhir, South Tunisia (39.387 °N 9.351°E), dryfarming cultivations

2.2 FEATURES OF THE SOIL SURFACE

Thus, because of the low level of precipitations and resulting minimal plant cover, soils are the major component of drylands surfaces. Weak primary production does not allow for a net enrichment of the soil in organic matter, so their content is generally low. They are most often exposed to precipitations causing water erosion, but wind erosion is also one of the major characteristics of drylands. Wind changes soils by removing of fine elements in some places and by accumulating sand in other locations. Moreover, wind combined with heat produces very intense evaporation, causing precipitation of solutes in the gaps in the soil, forming concretions, nodules and calcareous and/or gypseous crusts; sodium salts also precipitate in endorheic parts of the landscape.

Hence, soils in these regions are often sandy and poor in organic matter, and sometimes rich in carbonates, and they generally appear light when viewed from space. Eolian materials deposited in varying quantities (coatings, nebkhas, dunes, etc.) change the composition of the soil surface and can also change as a result of sandstorms. Sand trapped by vegetation forming continuous sandy veils is beneficial for the water balance of the ecosystem, as the favorish water infiltration and limit evaporation.

Other mineral components are coarser ones such as rocks, pebbles, stones and gravels. At the soil surface interesting biological components

can also be found in the first millimetres: lichens and algae. With cyanobacteria, mosses and other microorganisms they form ‘biocrusts’. Well-developed algal crusts are considered a diagnostic element of good health of the ecosystem (BELNAP; LANGE, 2001). With grasses, bushes and trees, these biocrusts compose the biological component varying with the climatic conditions and the seasons. When considering remote sensing, biological crusts are generally darkening the soil surface, and may produce a ‘photosynthetic’ signal, such as an increase of NDVI after rainy events (KARNIELI *et al.*, 1999).

3 SPECTRAL FEATURES OF DRYLANDS USED IN REMOTE SENSING

3.1 VEGETATION INDICES

Monitoring vegetation is one of the most widely used applications of civilian remote sensing, particularly through the uses of various ‘vegetation indices’. This concept is based on the contrast between the reflectance properties of green plants in the red and near infrared (NIR) spectral domain. For instance, the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) is defined as the ratio of the difference to the sum between red and NIR reflectances (TUCKER, 1979). The success of the NDVI relies on its simplicity as it uses only the two spectral bands most widely available, and on a certain robustness relative to directional and atmospheric effects (HOLBEN, 1986). NDVI imagery is routinely available from the main global monitoring satellite systems, i.e. the American NOAA-AVHRR and NASA-MODIS (JUSTICE *et al.*, 1998) and the European SPOT-VEGETATION programmes (MAISONGRANDE *et al.*, 2004). Green vegetation in drylands is easily monitored when its density is similar to the one of less dry areas, as it happens during the rainy season or in irrigated areas, e.g. However, numerous studies have shown the limitations of the NDVI approach particularly for low values, low green vegetation densities are poorly detected, and NDVI imagery can be affected by soil background noise as we discuss now.

3.2 SOILS OPTICAL PROPERTIES

3.2.1 Soils in the visible domain: their color

Whereas soil color is a parameter well used since the beginning of Soil Science, its consideration in remote sensing is rather limited. Despite color is fundamentally a human sensation, it has been demonstrated it is strictly related to spectral reflectance, and the corresponding optical laws are the subject of Color Science, also known as colorimetry, described in voluminous treatises (see WYSZECKI; STILES, 2000).

In brief, the color of an object depends on its reflective properties in the 370-770 nm, gamut of the human eye sensitivity. From its spectral reflectance measured in this range, it is possible to compute and predict the color of this object, for a 'standard observer'.

This evidently applies also to soils, and modern equipments such as spectrocrometers allow to determine soil color with high precision, in various color systems. However, the usual way color is determined by soil scientist is the well established method of comparison with color tables. Special color tables have been designed by the Munsell Company and the soil science societies recommend to record soil color using the Munsell notation, particularly during field surveys (ESCADAFAL *et al.*, 1988).

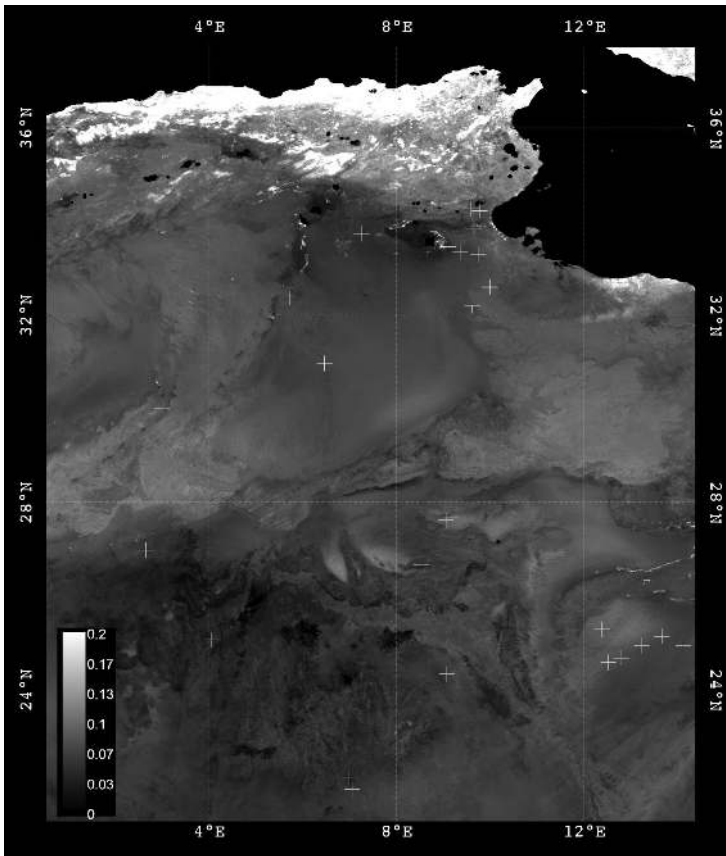
Notably, among the laws of colorimetry, a specific one called metamerism states that is not possible to obtain the spectral reflectance of an object from its color notation, because different reflectance spectra can produce the same color sensation. But in the case of soils, it has been shown that is possible to predict reflectance in the visible bands from the Munsell color, when soils have a monotonous spectral reflectance curve, which is the case for a large number of soils (ESCADAFAL *et al.*, 1989). As an example, red desert soils will have all a similar reflectance curve, with a strong absorption in the blue region (see case study).

3.2.2 Soils reflectance in the near infrared and 'soil noise'

Whereas the strong reflection of solar radiation by green vegetation in the near-infrared has been amply studied, soil properties in this domain have been initially considered as rather neutral and invariable. The design of vegetation index such as the NDVI rely on the concept of 'soil line' that is to say of an invariant Vis/NIR ratio, as further explained in the case study.

But some of the early users of AVHRR imagery over the desert part of Africa had noticed local variations of the NDVI apparently unrelated to differences in vegetation cover, called ‘desert artefacts’ (HUETE; TUCKER, 1991). These permanent NDVI features cannot be related to permanent vegetation communities as none is to be found in those barren areas. These fluctuations of NDVI values in the 0 to 0.2 range seem essentially related to geomorphic features (LE HOUÉROU, 1986), and thus to the spectral properties of desert land surfaces. As an example in Mediterranean rangelands studied in Syria, bare soil surfaces show NDVI values fluctuating in the 0 to 0.18 range (EVANS; GEERKEN, 2004). Similarly in a monitoring experiment of the arid zone of Jordan

Figure 3 – Location of the studied desert soil samples in the Sahara



Note: Background image is a SPOT-VGT NDVI composite (1st decade of July 2003) showing ‘soil noise’; grey level values are stretched between 0 and 0.2 (see scale)

with AVHRR, NDVI values were found to vary between 0.05 and 0.12 (AL-BAKRI; TAYLOR, 2003). The fluctuations of the NDVI values over the Sahara displayed in **figure 3** are exactly of the same nature, illustrating the concept of soil noise.

This creates difficulties to discriminate low covering vegetation (JIANG *et al.*, 2008). Indeed, the variation of the NDVI over these artefacts is in the same magnitude as those to be detected to monitor plant growth in drylands. Because of this inability of NDVI to discriminate vegetation covers in the 0-20% range (ISHIYAMA *et al.*, 2001), it fails at monitoring efficiently desertification in semi-arid areas (BAI *et al.*, 2008).

Since soil influence in NDVI has been recognised, several solutions have been developed to dampen it. The main strategy has been targeting the adjustment to the real soil line, which usually does not cross the Red/NIR axes at the origin. Based on these observations, the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) has been designed, taking also into account the fact that the vegetation isolines are not parallel to the soil line (HUETE, 1988).

Numerous refinements and variations have been derived from this successful approach. However, all these are two-band vegetation indices mainly designed to be used with AVHRR sensor. As an extent of two-band VIs, several authors have looked at ways to take advantage of the enhanced capacities of new low resolution satellites with more channels in the visible domain. In particular, the blue band has attracted interest in attempts to take account for the atmospheric effects. These are indeed stronger in the shorter wavelengths, and indices have been formulated to use the blue band to reduce the atmospheric effects on the Red/NIR ratio, such as the atmospherically resistant vegetation index, ARVI (KAUFMAN; TANRE, 1992) and SARVI its adaptation using the SAVI approach (HUETE *et al.*, 1997). However, these 3-bands vegetation indices were designed for rather densely vegetated areas, and found to be very sensitive to soil background (HUETE; LIU, 1994).

4 CASE STUDY: spectral properties of selected desert soils

4.1 COLLECTION OF DESERT SOILS SAMPLES IN THE SAHARA

As the “desert artefacts” have been first recognised in the Sahara, a selection of surface samples has been gathered from several spots in this desert, representing a variety of situations.

The area investigated is among the less accessible in the world as it lies in the heart of the Sahara only reachable by off-road exploration. The sample collection assembled for this study has benefited from field work in Tunisia, plus two expeditions to the Saharan ergs, one made in Algeria, the other one in Libya (see *figure 3*). Due to limited carrying capacity, the sampling has been designed to cover the largest range of type of surface material, without possibly pretending to be systematic. Each of the thirty samples gathered has been obtained by collecting about 1kg from horizontal not hardened surfaces, at a depth of 0-5 cm. They have been chosen to represent as much as possible the variety of sandy and gravelly surface types over the Saharan desert (*table 1*).

Table 1 – Reflectance values of the studied samples in the spectral bands of SPOT-VGT sensor

Site Number	Location		Type of surface	Average values			
	Lon E (deg)	Lat N (deg)		Blue	Red	NIR	NDVI
1	34.275	9.587	Loamy soil	0.191	0.471	0.535	0.064
2	34.230	9.768	Loamy soil	0.168	0.431	0.494	0.068
3	32.62	9.980	Sandy loamy	0.138	0.372	0.428	0.070
4	32.205	9.609	Sandy soil	0.160	0.433	0.500	0.072
5	32.594	9.995	Sand accumulation	0.147	0.385	0.447	0.074
6	33.294	9.736	Sandy hummock	0.093	0.319	0.379	0.086
7	34.230	9.768	Sand veil	0.178	0.499	0.572	0.067
8	33.457	9.100	Sandy surface	0.234	0.520	0.578	0.053
9	33.849	9.648	Gypsiferous sand	0.278	0.510	0.550	0.038
10	32.619	9.980	Sandy loam	0.202	0.482	0.533	0.051
11	30.969	6.464	Gravelly	0.116	0.366	0.430	0.081
12	27.691	9.159	Very reddish sand dune	0.056	0.268	0.336	0.113
13	27.619	9.053	Reddish sand dune	0.073	0.336	0.411	0.101
14	24.333	9.067	Coarse sand	0.071	0.333	0.401	0.093
15	22.133	6.983	Fine sand	0.152	0.396	0.451	0.065

16	21.867	7.050	Sandy surface	0.101	0.361	0.424	0.080
17	25.063	4.053	Gravelly surface	0.134	0.395	0.459	0.075
18	26.977	2.660	Coarse sand	0.154	0.354	0.403	0.064
19	30.017	2.992	Fine reddish sand	0.124	0.301	0.342	0.064
20	32.349	5.716	Fine sand	0.112	0.299	0.349	0.078
21	33.733	7.250	Bright sand surface	0.110	0.317	0.370	0.078
22	26.664	8.522	Fine sand	0.213	0.420	0.469	0.055
23	25.292	12.375	Very reddish sand	0.077	0.359	0.435	0.096
24	24.940	14.109	Sand dune	0.132	0.411	0.474	0.071
25	25.138	13.658	Sand dune	0.159	0.448	0.513	0.068
26	24.945	13.226	Sand dune	0.128	0.439	0.510	0.075
27	24.678	12.789	Sand dune	0.154	0.437	0.497	0.064
28	24.678	12.789	Sand dune	0.156	0.430	0.488	0.063
29	24.584	12.515	Sand dune	0.121	0.398	0.460	0.072
30	33.352	9.352	Fine sand	0.217	0.462	0.511	0.050

Source: Made by the authors

The spectral reflectance properties of the desert material samples have been measured using a field portable spectroradiometer covering the 400-2400 nm range (Fieldspec Pro from Analytical Spectral Devices). Air-dried sample have been placed in circular glass plates of 20 cm diameter, forming a levelled layer about 2cm thick. The fiber optic sensor having a field of view of 15° was placed 20 cm above the sample surface maintained horizontally. Measurements have been performed outdoors, under direct sun illumination with clear sky condition. Measurement times were chosen to keep the sun elevation angles within the 50-70° range, and with the instrument sensor viewing angle at nadir. Values of spectral radiance reflected by each sample have been ratioed by the incoming radiation measured over a calibration panel made of 100% reflective polytetrafluoroethylene (Spectralon).

In relation to the satellite sensors considered in this study only the reflectance values in the VIS-NIR domain are used. Continuous reflectance spectra have been converted into discrete values, by convolution with the characteristics of transmission filters of VIS-NIR spectral bands of NOAA-AVHRR and SPOT-VEGETATION (VGT) sensors, to allow comparison with remotely sensed data (LILLESAND et al., 2014). As results for the two sensors are extremely similar, those of SPOT-VGT

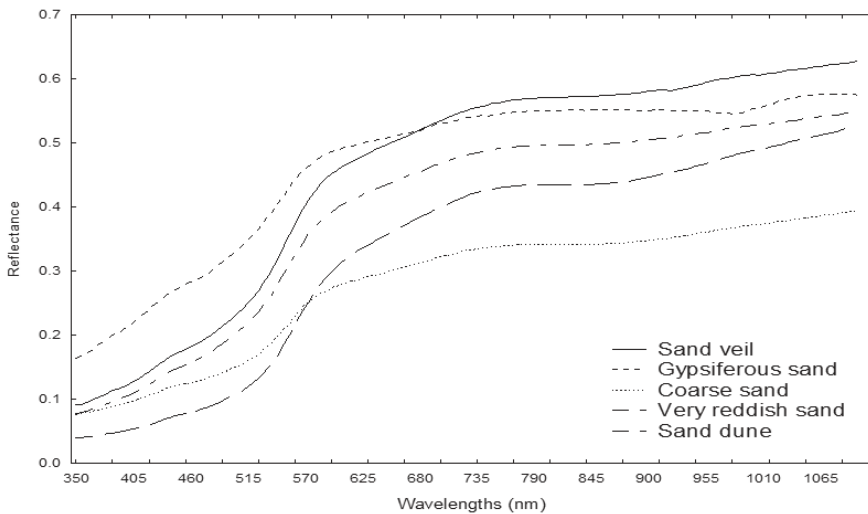
have been used in the rest of this study. **Table 1** displays reflectance values obtained in SPOT-VGT bands for the 30 desert soil samples studied.

4.2 TYPICAL DESERT SOIL SPECTRAL SIGNATURES

Average reflectance spectra obtained with 10 repetitions per sample are illustrated on **figure 4** through five typical spectra selected among the whole set of samples described in **Table 1**.

The sigmoidal shape is due to the absorption in the shorter wavelength, which is the strongest in the case of the ‘very reddish sand’ (sample#12). On the opposite the ‘gypsiferous sand’ (sample#9) shows a less pronounced shape and is the brightest sample (higher average reflectance, or albedo). Finally ‘coarse sand’ (sample#18) is the darkest, giving an idea of the range of spectra observed for desert soils.

Figure 4 – Example of reflectance spectra obtained for the studied desert soils. Five samples show the variation range in the blue to NIR spectral domain



4.3 EVIDENCE OF THE SOIL LINE CONCEPT AND IMPACT ON NDVI

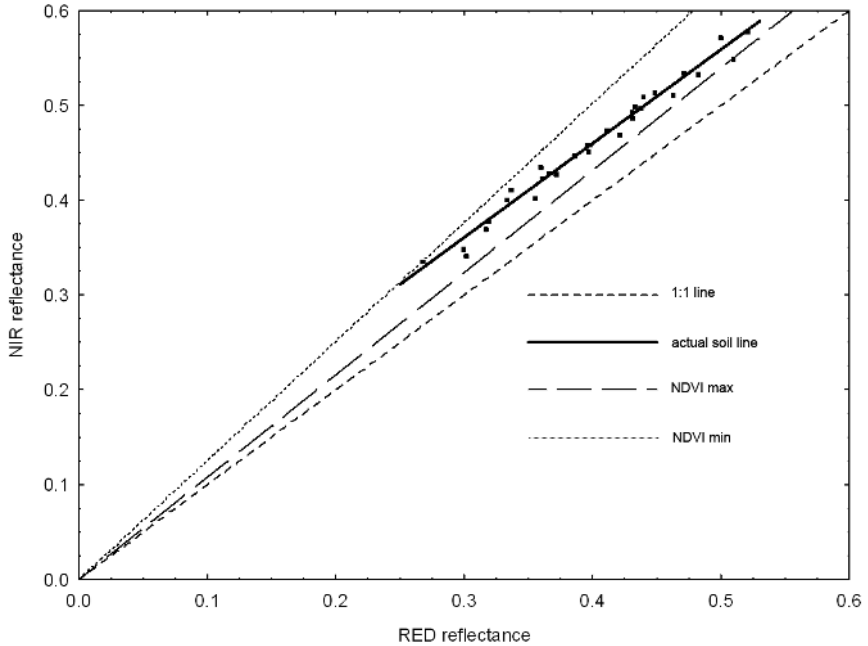
Measured reflectances in the sensor bands displayed in the red/NIR scattergram of **figure 5** show the distribution of the desert samples along a line. Values shows large differences in surface brightness, but

the points are not on the 1:1 line which is at the basis of the soil line concept (BARET *et al.*, 1993).

Indeed points do not align perfectly, as they do not show exactly the same red/nir ratio. This is consistent with earlier observations on desert soils of Nevada, (e.g. ELVIDGE; LYON ,1985). Because the NDVI formulation assumes all soils have the same constant red/NIR ratio, departure from the 1:1 line is responsible for differences in NDVI values. The analysis of **table 1** shows that the NDVI varies here from 0.038 to 0.113 for those bare desert soils.

Another feature of the soil line in **figure 5** is the dispersion along the second axis (orthogonal to the main elongation axis), leading to consider that the soil line has a certain thickness. In order to analyse the origin of the dispersion of the soil samples in the Red/NIR space, we hypothesise that the Red/NIR is not independent of the absorption features found in the visible bands, as already found while studying other soil samples (ESCADAFAL; HUETE, 1991). One of the most frequent features of desert soils is the presence of iron oxide coatings on sand grains, responsible for light absorption in the blue band, resulting in their reddish colour (BEN-DOR *et al.*, 2006; ESCADAFAL, 1994). These features impact the general shape of the reflectance curve and are responsible for the non constant Red/NIR ratio.

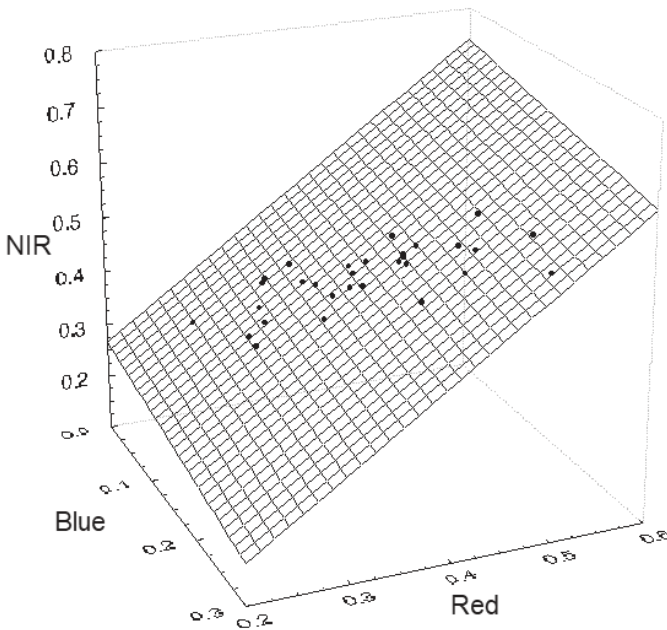
Figure 5 – The 30 desert soil samples define a specific soil line in the Red/NIR plane. This line does not cross the origin, and points are dispersed around it, these are the two causes of soil noise in the NDVI, data from *table 1*.



4.4 CORRECTION VEGETATION INDICES FOR SOIL NOISE

The correlation between reflectances in the blue, red and NIR bands appears on *figure 6* plotting values for the 30 samples in the space of these 3 bands. This reveals that the desert soils are located on a ‘soil plane’ rather than a soil line. As this plane is not strictly orthogonal to the Red/NIR one, when viewing the points in those two dimensions, they appear with some dispersion, this explains the soil line ‘thickness’.

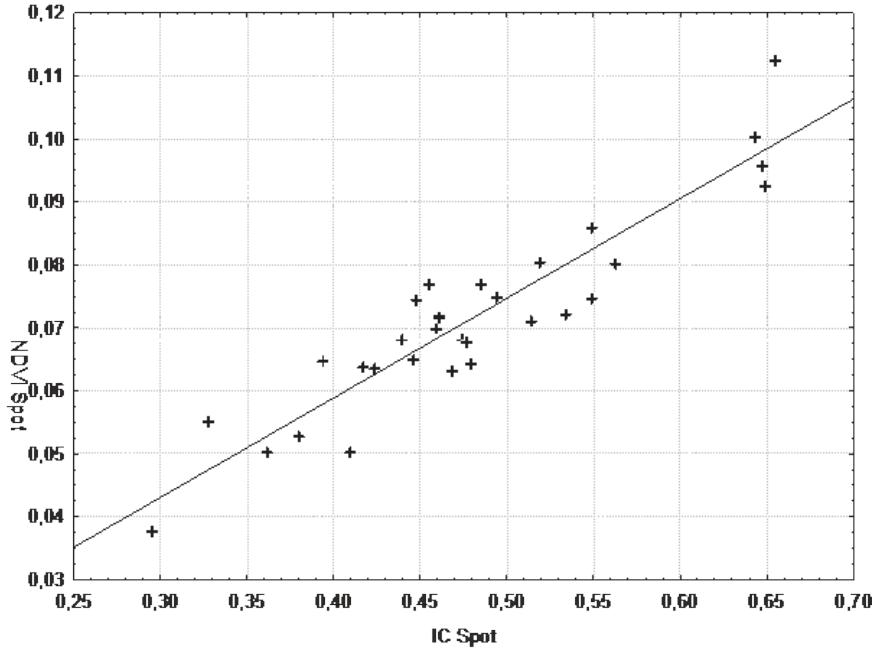
Figure 6 – Desert soil samples in the Blue/Red/NIR space depict a ‘soil plane’



Note: Viewed from the NIR/Red face (such as in *figure 3*), this 3D scattergram explains the origin of the soil line ‘thickness’ as the soil plane is not orthogonal to this face.

This result allows considering different options to take this specific distribution of the desert soil values into account to minimise the soil noise. A simple approach is to use the above results to correct reflectance by acknowledging the Red/NIR contrast is correlated to the Red/Blue ratio. That is to say, the relative decrease of reflectance in the Red band depends on the intensity of the absorption in the Blue band. Contrasts between bands are easily expressed by the normalised difference between them. Then, a first simple formulation is to subtract from the NDVI a noise fraction k of the redness index, RI (ESCADAFAL *et al.*, 1989). This index is a normalised difference between the red and blue bands, and the noise fraction is estimated using the slope k of the NDVI/RI correlation (ESCADAFAL; HUETE, 1991) as illustrated on *figure 7* for the present data set.

Figure 7 – Correlation between the NDVI (NIR/Red normalised difference) and IC, Redness Index (Red/blue normalised difference) used to correct for soil noise (NDVI* approach)



Note: $y = -0.0044 + 0.158x$ / $r^2 = 0.861$

The vegetation index corrected for soil noise is then noted NDVI*, where $NDVI^* = \frac{r_{nir} - r_r}{r_{nir} + r_r} - k \times \frac{r_r - r_b}{r_r + r_b}$ (ESCADAFAL; HUETE 1991) where r_b , r_r , r_{nir} are the reflectance value in the blue, red and NIR bands, respectively. In the case of our dataset the value found for k is 0.158. This value is likely to vary slightly for different sensors, but the approach initiated in the previous work cited has proven to be applicable here to the desert soils of the Sahara.

5 CONCLUSION: consequences for the use of Earth Observation in Drylands

This short review of the role of soils in remote sensing of drylands has come to the conclusions that soils and their surface features are a major component of the land surface of those regions and are often largely dominant. While using remote sensing for monitoring, such as in international programs to combat desertification, emphasis is classically

put on assessing the trends in green vegetation cover changes. In this study we have evidenced the influence of desert soils on the vegetation indices (soil noise) and validated the principle of its correction. Other options such as computing a distance to the ‘soil plane’ would allow to refine ‘desert adjusted’ vegetation indices. Taking into account this particularity of drylands by applying the correction to actual imagery should improve the detection of low green vegetation covers in those vast regions.

Moreover some symptoms of land degradation (and recovery) might rather to be observed on the mineral component of the land surface, such as changes in the distribution of Aeolian deposits, traces of salt deposition, changes in color related to exposure of different soil layers following erosion, e.g. As a conclusion it can be advocated that when using optical remote sensing for drylands, soils are definitely in the picture.

REFERENCES

- ADEEL, Z. *et al.*, ***Ecosystems and Human Well-being: Synthesis***. Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC, World Resources Institute, 2005. p. 155.
- AL-BAKRI, J. T.; TAYLOR, J. C. Application of NOAA AVHRR for monitoring vegetation conditions and biomass in Jordan. ***Journal of Arid Environments***, v. 54, n. 3, p. 579-593, 2003.
- BAI, Z. G., DENT, D. L., OLSSON, L. & SCHAEPMAN, M. E. Proxy global assessment of land degradation. ***Soil Use and Management***, v. 24, n. 3, p. 223-234, 2008.
- BARET, F.; JACQUEMOUD, S.; HANOCQ, J. F. The soil line concept in remote sensing. ***Remote Sensing Reviews***, v. 7, n. 1, p. 65-82, 1993.
- BELNAP, J.; LANGE O. L. ***Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management***. Springer, Berlin, 2001.
- BEN-DOR, E. *et al.* Quantitative mapping of the soil rubification process on sand dunes using an airborne hyperspectral sensor. ***Geoderma***, v. 131, n. 1, p. 1-21, 2006.
- DARDEL, C. *et al.* Re-greening Sahel: 30years of remote sensing data and field observations (Mali, Niger). ***Remote Sensing of Environment***, v. 140, p. 350-364, 2014.
- ELVIDGE, Christopher D.; LYON, Ronald JP. Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass. ***Remote Sensing of Environment***, v. 17, n. 3, p. 265-279, 1985.
- ESCADAFAL, R.; GIRARD, M. C.; COURAULT, D. “Modeling the relationships between Munsell soil color and soil spectral properties”, ***International Agrophysics***, v. 4, n. 3, p. 249-261, 1988.

- ESCADAFAL, R.; GIRARD, M. C.; COURAULT, D. Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of Landsat MSS and TM data. *Remote Sensing of Environment*, v. 27, n. 1, p. 37-46, 1989.
- _____ ; HUETE, A. Improvement in remote sensing of low vegetation cover in arid regions by correcting vegetation indices for soil ‘noise’. *Comptes Rendus de l’*, v. 312, n. 11, p. 1385-1391, 1991.
- _____ ; Soil spectral properties and their relationships with environmental parameters-examples from arid regions. In: *Imaging Spectrometry—a Tool for Environmental Observations*. Springer Netherlands, 1994. p. 71-87.
- _____. Drylands and desertification. In: *Baghdad N; Zribi M., eds. Land Surface Remote Sensing: Environment and Risks*, 1st edition (London: Oxford: ISTE Press – Elsevier), 2016. p.1-23.
- EVANS, J.; GEERKEN, R. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation. *Journal of Arid Environments*, v. 57, n. 4, p. 535-554, 2004.
- HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International journal of remote sensing*, v. 7, n. 11, p. 1417-1434, 1986.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- _____ ; TUCKER, C. J. Investigation of soil influences in AVHRR red and near-infrared vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 12, n. 6, p. 1223-1242, 1991.
- _____ ; LIU, H. Q. An error and sensitivity analysis of the atmospheric-and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 32, n. 4, p. 897-905, 1994.
- _____ ; LIU, H. Q., BATCHILY K., VAN LEEUWEN W.(1997). “A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS.” *Remote Sensing of Environment* 59: 440-451, 1997.
- JIANG, Zhangyan *et al.* Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n. 10, p. 3833-3845, 2008.
- JUSTICE, C. O., *et al.* The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, v. 36 n. 4, p. 1228-1249, 1988.
- KARNIELI, Arnon *et al.* Spectral characteristics of cyanobacteria soil crust in semiarid environments. *Remote Sensing of Environment*, v. 69, n. 1, p. 67-75, 1999.
- KAUFMAN, Y. J.; TANRE, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 30, n. 2, p. 261-270, 1992.
- KENNEDY P. J. Monitoring the phenology of Tunisian grazing lands. *International Journal of Remote Sensing*, v. 10, n. 4-5, p. 835-845, 1989.

LE HOUÉROU, H. N. The desert and arid zones of northern Africa. In: *Hot deserts and arid shrublands* (ed. I. N.-M. a. D. W. G. M. Evenari). Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 101-147.

LILLESAND, P. T. M. & KIEFER, R. W. CHIPMAN W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, 2014.

MAISONGRANDE, P.; DUCHEMIN, B.; DEDIEU, G. VEGETATION/SPOT: an operational mission for the Earth monitoring; presentation of new standard products. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 1, p. 9-14, 2004.

RIETKERK, M. *et al.* Self-organized patchiness and catastrophic shifts in ecosystems. *Science*, v. 305, n. 5692, p. 1926-1929, 2004.

SHIYAMA, T. *et al.* Relationship among vegetation variables and vegetation features of arid lands derived from satellite data. *Advances in Space Research*, v. 28, n. 1, p. 183-188, 2001.

TUCKER, Compton J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

WYSZECKI, G. and W. S. STILES. *Color science: concepts and methods, quantitative data, and formulae*. John Wiley & Sons, 2000.

CORRELATION BETWEEN SOIL ERODIBILITY AND SATELLITE DATA ON AREAS OF CURRENT DESERTIFICATION: a case study in Senegal¹

Waldir de Carvalho Junior²

Maud Loireau³

Mireille Fargette⁴

Braz Calderano Filho⁵

Abdoulaye Wélé⁶

ABSTRACT

The purpose of the study is to verify whether some correlation exists between soil erodibility (*i.e.* K factor mentioned in RUSLE model) and data obtained from satellite images. This piece of work represents a first attempt towards a model that would predict the risk for soil erosion, from information contained in satellite images. Ouarchoch is a rural community in Ferlo Region, Senegal. It lies in a Sahelian typical arid zone and is affected by desertification processes. Ouarchoch site was the pilot area on which the test was performed. K factor was calculated by using soil textural data (sand, silt and clay) in the top (0 – 5 cm) soil layer (data obtained from the web). Landsat7 satellite images

¹ We would like to thank the extra contributors: Sanaa Lakhli, Sane Mamadou, Therese Libourel, Cesar da Silva Chagas, Télésphore Brou, Abdoulaye Faye and Samira El Yacoubi.

² PhD in Soil Science in Universidade Federal de Viçosa (UFV), Brazil, 2005 and Posdoc in digital soil mapping at Institut National de Recherche Agricole (INRA), France, 2012. Currently is a Researcher in Brazilian Agricultural Research Corporation. waldir.carvalho@embrapa.br

³ PhD in Geography (Spatial organization: dynamics and Management of rural areas) at University of Montpellier III; member of French scientific committee on desertification (CSFD). maud.loireau@ird.fr

⁴ PhD in Agronomy Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (Montpellier SupAgro, France); She has been working for Institut de Recherche pour le Développement (IRD). mireille.fargette@ird.fr

⁵ PhD in Geology from Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil; 2012; Currently is a researcher in the Brazilian Agricultural Research Corporation. braz.calderano@embrapa.br

⁶ Engineer of Water and Forests with specialization in ecologist. Currently is a researcher in CSE – Centre de Suive Ecologique – Senegal. wele@cse.sn

represented different seasonal snapshots (“cool” dry season, warm dry season, rainy season, end of rainy season or beginning of dry season) of the same year, 2014. Calculation used Bands 1 to 7 and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The choice of data, calculation and analysis are detailed. Some positive moderate correlation exists between soil erodibility on the one hand, and NDVI index displayed during the dry season (images in January and May), as well as Band 5 radiations displayed at the beginning of the dry season (post-harvest, image in October) on the other hand.

KEYWORDS: Soil erosion risk. Soil erodibility. Socio environmental correlations. Desertification.

Submission date: 12/04/2017

Acceptance date: 16/06/2017

1 INTRODUCTION

The severe and combined actions of water and wind erosion can contribute to land degradation. They are closely associated to each other both in time and space in sandy areas in Sahel (RAJOT *et al.*, 2009). Rainfall spans over a rather short period of time (from June to September). Runoff intensity, in micro-basins, depends on rain intensity, soil physico-chemical characteristics and vegetation cover, and causes loss of soil. Especially during dry seasons, eroded material accumulated in places is taken over by wind and translocated further away. Because of the wind, sandy soils lose the first organo-mineral horizon; the mineral horizon lies exposed and its surface, polished by grains saltation, gets more impermeable and makes rainwater infiltration less easy; this, in turn, promotes water erosion (MAINGUET; DUMAY, 2011). Depending on the depletion and accumulation of material transported by water and/or wind, degraded areas occur when soils (shallow, depleted or gullied...) no longer play their substrate role for crops or spontaneous plants.

In this context, soil erosion risk assessment is a complex endeavour because of a number of concurrent processes, either natural (linked or not to climate change) or anthropogenic (linked to soil use and management and various upstream or downstream human activities). This, in turn, affects socio environmental interactions, both in time and space. There

is no current generic model that integrates wind erosion. In contrast, there exists a model for soil erosion risk, as far as water is concerned: the Universal Soil Loss Equation (USLE) (WISCHMEIER; SMITH, 1978) is based on land physical properties and climate features. This universal equation was adapted (equation – RUSLE) by distinguishing five factors: erosivity (R), soil erodibility (K), slope length and steepness (LS), crop management (C), and practice factor (P).

The use of remote sensing and satellite images in order to spatialize / map erosion risk is an area of research which has been explored over the past decade. Indeed, such device should be in position to provide frequent and updated information to stakeholders and environmental risk managers, as soon as one or several factors (among the 5 factors of RUSLE model) would be “related” to satellite images information. For example Al-Abadi *et al.* (2016), Bahrawi *et al.* (2016) and Patil *et al.* (2015) used Landsat8 or IRS P6 images and NDVI calculation to estimate C factor (crop management) respectively in Iraq, Saudi Arabia, and India. Wilford *et al.* (2016) assessed the environmental correlation to establish predictive relationships between geochemical concentration and the environmental covariates. They show that the environmental correlation approach generates high resolution predictive maps that are statistically more accurate and effective than ordinary kriging and inverse distance weighting interpolation methods.

In this work, we chose to focus on soil erodibility (*i.e.* its resistance to rainfall at the surface of the soil, and to runoff notch) because the higher the soil erodibility, the greater the risk of rainfall erosion and further wind erosion. From there, we tackle the overall soil erosion risk and land degradation. From data analysis carried out in different agro ecological situations across Africa, RUSLE model points at the very aggressive rain regime to account for much erosion in Africa. However, soil erodibility is not homogeneous in space and time: it is more acute during rainy seasons and also depends on soil characteristics, age of clearing and cultivation techniques. That being said, studies of erodibility in Africa are very scarce, there are few data, in time and space (ROOSE; DE NONI, 2004).

Indeed, soil erodibility ground data are not easy to collect and a prediction model of soil erodibility, based on data more easily available (satellite images for instance), would be very useful. As mentioned

above for C Factor, previous pieces of work intended to feed RUSLE model with satellite data in order to produce maps on soil erosion risk. The aim of the present work not only points at K Factor, but also tackle the question through the possible correlation between independent sets of data - soil erodibility (K factor) on the one hand and data contained in satellite images on the other hand. A significant correlation would provide a milestone in the attempt to predict soil erodibility; this would further forecast the use of satellite data for soil surveys throughout larger areas.

2 MATERIAL AND METHODS

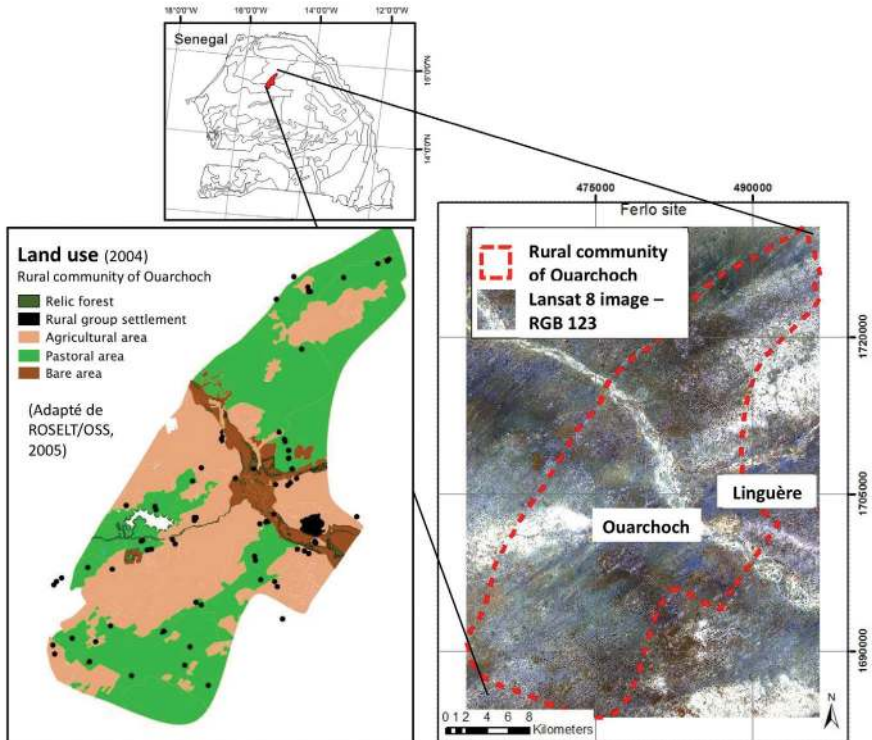
The approach is tested on a pilot area in a Sahelian typical arid zone affected by desertification processes (2.1). The approach takes into account soil data together with the difficult access to soil erodibility ground data (2.2.) and the variation in space and time contained in satellite data (2.3). The approach verifies the absence of artefact related to sampling design on correlation results (2.4).

2.1 THE STUDY AREA

Ouarchoch, a rural community in Ferlo Region, Linguere Department (**Figure 1**) is located in south of Senegal Basin, in Northern Senegal (from 14,5° to 16,1° N and 12,9° to 16,0° W), and covers an area of approximately 71.000 km². As a part of the Western Africa shield, the region is flat and not higher than 70 m, with an average altitude of 40 m above sea level. The region is part of the semi-arid Sahel: annual rainfall of 410.4 mm in average with one rainy season and a long, dry, hot season with temperature ranging from 21.1°C and 36.1°C (**Figure 2**). It is worth noting that in 2014 (when the selected satellite images were collected, *cf.* 2.3), the amount of rain was lower than average. Soil occupation consists in steppe (50%) dedicated to pastoral use; cropping plots (25%) and fallows (15%) dedicated to agricultural use; bare areas (7%) along the banks of dry riverbeds in valleys, relict forest (2%), rural group settlements and pools (1%) (**Figure 1**). The vegetation cover never exceeds 20%, except in relict forest where it can reach 60%. Steppe (possibly including trees and/or shrubs) is mostly to be found south and north of the study area.

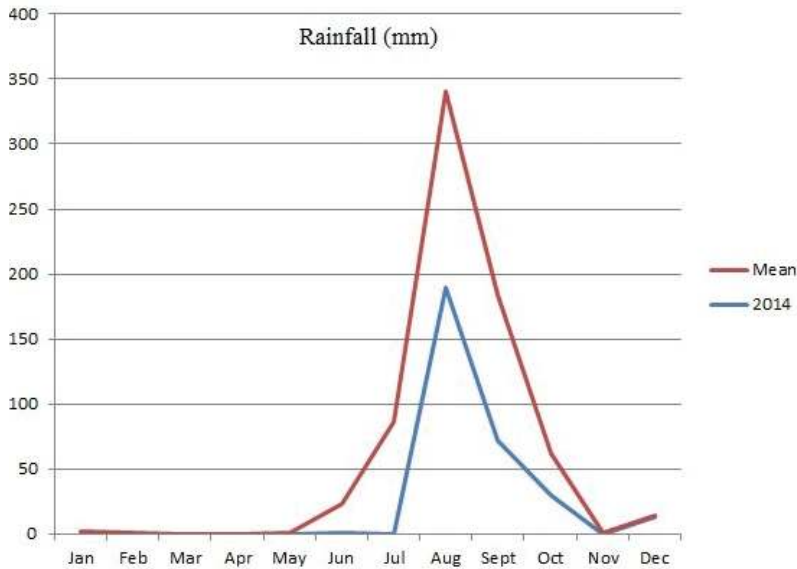
Soils are mostly tropical ferruginous with little or no leaching, very sandy, fairly degraded, poor in organic matter, low in fertility, very sensitive to erosion. The soil in shallow places and between inter dunes has much finer texture and is fairly covered with relict forest, has a higher fertility but such places are not (or rarely) cultivated. Such soils are more stable and less prone to degradation. Lowland soils lay in between these two types, have intermediate texture, are less prone to erosion, but very poor in organic matter and exchangeable bases (cations). The soil surface is sandy in most areas and there are particular areas with lateritic profiles.

Figure 1 – Ferlo study area location map



Source: Adapté de ROSELT/OSS: Rapport scientifique 2003-2005.

Figure 2 – Monthly rainfall in Linguere Region (red curve: average data between 1960 and 2014; blue curve: data for 2014) (Worldclim)



Source: ANACIM (Agence Nationale de l’Aviation Civile et de la Météorologie, Sénégal).

2.2 K FACTOR

Given the difficulty in collecting sufficient data to adequately measure K Factor, early in the USLE’s history the soil erodibility nomograph method was developed to estimate K on the basis of standard soil properties. At the time the nomograph approach was developed, only a small number of soils samples has been collected in the United States; it is hence necessary to check the nomograph’s ability to predict the soil’s true erodibility in other contexts. For example, to determinate K Factor into RUSLE model, Terranova *et al.* (2009) required data on texture, structure, organic matter, and permeability fixed for each soilscape in soil maps; Prasannakumar *et al.* (2012) considered the particle size, organic matter content and permeability class.

Considering that data on soil organic matter are difficult to obtain, and because there is little MO quantity in arid zone soils, it would be interesting to base the assessment of soil erodibility factor (K factor) only on soil textural data (BAGARELLO *et al.*, 2012). For example, Xu *et al.* (2013) already focused on soil texture (data corresponding to fractions of sand, silt and clay). In that study, K Factor used for USLE

(Wischmeier and Smith, 1978) was calculated by only incorporating the soil textural data (sand, silt and clay) of the topsoil (0 – 5 cm layer) into equation developed by Mannigel *et al.* (2002):

$$K \text{ Factor} = ((\%sand + \%silt)/(\%clay))/100$$

Data on soil properties (sand, silt and clay composition) of topsoil layer (0 – 5 cm) in Africa maps, 250 m resolution, are produced by ISRIC - World Soil Information / AfSIS Project, and available on the web⁷ (Soil property maps of Africa at 250 m). Such data were produced by prediction models (random forest and kriging) using MODIS and SRTM by independent variables and the parameters of African soil database by dependant variables. Maps of Senegal has been downloaded and square covering Ouarchoch community extracted. Due to the pixel size, the images were resampled to 30 m to fit the satellite images resolution.

For this preliminary attempt, we decided to focus on the only (0-5 cm) topsoil layer, which is very sensitive to rainfall erosion. Along the same line, further studies could also include the layer (5-15 cm)⁸ provided by ISRIC - World Soil Information at least, and even the 6 layers provided (down to 100-200m)⁹

2.3 SATELLITE IMAGES

Satellite images sensor ETM + Landsat7 images collected on January 30th, May 22nd, August 26th and October 13th 2014 were available on NASA and USGS websites. January, May, August and October correspond to “cool” dry season, warm dry season, rainy season, end of rainy season or beginning of dry season respectively.

The four images share the same characteristics, as described in **Table 1**, with respect to spectral ranges and resolution.

⁷ <http://www.isric.org/data/afsoilgrids250m>

⁸ The first soil horizon in the study area is either absent or does not exceed 15 cm, except in depression areas.

⁹ Soil erosion can generate gullies several meters deep.

Table 1 – Landsat7 image characteristics

Bands	Spatial resolution (m)	Spectral range (µm)	Common applications
B1	30	0.450 to 0.515 (blue-green)	Coastal water mapping; differentiation of vegetation from soils
B2	30	0.525 to 0.605 (green)	Assessment of vegetation vigor
B3	30	0.63 to 0.69 (red)	Chlorophyll absorption for vegetation differentiation
B4	30	0.75 to 0.90 (infra-red)	Biomass surveys and delineation of water bodies
B5	30	1.55 to 1.75 (mid-infrared I)	Vegetation and soil moisture measurements; differentiation between snow and cloud
B6	60	10.4 to 12.50 (thermal infrared)	Thermal mapping, soil moisture studies, Plant heat stress measurement
B7	30	2.09 to 2.35 (mid-infrared II)	Hydrothermal mapping
NDVI	30	(B4-B3)/(B4+B3)	Vegetation cover measurements

Source: Landsat 7 handbook - <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>

Since data used for the K factor calculation have a 250 m resolution and because landscapes span over hundreds of hectare in the large area of Ouarchoch rural community, the 30 m resolution of Landsat7 images and their spatial extension is thought adapted to catch the diversity of soil erodibility and erosion risk. On the contrary, the focus on cultivation plots (scale of square metre) and smaller resolution is not supposed relevant. That being said, the analysis is thematically relevant at 250 m resolution, even if for the technical reason the K factor calculation is resampled to 30 m resolution to fit the satellite image resolution.

The relevance Normalized Difference Vegetation Index (NDVI¹⁰) for monitoring vegetation cover and assessing vegetation condition has been demonstrated (YENGOH *et al.*, 2016). NDVI is the most direct quantification of the fraction of photosynthetically active radiation that is absorbed by vegetation. Nonetheless, its use to discriminate directly between degraded and non-degraded areas is a particular challenge in arid zones characterised by vegetation with little coverage and generally not very active with respect to physiology and photosynthesis (ESCADAFAL *et al.*, 2016). In the study area, the vegetation cover varies between 2% and 60%; but it ranges between 15 and 20% over most of the surface.

¹⁰ NDVI = (IR-R)/(IR+R)

Other typical radiometric indexes significant with respect to vegetation or soil could have been used, but for this preliminary study, NDVI was chosen because it is the most commonly used index. The radiometric information contained in the 7 bands also refers to items (**Table 1**) which may be relevant to the topic, in one way or another. Hence, data corresponding to Bands 1 to 7 (B) and NDVI (calculated from B3 and B4) will be used for further analysis.

2.4 CORRELATION BETWEEN K FACTOR AND SATELLITE IMAGES

Pixel samples will be collected to represent the area. In order to test the possible effect of the pixel sampling design on the correlation, eight pixel samples were collected (performed with ArcGIS 10), which differed in sampling effort and spatial sampling mode (**Figure 3**):

- four sample sizes, *i.e.* number of pixels collected (2980, 1412, 783 and 377);
- two sampling modes more or less spatially directed (regular grid guidance *vs* random).

This results in the density presented in **Table 2** and the sampling design presented in **table 3**.

Table 2 – Datasets, pixel sampling design, amount of samples, density and hectares by sample

Datasets	Sampling design	n	Density (sample/hectar)	Hectar/sample
Sample1	Regular grid	2980	0,042	23,80 ha
Sample2	Randomly	2980		
Sample3	Regular grid	1412	0,020	50,31 ha
Sample4	Randomic	1412		
Sample5	Regular grid	783	0,011	90,72 ha
Sample6	Randomic	783		
Sample7	Regular grid	377	0,005	188,43 ha
Sample8	Randomic	377		

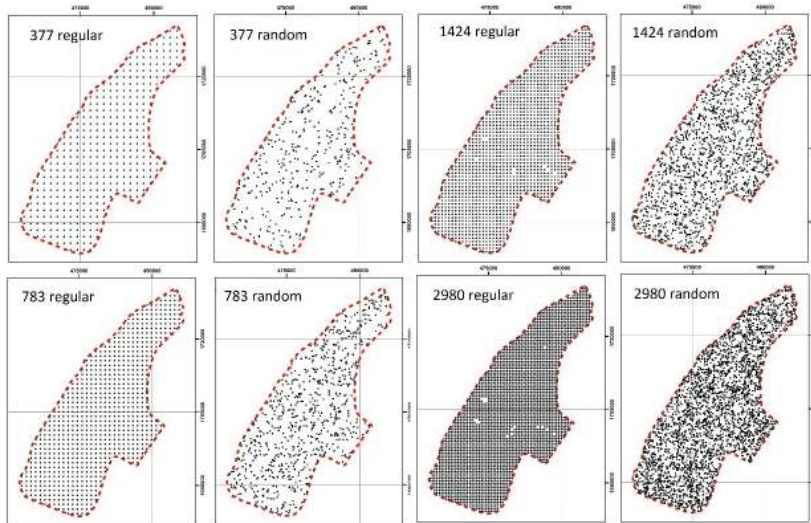
where: n – number of pixels in a sample

Pearson Correlation and its *p value* were calculated (*R software*; R Development Core Team, 2007). The Pearson Correlation value was evaluated according to Knapp (1990), where the ranges were established in the **Table 3**, and the *p value* was assumed to be significant correlation with K Factor when it was less than 0.05.

Table 3 – Class of Pearson Correlation and absolute ranges of values

Class	Range – absolute values
Not correlated	< 0.1
Weak	0.1 to 0.2
Moderate	0.2 to 0.5
Strong	> 0.5

Figure 3 – Pixel sampling design and spatial configurations



3 RESULTS

The *K Factor* shows the basic statistics distribution for each sampling design according to the *Table 4*.

Table 4 – Mean, Standard deviation, first, second and third quartis of K Factor according to the sampling design.

	n	Sample design	mean	sd	1°Q	2°Q	3°Q
sample1	2980	Regular	0.067969	0.020673	0.051875	0.066923	0.080909
sample2	2980	Ramdomly	0.067964	0.020929	0.051875	0.066923	0.080909
sample3	1412	Regular	0.068595	0.020989	0.0525	0.066923	0.080909
sample4	1412	Ramdomly	0.068363	0.020672	0.0525	0.066923	0.080909
sample5	783	Regular	0.068345	0.020913	0.051875	0.066923	0.080909
sample6	783	Ramdomly	0.06791	0.020574	0.049412	0.066923	0.080909
sample7	377	Regular	0.067876	0.020631	0.0525	0.066923	0.080909
sample8	377	Ramdomly	0.069844	0.02117	0.0525	0.066923	0.081818

Where : sd – standard deviation, Q – Quartil; n – amount of samples,

Based on the K Factor, there is no statistics difference between the randomly and regular distribution samples, considering the same density according to T Test, that shows large *p values* (**Table 5**) and forces us to conclude there is no difference between the groups.

Table 5 – The p values of the T Test between samples with the same amount.

databases	p value
sample1 x sample2	0.8757
sample3 x sample4	0.8053
sample5 x sample6	0.8635
sample7 x sample8	0.3458766

The Pearson’s correlation and significance between the K Factor and the covariates (Band 1 to Band 7 and NDVI) for the time spaced landsat7 images were showed in the **Table 6**.

Table 6 – Pearson’s correlation between the K Factor and images covariates.

K Factor	band1	band2	band3	band4	band5	band6	band7	NDVI
January 2014 image								
sample1	-0.15058	-0.17643	-0.07848	0.063746	0.007196*	0.170443	0.182614	0.227144
sample2	-0.13881	-0.17442	-0.10529	0.028811*	-0.01533*	0.140223	0.141909	0.204111
sample3	-0.1557	-0.18558	-0.08256	0.054942	0.0212*	0.161018	0.166661	0.214265
sample4	-0.14557	-0.17306	-0.06609	0.074338	0.0425*	0.155233	0.156293	0.220787
sample5	-0.10785	-0.13932	-0.06034*	0.074311	0.041414*	0.207712	0.185992	0.226357
sample6	-0.07266	-0.10245	-0.03273*	0.062012*	0.040873*	0.1649	0.150799	0.162144
sample7	-0.13847	-0.14852	-0.05978*	0.08437*	0.086849*	0.205425	0.199039	0.247358
sample8	-0.17581	-0.16766	-0.01787*	0.125007	0.03229*	0.231803	0.278894	0.230706
May 2014 image								
sample1	-0.19489	-0.18035	-0.114432	-0.01374*	-0.0492463	-0.0589281	0.02055*	0.277087
sample2	-0.18803	-0.17271	-0.113325	-0.01483*	-0.0334191*	-0.0590268	-0.00428*	0.267878
sample3	-0.19177	-0.17065	-0.102007	-0.00522*	-0.0283192*	-0.0602132	0.008938*	0.269437
sample4	-0.19	-0.17209	-0.105248	-0.000621*	-0.0241284*	-0.048501*	0.008398*	0.287162
sample5	-0.17983	-0.16383	-0.101281	0.0049919*	-0.0142716*	-0.0269171*	0.029531*	0.288785
sample6	-0.18618	-0.16945	-0.105993	-0.024328*	-0.0511875*	-0.0703644	-0.01344*	0.218088
sample7	-0.22746	-0.20526	-0.133784	-0.030441*	-0.0616117*	-0.051954*	0.010919*	0.321904
sample8	-0.17216	-0.14956	-0.068297*	0.0334729*	-0.0134918*	-0.0105637*	0.089578*	0.245755
August 2014 image								
sample1	-0.07394	-0.06957	-0.024604*	0.0324192*	0.0433701	0.0006595*	0.013557*	0.04103
sample2	-0.06096	-0.06862	-0.044595	0.0109569*	0.0532882	-0.0009692*	0.005566*	0.031083*
sample3	-0.06125	-0.06151	-0.008902*	0.0281396*	0.0746959	0.0006826*	0.010189*	0.010682*
sample4	-0.08996	-0.0915	-0.040606*	0.0132856*	0.0760894	0.0010945*	0.000915*	0.018427*
sample5	-0.04937*	-0.05624*	-0.017096*	0.0302186*	0.0675296*	0.0349198*	0.033043*	0.033298*
sample6	-0.07342	-0.08418	-0.042695*	-0.01766*	0.0860169	-0.0243471*	-0.03119*	-0.04195*
sample7	-0.09658*	-0.11335	-0.076996*	-0.025018*	0.0893867*	0.0193099*	0.006116*	-0.00041*
sample8	-0.04535*	-0.02069*	0.0351074*	0.0935745*	0.0106641*	0.0685701*	0.092902*	0.085727*

October 2014 image								
sample1	-0.10076	-0.09234	-0.072509	-0.054631	0.2490081	-0.0968173	-0.15847	0.013774
sample2	-0.09424	-0.08879	-0.071698	-0.053588	0.2707378	-0.1048185	-0.17098	0.014025*
sample3	-0.09557	-0.08569	-0.062839	-0.045384*	0.2670091	-0.0985263	-0.16937	0.020694*
sample4	-0.09579	-0.08887	-0.071668	-0.045118*	0.2468929	-0.0769211	-0.15406	0.037253*
sample5	-0.09018	-0.08306	-0.065513*	-0.043233*	0.2720621	-0.0631427*	-0.14816	0.028702*
sample6	-0.0969	-0.09033	-0.072744	-0.06683*	0.24774	-0.100633	-0.17028	-0.015*
sample7	-0.14972	-0.13721	-0.107992	-0.081627*	0.2299368	-0.0806679*	-0.16972	0.031036*
sample8	-0.12685	-0.09222*	-0.046716*	-0.015669*	0.2240145	-0.0260837*	-0.06434*	0.062071*

Where: * no significance correlation at 5%; not correlated - white; weak correlation – light gray; moderate correlation – dark gray.

According to the classification proposed by Knapp (1990), the four images have no similar behaviors, with some particularities. Both images of the dry season, January and May, present a moderate correlation between NDVI and K Factor, and none with Band 4 and Band 3 separately. We can also notice a moderate correlation between K Factor and Band 6 and Band 7 separately, in particular with low density of samples. In the other hand, for the wet season images, only the image of October presents a moderate correlation between Band 5 and K Factor. The image of august is almost completely not correlated with the K Factor, exception to the sample7 and Band 2, with a weak correlation.

4 DISCUSSION AND CONCLUSION

These results suggest that the NDVI of dry season images (January and May) correlated with K Factor on the study area and can be used to supply the lack of soil information to assess the soil erodibility. In dry season, trees or shrubs in steppe or relict forest in valleys are the only active vegetation; there aren't crops in fields. Moreover, in dry season satellite images capture more radiation from the soil than from vegetation; and K Factor is directly related to the granulometry of the surface soil. Therefore, in the agropastoral study area, we can support the assumption that where there is an intensive pastoral use in steppe areas (indicated by the presence of trees and/or shrubs in dry season), the soil compaction with livestock trampling is significant to be correlated with soil erodibility.

The results in “cool” dry season suggest also that Bands 6 and 7 (used for thermal mapping applications, *cf.* table 1) are separately correlated with K factor and can be used to supply the lack of soil information to assess the soil erodibility, but only if the sampling density in satellite images is low. In ‘cool’ dry season (January) temperature

is very high during the day and very low during the night while in warm dry season (May) there isn't so much variation of temperature. The temperature is so high everywhere and every time that thermal radiation captured by satellites become more homogenize and therefore more independent of soil surface. In 'cool' dry season the thermal radiation according to the bare soil surface still varies. Therefore, we can support the assumption that the more compact the soil (because of livestock trampling or wind erosion), the higher the thermal radiation and correlated with K factor.

The result in rainy season (image of August) highlights that there is no point in looking for correlations between satellite data and K factor in this season, even if, as we said in introduction, the erosion process is the most intensive. In rainy season the active vegetation cover is maximum (herbaceous, and ligneous) in agricultural, pastoral and populated areas. Satellite images capture little or no soil radiation.

The post harvest season image of October 2014 shows moderate correlation between K Factor and Band 5 used for vegetation and soil moisture measurements (*cf.* table 1). In this season, the soil is still wet where the infiltration is bad (because of compaction level of soil or because of its texture); fields are harvested (the soil surface is bare), and the steppe is still covered with active ligneous vegetation and no herbaceous any longer. At this season the vegetation cover, except in relict forest, doesn't exceed 20%; that is to say the radiation of soil surface is well captured by the satellite. Therefore, we can support the assumption that this moderate correlation could help to distinguish the wet surface (bare or covered with active ligneous vegetation) more sensitive to erosion (with higher F factor).

In conclusion, these results support the assumption that Landsat7 images of dry season can be used to assess the soil erodibility in semiarid and arid regions according to positive moderate correlation, using the NDVI in dry season, Bands 6 and 7 in "cool" dry season and Band 5 in post harvest season (beginning of dry season).

Based on these first promising results, further investigations could be:

- to test the hypothesis in other places and define its socio-environmental conditions (geographical areas) of validity in arid zones;
- to mobilize series of images over several years in the dry season and in the post-harvest season to improve the correlation and its solidity;

- to test other information-rich indices on vegetation or soil;
- to seek a specific combination of the different bands, mobilizing more bands 1, 2, 6 and 7 with a “weak correlation” in January;
- to assess the environmental correlation of others soil deep layers;
- to test other mathematical methods that would make the research for correlations more powerful: for example the neural networks.

REFERENCES

AL-ABADI, A. M. A.; GHALIB, H. B.; AL-QURNAWI, W. S. Estimation of soil erosion in northern Kirkuk governorate, Iraq using rusle, remote sensing and Gis. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, v. 11, n. 1, p. 153-166, Feb 2016. ISSN 1842-4090.

BAGARELLO, V. et al. Estimating the usle soil erodibility factor in Sicily, south Italy. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 28, n. 2, p. 199-206, Mar 2012. ISSN 0883-8542. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000303784100004 >.

BAHRAWI, J. A. et al. Soil Erosion estimation using remote sensing techniques in Wadi YALAMLAM basin, Saudi Arabia. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016 2016. ISSN 1687-8434. Available in: <<Go to ISI>://WOS:000374005600001>.

KNAPP, T. R. Statistical power analysis for the behavioral-SCIENCES, 2ND EDITION - COHEN, J. *Educational and Psychological Measurement*, v. 50, n. 1, p. 225-227, Spr 1990. ISSN 0013-1644.

ESCADAFAL R.; BEGNI, G.; BILLET, P.; BONNET, B.; HIERNAUX, P.; TRAVI, Y.. Surveiller la désertification par la télédétection. *Dossier thématique du CSFD*. n. 12, p. 46, 2016.

MAINGUET, M.; DUMAY, F. Combattre l'érosion éolienne. Un volet de la lutte contre la désertification. *Dossier thématique du CSFD*. n. 3, p. 44, 2011.

MANNIGEL A. R.; PASSOS e CARVALHO M.; MORETI D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, v. 24, p.1335-1340, 2002.

PATIL, R. J.; SHARMA, S. K.; TIGNATH, S. Remote Sensing and GIS based soil erosion assessment from an agricultural watershed. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 8, n. 9, p. 6967-6984, Sep 2015. ISSN 1866-7511.

PRASANNAKUMAR, V.; VIJITH, H.; ABINOD, S.; GEETHA, N. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology: *Geoscience Frontiers*, v. 3, n. 2, p. 209-215, 2012.

RAJOT J-L.; KARAMBIRI H.; RIBOLZI O.; PLANCHON O.; THIÉBAUX J-P. Interaction entre érosions hydrique et éolienne sur sols sableux pâturés au Sahel :

cas du bassin-versant de Katchari au nord du Burkina Faso. *Science et changements planétaires* / Sécheresse, John Libbey Eurotext, n. 20, n. 1, p.17-30. 2009.

R DEVELOPMENT CORE TEAM *R: a Language and Environment for Statistical Computing*. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. Available in: <http://www.R-project.org/> ISBN 3- 900051-07-0 (Accessed at: 05/08/2015). 2007.

ROOSE, E.; DE NONI, G. Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique : revue et perspectives. *Sécheresse*, v. 15, n. 1, p. 121-129. 2004.

TERRANOVA, O. *et al.* Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). *Geomorphology*, v. 112, n. 3-4, p. 228-245, Nov 15 2009. ISSN 0169-555X. Available in: <<Go to ISI>://WOS:000270640600005>.

WILFORD, J.; DE CARITAT, P.; BUI, E. Predictive geochemical mapping using environmental correlation. *Applied Geochemistry*, v. 66, p. 275-288, Mar 2016. ISSN 0883-2927. Available in: <<Go to ISI>://WOS:000370066400022 >.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, D. C.: USDA, p. 57. (*USDA. Agricultural Handbook*). 1978.

XU, L.; XU, X.; MENG, X. Risk assessment of soil erosion in different rainfall scenarios by RUSLE model coupled with Information Diffusion Model: A case study of Bohai Rim, China. *Catena*, v. 100, p. 74-82, Jan 2013. ISSN 0341-8162. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000310037300008 >.

YENGOH, G. T.; DENT, D.; OLSSON, L.; TENGBERG, A. E.; TUCKER III, C. J. Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales. Current Status, Future Trends, and Practical Considerations. *Springer Briefs in Environmental Science*: 67-71. DOI 10.1007/978-3-319-24112-8. 2016.

USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL¹

Use of remote sensing for mapping areas susceptible to desertification in the Brazilian semiarid region

Sônia Barreto Perdigão de Oliveira²

Margareth Sílvia Benício de Souza Carvalho³

Abdelfettah Sifedine⁴

Betina Ferraz⁵

Eduardo Sávio P. R. Martins⁶

RESUMO

Sensoriamento remoto foi utilizado para mapear e identificar o estado de degradação/desertificação de todo o semiárido brasileiro, onde estão as Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD), sendo

¹ Os autores agradecem a valiosa contribuição da equipe técnica: Raimunda Neuma da Costa Barreto, Manuel Rodrigues de Freitas Filho, Ana Maria Lebre Soares, Zilnice Maria Lebre Soares, Rousilene Silva Nascimento, Antônio Alisson Fernandes Simplício, Francisco de Assis Bezerra Leite, Denis Barbosa Lima, Sheila Cavalcante Pitombeira, João Bosco de Oliveira, Marcos José Nogueira de Souza, Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima, Vlândia Pinto Vidal de Oliveira e Jader de Oliveira Santos.

² Engenheira agrônoma, mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (1998) e pesquisadora da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). sonia@funceme.br

³ Engenheira agrônoma, mestre em Agronomia/ Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e supervisora do Núcleo de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). margareth@funceme.br

⁴ Pesquisador em climatologia e mudanças climáticas pelo Institute of Research for Development (IRD). abdel.sifeddine@ird.fr

⁵ Diretoria de Desenvolvimento Sustentável do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). btferraz@gmail.com

⁶ Doutor em School of Civil and Environmental Engineering pela Cornell University, Professor Adjunto da Universidade Federal do Ceará e Presidente da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). espr.martins@gmail.com

aqui utilizadas imagens do satélite Landsat 8. Caracterizada como uma região de alta vulnerabilidade ambiental, com predominância do clima semiárido, que registra uma forte pressão antrópica sobre os recursos naturais, a ASD em questão estende-se pelos 9 estados do Nordeste e mais o norte de Minas Gerais e norte do Espírito Santo, região com elevados índices de pobreza. Para a identificação das áreas com sinais evidentes de degradação, além dos critérios de interpretação baseado na textura, forma geométrica e resposta espectral dos alvos imageados, foram consideradas informações climáticas e socioeconômicas, mapas do uso e ocupação da terra, cobertura vegetal, sistemas ambientais e solos. Os resultados mostraram que 70.279,46 Km² dessa área já se encontram fortemente degradados sob o ponto de vista físico. Constatou-se ainda a eficiência das imagens do satélite Landsat 8 e o potencial da técnica de sensoriamento remoto no mapeamento do referido tema, mostrando um elevado grau de confiabilidade na delimitação das áreas afetadas. A partir desse estudo fica evidente a possibilidade de uma atualização periódica e estabelecimento de um plano de monitoramento da degradação das terras secas no semiárido brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto. Terras secas. Degradação e desertificação.

ABSTRACT

Remote sensing was used to map and identify the state of degradation/desertification of the entire Brazilian semi-arid region, where the susceptible to desertification areas (ASD) are located. For this purpose, it was used Landsat 8 imageries. This region can be characterized as an area of high environmental vulnerability, with the predominance of the semi-arid climate, which registers a strong anthropic pressure on the natural resources. The ASD in question extends through the 9 states of the Northeast and further north of Minas Gerais and north of Espírito Santo, a region with high poverty rates. In order to identify the areas with evident signs of degradation, besides the interpretation criteria based on the texture, geometric form and spectral response of the imaged targets, it was also considered climate and socioeconomic information, land use, vegetation cover, environmental systems and soil maps. The results showed that 70,279.46 km² of this area are already heavily degraded

from the physical point of view. It was also verified the efficiency of the Landsat 8 satellite images and the potential of the remote sensing technique in mapping of this layer, showing a high degree of reliability in the delimitation of the affected areas. From this study, it is evident the possibility of a periodical update and establishment of a monitoring plan for the degradation of dry lands in the Brazilian semi-arid region.

KEYWORDS: Remote sensing. Drylands. Degradation and desertification.

Submission date: 19/05/2017

Acceptance date: 07/07/2017

1 INTRODUÇÃO

As terras secas, submetidas à influência de climas áridos, semiáridos e subúmidos secos, de acordo com a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos de Seca – UNCCD, concentram 41,3% da superfície emersa do planeta e 35,5% da população global (Nações Unidas, Global Drylands). Essas terras, além de apresentarem os maiores índices de pobreza, também são afetadas pelos mais variados vetores de pressão sobre os seus recursos naturais, especialmente a água, o solo e a biodiversidade. E é principalmente nesses ambientes que ocorre o processo de desertificação, resultante da degradação da terra por consequência de vários fatores, incluindo atividades humanas e variações climáticas.

No Brasil a Área Suscetível à Desertificação (ASD) totaliza 1.348.345,78Km², que necessita de um monitoramento constante, que mostre a situação atualizada de forma rápida, econômica e com elevado grau de confiabilidade.

Este é um dos maiores desafios regionais, que é dispor de informações de qualidade sobre o estado da desertificação e seca em âmbito nacional, como um elemento básico para a tomada de decisão e a formulação de políticas.

Visando testar uma tecnologia que atendesse a esta demanda, foi usado o sensoriamento remoto e imagens de satélite para mapear os 11 estados que compõem a área especificada.

Os resultados mostraram a eficiência das tecnologias usadas para esse tipo de estudo, indicando uma ferramenta de fácil acesso e

manipulação para mapear e monitorar os processos de degradação das terras secas no Brasil e possibilitando a concepção de estratégias mais eficientes de combate à degradação, que pode ser usada para identificar os locais mais afetados, potencializar ações voltadas à melhoria da qualidade de vida de populações no semiárido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O estudo apresentado trata-se de um mapeamento, com o uso de técnicas de sensoriamento remoto e imagens do satélite Landsat 8, que visa identificar áreas fortemente degradadas dentro dos limites da Área Suscetível à Desertificação no Brasil (ASD).

A escolha da técnica de sensoriamento remoto se deu pelas características da área, objetivo e tempo disponível para a obtenção dos resultados. Considerando que a região estudada compreende todo o semiárido brasileiro e áreas de entorno que também sofrem influências dos processos de desertificação, degradação e secas, (PAN-BRASIL, 2004) totalizando cerca de 20% do território brasileiro, seria necessária uma tecnologia que permitisse obter e analisar informações espaciais de grandes áreas da superfície terrestre.

O objetivo do estudo é mostrar a eficiência da técnica de sensoriamento remoto e o uso das imagens de satélite para monitorar os processos de degradação ambiental na ASD do Brasil

Pesquisadores do tema, como Sales (2002), destacam diversos estudos de áreas em processos de desertificação, sobretudo a partir da utilização de técnicas de geoprocessamento apoiadas em produtos de sensoriamento remoto. Carvalho e Lombardo (1979) publicaram “Análise Preliminar das Potencialidades das Imagens LANDSAT para Estudo de Desertificação”. O trabalho desenvolvido no Baixo-Médio São Francisco, na região de Xique-Xique, cobriu uma extensão de aproximadamente 1.300 km². Com base em interpretação visual e digital de imagens de satélite, os autores apresentam mapas temáticos (geológico, morfológico, pedológico e da cobertura vegetal), que subsidiaram a análise do ambiente, na qual definem 11 unidades ambientais e seu grau de risco à desertificação. Foi o primeiro trabalho baseado em interpretação de imagens de satélite e integração dos dados geocológicos.

Monteiro (1988) publicou os resultados de uma pesquisa realizada na região do Alto Jaguaribe. Um dos objetivos do trabalho foi experimentar a abordagem sistêmica como tratamento geográfico ao problema da desertificação. Além da caracterização geoecológica, o autor elabora de forma muito original um panorama das imbricadas relações socioeconômicas, com todas as implicações políticas envolvidas na questão da desertificação. Em última instância trata-se de uma descrição da difícil relação homem-sociedade/sociedade-natureza, localizada espacialmente nos sertões nordestinos.

O trabalho apresentado por ocasião da primeira ICID – Conferência Internacional sobre Impactos de Variações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável em Regiões Semiáridas –, e publicado por Leite, Soares e Martins (1993) sobre áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no Ceará - Brasil, trata do mapeamento de áreas com um nível elevado de degradação no estado indicando uma tendência à desertificação, tendo como critério a aplicação do Índice de Aridez do PNUMA, com a ocorrência simultânea da degradação dos solos e da cobertura vegetal, detectados por meio de técnicas de sensoriamento remoto, usando um Sistema de Informação Geografia (SIG). Os resultados indicaram que as áreas mais afetadas situam-se na região de Irauçuba, Inhamuns e Médio Jaguaribe. A propósito desses resultados, Conti (1995) registra a coincidência com os resultados alcançados em seu trabalho. Aí reside um fato expressivo nos estudos da desertificação no semiárido, porque, mais do que coincidência, são resultados concretos com a indicação das áreas no Estado do Ceará, já em processo de desertificação.

Sales (2002) faz uma reavaliação do núcleo de desertificação de Gilbués, no Piauí, e considera a área, do ponto de vista climático, fora das zonas suscetíveis ao fenômeno. Como contribuição pragmática, elabora o mapeamento das unidades de paisagem representativas das diferentes *fácies* da degradação ambiental local. Souza (1999) apresenta por meio do estudo da desertificação da bacia do rio Taperoá, Paraíba, uma contribuição metodológica importante para o estudo de áreas desertificadas, sobretudo quando relaciona dados de tendências de precipitação com o nível de degradação de vegetação nativa e o ritmo de sua recuperação. Lemos (1997) e Rodrigues e Viana (1997) apresentaram para o Nordeste e Ceará, respectivamente, estudos nos quais elegem algumas variáveis envolvidas

no processo de degradação, compondo indicadores que, posteriormente submetidos a modelos estatísticos de análise fatorial, indicam os municípios afetados em diferentes intensidades pelos processos de desertificação.

Algumas instituições públicas federais e estaduais, de onde se pode citar o Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio da Coordenação do Plano Nacional de Combate à Desertificação e Efeitos da Seca, conduziram os estados a elaborar seus Planos Estaduais de Combate à Desertificação. Nestes, cada Estado trabalhou no diagnóstico das áreas desertificadas e no encaminhamento de soluções para a recuperação das áreas já afetadas. A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) tem realizado diversos estudos e projetos envolvendo identificação, mapeamento, zoneamento e monitoramento de áreas degradadas em processos de desertificação a partir da aplicação de geotecnologias, tais como sensoriamento remoto e geoprocessamento, apoiadas em imagens de satélites de média e alta resolução espacial. Recentemente a FUNCEME (2015a; 2015b) concluiu o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) das Áreas Susceptíveis à Desertificação no Ceará, envolvendo os Núcleos de Desertificação de Irauçuba/Centro-Norte e Inhamuns. Este trabalho foi uma iniciativa do Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) e da FUNCEME, visando a gerar um instrumento de ordenamento territorial para estas áreas vulneráveis aos processos de desertificação.

Foi realizada uma revisão geocartográfica para o embasamento dos mapeamentos temáticos e uma análise do PAN-Brasil (BRASIL, 2004), dos Panoramas Estaduais da Desertificação, do Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil (BRASIL, 2007) e dos Planos Estaduais de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas, que ajudaram na caracterização e identificação de núcleos de desertificação em cada um dos onze estados brasileiros com áreas suscetíveis ao processo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS

Para mostrar a eficiência da técnica de sensoriamento remoto na identificação de áreas fortemente degradadas foi proposto o mapeamento da ASD do Brasil.

O mapeamento foi elaborado a partir da aplicação de técnicas de interpretação visual tendo como base as imagens de satélite, Modelo

Digital de Elevação SRTM, curvas de nível e outras informações cartográficas, sem checagens de campo.

As técnicas de sensoriamento remoto e seu conjunto de procedimentos permitiram a obtenção das informações e a coleta dos dados das áreas de interesse por meio dos sensores do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros. Como todo este processo tecnológico vincula-se ao tratamento, armazenamento e análise dos dados, foi possível coletar informações detalhadas dos fenômenos presentes na superfície e verificar a situação da degradação ambiental na área de estudo, principalmente relacionada ao solo e à vegetação.

Adotou-se a escala de mapeamento 1:250.000 e buscou-se identificar o nível atual de conservação das áreas suscetíveis à desertificação no semiárido brasileiro, envolvendo os estados atingidos por secas recorrentes e que possuem territórios com solos expostos e vulneráveis aos processos de desertificação.

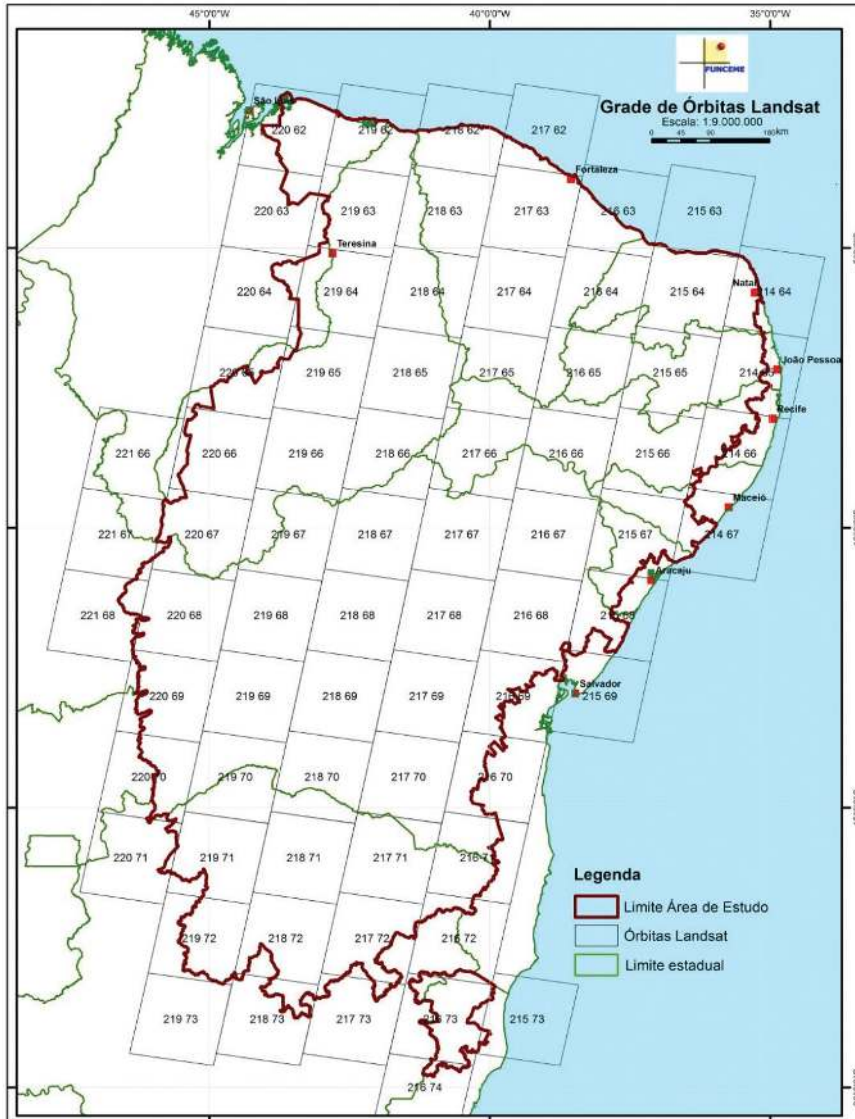
Os procedimentos operacionais foram iniciados com a elaboração e estruturação da base cartográfica no ArcGIS (licença disponível na Funceme) com detalhes com a escala 1:250.000. Parte dos dados que integraram o mapeamento básico de toda área estudada foram adquiridos no site do IBGE. Neste sentido, foram realizados *downloads* de arquivos vetoriais no formato *shapefile* das informações relacionadas à drenagem superficial, núcleos urbanos e limites municipais. No arquivo vetorial da rede de drenagem superficial constam os principais cursos d'água e nos núcleos urbanos encontram-se as informações pontuais relacionadas à localização das capitais dos estados. O arquivo vetorial referente aos limites municipais foi adquirido do IBGE (2007) e, com base nele, verificou-se que na área mapeada encontram-se inseridos 1.491 municípios. As informações espaciais referentes aos espelhos d'água foram disponibilizadas pela Funceme (2008).

As imagens utilizadas no mapeamento são oriundas do satélite LANDSAT 8, sensor espectral OIL (Operational Land Imager), resolução espacial de 30 (trinta) metros, bandas 4, 5 e 6, datadas de 2013 e 2014, disponibilizadas gratuitamente, através de *download*, pelo Serviço Geológico Americano (USGS, sigla em inglês).

A área de estudo encontra-se recoberta por setenta e três órbitas LANDSAT, conforme ilustrado na **Figura 1**. Inicialmente, para cada órbita utilizada foi realizada uma composição colorida com as bandas 6 (seis) no canal vermelho, 5 (cinco) no verde e 4 (quatro) no azul. Por meio

desta composição colorida, obteve-se uma melhor definição das formas geométricas, textura e tonalidade dos alvos imageados.

Figura 1 – Órbitas Landsat que recobrem a Área Susceptível à Desertificação do Brasil



Fonte: elaboração própria a partir do do satélite LANDSAT 8, sensor espectral OIL (Operational Land Imager). NASA (2010).

A **Figura 2** mostra a composição colorida das imagens LANDSAT 8, usadas no mapeamento deste estudo, indicando uma área intensamente utilizada pela atividade agrícola na região dos Chapadões do São Francisco-BA.

Figura 2 – Composição das Imagens LANDSAT 8 (Bahia)



Fonte: <https://lta.cr.usgs.gov/citation>

Todas as imagens LANDSAT 8 utilizadas na fase de mapeamento foram reprojetaadas para o *datum* SIRGAS 2000 e o processo de interpretação visual foi realizado com uso dos recursos de edição vetorial disponíveis no *software* ArcGIS 10.

Para a identificação das áreas com sinais mais visíveis de degradação, além dos critérios de interpretação baseado na resposta espectral das imagens, deve ser ressaltado que também foram consideradas seleção e consulta de informações climáticas e socioeconômicas, mapas do uso e ocupação da terra, cobertura vegetal, sistemas ambientais e solos, para distinguir as características socioambientais de cada região.

A análise espacial das imagens de satélite possibilitou a obtenção de resultados na identificação e delimitação de ambientes com predisposição à expansão da desertificação como: solos bastante degradados com evidentes restrições ao uso; cobertura vegetal fortemente degradada pelos desmatamentos contínuos; atividades antrópicas resultantes da pecuária

extensiva, do extrativismo (vegetal e mineral) e da agricultura itinerante. Todos esses fatores propiciam e intensificam a suscetibilidade aos riscos da degradação e da desertificação.

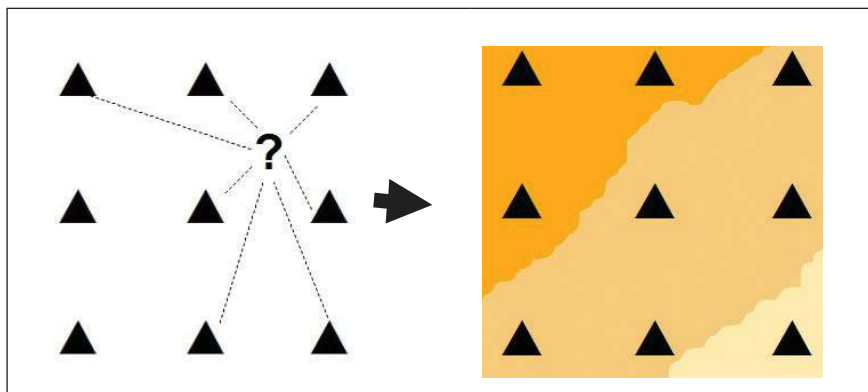
Para melhor identificar essas áreas também foram mapeados os domínios naturais inseridos na região estudada, que são definidos a partir de uma análise integrada dos temas Geologia, Relevo, Cobertura Vegetal, Solos e Uso da Terra, devidamente organizados e estruturados no SIG. As informações relacionadas aos temas Geologia e Relevo foram disponibilizadas pela CPRM através do seu banco de dados Geobank. O Relevo da área também foi analisado a partir do Modelo Digital de Elevação gerado pelo projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e disponibilizado gratuitamente pelo Serviço Geológico Americano. As informações sobre a Cobertura Vegetal e os Solos foram disponibilizadas pelo IBGE. As informações do Uso da Terra foram analisadas a partir das imagens do satélite americano LANDSAT 8. Os critérios utilizados na definição dos nomes dos domínios naturais mapeados buscaram agrupar principalmente as informações regionais do relevo.

A pluviometria média anual da área de estudo foi espacializada com base em uma grade regular de dados, elaborados pela Unidade de Pesquisa Climática (Climatic Research Unit) da Universidade do Leste de Anglia-Reino Unido. A partir desta grade de pontos, foram aplicados métodos de interpolação de dados na geração do mapa com pluviometria média anual referente ao período de 1950 a 2012. A interpolação de dados em ambiente SIG consiste na utilização de pontos com valores conhecidos para estimar valores em outros pontos desconhecidos, apresentando como resultado final os dados devidamente espacializados. O *software* ArcGIS disponibiliza aos seus usuários diversos métodos de interpolação, destacando-se o Inverso da Distância Ponderada (IDW) e a Krigagem. Na área mapeada, o método de interpolação que apresentou a melhor espacialização dos dados pluviométricos foi o da Krigagem (**Figura 3**). Cada triângulo representa uma estação pluviométrica. Para encontrar o valor de um ponto intermediário, utilizam-se os valores das estações vizinhas.

As áreas mapeadas, identificadas com níveis avançados de degradação, se apresentavam desflorestadas e fora dos padrões do sistema produtivo. Como não houve viagens de campo para verificação da verdade terrestre, a validação das informações mapeadas foi feita por uma equipe de técnicos e especialistas de cada estado envolvido que

detinham conhecimentos sobre a área mapeada, com vistas a ampliar o nível de certeza das informações apresentadas pelas imagens de satélite e pela bibliografia consultada.

Figura 3 – Método de interpolação, em ambiente SIG, dos dados pluviométricos



Fonte: CGEE, 2016.

4 MAPEAMENTO DAS ÁREAS FORTEMENTE DEGRADADAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NA ASD NO BRASIL

As modificações ocasionadas pelo processo de desertificação que sofrem as terras semiáridas, subúmidas secas e áreas de entorno, chamadas “Área Susceptível à Desertificação no Brasil”, atingem diferentes níveis de degradação.

Para identificar este fenômeno em áreas com grandes extensões territoriais foi constatado que o uso de imagens de satélite atendia a este tipo de mapeamento.

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 15 metros, composição colorida nas bandas 4, 5 e 6, tornando-se possível a geração de um mapa bem próximo da realidade terrestre, evidenciando regiões já bastante degradadas, ou seja, ambientes inteiramente transformados com modificações severas e irreversíveis, expondo evidências de desertificação.

A primeira área a ser mapeada envolveu o estado do Ceará, tendo como chave de interpretação as diferentes respostas espectrais das áreas ocasionadas pela redução da biomassa perceptíveis na imagem. A partir da interpretação visual das imagens, obteve-se o mapa que apresentava

as áreas com maior ou menor índice de vegetação. Foram feitas algumas viagens a campo para constatação dos diferentes níveis de conservação dos ambientes observados.

Em campo foram usados os seguintes parâmetros para validação das áreas mapeadas:

- Ausência ou escassez de vegetação;
- Registros de erosão laminar, em sulcos ou voçorocas;
- Ocorrência de plantas rústicas e pouco exigentes e;
- Presença de afloramentos rochosos

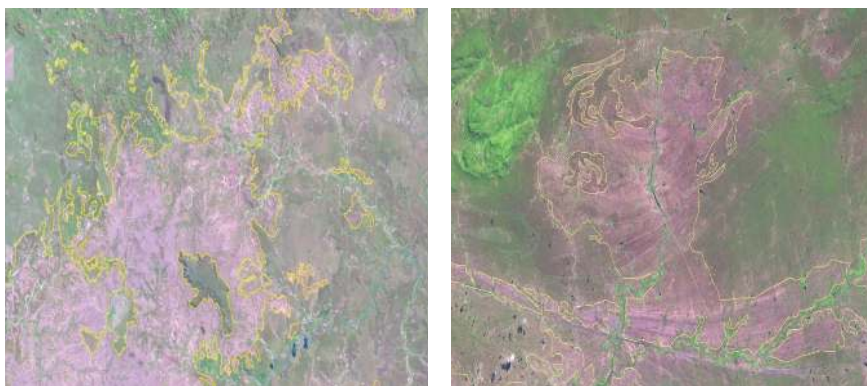
Após referidas constatações, confeccionou-se o mapa indicando as áreas em níveis avançados de degradação, ou seja, fortemente degradadas, em processo de desertificação.

O nível de detalhe da interpretação digital das imagens, neste trabalho, foi compatível com a escala de 1:250.000 e consistiu na identificação e delimitação das áreas com escassez ou ausência de vegetação, onde não eram percebidos sinais de terras produtivas. Utilizou-se como chave de interpretação, o maior grau de refletância das áreas ocasionada pela redução da biomassa, perceptível nos trechos desflorestados e que não apresentavam contornos definidos (**Figura 4**). Como apoio a essa interpretação, utilizou-se os mapas do Levantamento Exploratório - Reconhecimento dos Solos de cada estado do Nordeste, ou seja, Pernambuco, Ceará, (BRASIL, 1972 e 1973); Alagoas, Sergipe, (EMBRAPA, 1975a; 1975b); Bahia (EMBRAPA, 1976; 1977); Maranhão e Piauí (EMBRAPA, 1986a; 186b), para contribuir na identificação das áreas fortemente degradadas a partir de suas vulnerabilidades. Solos como os Luvisolos, Neossolos Litólicos e Planossolos por serem muito susceptíveis aos processos erosivos são mais facilmente degradados. Nos solos mais profundos e com textura arenosa e/ou média, a incidência desse fenômeno só é maior quando a sua utilização se dá de forma intensa e sem os devidos cuidados conservacionistas. As imagens do *Google Earth* também serviram de apoio, por apresentarem escala de alta resolução espacial, permitindo maior visibilidade do alvo a ser interpretado.

Embora seja evidente que os processos de exploração agrícola, tanto em regime de agricultura irrigada, como em sequeiro, têm contribuído para produzir impactos ambientais capazes de desencadear os processos de desertificação, teve-se o cuidado de não incluir áreas com

utilização agrícola, ou seja, áreas produtivas, com um nível ainda não avançado de degradação, identificadas nas imagens de satélite pelos contornos, com formas bem definidas, indicando algum tipo de cultivo (**Figura 5**). Esse cuidado foi importante porque todo o trabalho foi feito sem checagens de campo.

Figura 4 – Imagens do satélite LANDSAT 8, composição colorida, datada de 2014 identificando áreas com sinais de degradação em Gilbués-PI e Floresta-PE



Fonte: <https://lta.cr.usgs.gov/citation>

Figura 5 – Imagem do satélite LANDSAT 8 - composição colorida, datada de 2014 mostrando áreas de uso agrícola na Bahia (ainda não degradada)



Fonte: <https://lta.cr.usgs.gov/citation>

5 RESULTADOS

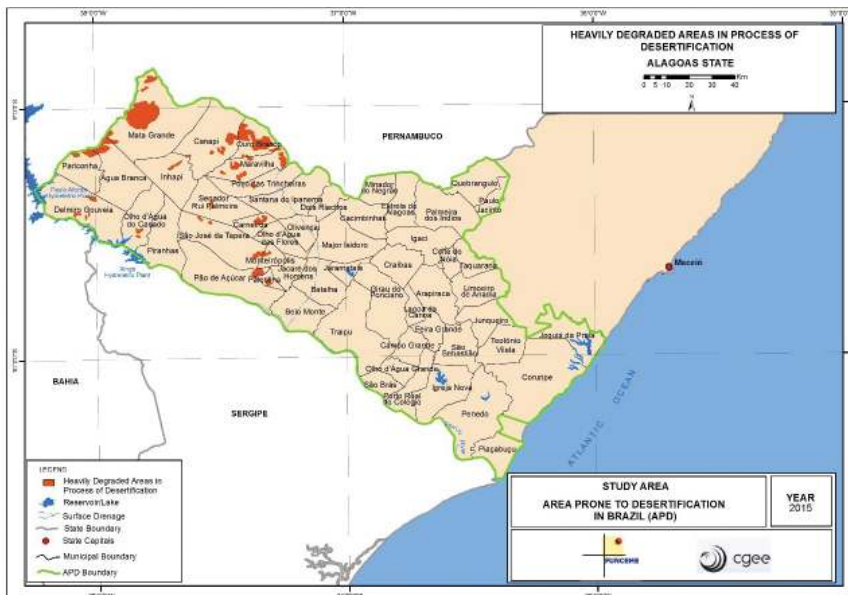
Foram gerados 12 mapas na escala 1:250.000, compreendendo os 11 estados que compõem a área de estudo e um mapa geral da ASD, mostrando espacialmente e quantitativamente, a situação da degradação no Brasil. Verificou-se que a ASD, que totaliza 1.348.345,78Km², apesar de ter todo o seu território vulnerável à desertificação, os processos mais avançados relacionados a este fenômeno, cobrem uma superfície de 70.279,46Km², espalhados em diversas áreas de cada estado envolvido. Tratam-se de áreas que já se encontram fortemente degradadas sob o ponto de vista físico. Vale ressaltar que as áreas com exploração agrícola, ainda produtivas, foram excluídas do mapeamento, tendo sido consideradas com baixo nível de degradação.

O mapeamento resultante é apresentado a seguir, por estado e numa figura geral, mostrando as áreas mapeadas como fortemente degradadas, sua extensão e os percentuais em relação a Área Suscetível à Desertificação (ASD).

- ALAGOAS

No estado de Alagoas as manchas que representam as áreas fortemente degradadas concentram-se ao noroeste e representam uma área de 429,38km², ou seja, 2,39% da ASD estadual (**Figura 6**).

Figura 6: Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado de Alagoas

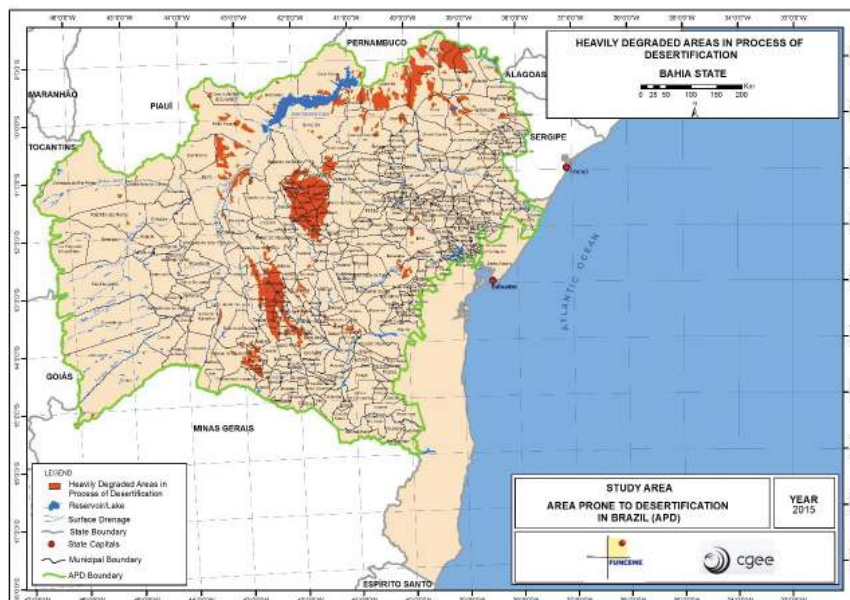


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- BAHIA

Na Bahia, de acordo com o mapeamento, as áreas fortemente degradadas aparecem em maior concentração ao norte e na área central do estado e em menor proporção na região sul. Essas áreas totalizam 26.808,36km², o que representa um percentual de 5,45% da ASD do estado (**Figura 7**).

Figura 7 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado da Bahia

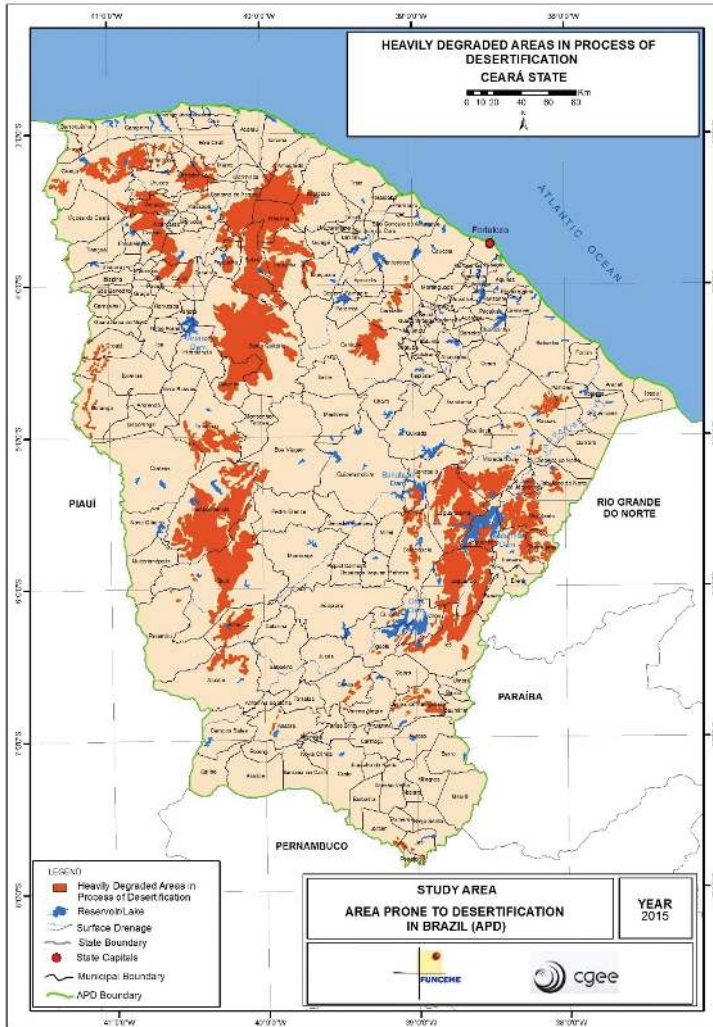


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- CEARÁ

No estado do Ceará os resultados indicam a ocorrência de três regiões que se apresentam muito comprometidas quanto à preservação dos recursos naturais e com sinais evidentes de uma intensa degradação. São as regiões de Irauçuba/Centro-Norte, Inhamuns e Médio Jaguaribe, coincidindo com os três Núcleos de Desertificação identificados no Plano Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CEARÁ, 2010). Foi mapeada como fortemente degradada uma área de 16.810,38km², equivalente a 11,21% do território cearense, que é totalmente suscetível à desertificação (**Figura 8**).

Figura 8 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Ceará

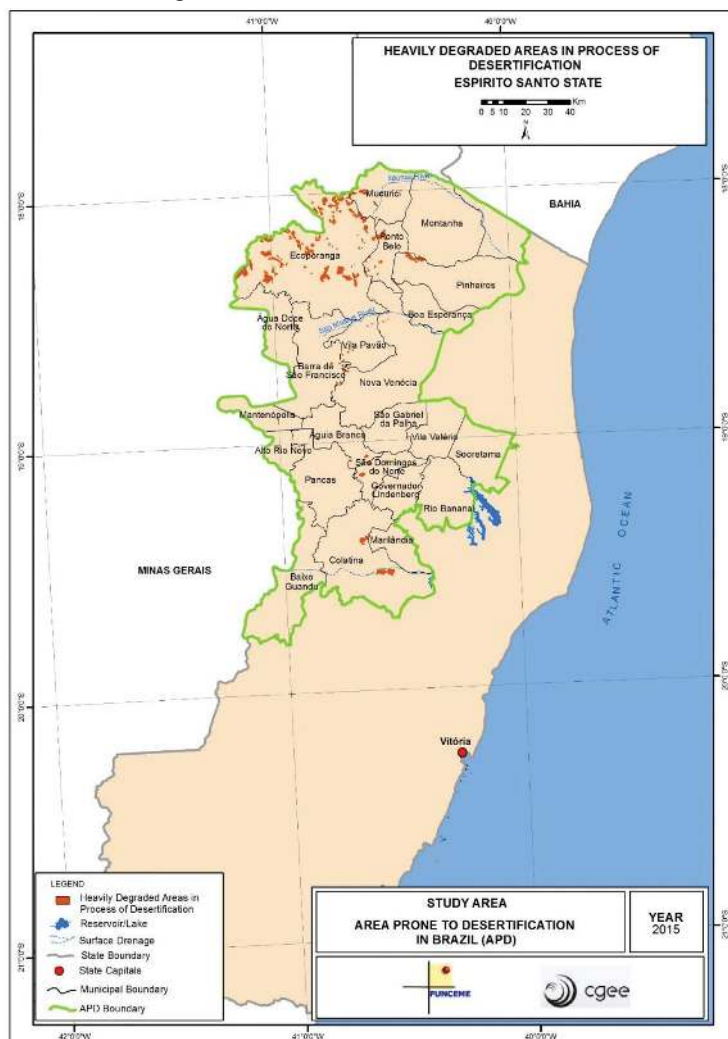


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- ESPÍRITO SANTO

No Espírito Santo, a concentração das manchas de degradação apresenta-se ao norte, noroeste e em menor proporção na região central e sul da ASD que se localiza na região norte do território Capixaba. Essas áreas perfazem um total de 352,56 km², compreendendo 2,09% da ASD do estado (**Figura 9**). Observa-se que a mineração tem grande influência na degradação ambiental do Espírito Santo.

Figura 9 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Espírito Santo

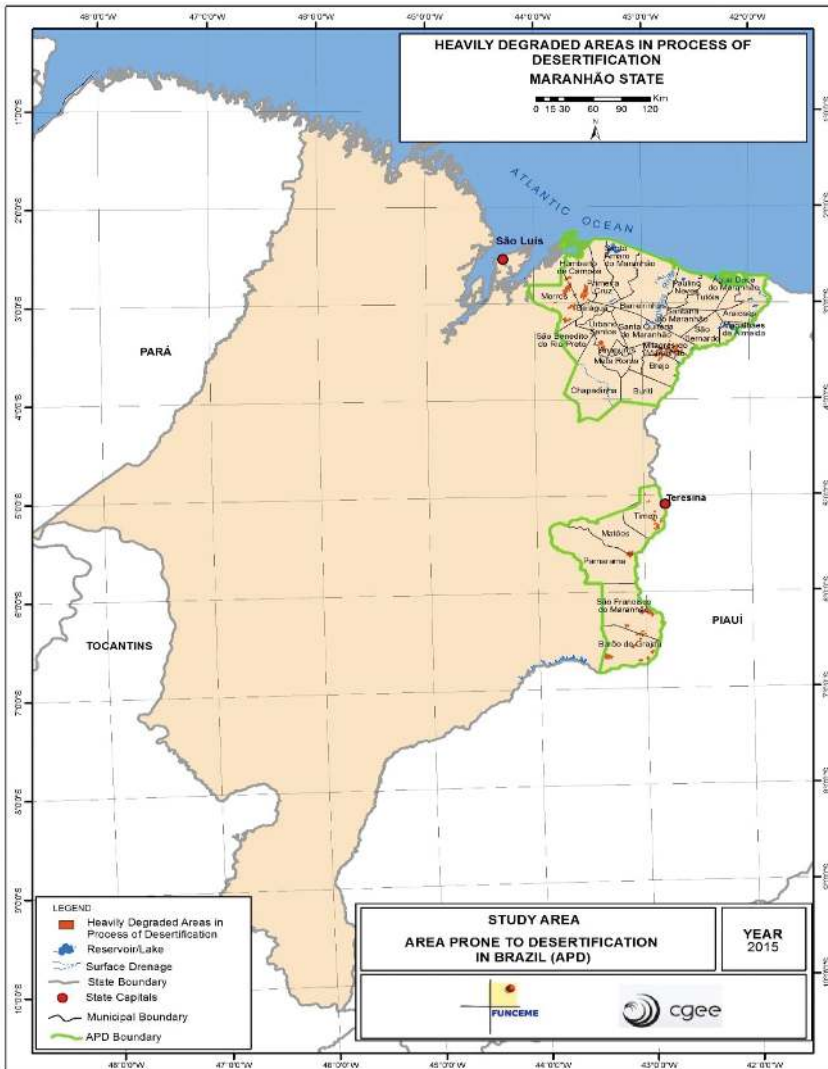


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- MARANHÃO

No Maranhão, apenas 41.426,47 km² da sua área total fazem parte da ASD do Brasil. Essa área localiza-se na região nordeste do estado, na divisa com o Piauí e apresenta manchas esparsas de degradação, que totalizam 360,05 km², equivalendo a 0,86% da ASD maranhense (**Figura 10**).

Figura 10 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Maranhão

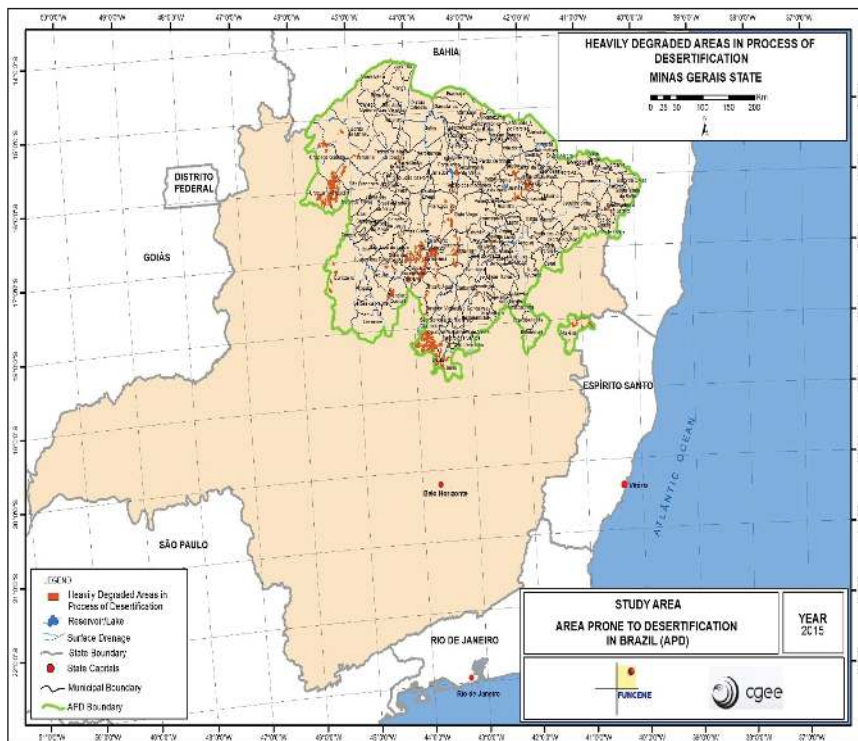


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- MINAS GERAIS

O estado de Minas Gerais apresenta clima semiárido na sua porção norte, área considerada como ASD. O mapeamento indicou a presença de manchas de áreas mais fortemente degradadas na parte central, no sul e a oeste e, de forma mais esparsa, no restante da ASD, totalizando 2.695,60 km², representando 1,51% da ASD mineira (**Figura 11**).

Figura 11 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado de Minas Gerais

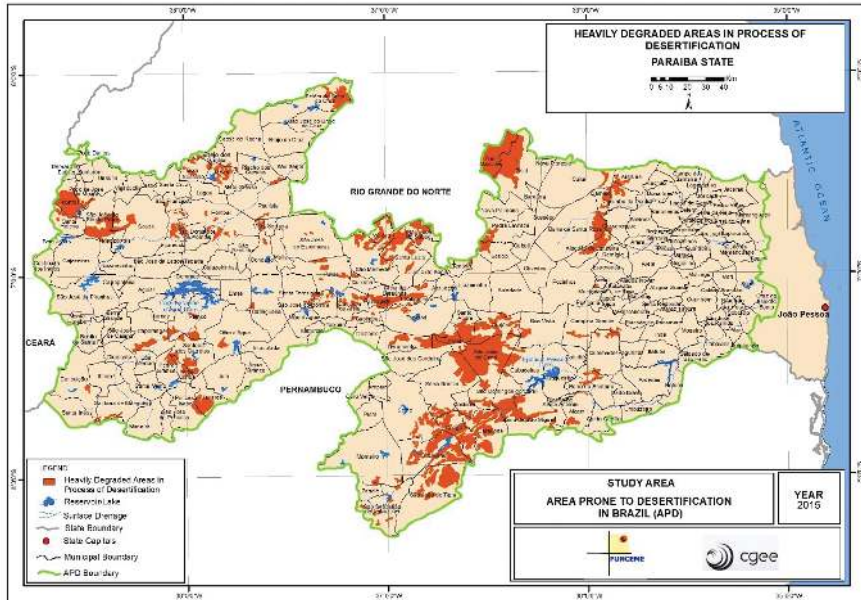


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- PARAÍBA

O estado da Paraíba também se apresenta muito comprometido em relação ao fenômeno da desertificação. As áreas fortemente degradadas foram identificadas por todo o território, totalizando 4.405,76 km², o que equivale a 8,12% da ASD do estado (**Figura 12**).

Figura 12 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado da Paraíba

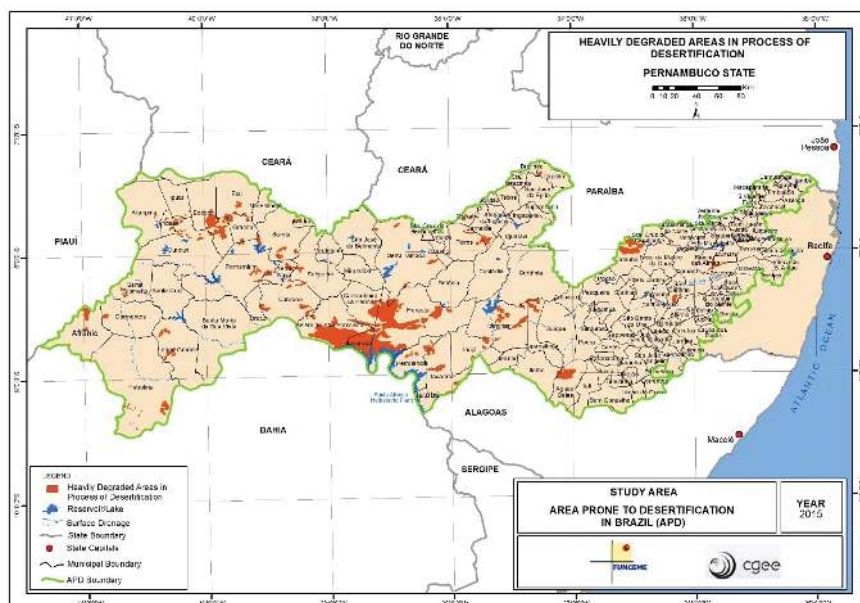


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- PERNAMBUCO

Em Pernambuco as áreas fortemente degradadas espalham-se em todo o território, apresentando uma concentração maior na região centro sul do estado, onde foi identificado um dos Núcleos de Desertificação, de acordo com o PAN-Brasil (BRASIL, 2004). Somando-se as manchas mapeadas tem-se 3.321,13km² de área bastante degradada, representando 3,69% da ASD pernambucana (**Figura 13**).

Figura 13 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado de Pernambuco

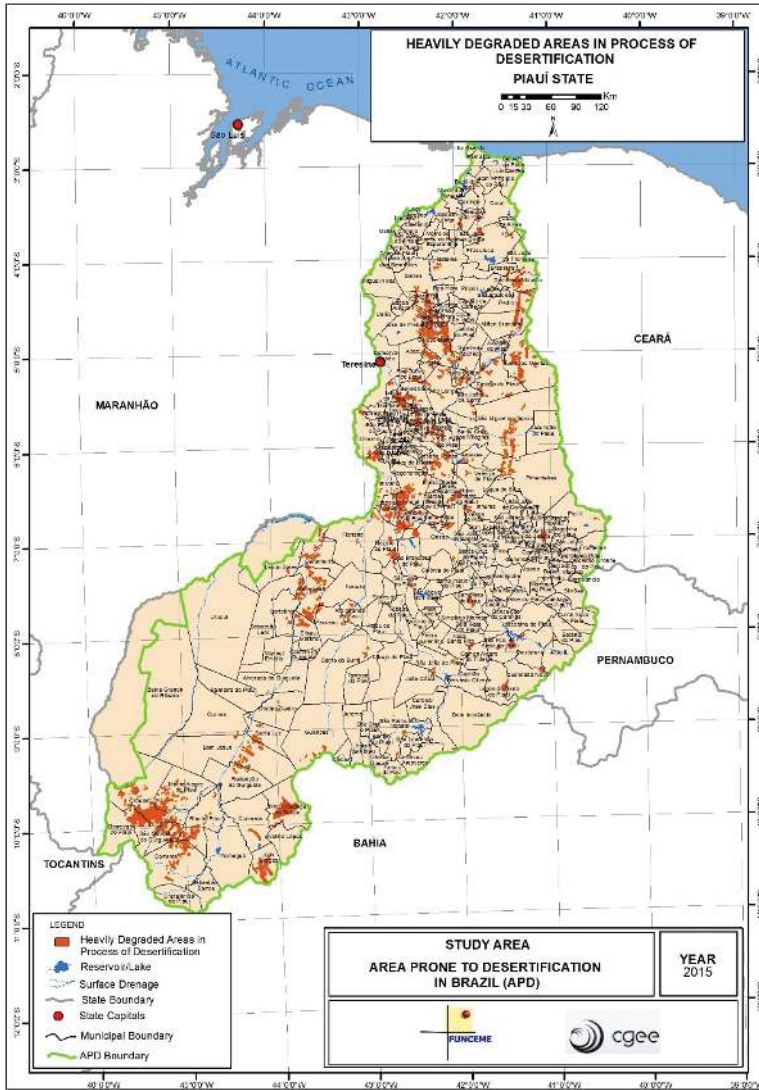


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- PIAUÍ

O Piauí tem 94,8% do território na ASD, dos quais 3,23% apresentam-se fortemente degradada. São 7.726,56 km² de áreas espalhadas por todo o estado, com algumas concentrações no noroeste e sudoeste do estado. As manchas localizadas ao sudoeste representam o Núcleo de Desertificação de Gilbués (BRASIL, 2004) (**Figura 14**).

Figura 14 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Piauí

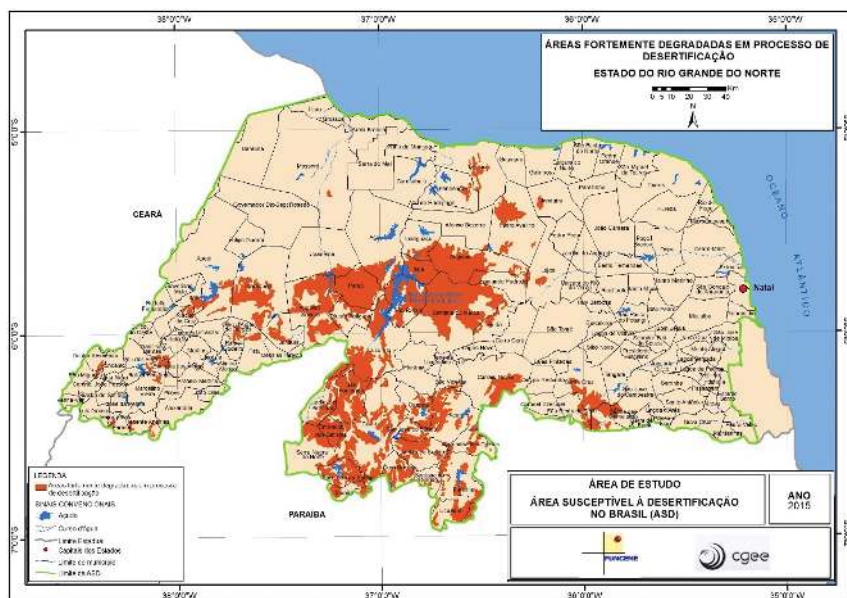


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- RIO GRANDE DO NORTE

As áreas fortemente degradadas no Rio Grande do Norte situam-se na região central e sul do estado, totalizando 6.771,3 km², o que equivale a 12,81% de sua ASD (**Figura 15**). Neste estado está inserido o Núcleo de Desertificação do Seridó, de acordo com o PAN-Brasil (BRASIL, 2004).

Figura 15 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Rio Grande do Norte

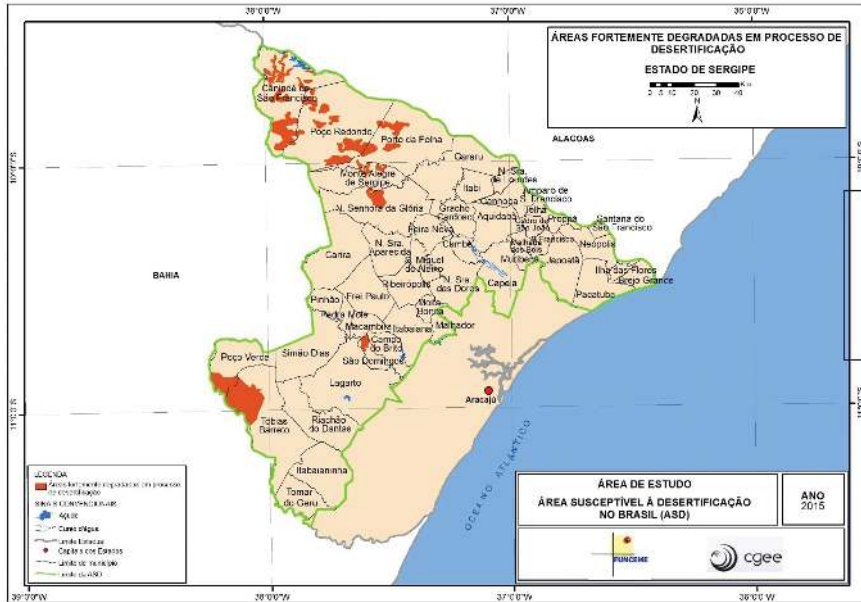


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- SERGIPE

Sergipe apresenta uma maior concentração das áreas degradadas ao noroeste e sudoeste do estado. Perfazem um total de 841,67 km², que equivalem a 5,14% da ASD do estado (**Figura 16**).

Figura 16 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado de Sergipe

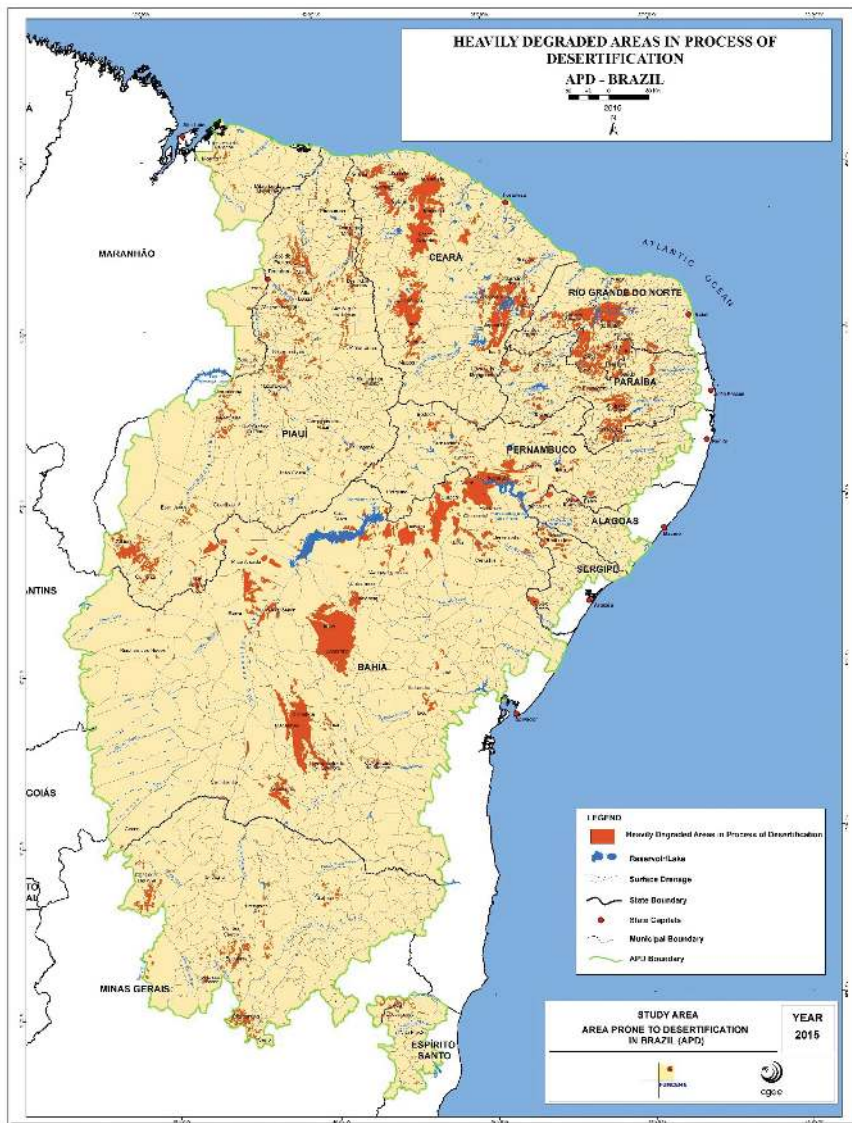


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- **ÁREA SUSCETÍVEL A DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL**

A Área Suscetível à Desertificação no Brasil – ASD fica na porção Nordeste, totalizando cerca de 1.348.345,00km². Dentro dessa delimitação foram identificados, através das imagens de satélite, 70.522,75Km² de áreas fortemente degradadas, ou seja, 5,23% da ASD, envolvendo territórios de 11 estados (**Figura 17**).

Figura 17 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação nas Áreas Susceptíveis à Desertificação



Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

A **Tabela 1** apresenta, de forma sucinta, a quantificação das áreas fortemente degradadas em processo de desertificação.

Tabela 1 – Quantificação das áreas fortemente degradadas no Brasil por estado

ESTADO	Área Susceptível à Desertificação (ASD) por estado (km ²) (*)	Proporção de Área Susceptível à Desertificação em relação à área total do estado (%) (*)	Áreas fortemente degradadas na ASD (Km ²) (**)	Proporção de áreas fortemente degradadas em relação à ASD (%) (**)
Alagoas	17.918,14	63,0	429,38	2,39
Bahia	491.672,11	84,3	26.808,36	5,45
Ceará	150.008,34	100,0	16.810,38	11,21
Espírito Santo	16.802,15	36,2	352,56	2,09
Maranhão	41.426,47	12,3	360,05	0,86
Minas Gerais	178.093,62	29,9	2.695,60	1,51
Paraíba	54.231,47	94,7	4.405,76	8,12
Pernambuco	90.049,73	90,7	3.321,13	3,69
Piauí	238.901,54	94,8	7.726,56	3,23
Rio Grande do Norte	52.855,97	97,4	6.771,30	12,81
Sergipe	16.386,24	74,0	841,67	5,14
RESULTADO	1.348.345,78	60,5	70.522,75	5,23

Fonte: (*) IBGE,2007; (**)FUNCEME, 2015

6 CONCLUSÕES

Os resultados indicaram o valor do método baseado em sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas em processo de desertificação, permitindo, com elevado grau de confiabilidade, a identificação e quantificação das áreas fortemente degradadas no Brasil.

Os dados gerados alertam sobre a extensão dessa problemática e merecem ser considerados quando da implementação de políticas e ações de preservação e recuperação do meio ambiente.

A intensa exploração dos recursos naturais e o uso inadequado das terras, sem considerar suas potencialidades e limitações, são fatores que estão intensificando a degradação ambiental na ASD do Brasil. A essa realidade somam-se os impactos da variabilidade e da mudança climática, que tornam essas áreas ainda mais vulneráveis.

A partir desse trabalho, e com o uso de imagens do satélite Landsat, que são gratuitas e disponibilizadas periodicamente a cada 16 dias, fica

possível a atualização sistemática deste mapeamento para o necessário monitoramento, permitindo, assim, a realização de análises temporais e um acompanhamento, quase que em tempo real, da situação dessa região.

Auxiliado por outros mapeamentos de temas como uso da terra, vegetação, drenagem, espelhos d'água, etc., e com a possibilidade de realizar análises de expansão de áreas urbanas, utilizar modelos para análise de qualidade da vegetação como indicativo de degradação ambiental e ainda monitorar queimadas, desmatamentos, e outros temas relacionados, essa metodologia permite estabelecer mecanismos de alerta para realizar ações que minimizem os impactos da degradação dos recursos naturais, concretizando-se como uma poderosa ferramenta de monitoramento e resposta, visando estancar ou mesmo reverter os processos de desertificação.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Recursos Hídricos. *Atlas das áreas susceptíveis à desertificação no Brasil*. Brasília, 2007.

_____. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Pernambuco. Recife, 1972 2v (Boletim técnico,28) (Brasil. SUDENE-DRN. Divisão de Agroecologia-Série Pedologia).

_____. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará. Recife, 1973 2v (Boletim técnico,28) (Brasil. SUDENE-DRN. Divisão de Agroecologia-Série Pedologia,16).

_____. *Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-BRASIL*. Brasília, 2004. 220p.

CARVALHO, V.; LOMBARDO, M. A. *Análise preliminar das potencialidades das imagens Landsat para estudo de desertificação*. São José dos Campos: INPE, 1979.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. *Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca*. PAE/CE. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos. Fortaleza, 2010. 372p.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil*. Brasília. 252p. 2016.

CONTI, J. B. *Desertificação nos trópicos: proposta de metodologia de estudo aplicada ao Nordeste Brasileiro*. 1955. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1955.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Alagoas**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975a. ilust. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 35). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos renováveis, 5.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975b. ilust. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 36). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos renováveis, 6.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem esquerda do rio São Francisco, estado da Bahia**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1976. ilust. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 38). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos renováveis, 7.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, estado da Bahia**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1977. ilust. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 52). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos Renováveis, 10.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Maranhão**. Rio de Janeiro, EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, 1986. ilust. (Brasil. EMBRAPA. SNSLCS. Boletim de Pesquisa, 35). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos renováveis, 17.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Piauí**. Rio de Janeiro, EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, 1986. ilust. (Brasil. EMBRAPA. SNSLCS. Boletim de Pesquisa, 36). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos Renováveis, 18.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Zoneamento Ecológico-Econômico das Áreas Suscetíveis à Desertificação do Estado do Ceará – Núcleos I - Irauçuba/Centro-Norte**. Fortaleza. 2015a. 300p. il.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Zoneamento Ecológico-Econômico das Áreas Suscetíveis à Desertificação do Estado do Ceará – Núcleos II - Inhamuns**. Fortaleza. 2015b. 290p. il.

_____. ANA, Agência Nacional de Águas. **Mapeamento dos espelhos d'água do Ceará – Brasil**. Fortaleza. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases e referenciais. 2007. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>. Acesso em 13 JAN 2016.

LEITE, F.R.B.; SOARES, A. M.L.; MARTINS, M.L.R. Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Estado do Ceará. 2ª aproximação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7. 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBSR, p. 156-161. 1993.

LEMOS, J.J.S. Desertificação no semiárido brasileiro. São Luís. **Revista Pesquisa em Foco**, São Luís, v. 5, n. 5, p. 33-46, 1997.

MONTEIRO, CAF. On the “desertification” in Northeast Brazil and man’s role in this process. **Latin A-merican Studies**, n. 9, 1988.

NASA. The Landsat program. 2010. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>> . Acesso em 11 FEV 2016.

RODRIGUES, M.I.V.; VIANA, M.O.L. Desertificação e construção de um coeficiente interdisciplinar para o estado do Ceará. **Anais...** II Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, p.66-95, 1997.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no nordeste brasileiro. **GEOSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 11, p. 115-126, 2002.

SOUZA, B. I. **Contribuição ao estudo da desertificação na bacia do Taperoá-PB**. 1999. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 1999.

UMA ABORDAGEM GEOESPACIAL E ESPECTRO-TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO BIOMA CAATINGA NA REGIÃO DE XINGÓ, BRASIL

*A geospatial and spectrum-temporal approach of the
environmental degradation in the Caatinga biome in the
region of Xingó, Brazil*

Neison Cabral Ferreira Freire¹
Admilson da Penha Pacheco²

RESUMO

A Caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil. Estudos nesse ecossistema são imprescindíveis, pois esse bioma é um dos mais ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável dos recursos naturais. No Brasil, o semiárido é uma das regiões mais afetadas pelo problema, ocasionando processos desertificatórios crescentes com graves consequências socioambientais. Este trabalho tem como objetivo estabelecer uma metodologia geoespacial e espectro-temporal para analisar e mapear a degradação ambiental do bioma Caatinga na região semiárida de Xingó/Alagoas/Brasil. Através do cruzamento de séries temporais de imagens de satélite (1989 – 1995 – 2003) e dados demográficos, foi possível a detecção de áreas de risco e passíveis de desertificação nos seis municípios circunvizinhos à Usina Hidrelétrica de Xingó. Pesquisas de campo validaram os resultados obtidos em laboratório, apoiados em extensa literatura sobre os indicadores de desertificação. Os resultados obtidos a partir da manipulação de dados georreferenciados por técnicas de Processamento Digital de Imagens e elaboração de um Sistema de Informações Geográficas evidenciaram um quadro desolador de degradação ambiental na extensa área em estudo, com uma significativa devastação da Caatinga, aumento de solo exposto

¹ Pesquisador Titular da Fundação Joaquim Nabuco, Diretoria de Pesquisas Sociais, Recife, Brasil. freire.neison@gmail.com.

² Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco, Depto. de Engenharia Cartográfica, Recife, Brasil. pacheco3p@gmail.com.

e diminuição de áreas agropastoris. Enfim, concluiu-se que em janeiro de 2003, dos 4.405,29 km² da área de estudo, cerca de 985,44 km², ou 22,37%, apresentaram problemas ambientais significativos quanto ao risco de desertificação.

PALAVRAS-CHAVE: Desertificação. Sensoriamento Remoto. Caatinga. Semiárido.

ABSTRACT

The Caatinga is the type of vegetation that covers most of the semi-arid climate area of the Northeast region of Brazil. Studies in this ecosystem are essential, since this biome is one of the most threatened due to the inadequate and unsustainable use of natural resources. In Brazil, the semi-arid region is one of the regions most affected by the problem, causing increasing desertification processes with serious socio-environmental consequences. This work aims to establish a geospatial and spectral-temporal methodology to analyze and map the environmental degradation of the Caatinga biome in the semi-arid region of Xingó / Alagoas / Brazil. Through the cross - reference of time series of satellite images (1989 - 1995 - 2003) and demographic data, it was possible to detect areas of risk and desertification in the six municipalities surrounding the Xingó Hydroelectric Power Plant. Field surveys validated the results obtained in the laboratory, supported by extensive literature on indicators of desertification. The results obtained from the manipulation of data georeferenced by Digital Image Processing techniques and elaboration of a Geographic Information System evidenced a desolating picture of environmental degradation in the extensive area under study, with a significant devastation of the Caatinga, increase of exposed soil and Of agropastoral areas. Finally, it was concluded that in January 2003, of the 4,405.29 km² of the study area, about 985.44 km², or 22.37%, presented significant environmental problems regarding the risk of desertification.

KEYWORDS: Desertification. Remote Sensing. Caatinga. Environmental degradation. Northeastern Brazil.

Submission date: 12/04/2017

Acceptance date: 24/07/2017

1 INTRODUÇÃO

A caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil (GIULIETTI *et al.*, 2002). A região é caracterizada por um dos climas mais complexos do mundo, o qual apresenta irregularidades na distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas, sendo uma região marcada por anomalias (MARENGO 2010; LACERDA *et al.*, 2010).

As ações antrópicas têm gerado grandes impactos nas paisagens por meio do intenso processo de substituição das áreas naturais por diversos tipos de uso do solo e da fragmentação das áreas com cobertura florestal (MATSUSHITA; XU; FUKUSHIMA, 2006). O Bioma Caatinga tem sofrido grandes alterações nas últimas décadas devido às atividades antrópicas. Sua biota, “apesar de ser ainda muito mal conhecida, é mais diversa que qualquer outro bioma do mundo, o qual esteja exposto às mesmas condições de clima e de solo” (SILVA *et al.*, 2004).

A degradação ambiental crescente no semiárido brasileiro, o frágil equilíbrio dos ecossistemas presentes no bioma Caatinga, o regime inconsistente das chuvas, os solos delgados e pobres em nutrientes orgânicos e as precárias condições socioeconômicas das populações que habitam a região semiárida brasileira formam um conjunto de fatores que favorecem a ocorrência dos processos de degradação ambiental. A demanda de uso energético da vegetação da caatinga tem gerado modificações nas paisagens e perda de diversidade biológica por insuficiência de informações sobre o manejo das espécies (FIGUEIROA *et al.*, 2008).

Nesse aspecto, as tecnologias de sensoriamento remoto para o monitoramento ambiental de grandes áreas, associadas ao desenvolvimento de sistemas de geoinformação que permitem análises espaço-temporais precisas e acuradas sobre um determinado fenômeno, natural ou antropogênico, favorecem a pesquisa científica aplicada ao monitoramento ambiental. De maneira geral, tem-se observado, nas últimas décadas, um aumento de estudos envolvendo o Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicado aos recursos naturais. No âmbito do semiárido, destacam-se, nos últimos anos, os trabalhos de Lopes *et al.* (2009), Lu *et al.* (2009), Wu *et al.* (2010), Bezerra *et al.* (2011), Arraes *et al.*, (2012), Nascimento e Araújo (2014), e Lopes *et al.*, (2014).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo principal estabelecer uma metodologia geoespacial e espectro-temporal para analisar e mapear a degradação ambiental do bioma caatinga na região semiárida de Xingó/Alagoas/Brasil. Este estudo adotou um conjunto de dados que permitiu o estabelecimento de uma metodologia para a pesquisa sobre a degradação ambiental no semiárido nordestino, ao processar, extrair e cruzar dados espectrais captados pelos sensores remotos a bordo de satélites de observação da Terra, com dados de setores censitários rurais oriundos dos censos demográficos, em séries temporais correlatas, abrangendo o período de 1989 a 2003, para a área de estudo escolhida: os seis municípios mais próximos ao lago da Usina Hidrelétrica de Xingó, no baixo curso do Rio São Francisco.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

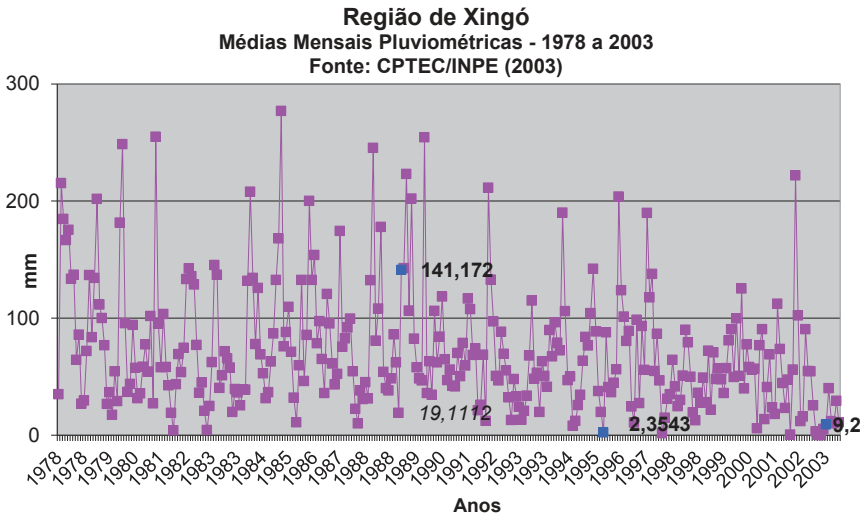
Inicialmente, uma vez localizada espacialmente a área de estudo, foi solicitado ao CPTEC/INPE os dados referentes às médias mensais pluviométricas da área de estudo (**Figura 1**), no período de 1978 a 2003, considerando que as imagens digitais dos sistemas LandSAT 5 TM e LandSAT 7 ETM+ só estão disponíveis a partir de 1982. Os dados pluviométricos são imprescindíveis para uma escolha correta das imagens de satélite a serem posteriormente solicitadas, pois a resposta espectral da vegetação de caatinga tem grande variabilidade com a presença de água, devido às suas características fisiológicas de adaptação às secas. O gráfico evidencia o regime inconstante das chuvas que, aliado aos outros fatores, aumenta a susceptibilidade à erosão e o consequente empobrecimento dos solos no semiárido, potencializando as causas da degradação ambiental.

Após pesquisa junto ao banco de imagens LandSAT, verificou-se a disponibilidade de datas para a cena/órbita 215/067, sendo selecionadas as seguintes datas:

- 11/03/89 – por ser a mais antiga disponível e, embora o mês de aquisição registre um volume hídrico considerável (141,172mm), observa-se que a aquisição foi feita na primeira quinzena do mês, refletindo, ainda, as condições hídricas do mês anterior, que fora de 19,111mm – uma taxa abaixo da média observada no período 1978 – 2003 que foi de 72,033mm;

- 06/10/95 – uma data intercalada entre a mais antiga e a mais recente (2003) e, também, por estar mais próxima do início do mês, reflete consideravelmente as condições hídricas do mês anterior (19,856mm) (**Figura 2**); e,
- 05/01/03 – data mais recente, com baixa precipitação inclusive no mês anterior (5,400mm).

Figura 1 – Gráfico com os dados de médias mensais pluviométricas da Região de Xingó e datas escolhidas das imagens (marcadas na cor azul).



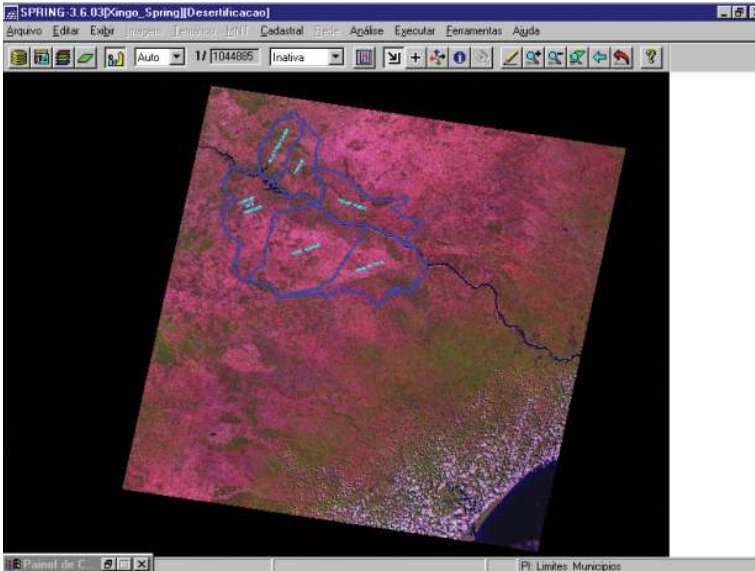
Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE, 2003.³

Todas as datas escolhidas refletem períodos de carência hídrica, onde a vegetação está mais vulnerável à degradação. Outro fator decisivo para a escolha destas datas específicas se refere à quase ausência de cobertura de nuvens nas imagens – condição essencial para um melhor resultado na identificação dos alvos de interesse da pesquisa. Isso permitiu o estabelecimento de parâmetros climáticos muito similares para as respostas espectrais dos diversos alvos nas cenas escolhidas para o estudo. Foram selecionadas as bandas espectrais que registram o espectro da energia refletida, indo da região visível ao infravermelho próximo, pois os alvos de interesse da pesquisa têm grande resposta espectral nessa faixa. Assim, foram processadas as bandas de 1 a 5, além da banda 7, para ambos os sensores TM e ETM+.

³ Disponível em: [//www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br) Acesso: 18/07/2017.

Para o processamento das imagens de satélite foi utilizado o programa computacional *Spring* (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas, INPE).

Figura 2 – Cena inteira do LandSAT (Órbita/Ponto: 215/067, Data: 06/10/95) com os seis municípios da área de estudo.

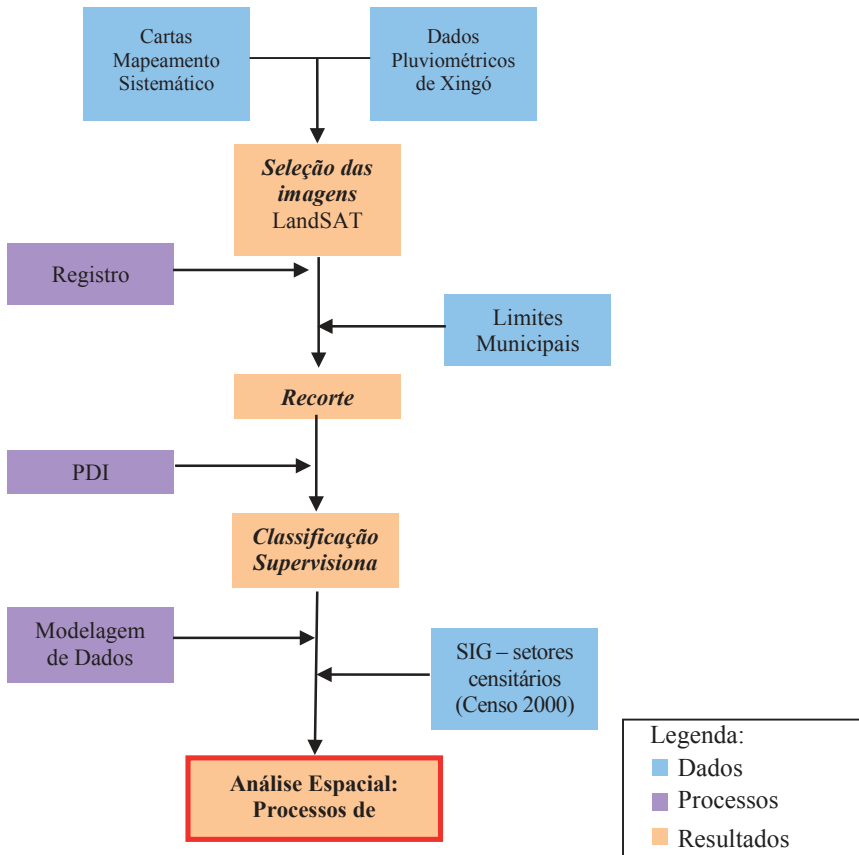


Fonte: Elaborado pelos autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A **Figura 3** ilustra um fluxograma geral utilizado para a metodologia de processamento dos dados, processos e sucessivos resultados obtidos. Após a seleção das imagens LandSAT e conversão dos arquivos digitais para o formato Spring.SPG, o primeiro passo foi definir um esquema conceitual no *Spring*, estabelecendo-se, adequadamente, um Banco, um Projeto, as Categorias e os Planos de Informações adequadamente. Sendo que: 1) um Banco no *Spring* define um ambiente para armazenar dados geográficos, sem estar vinculado a uma área, 2) um Projeto dentro de um banco permite especificar exatamente o espaço geográfico da área de trabalho, e 3) os dados georreferenciados são inseridos em Planos de Informações. Cada Projeto possui ainda propriedades cartográficas (*projeção, datum*, etc) pré-definidas pelo usuário, que são herdadas pelas informações contidas neste projeto.

Figura 3 – Fluxograma geral da metodologia utilizada na pesquisa.

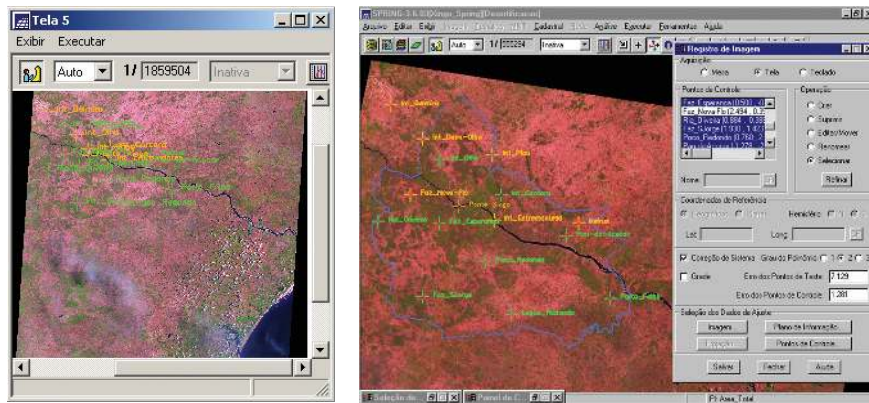


Foram utilizadas Transformações Polinomiais e foi realizado o registro ou georreferenciamento das imagens originais, cujos pontos de controle foram obtidos a partir de coordenadas retiradas das cartas analógicas do Ministério do Exército, na escala de 1:100.000, observando pontos notáveis nas imagens e procurando definir uma distribuição mais uniforme e concentrada na área de estudo (**Figura 4**). Foi realizado o registro das imagens originais, sendo considerados os 10 melhores em termos de erro sistemático, utilizando-se o interpolador Vizinho + Próximo.

Uma vez que as imagens estavam georreferenciadas e recortadas, iniciaram-se as técnicas de PDI, visando à melhoria da qualidade visual das imagens e a extração de informações específicas de interesse da pesquisa.

Foram testadas diversas técnicas com o intuito de avaliar a aplicabilidade na identificação das áreas degradadas e passíveis de desertificação. As técnicas que apresentaram melhores resultados foram selecionadas para compor uma análise espacial realizada numa linguagem de programação de álgebra espacial que, junto aos dados censitários, pudesse caracterizar cientificamente e localizar espacialmente a ocorrência dos processos de desertificação em Xingó.

Figura 4 – Distribuição dos pontos de controle para o registro das imagens Landsat



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: à esquerda, os pontos em relação à cena inteira; à direita, em relação à área de estudo (Data: 11/03/89)

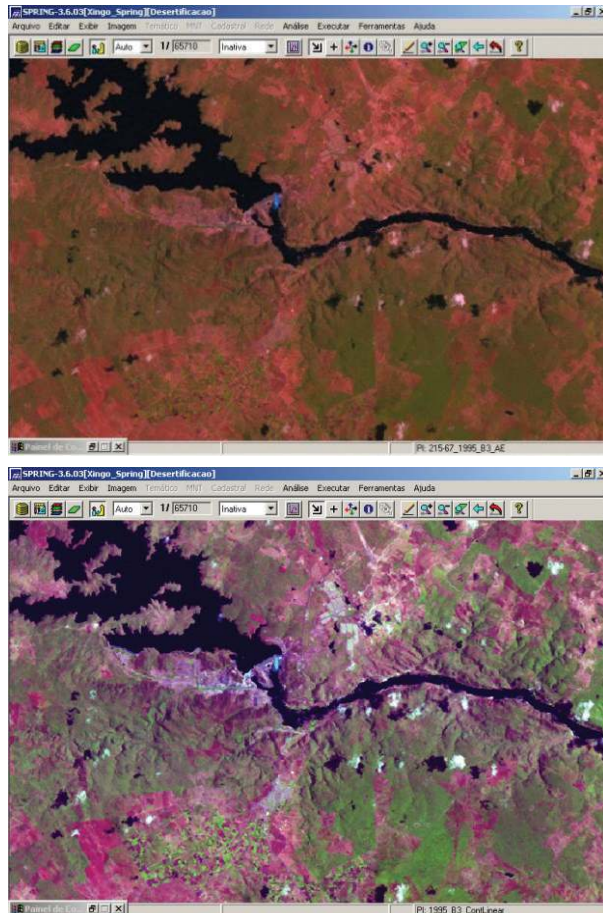
O primeiro conjunto de técnicas utilizado refere-se ao Realce de Contraste. Segundo Crósta (1993), o objetivo dessas técnicas é melhorar a qualidade visual das imagens para uma posterior interpretação e enfatizar alguma característica de interesse para uma aplicação específica. No caso, os alvos de interesse são, basicamente, vegetação nativa, pasto/cultura agrícola, solo exposto, corpos d'água e área urbana.

As técnicas de realce testadas foram:

- Manipulação de Histograma
 - Linear
 - Equalização
- Filtragem Linear
 - Realce de Imagem TM
 - Filtro de Passa-Alta

A manipulação linear de histograma é definida por uma função de transferência linear, onde $y = f(x)$. Assim, quanto maior é a inclinação da reta no histograma de frequências, maior será o realce da imagem (CRÓSTA, 1993; MOREIRA, 2003). A forma do histograma da imagem realçada é a mesma da imagem original, pois cada barra do histograma continua tendo a mesma altura, porém em uma posição diferente (*Figura 5*).

Figura 5 – Imagens desertificação



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: À esquerda, a imagem original, onde os alvos aparecem com pouca definição; após aplicar-se o realce linear do histograma (imagem à direita), a distinção entre vegetação e solo exposto fica mais nítida numa Combinação Espectral RGB 543 – Falsa Cor (Data: 06/10/95); observa-se um pequeno brilho em azul no centro da figura, significando a abertura do vertedouro da represa da UHE Xingó no momento da aquisição da cena.

De uma maneira em geral, os filtros têm por objetivo tornar mais nítida a transição entre regiões diferentes (bordas) na imagem (COLWELL, 1983; JENSEN, 1999). Assim, testando essa técnica, utilizou-se um Filtro de Passa-Alta com uma matriz não-direcional de borda. Entretanto, os resultados obtidos não trouxeram grande contribuição na identificação dos alvos, exceto na detecção das margens do rio São Francisco (transição água – solo), pois nesta região o rio está inserido num cânion geológico.

Das técnicas de realce de imagem testadas, conclui-se que, para esta pesquisa, o realce linear de histograma apresentou os melhores resultados na melhoria da qualidade visual das imagens e na distinção entre os alvos naturais e antrópicos, além de não modificar os valores espectrais originais.

A seguir foram testadas e avaliadas as técnicas de PDI referentes às Transformações Multiespectrais, objetivando-se uma avaliação espectro-temporal de imagens co-registradas.⁴

As técnicas avaliadas foram:

- a) Razão entre bandas
- b) Componentes Principais
- c) Transformação RGB → IHS

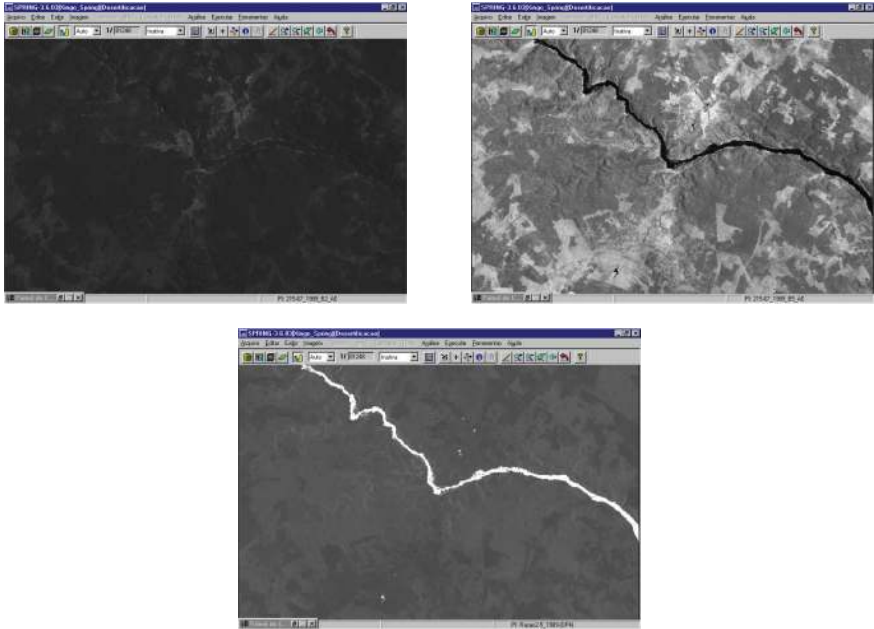
Foram testadas três técnicas de razão entre bandas: a primeira objetivou a detecção de corpos d'água, a segunda, a presença de vegetação, e a terceira, a mudança de cobertura vegetal entre os anos de 1989 e 2003.

Como a água limpa e profunda tem grande absorção nas bandas TM 2 e TM 5, a razão aritmética entre estas bandas diminui os NC's deste alvo, evidenciando sua presença na imagem resultante (**Figura 6**).

Uma das mais importantes técnicas de transformações multiespectrais para detecção de mudança de vegetação é o NDVI. Trata-se de uma razão entre bandas espectrais de alta correlação entre si, uma operação aritmética que realça os alvos de interesse, no caso, a vegetação (COLWELL, 1983; JENSEN, 1999), Com a aplicação dessa técnica, tem-se um aumento de contraste entre solo e vegetação, além dos efeitos de iluminação, declividade da superfície e geometria de visada do sensor serem parcialmente compensados.

⁴ De uma mesma localização geográfica, porém de épocas distintas.

Figura 6 – Razão entre as bandas TM 2 e TM 5 para detecção de corpos d'água



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: excelentes resultados com a perfeita identificação do leito do rio São Francisco e outros pequenos corpos d'água (em branco); ao alto à esquerda, a banda TM 2 original; ao alto à direita, a banda TM 5 original; na figura maior, a imagem resultante (Data: 11/03/89).

Segundo Colwell, (1983) e Jensen (1999), a equação do NDVI é dada por:

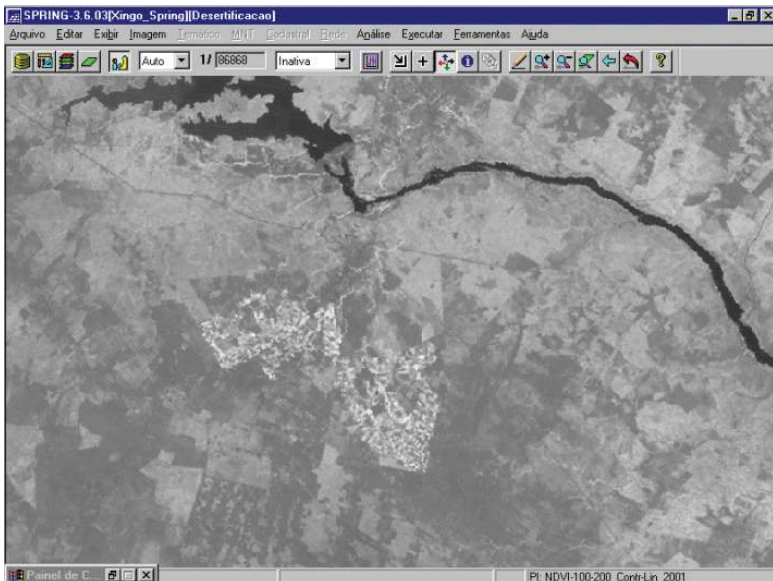
$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3), (1)$$

Na equação acima, TM representa a reflectância de uma determinada banda espectral do sistema LandSAT. Para a banda TM 3 (região do vermelho), a vegetação verde, densa e uniforme fica escura. Por outro lado, para a banda TM 4, os corpos d'água ficam escuros e a vegetação verde, densa e uniforme fica clara. Disto resulta uma nova banda espectral, representando a razão entre as bandas originais, onde as áreas claras indicam a presença de vegetação e as áreas escuras, sua ausência numa mesma data (**Figuras 7 e 8**).

As reflectâncias das bandas NDVI de 1989 e 2003 foram, então, utilizadas com o objetivo de detectar mudanças de padrão da cobertura do solo no período. A técnica tem as seguintes etapas (COLWELL, 1983; JENSEN, 1999):

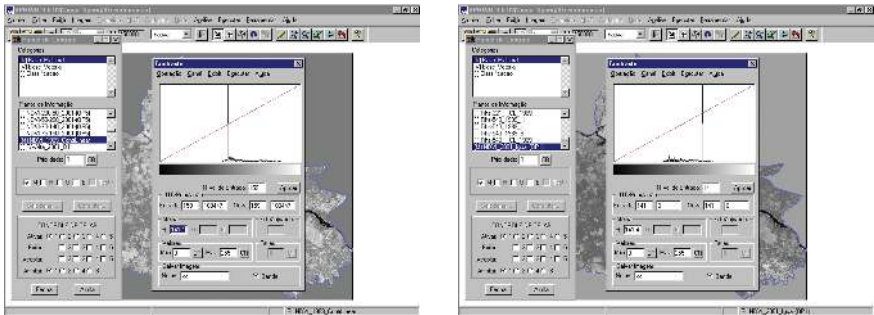
- Obtenção das estatísticas da imagem, tomando-se a banda NDVI 1989 como referência, para modificar a banda NDVI 2003 (**Figura 7**);
- Cálculo de ganho e *offset* para igualar média dos NC's e variância das respectivas bandas:
 - NDVI 1989 – Média = 141,1358
 - NDVI 2003 – Média: antes = 191,7848; depois = 141,4315
- Ganho = (V_{1989}/V_{2003})
- Offset = $M_{1989} - \text{ganho} \times M_{2003}$
- Igualar média e variância: $NDVI-2003_igual = \text{ganho} \times NDVI_CL_1989 + \text{offset}$ (**Figura 8**)
- Razão entre as bandas 1989/2003
- Realce de Contraste

Figura 7 – NDVI: áreas claras indicam presença de vegetação (Data: 05/01/03)



Fonte: Elaborado pelos autores.

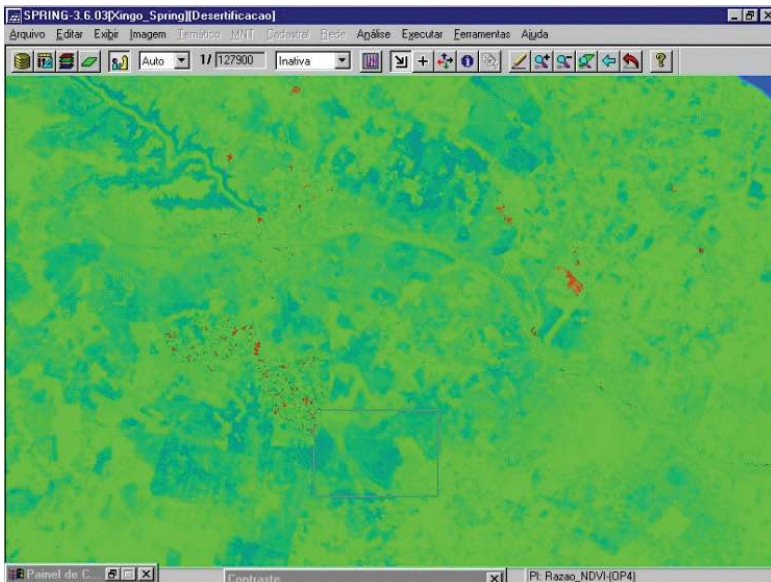
Figura 8 – Igualando a média da banda NDVI 2003 (esquerda) à banda NDVI 1989 (direita)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao realizar a razão entre as bandas NDVI de 1989 e 2003, antes igualando a média e a variância, resulta numa nova banda espectral que identifica as áreas onde houve perda de vegetação no período observado. Para melhorar a qualidade da imagem resultante, foi feita uma composição em pseudo-color com fatiamento em arco-íris, como mostra a **Figura 9**.

Figura 9 – Detecção no padrão de cobertura vegetal entre 1989 e 2003 a partir de NDVI



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: as áreas escuras perderam vegetação no período estudado, como, por exemplo, as margens do lago da UHE Xingó.

A segunda técnica de Transformações Multiespectrais em PDI avaliada foi a de *Transformação RGB → IHS*. O objetivo desta técnica é mapear o sistema de cores RGB para o sistema IHS, controlando melhor a formação de cores de acordo com a percepção do SVH. Segundo Crósta (1993), quando descreve as propriedades de cor de um objeto em uma imagem, normalmente o olho humano não distingue a proporção de azul, verde e vermelho presentes, como no sistema computacional associado ao monitor de vídeo, e sim, avalia a intensidade (I), a cor ou matiz (H) e a saturação (S), onde:

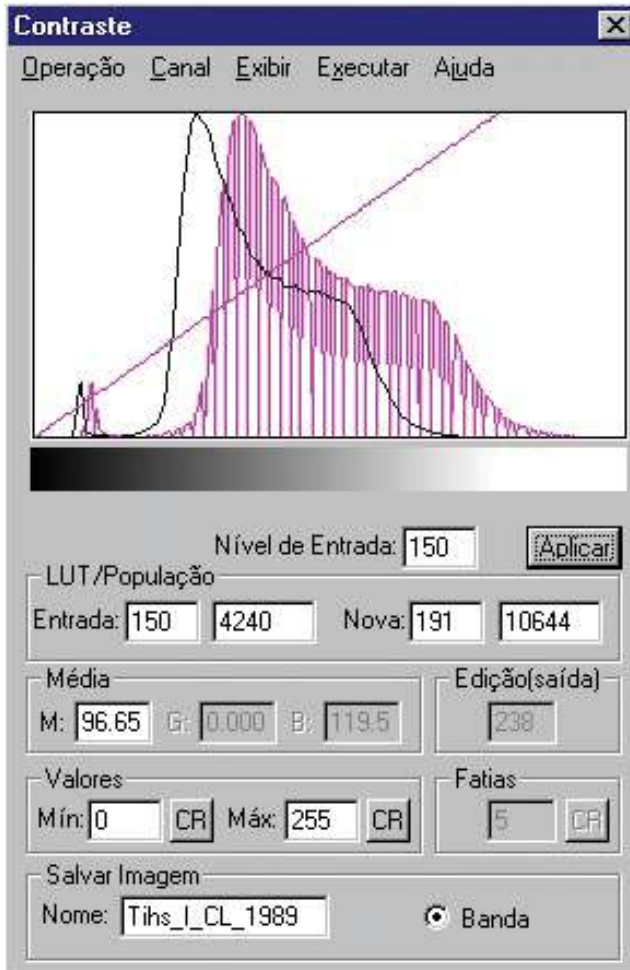
- a) A *intensidade* ou brilho significa a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo, assim, responsável pela sensação de brilho dessa energia incidente sobre o olho;
- b) O *matiz* ou cor de um objeto traz a medida do comprimento de onda médio da luz que se reflete ou se emite, definindo, portanto, a cor do objeto;
- c) A *saturação* ou pureza expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida. Um alto valor de saturação resulta em uma cor espectralmente pura, ao passo que um baixo valor indica uma mistura de comprimentos de onda que irá produzir tons pastéis (apagados).

A técnica consiste em calcular a intensidade, o matiz e a saturação de três bandas espectrais, depois processar a componente I, aplicando um realce de contraste (**Figura 10**) e, finalmente, fazer a reversão para o sistema RGB para que possa, então, ser visualizado por um monitor de vídeo de microcomputador. Os resultados dessa técnica podem ser vistos na **Figura 11**.

Das duas técnicas de Transformações Multiespectrais avaliadas nesta pesquisa, a que apresentou resultados práticos mais significativos do ponto de vista de melhoria da extração de informações espectro-temporais foi a de NDVI, principalmente quando aplicada a técnica de razão entre bandas para detecção de mudança no padrão e cobertura vegetal no período observado. Assim, pela importância dessa informação como indicador de processo de desertificação (MATALLO, 1999; ACCIOLY *et al.*, 2002; ARAÚJO *et al.*, 2002), optou-se por considerar, efetivamente, os resultados desta técnica de PDI como um dos elementos de suporte à identificação e localização de áreas degradadas na região em

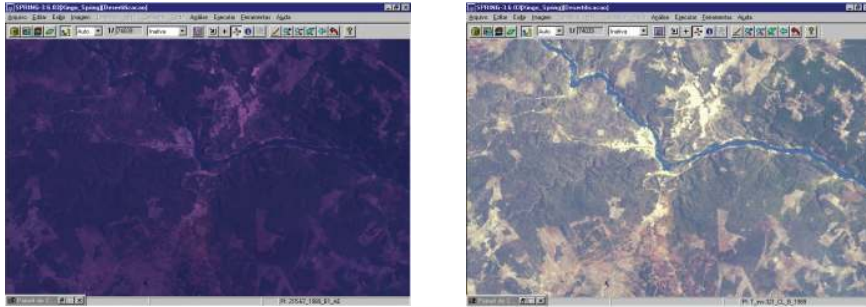
estudo, onde, associado a outros resultados a serem discutidos adiante, poderá validar em gabinete o conjunto de dados que, numa linguagem de programação de álgebra espacial, permitirá mapear os processos de desertificação instalados em Xingó.

Figura 10 – Realce de contraste na componente I (intensidade) para melhorar a qualidade de brilho na imagem resultante.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11 – Reversão de IHS para RGB



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: ao alto, a imagem original; acima, a mesma imagem transformada RGB → IHS; observa-se maior facilidade na distinção dos alvos da cena (Data: 11/03/89).

Para compor este conjunto de dados a ser utilizado na análise espacial dos processos de desertificação em Xingó, utilizou-se a técnica de Classificação Supervisionada que, segundo Crósta (1993), trata-se do processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Assim, os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais.

Nesta pesquisa, utilizou-se o método de classificação “*pixel-a-pixel*” que identifica regiões homogêneas a partir da informação espectral isolada de cada *pixel*, fazendo, ainda, uso da teoria de probabilidade por métodos estatísticos. Assim, o resultado da classificação digital é apresentado por classes espectrais (áreas que possuem características espectrais semelhantes), considerando-se a relação entre a resposta espectral dos alvos de interesse na pesquisa e as classes a serem mapeadas. De fato, tem-se como resultado final de um processo de classificação uma única imagem digital composta por um mapa de *pixels* classificados, representados, neste caso, por cores.

No processo de classificação, um grande número de NC’s é transformado num pequeno número de classes temáticas. Como existem regiões na imagem em que se tem conhecimento da realidade de campo, através de pesquisas realizadas desde março de 2000 no Laboratório de Geoprocessamento INPE/Xingó, a Classificação Supervisionada pode ser empregada, tendo-se o cuidado de identificar nas imagens diversas áreas de treinamento representativas e homogêneas de cada classe de interesse na pesquisa, porém observando a inclusão de toda a variabilidade espectral dos alvos em estudo.

Foram definidas seis classes temáticas a serem mapeadas pelo método:

- Área urbana
- Corpos d'Água
- Caatinga Arbórea
- Caatinga Arbustiva
- Pasto/cultivo
- Solo exposto

Para cada classe foram identificadas doze amostras em cada uma das três datas, fazendo um subtotal de setenta e duas amostras para cada data e um total de duzentas e dezesseis amostras. Cada conjunto de doze amostras produziu uma Matriz de Erro que foi analisada isoladamente, sendo refeita algumas vezes até atingir um desempenho geral $\geq 95\%$ para cada data pesquisada. Isso garantiu a qualidade das amostras para a posterior classificação.

Embora as classificações tenham sido realizadas sobre as bandas espectrais originais, cada amostra foi avaliada visualmente sobre as diversas técnicas de PDI testadas anteriormente, objetivando-se a confirmação da homogeneidade e exatidão da amostra em relação à classe temática à qual pertencia (**Figura 12**). A matriz de erro de classificação apresenta a distribuição de porcentagem de *pixels* classificados corretamente e erroneamente; as colunas representam o total percentual por classe.

O classificador utilizado foi o de MAXVER, pois este considera a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos, onde um conjunto de amostras de treinamento define o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.

Ao considerar, por exemplo, duas classes com distribuição de probabilidade distinta de um *pixel* pertencer a uma classe ou a outra dependendo de sua posição em relação a esta distribuição, o *pixel* que se situar na região onde as duas classes se sobrepõem estão sujeitos à definição de limiares de aceitação do classificador – um critério de decisão do usuário. Os limites de classificação são definidos a partir de pontos de mesma probabilidade de classificação de uma e de outra classe. Objetivando a diminuição da confusão entre as classes, ou seja, uma

redução desta sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes, diversas aquisições de amostras significativas de alvos distintos foram adquiridas, bem como as avaliações das matrizes de classificação dessas amostras.

Esta avaliação concluiu que o conjunto de amostras foi bastante satisfatório, atingindo uma média de 96% de exatidão para a maioria das classes identificadas nas imagens. Como limiar de aceitação, adotou-se o valor de 100% para uma completa classificação de todos os *pixels* na imagem.

Figura 12 – Análise da Matriz de Erros da Classificação em 2003.

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO								
(colunas: dados de referencia)								
	Area_Urban	Caat_Arbo	Caat_Arbu	Corpos_Agu	Pasto	Solo_Expos	Abstencao	Soma lin.
Area_Urban	224 1.58%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2 0.02%	0 0.00%	227
Caat_Arbo	0 0.00%	225 1.59%	2 0.01%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	229
Caat_Arbu	1 0.01%	164 1.16%	6071 42.80%	0 0.00%	156 1.10%	5 0.04%	0 0.00%	6397
Corpos_Agu	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2650 18.68%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2650
Pasto	0 0.00%	0 0.00%	1 0.01%	0 0.00%	787 5.55%	2 0.01%	0 0.00%	790
Solo_Expos	51 0.36%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	11 0.08%	3828 26.99%	0 0.00%	3890
Soma col.	276	389	6074	2650	956	3838	0	14183

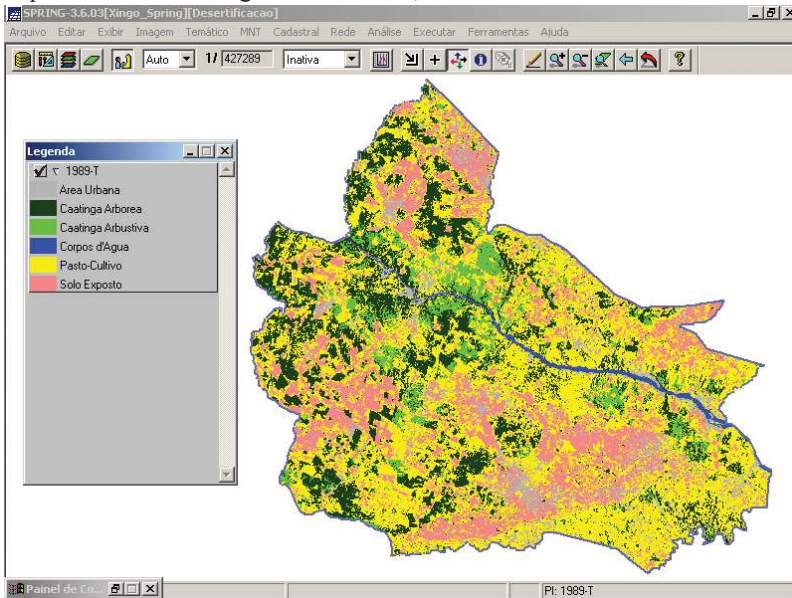
	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Area_Urban	81.16%	98.68%
Caat_Arbo	57.84%	98.25%
Caat_Arbu	99.95%	94.90%
Corpos_Agu	100.00%	100.00%
Pasto	82.32%	99.62%
Solo_Expos	99.74%	98.41%

Desempenho geral: 97.19 %
 Confusao media : 2.81 %
 Abstencao media : 0.00 %

Fonte: Elaborado pelos autores.

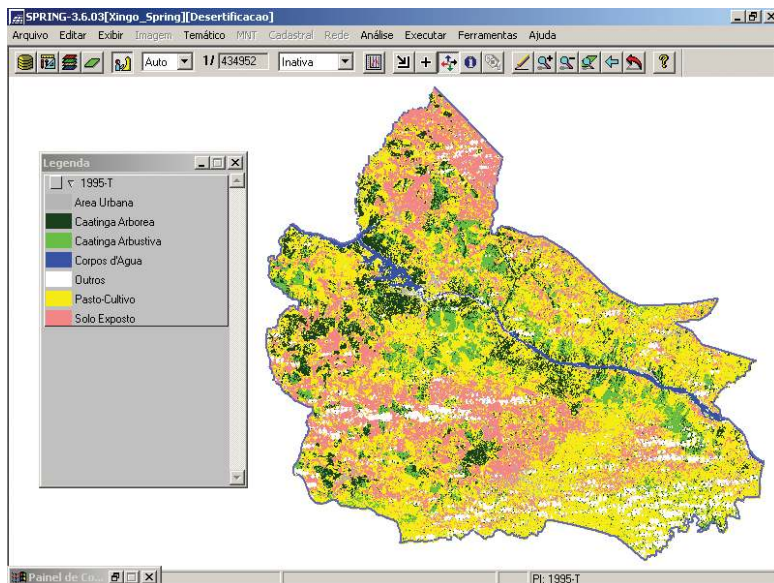
Assim, foram realizadas as classificações supervisionadas nas três datas de imagem da pesquisa: 1989, 1995 e 2003, obtendo-se o mapeamento temático temporal da área de estudo, conforme ilustram as Figuras 13, 14 e 15, respectivamente.

Figura 13 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 11/03/89, identificando as classes de interesse.



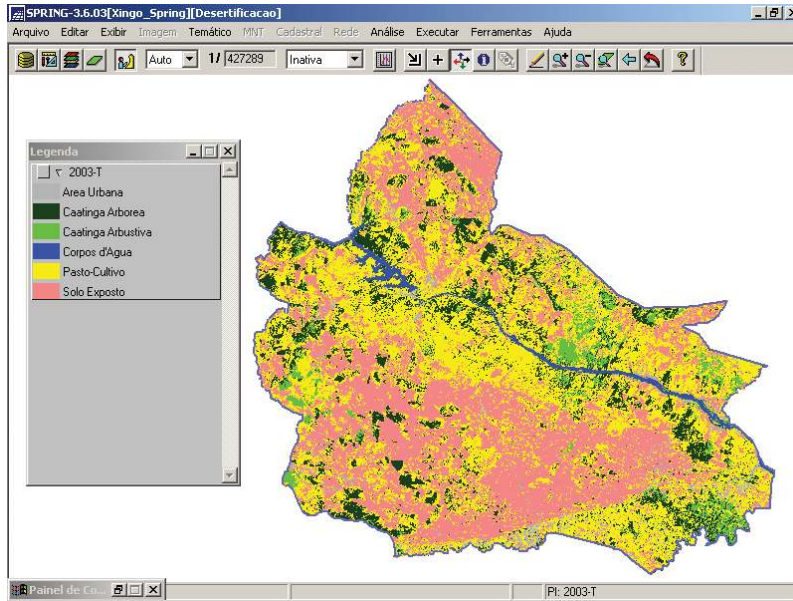
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 14 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 06/10/95, onde se observa uma discreta presença de nuvens na área.



Fonte: Elaborado pelos autores.

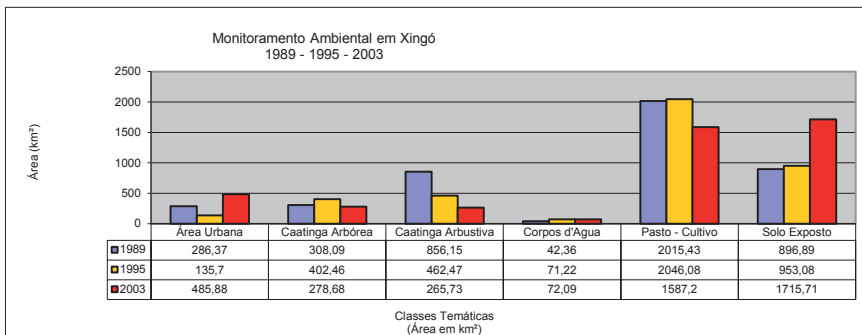
Figura 15 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 05/01/03



Fonte: Elaborado pelos autores.

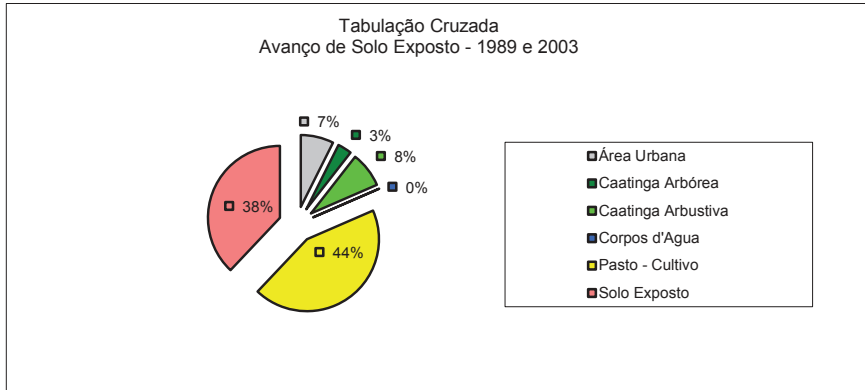
As classes foram quantificadas em termos de área e processadas através de planilha eletrônica (**Figura 16**). Ao analisar o gráfico, destaca-se o avanço de solo exposto nas classes de caatinga – um notável indicador de degradação ambiental na área de estudo (**Figura 17**).

Figura 16 – Gráfico das quantificação das classes temáticas em 1989, 1995 e 2003



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 17 – Cruzamento de dados 1989 – 2003



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: esse gráfico mostra o porcentual conquistado pelo solo exposto em 2003 em relação às classes de 1989.

Para compreender com maior precisão e acurácia a localização espacial dos processos de desertificação, foi elaborada uma Análise Espacial, a partir do desenvolvimento de um aplicativo em LEGAL, implementado no *Spring* (INPE, 2001).

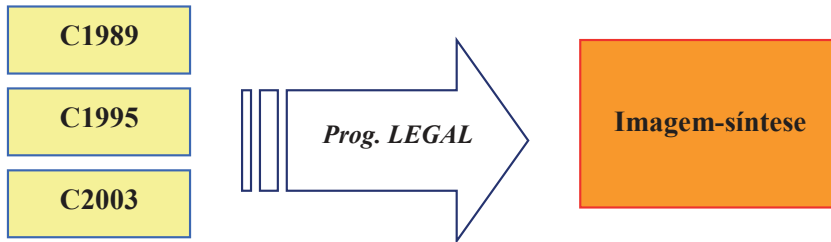
A estrutura de uma programação em LEGAL exige as seguintes etapas:

- declarações de variáveis (no caso, as imagens classificadas e a imagem-síntese a ser gerada);
- instâncias⁵ de variáveis (basicamente, quem são estas variáveis no sistema e seus parâmetros operacionais);
- operações de álgebra de mapas (quais são as operações espaciais a serem efetuadas com as variáveis anteriormente declaradas);
- comandos de controle.

A **Figura 18** ilustra um fluxograma da programação desenvolvida em LEGAL: os dados de entrada, o processamento em LEGAL e a saída gráfica da Análise Espacial.

⁵ Identificação dos dados no sistema em relação às variáveis antes declaradas.

Figura 18 – Diagrama da Análise Espacial para o período 1989 – 1995 – 2003: dados de entrada com as imagens classificadas, a programação em LEGAL e a saída gráfica como uma imagem-síntese da Análise Espacial.

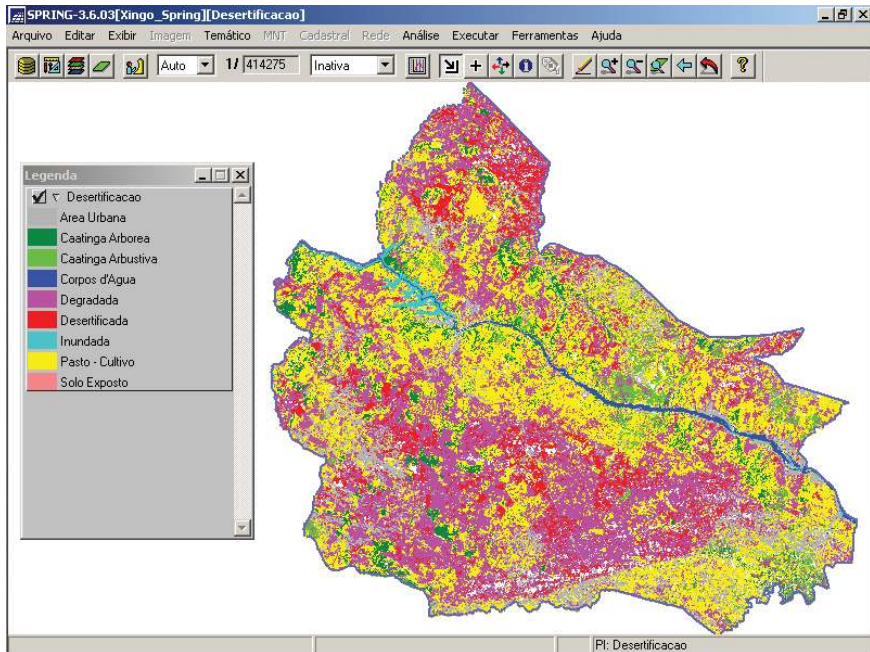


Tem-se como objetivo avaliar o comportamento espacial dos alvos ao longo do período observado, especialmente com relação aos indicadores de degradação ambiental, neste caso, a diminuição da cobertura vegetal de caatinga e o avanço de solo exposto. De fato, para efeito desta análise-síntese da grave situação ambiental em Xingó, considerou para a programação em LEGAL que:

- Áreas que sempre permaneceram como “Solo exposto”, nas três datas, são consideradas áreas “Em processo de desertificação” (na legenda, “Desertificada”), e aparecem na cor vermelha na imagem-síntese;
- São consideradas “Áreas degradadas” (na legenda, “Degradada”), aparecendo na cor magenta, idem:
 - Áreas que eram cobertas por vegetação de caatinga em 1989 e/ou 1995 e em 2003 tornou-se “Solo exposto”;
 - Áreas que em 1989 e/ou 1995 eram cobertas por “Caatinga arbórea” e em 2003 tornou-se “Caatinga Arbustiva”, pois isto indica perda de biomassa, certamente por atividades ilegais de extração de madeira;
 - Áreas que em 1989 e/ou 1995 eram urbanas, pasto ou cultivo e em 2003 transformaram-se em “Solo Exposto”;
- Houve algumas poucas recuperações de caatinga no período, sendo todas essas áreas enquadradas na respectiva classificação identificada em 2003;
- Algumas áreas permaneceram com as mesmas classes no período em estudo, sem alterações em seu padrão de cobertura.

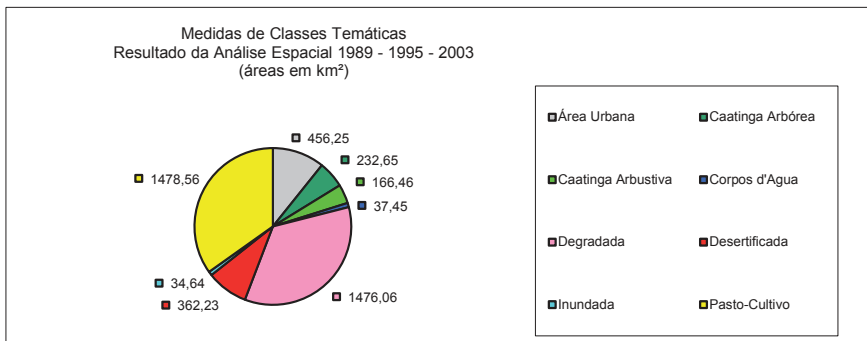
O algoritmo desenvolvido, chamado “Degradação”, está publicado no **Quadro 1**, o resultado em termos espaciais pode ser visto na **Figura 19** e um gráfico mostra a contribuição de cada classe desta análise espacial na **Figura 20**.

Figura 19 – Imagem-síntese gerada em LEGAL, a partir dos dados das imagens classificadas de 1989, 1995 e 2003.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 20 – Gráfico dos percentuais das classes temáticas, obtidos através da Análise Espacial em LEGAL com o cruzamento de dados das imagens classificadas de 1989, 1995 e 2003.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 1 – Algoritmo “Degradação”, desenvolvido em LEGAL, objetivando uma
Análise Espacial sobre áreas degradadas em Xingó, no período 1989 – 1995 – 2003.

```
// Programa em LEGAL para
// detectar áreas desertificadas e degradadas
// em Xingó
// Autor: Neison Cabral Ferreira Freire
// UFPE - DECart - Pos-Grad em C. Geodesicas e Tec. da Geoinformação
// Data: 14-julho-2003, Revisado e Ampliado em 30-nov-2003

// Faz o cruzamento entre PFs tematicos
// Classif Sup 1989, 1995 e 2003
// identificando avanço de áreas degradadas e desertificadas

Tematico T1989, T1995, T2003 ("Classificacoes");
Tematico Degrada ("Analises");
T1989 = Recuperar (Nome = "1989-T");
T1995 = Recuperar (Nome = "1995-T");
T2003 = Recuperar (Nome = "2003-T");
Degrada = Novo (Nome = "Desertificacao", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
Degrada = Atribua (CategoriaFim="Analises")
{
  "Desertificada": (T1989.Classe == "Solo Exposto" && T1995.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Solo Exposto" &&
  T2003.Classe == "Solo Exposto"),

  "Degradada": ((T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Solo Exposto"))|(T1989.Classe == "Caatinga
  Arborea" && T2003.Classe == "Solo Exposto")
  |(T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Caatinga Arbustiva")
  |(T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Solo Exposto")
  |(T1989.Classe == "Corpos d'Agua" && T2003.Classe == "Solo Exposto")
  |(T1989.Classe == "Area Urbana" && T2003.Classe == "Solo Exposto")
  ),

  "Corpos d'Agua": ((T1989.Classe == "Corpos d'Agua" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")),

  "Inundada": ((T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")
  |(T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")
  |(T1989.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")
  |(T1989.Classe == "Area Urbana" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")
  |(T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")),

  "Caatinga Arbustiva": ((T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Caatinga Arbustiva"))|(T1989.Classe ==
  "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Caatinga Arbustiva")
  |(T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Caatinga Arbustiva")
  ),

  "Caatinga Arborea": ((T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Caatinga Arborea")
  |(T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Caatinga Arborea")
  |(T1989.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Caatinga Arborea")
  |(T1989.Classe == "Area Urbana" && T2003.Classe == "Caatinga Arborea")
  ),

  "Area Urbana": ((T1989.Classe == "Area Urbana" && T2003.Classe == "Area Urbana")
  |(T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Area Urbana")
  |(T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Area Urbana")
  |(T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Area Urbana")
  |(T1989.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Area Urbana")
  |(T1989.Classe == "Corpos d'Agua" && T2003.Classe == "Area Urbana")),

  "Pasto - Cultivo": ((T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo")
  |(T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo")
  |(T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo")
  |(T1989.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo")
  |(T1989.Classe == "Corpos d'Agua" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo"))
}
```

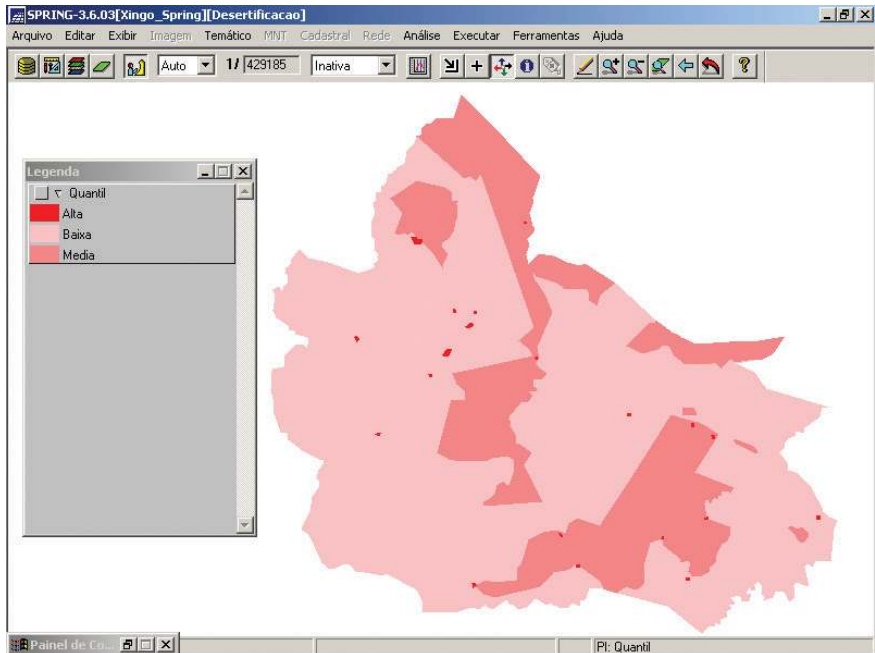
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para complementar a análise, foi desenvolvido um SIG a partir dos dados da malha de setores censitários rurais (IBGE, 2003), associados aos dados dos Censos de 1991 e 2001. Objetivou-se, assim, associar mais um importante indicador de degradação ambiental ao processo de análise, neste caso, os dados demográficos, especificamente a densidade

populacional por setor censitário rural (MATALLO, 1999; SAMPAIO; SAMPAIO, 2002).

Segundo Câmara (2000), “a distribuição de eventos cuja localização está associada a áreas (delimitadas por polígonos) não dispõe de sua localização exata, mas sim de um valor agregado por área”. Assim, o objetivo da análise será determinar a existência de um padrão espacial nos valores observados. A primeira análise foi realizada agregando os dados por quantis, divididos em três classes, de tal forma que cada classe tenha aproximadamente o mesmo número de valores (*Figura 21*).

Figura 21 – Mapa Temático: Densidade Demográfica em 2000, por quantis e desvio-padrão = 1.

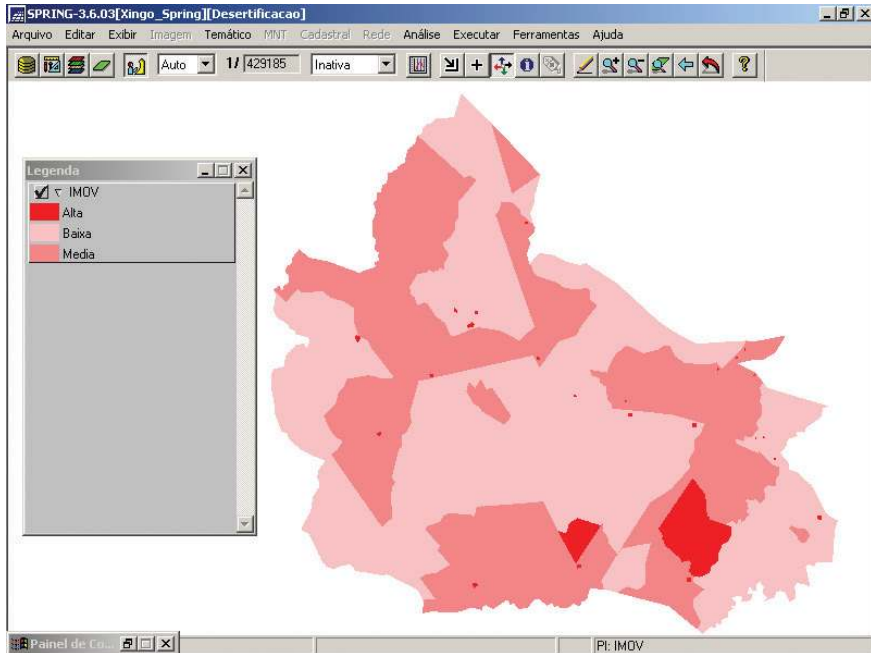


Fonte: Elaborado pelos autores.

Entretanto, uma forma simples e útil de explorar a variação espacial dos dados é calcular a média dos valores dos vizinhos, produzindo uma primeira aproximação da variabilidade espacial, “pois a operação tende a produzir uma superfície menos descontínua que os dados originais” (FONSECA, 2000), sendo os setores censitários rurais influenciados pelo valor de seus vizinhos.

Assim, utilizou-se o método da IMOV, que é uma técnica que explora o valor médio μ_i do atributo na região de estudo, fornecendo uma visão das grandes tendências do fenômeno em estudo, nesse caso, uma forte densidade populacional em algumas regiões periféricas ao lago da UHE Xingó, caracterizando núcleos de pressão demográfica circundando o local (**Figura 22**).

Figura 22 – Mapa Temático: Densidade Demográfica em 2000, pelo método de Média Móvel, na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Concluindo o processamento dos dados e objetivando inferir um indicador social no estudo sobre as áreas degradadas em Xingó, este mapa temático de densidade populacional por média móvel foi, então, cruzado com o mapa temático da imagem-síntese produzido sobre as classificações supervisionadas das imagens de 1989, 1995 e 2003. Para fazer essa Análise Espacial, que é a síntese deste estudo ao identificar áreas de risco à degradação ambiental, um novo algoritmo em LEGAL foi desenvolvido para esse cruzamento de dados (**Quadro 2**), considerando-se que:

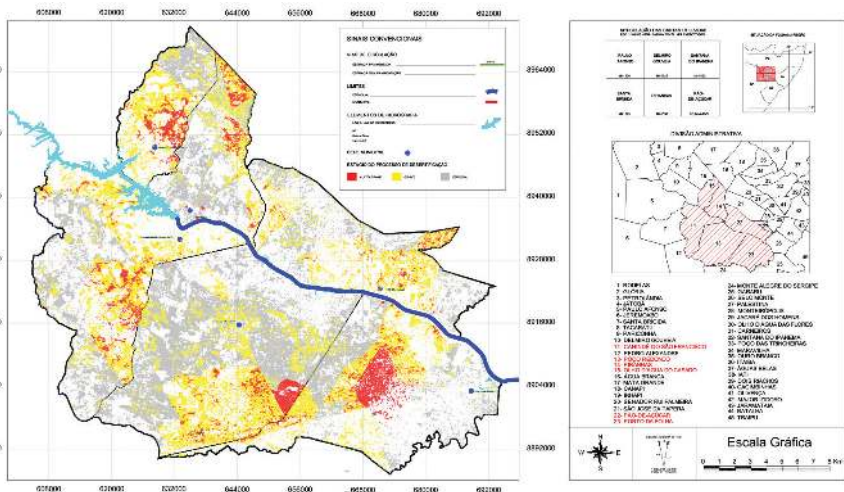
- a) Áreas onde, na imagem-síntese das classificações, estão identificadas como “Em processo de desertificação” (ou “Desertificadas”) e no

mapa temático de População indica “Alto Crescimento” demográfico no período, ou áreas onde, na imagem-síntese das classificações, estão identificadas como “Em processo de desertificação” e no mapa temático de População indica “Médio Crescimento” demográfico no período, ou eram áreas “Degradadas” e com densidade populacional média, foram consideradas áreas de risco “*Muito Grave*” do ponto de vista da desertificação, e foram assinaladas na cor vermelha;

- b) Áreas onde, na imagem-síntese das classificações, estão identificadas como “Degradadas” e no mapa temático de População indica médio crescimento demográfico no período, foram consideradas áreas de risco “*Grave*” do ponto de vista da desertificação, e foram assinaladas na cor amarela;
- c) Áreas onde, na imagem-síntese das classificações, estão identificadas como “Degradadas” e no mapa temático de População indica baixo crescimento demográfico no período, foram consideradas áreas “*Especiais*”, sujeitas a atenção e foram assinaladas na cor cinza claro;
- d) Outras áreas com situação estável ou em recuperação foram assinaladas na cor branca.

Por fim, a **Figura 23** sintetiza e registra as áreas de risco à degradação ambiental na área de estudo.

Figura 23 – Carta-Imagem das áreas degradadas e suscetíveis à desertificação na Região de Xingó.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÕES

Considerando os 4.405,29 km² da área de estudo, a análise-síntese mostrou que cerca de 215 km² nos seis municípios mais próximos à UHE Xingó apresentam problemas muito graves com relação à desertificação em janeiro de 2003. No total, cerca de 985,44 km² têm problemas ambientais significativos relacionados à desertificação, ou seja, 22,37% da área de estudo estão relacionados a algum processo de desertificação, necessitando de atenção urgente por parte do Governo e da sociedade.

Convém registrar o aspecto conservador da análise ao considerar, por exemplo, que as áreas consideradas “Gravíssimas” teriam que necessariamente apresentar solo exposto nas imagens de 1989, 1995 e 2003, além de estarem situadas num limiar de alta densidade demográfica para a região. Portanto, não bastou a imagem mais recente (05/01/03) apresentar extensas áreas degradadas, pois se inferiu ao modelo de análise espacial outras variáveis ambientais e demográficas, permitindo à pesquisa científica sobre o tema vislumbrar novas oportunidades de incorporar outros dados que possam ter uma representatividade espacial.

Após o processamento dos dados, constatou-se, no período 1989 - 2003:

- aumento de 91,3% de solo exposto;
- diminuição de áreas agropastoris de 21,2%;
- diminuição de caatinga arbórea de 9,7%;
- diminuição de caatinga arbustiva de 68,7%;
- aumento de áreas urbanas ou antropizadas de 70%.

Observa-se uma forte correlação entre os dados de solo exposto e áreas agropastoris no período estudado: ao aumento de solo exposto, por exemplo, corresponde uma diminuição das áreas agrícolas ou de pastagem. Por outro lado, à diminuição da cobertura vegetal natural da caatinga, observa-se, também, o aumento das áreas de solo exposto na Região de Xingó. De fato, não há uma correlação entre o desmatamento e aumento das áreas agropastoris.

Das classes naturais, a caatinga arbustiva foi a que regrediu em termos de área. Isso se explica, principalmente, pelo seu porte lenhoso e conseqüente disponibilidade energética para as populações rurais,

além da necessidade de novas áreas agrícolas em substituição àquelas já exauridas por técnicas de cultivo inadequadas ao semiárido ou mesmo pela expansão das fronteiras de pastagens extensivas.

Entretanto, os resultados obtidos na classe de caatinga arbustiva indicam uma possível sobreposição com a classe de pasto-cultivo, devido às semelhantes respostas espectrais dos alvos observados, ou seja, em ambas as classes se tem uma vegetação caracterizada por arbustos e estrato herbáceo, com porte médio de 2 m e diâmetro à altura do peito não ultrapassando 10 cm. Algumas árvores jovens alcançam até 3 m de altura.

Na área, pratica-se a pecuária extensiva de gado bovino, caprino e ovino. Também se pode constatar o corte contínuo e a queima das leiras (galho e folhas da vegetação ruderal), para o preparo do solo e plantio de feijão e milho, no período chuvoso.

Então, conclui-se que para um melhor discernimento entre estas classes um novo sensor com maior resolução espectral precisaria ser avaliado, situação esta não foi considerada no âmbito deste estudo. A verdade terrestre foi avaliada a partir de seis expedições ao campo, em que 52 pontos pré-determinados em gabinete foram atingidos com o uso de receptor GPS, no processo de validação da pesquisa.

As áreas urbanas tiveram uma expressão territorial em 1989, devido principalmente às obras de construção da UHE Xingó. A diminuição verificada em 1995 deve-se à conclusão destas obras e depressão econômica diretamente relacionada. A recuperação das áreas urbanas torna-se evidente na classificação de 2003, com um aumento excepcional de 258% em relação ao ano de 1995. Entretanto, convém observar que a classe como um todo não representa mais que 11% da área total de estudo, evidenciando, mais uma vez, o caráter eminentemente rural desses municípios.

Enfim, o estudo concluiu claramente que o modelo econômico em uso não é sustentável na Região de Xingó. Pelo contrário, exige-se de toda a sociedade uma mudança na forma de pensar e agir sobre o semiárido nordestino e sua viabilidade agroecológica. Muitas experiências, algumas novas e outras nem tanto, têm demonstrado o potencial e a viabilidade geoambiental do semiárido brasileiro, como vem mostrando diversas e recorrentes reportagens na imprensa.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, L.; PACHÊCO, A.; COSTA, T.; LOPES, O.; OLIVEIRA, M. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 3, p. 492-498, 2002.
- ARAÚJO, A.; SANTOS, M.; MEUNIER, I.; RODAL, M. *Desertificação e Seca*. Recife: Gráfica e Editora do Nordeste Ltda., 2002. p. 63.
- ARRAES, F. D. D., ANDRADE, E. M. DE; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude de Orós e suas adjacências. *Revista Caatinga* (UFERSA. Impresso), v. 25, p. 119-127, 2012.
- BEZERRA, J.M., SILVA, P.C.M., MORAIS, C.T.S.L. Utilização de geotecnologias na determinação de áreas susceptíveis a desertificação no estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 3, p. 572-589, 2011.
- CÂMARA, G. *Geoprocessamento: Teoria e Aplicações*. São José dos Campos, SP: INPE, 2000. Disponível em <<http://dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. (Apostila).
- COLWELL, R. N. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry, 1983.
- CRÓSTA, A. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993. p. 170.
- FIGUEIROA, J. M., ARAÚJO, E. L., PAREYN, F. G. C., CUTLER, D. F., GASSON, P., LIMA, K. C., SANTOS, V. F. Variações sazonais na sobrevivência e produção de biomassa de *Caesalpinia pyramidalis* Tul após o corte raso e implicações para o manejo da espécie. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1041-1049, 2008.
- FONSECA, L.; LOPES, E.; YAMAGUCHI, F.; VINHAS, L. *Processamento Digital de Imagens*. São José dos Campos, SP: INPE, 2000. (Apostila).
- GIULIETTI, A.M., HARLEY, R.M., QUEIROZ, L.P., BARBOSA, M.R.V., BOCAGE NETA, A.L., FIGUEIREDO, M.A. *Espécies endêmicas da Caatinga*, 2002. p. 103-119.
- INPE. *Tutorial do Spring*. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. 305 p. (Apostila).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 1991*. Agregado por Setores Censitários – Vol. 2 Região Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. 1 CD-ROM.
- _____. *Censo Demográfico 2000*. Agregado por Setor Censitário dos resultados do universo – Vol. 3 Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. 2ª. Edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. 1 CD-ROM.
- JENSEN, J.R. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
- LACERDA, F. F.; JUNIOR, H. D. S.; ASSAD, E. D.; ASSIS, J. M. O.; MOURA, M. S. B. Extremos e variabilidade climática no nordeste brasileiro e em Pernambuco.

- In: Galvincio, J. D. (Orga.). *Mudanças climáticas e impactos ambientais*. EDUFPE: Recife, 2010. p. 1-24.
- LOPES, H. L., CANDEIAS, A.L.B., ACCIOLY, L. J. O. Modelagem de parâmetros biofísicos para desenvolvimento de algoritmo para avaliação e espacialização de risco à desertificação. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 15, n. 4, p. 652-668, 2009.
- LOPES, H. L.; SILVA, B. B.; PACHÊCO, A. P. Distribuição espacial do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo no território de Itaparica, Nordeste do Brasil. RBC. *Revista Brasileira de Cartografia* (Online), v. 66, p. 233-244, 2014.
- LU, L., LI, X., VEROUSTRAETE, F. 2009. Analyzing the forcing mechanisms for net primary productivity changes in the Heihe River Basin, northwest China. *International Journal of Remote Sensing*, London, v. 30, n. 3, p.793-816, 2009.
- MARENGO, JOSE A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Parcerias estratégicas*, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010. Acessado no dia: 21 de maio de 2017. Disponível no site: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/329.
- MATALLO, H. A. Desertificação no Mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO, H. (org.). *Desertificação*. Brasília, DF: UNESCO, 1999. p. 9-25.
- MATSUSHITA, B.; XU, M.; FUKUSHIMA, T. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura, Japan using a high-quality GIS dataset. *Landscape and Urban Planning*, v. 78, p.241-250, 2006.
- MOREIRA, M. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 2ª. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 307 p.
- NASCIMENTO, F. C. A.; ARAÚJO, F. R. C. D. Estudo comparativo entre o IVDN e a precipitação na região oeste potiguar. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 9, p. 269-274, 2014.
- SAMPAIO, E.; SAMPAIO, Y. *Desertificação*. Recife, PE: Editora Universitária UFPE, 2002. 85 p.
- SILVA, J. D; TABARELLI, M.; FONSECA, M. D.; LINS, L. V. *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco. 2004. p. 155.
- WU, J., YAOLIN, L., WANG, J. Application of Hyperion data to land degradation mapping in the Hengshan region of China. *International Journal of Remote Sensing*, v. 31, n. 19, p. 5145-5161, 2010.

INTERMITTENT RIVERS OF THE BRAZILIAN NORTHEAST: the case of Alto Paraíba, Brazil

Janaína Barbosa da Silva¹
Simone Mirtes Araújo Duarte²

ABSTRACT

A country with continental dimensions such as Brazil has significant environmental diversities throughout its territory. Among these, water resources have unique connotations, from the natural, environmental and social standpoints. The Northeastern region of the country is marked by the presence of temporary rivers, also referred to as intermittent or ephemeral rivers. This condition stems from the characteristic water regime of the Semi-Arid region, as a response to the drought period, the riverbeds remain dry for a period of the year. Thus, in the northeastern region, most rivers are intermittent at least in one of their stretches, as is the case with tributaries of the upper course of the Paraíba River. Given their intermittent condition, the beds of these rivers present significant changes over time and space. Thus, this research aimed to identify the uses of the surface along the area of the Alto Paraíba basin, in particular the existence of natural and anthropogenic vegetation; their physiognomies based on the types of densification; surface uses; and areas susceptible to degradation. To do so, we used geotechnology (satellite images, Geographic Information Systems, and GPS receiver) for the environmental assessments, while conducting a diagnosis of the high course of the Paraíba River. This research identified the predominance of anthropogenic areas to the detriment of natural vegetation. The less degraded areas were located in the higher elevation, with dense and semi-dense vegetation, while the flat ones, with elevation, are mainly of exposed soil, sparse and semi-sparse vegetation. The river courses are the most limited areas, and the presence of water was insignificant across the area, being restricted to artificial reservoirs. It was identified that the presence or

¹ Professor Doctor in Geography, Academic Unit of Geography of the Federal University of Campina Grande. E-mail: janaina.barbosa@ufcg.edu.br

² Professor Doctor in Natural Resources, Department of Forestry Sciences of the Federal Rural University of Pernambuco. E-mail: simone.mirtes@ufrpe.br

absence of water is a preponderant factor in the use of the surface. These results enable the scientific, civil and political communities to better know the current conditions of this basin, favoring extensive discussions about its preservation.

KEYWORDS: Alto Paraíba. Temporary rivers. Degradation.

Submission date: 12/04/2017

Acceptance date: 24/07/2017

1 INTRODUCTION

A country of continental dimensions such as Brazil presents significant environmental diversities throughout its territory. Among these, water resources have unique connotations from the natural, environmental and social standpoint. Following their example, the country's Northeast region is home to the temporary rivers, also referred to as intermittent rivers.

This condition derives from the characteristic water regime of the Semi-Arid region. In response to the precipitation, the riverbeds remain dry for a period of the year, establishing a drought period. Thus, in the northeastern region, most rivers are intermittent in at least one of their stretches, as is the case of some tributaries of the Paraíba River.

Another recurrent factor in the Brazilian semi-arid region, as is the case in the area referred to as Cariri Paraibano, is that, in addition to the droughts intrinsic to the region that varies over the years, there are periods of prolonged drought caused by the atmospheric-oceanic phenomenon El Niño. This phenomenon is due to the non-normal flow of surface and subsurface waters of the Tropical Pacific, reflecting the wind patterns (trade winds) on the world scale, which affects rainfall regimes in tropical regions.

The Brazilian Northeast has been under the influence of the El Niño phenomenon, with a subsequent drought in 2015-2016, while the drought of the past six years is being considered by the researchers as the most prolonged of the last one hundred years (*Table 1*) (INPE, 2017). The droughts alter the environmental and natural characteristics and the human actions on this environment.

Table 1 – Years of El Niño, according to the quarters

YEAR	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.3	1.2	0.9	0.5	0.0	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.4	-1.4
2011	-1.3	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.6	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
2012	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2014	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6
2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3
2016	2.2	2.0	1.6	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7

Source: INPEE, 2017.

Note: Red=Hot; Blue=Cold; Black=Neutral

The El Niño phenomenon has a direct effect on vegetation cover reduction on the upper course of the Paraíba River, significantly altering the landscape of the area. Nevertheless, works proposed by the Federal Government seek to transpose the São Francisco River with the aim of making perennial the stretch of this river in 2017. This “solution,” however, still requires several studies and is not the subject of this research.

At first time of this research, the high course of the Paraíba River presented typical characteristics of an intermittent course, as well typical caatinga vegetation, under the influence of a long drought period and diversity of anthropic actions. These characteristics alter the landscape due to the direct reduction of the survival of the plant species, as they have a direct impact on the environment of the vegetal cover. As a result, this research, which is based on geotechnologies and interdisciplinary studies associated with these methods used, focused on the methods of analysis, the current situation and the future possibilities of land surface use and/or protection.

Technologies such as Remote Sensing and Geographic Information Systems are examples of possibilities for integrating data to assist in the management of the territory and the environment (ROSA; BRITO, 1996).

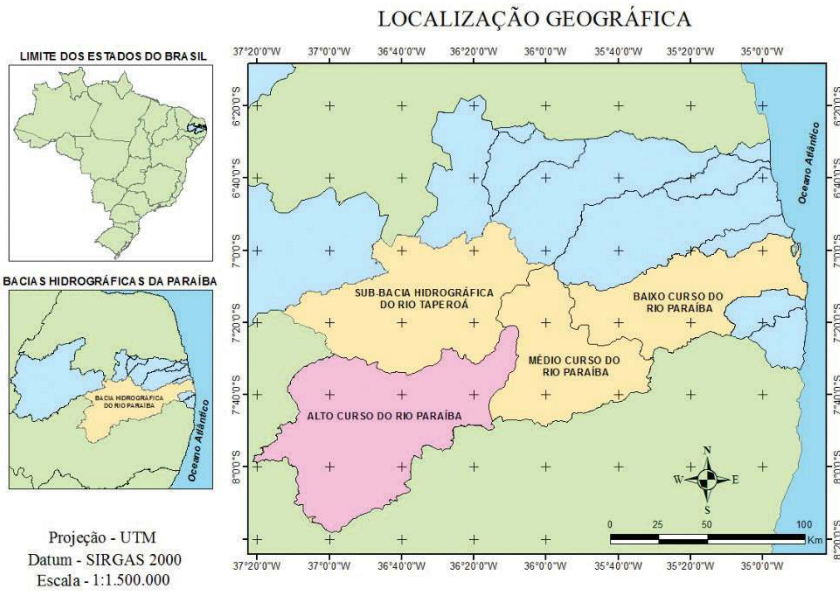
Therefore, this research aimed to identify the uses of the surface along the area of the Alto Paraíba basin, involving, more specifically, the existence of natural and anthropogenic vegetation; physiognomies according to the types of densification; uses of the surface and areas susceptible to degradation.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 DESCRIPTION OF THE STUDY AREA

The Paraíba River basin is located in the Northeast Region of Brazil and comprises an area of 20,071.83 km², it is divided into the Taperoá River sub-basin (5,666.38) to the north and three other regions – High (6,717.39), Medium (3,760.65), and Low (3,925.40) (**Figure 1**) (AESAs, 2016). The river is area established as intermittent or temporary is the high course, from Jabitacá Sierra, in the municipality of Monteiro, to the Epitácio Pessoa Dam, in the municipality of Boqueirão (FREITAS; CASTRO, 2012).

Figure 1 – Location of the Alto Paraíba basin, PB



The average annual rainfall is 500 - 800 mm roughly 500 mm, occurring on an irregular basis and being concentrated in four months, under hot weather, with Caatinga vegetation. These conditions are reflected in the scarcity of water and the subsequent construction of dams of varying sizes, aiming mainly at human consumption. The area in question is inserted in the Borborema Plateau on the crystalline area, with non-calcic, litholic and regosol Bruno soils, i.e., it has shallow and stony soils and rocky outcrops (LUCENA; PACHECO, 2017; ALVES, 2009).

In addition to the natural issues, the human pressure on the Cariri region emanates from its past, as this region was the scene of traditional agricultural activities with cotton, as well as extensive livestock, and currently suffers the withdrawal of vegetation for charcoal and firewood for supply of plaster and ceramics hubs, the steelmaking industry and residences of the region (MMA-BRAZIL, 2010). Thus, natural issues such as the water regime and entropic actions such as the removal of vegetation are major factors affecting the environment, contributing to processes of degradation affecting this landscape.

2.2 FIELD DATA COLLECTION

The field data collection via GPS was carried out by Iluliane Maria Gadelha Correia, a regular student enrolled in the Geography course at the Federal University of Campina Grande (UFCG). The displacement to the study areas was performed in an official vehicle, made available by the Federal University of Campina Grande.

The fieldwork was conducted on 5/12/2015, with the aim of proving the data processed in the laboratory and creating a collection of georeferenced photographs relating to field analysis.

The development of support activities for the fieldwork employed the Orbital Sensors of the Landsat-8 multispectral satellite images, referring to the orbit/point 215/65 (15/10/2016) and 215/66 (12/6/2016), in the USGS satellite image collection, in 2017.

The Digital Elevation Model (DEM) based on SRTM data (Shuttle Radar Topographic Mission) was extracted from the geomorphometric database of Brazil, resulting from the TOPODATA project, with a resolution of 30 m, provided by the National Institute of Space Research (INPE). The sheets with identification of 07S375 and 08S375, covering the study area, were selected.

For physical and logical computational support, GPS (Global Positioning System) hardware, a digital camera and the SPRING 5.4.3, ArcGis 10 and MS Excel 2017 software were used.

The use of ArcGis 10 was licensed to the Graduate Studies Laboratory of the Humanities Center of the Federal University of Campina Grande (UFCG).

2.3 IMAGE PROCESSING

The extraction of basic information, such as dams, main federal roads, municipal roads and drainage network, was carried out with the cartographic database of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE).

The preliminary interpretation was executed following a pre-established script for the Digital Processing of the TM/LANDSAT-8 images. The methodology was based on the Systematic Method developed by Santos et al. (1982). Such methodology consists of a sequence of coherent, systemic steps that are independent of previous knowledge of the area.

The IBGE database provided support for the construction of the cartographic base, such as the road network and the main drainage network (control points), aiming at the correct adjustment of the base in the image. In this sense, the visual analysis of images was based on a comparative study between the spectral and textural properties. Each of the spatial phenomena in the several recorded scenes are associated with the different levels of reflectance of several possible phenomena at the time of acquisition of the image related to the spectral targets.

Thus, the identification of the units and/or thematic classes was based on the isolated study of the various elements of interpretation, followed by the joint observation of these elements (drainage, relief, tonality, texture, and surface use).

In the quantification of the coverage for the use of the surface, the adjusted RGB multispectral compositions in bands 3 and 4, as well as NVDI in bands 5 and 6, were used as information layers.

The methodology adopted five cover classes (dense vegetation, semi-dense vegetation, sparse, semi-sparse, and exposed soil). The most critical vegetation cover classes are associated with the darker gray tones detected in band 5 in the images. The most preserved classes and lowest levels are associated with the lighter shades of gray. Within these parameters, vegetation was spatialized based on the classes, in line with vegetation densification per pixel, where dense means 100% vegetation cover; semi-dense, 75%; sparse, 50%; semi-sparse, 25%; and exposed soil, 0% vegetation.

2.3.1 Analysis and Interpretation of the satellite images

The work involved the following different steps: image preprocessing (reading, contrast); processing (segmentation and classification); field sampling for mapping verification; and analysis of the data collected in the field. By means of computational techniques, the aim was to extract information about the targets on the terrestrial surface, as describe here below:

- *Contrast Enhancement*

The technique of contrast enhancement aims to improve the quality of the images under subjective criteria of the human eye. It is commonly used as a preprocessing step for pattern recognition systems (INPE, 2017).

The contrast enhancement technique aimed to equalize the bands, so that all could exert a similar influence in the process of segmentation of the image. In the case of the colored composition 4, 5 and 6 used, band 5 presented the most comprehensive pixel distribution histogram in relation to the 256 possible gray levels (high-contrast image), while bands 4 and 6 presented narrower pixel distribution histograms (low-contrast images). In order for the segmenter to consider the three bands in an equivalent way, it was necessary to redistribute the gray levels of bands 4, 5 and 6 to cover the 256 gray levels possible in each of them.

The operation involved in correcting the gray levels of the colored composition used was the linear adjustment.

- *Arithmetic operations*

The interband ratio (NVDI) served to increase the contrast between soil and vegetation. The ratio between red and near infrared bands is used, forming the so-called vegetation index (NDVI).

It has been used in the computation of the multispectral composite C.

- $C = G * ((A - B)/(A + B)) + O$, where:
- A = near infrared band – band 5
- B = red band – band 4
- G = gain (value 256 was used)
- O = offset (value 64 was used)

The result applied to the satellite image is shown in Figure 2A, in addition to increasing the spectral contrast between vegetation and soil, this multispectral composite has the effects of enhancing lighting and slope, partially offset by the index (CAMARA, 1996).

2.3.2 Adjusted Multispectral Composition (b4 + NDVI + b3)

This composition corresponds to an RGB transformation in which the red light source (R) is assigned to band 4, the green source (G) to the NDVI image, and the blue source (B) to band 3. The result is shown in Figure 2B where areas with a high NDVI value will appear in green (occurrence of vegetation) and areas with a low NDVI will appear in red or blue (magenta or cyan), indicating the presence of exposed soils.

Figure 2 – A) Multispectral composition – NDVI. B) Adjusted multispectral composition of the bands – AMC.

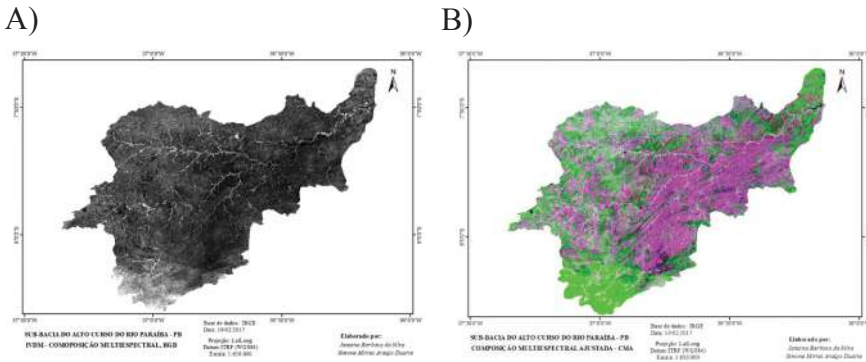


Figure 2 clearly shows the extensive areas of exposed soils, vulnerable to soil degradation processes, such as laminar erosion, furrows and gullies. The areas with high NDVI values, in green, denoting the occurrence of vegetation, show the progress of anthropogenic activity. On the other hand, areas with low NDVI values, in magenta or cyan, show predominance of exposed soils.

Using the AMC composition, we performed a segmentation, subdividing the image into homogeneous regions, considering some of their attributes, such as the level of gray of the pixels and the texture, with the aim of characterizing the representativeness of the objects in the scene. Segmentation involves the generation of internally homogeneous objects, on which classification is then applied. This approach presents some limitations as it is based only on spectral attributes. To overcome these limitations, image segmentation, prior to the classification phase, was used to extract the relevant objects to the desired application. In this process, the image is divided into regions that should correspond to the areas of interest of the application, in which the set of contiguous pixels that spread bi-directionally are considered uniform.

- *Pattern Classification*

Following the segmentation, the classification of standards is a decision process in which a group of pixels is defined as belonging to a given class. The classification of patterns is divided by the phases of region segmentation, classification, and mapping.

For the classification, we employed the “*Bhattacharya*” classifier of Spring 5.4.3. (2016), which uses training samples to estimate the probability density function for the pointed classes. At the end, all regions are associated with a class defined by the algorithm, and the user is required to associate these classes or themes with the classes defined by the algorithm in the database.

The classified images were vectorized through the “*Mapping*” function, which allowed the quantification of the classes of surface use.

- *SRTM Images*

ArcGIS 10 Geographic Information System program, using the ArcMap application, has been used to prepare and manipulate the hypsometry and slope maps. In addition, all thematic maps were handled in this GIS.

- *Imagine Mosaic*

Using the ArcGIS Image Mosaic tool, we inserted two SRTM images and directed the output, maintaining the “Tiff” format of the image. The cut was made using the shapefile files of the sub-basin, made available by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). The SRTM image of the study area, as a means of viewing the altitude of the area, has been classified and colored for analysis .

- *Slope*

Slope is an attribute used in environmental studies due to its considerable influence on the surface and subsurface runoff, since it interferes with its velocities. Thus, the terrain slope is directly related to the forms of relief, types of erosion, and possibilities of use for agriculture.

To view the slope, we adopted the following procedures on ArcGis: ArcToolbox → 3D analysttools → Raster surface → 3D Slope → Input (SRTM image of the Area) → Option degrees → Output.

We then used, in *Properties*, the *Symbology* option, followed by the *Stretched* option, classifying and coloring the image for analysis.

- *Hillshade (3D view)*

Hillshade was used to provide a 3D view of the image relating to the area slope. To compose this image, we adopted the following procedures: 3D analysttools → Raster surface → Hillshade → Inputraster (SRTM image) → (Z factor = elevation exaggeration) → Output.

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

The maps obtained allowed the confirmation of the environmental conditions present in the study area, where no precipitation has been recorded in the Alto Paraíba region (according to AESA, 2017) during the 30 days preceding the recording of each image. This condition directly affected the landscape of the typical Caatinga vegetation, which is xerophilous, i.e., the plants lose their leaves to minimize evaporation.

The elaboration of the Natural and Anthropogenic Cover (**Figure 3**), Hypsometry (**Figure 4**) and Slope (**Figure 5**) maps provided a general picture of the condition of the Alto Paraíba River Basin.

Figure 3 – Natural and Anthropogenic Cover Map.

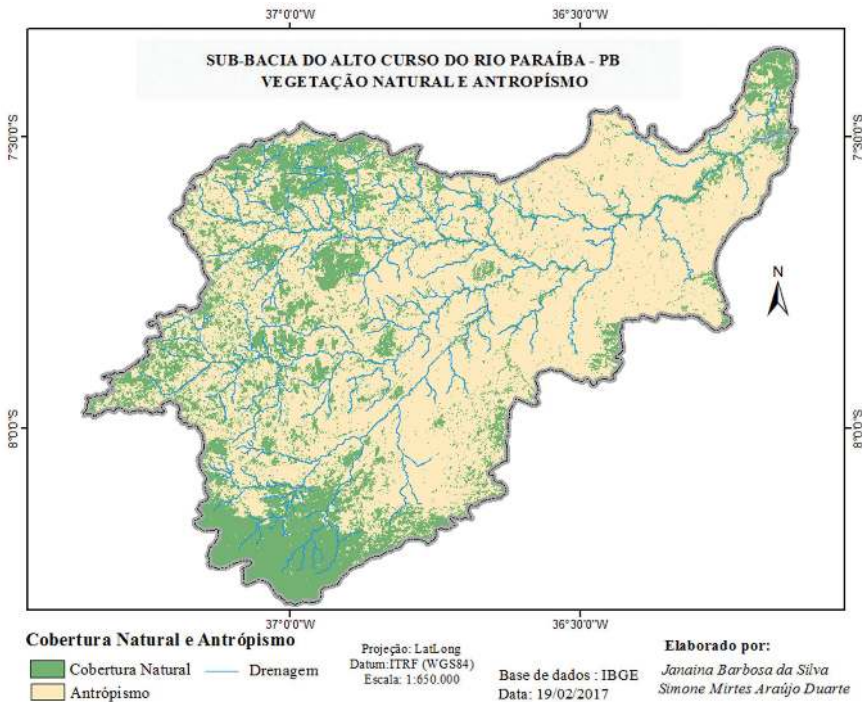


Figure 4 – Hypsometric Map

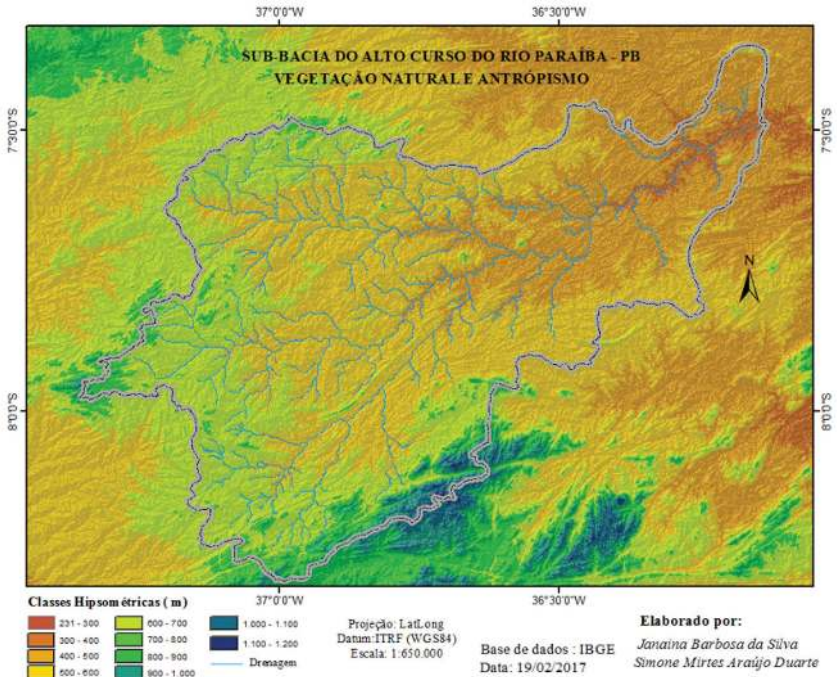
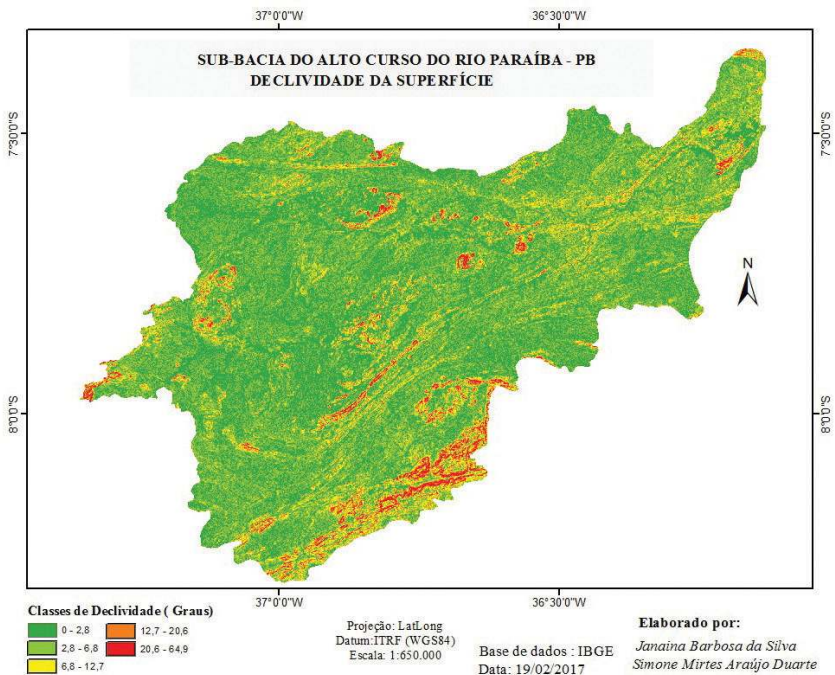


Figure 5 – Slope Map



The area is predominantly characterized by human modifications in the region situated between 170 to 600 meters, predominantly with a flat relief, and mainly in the margins of the waterways. This is due to intermittent agriculture, which is typical of environments with low rainfall and shallow soils, as is commonly the case in the areas of the Northeastern Sertão.

We thus identified that the main channel of the river and its tributaries present a bare surface, with isolated spots with vegetation. Consequently, in the normalization of occurrence of the rainy season, the soil is expected to be eroded from the surrounding areas into the riverbeds, triggering sedimentation processes with subsequent assoriment of the river channel (**Figure 6**).

Figure 6 – Margins of the Paraíba River in the municipality of Monteiro, PB.



Thus, we immediately notice the characterized disrespect by compliance with the Brazilian legislation, regarding the Forest Code, Act 12,651/12, which establishes intermittent or non-intermittent riverbank areas as Permanent Preservation Areas, with the aim of preventing soil degradation and silting. However, within the historical, social and economic conditions, it is known that this use is a common practice throughout the Northeastern territory¹.

As in the Alto Paraíba River Basin, the natural cover susceptible to anthropic activity also occurs in specific portions of other regions of Brazil, in particular from 700 to 1,200 meters of altitude and with a slope between 10.8 to 56.3 degrees. Due to naturally adverse issues, with high

slope and steep environments, these areas are inherently difficult for human occupation, particularly in shallow and stony soils, as illustrated by the picture of **Figure 7**.

Figure 7 – Environment of the Jabiatá Sierra – Monteiro, PB.



These factors are related to the lack of preservation, contrary to Article 10 of the Forest Code. In areas of high population density, such as in the Brazilian capitals of Recife and Rio de Janeiro, where there is a high population density in hills with slopes over 20° and in deep soils³.

In the analysis of vegetation cover and surface use, we identified six classes according to the order of predominance (**Figure 8**). Exposed Soil (38.96%), Semi-Sparse (32.17%), Sparse (19.68%), Semi-Dense (7.44%), Dense (1.55%), and, finally, Water (0.2%), respectively (**Table 2**).

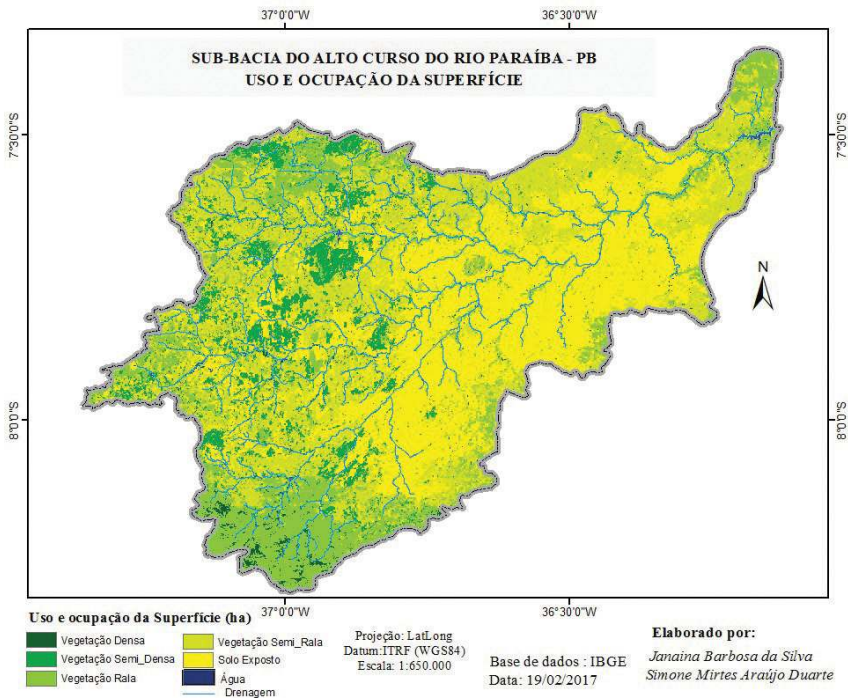
Table 2 – Classes identified for the High Paraíba Basis.

CLASSES	HECTARES (ha)	PERCENTAGE (%)
Dense Vegetation	10,601	1.55
Semi-Dense Vegetation	50,888	7.44
Sparse Vegetation	134,559	19.68
Semi-Sparse Vegetation	219,984	32.17
Exposed Soil	266,462	38.96
Water	1,396	0.20
Total	683,891	100.00

³ “*A Terra e o Homem no Nordeste*” by Manoel Correia de Andrade (1980), and “*Geografia da Fome*” by Josué de Castro (1946), are recommended readings.

The data in **Table 2** reveal a considerable extension of Exposed Soil. As a matter of fact, human activities based upon agriculture and livestock have been recently abandoned (**Figure 9**) in areas of dry reservoirs, because of the long drought. In response to the removal of this vegetation cover, sediments have been carried to the beds of the canals, causing loss of soil fertility, with the possibility of causing desertification of the area.

Figure 8 – Vegetation cover and surface use.



The study from Nascimento, Lima and Lima (2014) corroborates the above finding. They identified, in the period 1989-2000, a considerable transformation of the surface, with predominance of agriculture and livestock, with impacts on the degradation of Alto Paraíba.

In the Sparse and Semi-Sparse vegetation areas the soil is only partially covered. It is more strongly affected by wind and solar erosion and affected by sporadic and concentrated precipitation and by animal trampling. Thus, the soil ends up becoming compacted and eroded, with low fertility.

Figure 9 – Bare areas around artificial reservoirs.



According to Sampaio and Batista (2017), the degradation of human activity in the municipalities that compose the Alto Paraíba course is considerably low, as identified by socioeconomic data. Nevertheless, for the result of this research, the environmental assessments reflect a condition of fragility that may raise this value from low to medium.

In the city of Monteiro, PB, around Jabitacá Sierra, where the source of the Paraíba River is located, we observed the use of slopes for agricultural activities in the Semi-Sparse physiognomy (**Figure 10**). Araújo, Sampaio and Rodal (1995) stated that erosion is aggravated when this activity is carried out on slopes, by intensifying the water flow and leading in low harvest.

The typical Dense Caatinga Vegetation predominates in the tops of the sierras (**Figure 11**) or in cores near the rivers, often with presence of algarrobas – an exotic species. According to Alves (2009), the areas of “dense dry forest is called ‘good forest’, consisting of arboreal Caatinga that still retains its original features and, apparently, has not been previously felled”.

The Semi-Dense class occurs in pockets of native and exotic vegetation, which, besides being able to conserve the soil, serves as pasture for the extensive herds surviving in the area during the long drought.

Figure 10 – Semi-Sparse vegetation in Jabitiacá Sierra, PB.



Figure 11 – Dense vegetation in Jabitiacá Sierra, PB.



The Water class was difficult to identify, accounting only for about 1,400 hectares, or 0.20% of the area assessed (**Table 2**). These significantly low values are reflecting the dry period, enhanced by the last six years of drought. Regarding its location in the image, it is found in the

artificial reservoirs of Poçoões, Camalaú and Epitácio Pessoa (**Figure 12**), all of which operate with dead storage.

Figure 12 – Epitácio Pessoa Dam – Queimadas, PB.



4 CONCLUSIONS AND DISCUSSION

In this paper, we identified the following findings:

- Predominance of anthropogenic areas, to the detriment of natural vegetation;
- Less degraded areas are located at higher altimetric heights, with dense and semi-dense vegetation, whereas flat areas at lower heights are mostly composed of exposed soil and sparse and semi-sparse vegetation;
- The rivers are the most bare areas and the presence of water was insignificant considering the extension of the region, being restricted to artificial reservoirs, mainly because it is a semi-arid area and the drought is very long;

The results enable the scientific, civil and political communities to learn about the current conditions of this river basin, favoring extensive discussions about conservation and use, since it was identified that the presence or absence of water is a preponderant factor in the use of surface.

Because water is a determining factor for human presence and its activities, the implementation of the São Francisco River elevation and transfer, which will make perennial the stretch of the Alto Paraíba River, must be properly considered, as it may change the local reality. Multiple

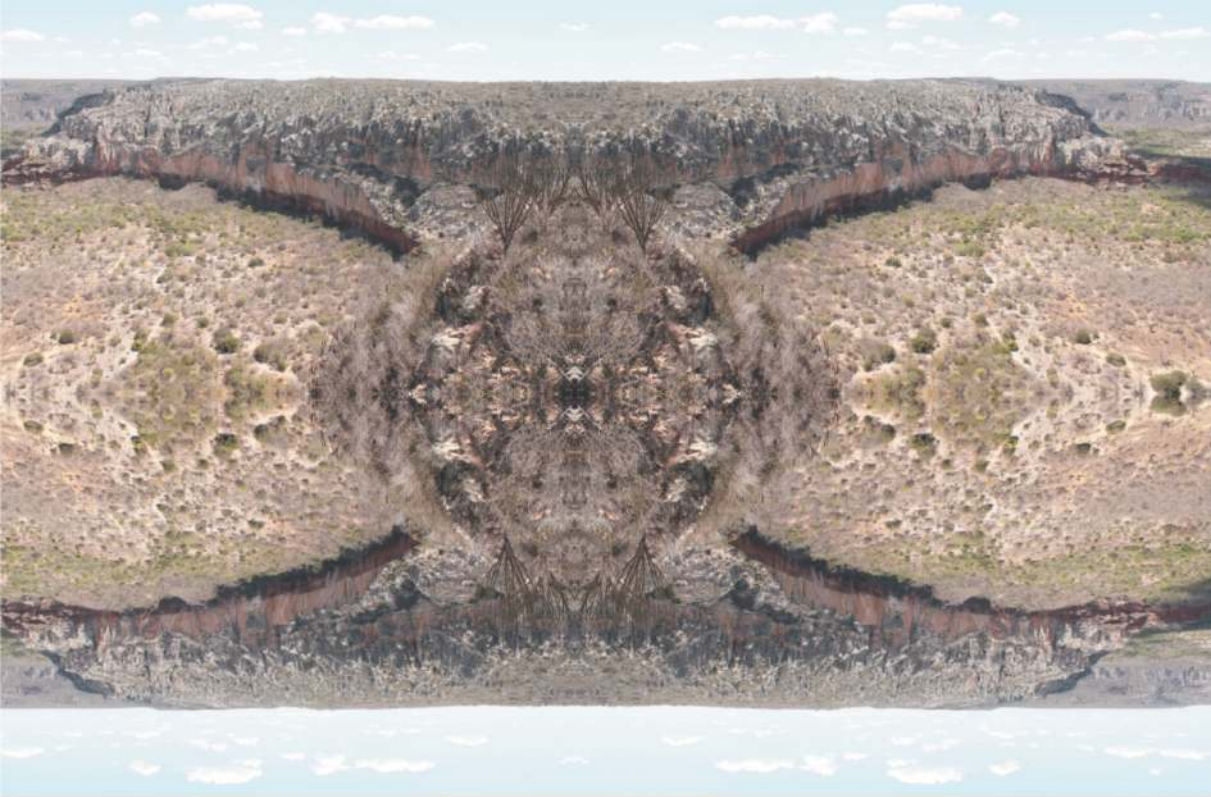
possibilities for the use of the surface will arise, due for already existent processes of degradation along the watercourses and loss of the natural vegetation. Once water is available, what will protect those pockets of native vegetation and steep areas? How will the preservation of the margins be carried out in accordance with the Brazilian Forest Code? Finally, how will this water change not only the landscape, but also the conditions of those who have always resisted long periods of drought?

REFERENCES


- AESA. *Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba*. Retrieved: 2/26/2017. Available at: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo= listarMesesChuvasMensais>.
- ALVES, José Jakson Amâncio. Caatinga do cariri paraibano. *Geonomos*, vol. 17, n. 1, p. 19-25, 2009.
- ARAÚJO, E. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Composição florística e fitossociologia de três áreas de caatinga de Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 55, n. 4, p. 595-607, 1995.
- CÂMARA, Gilberto. *Anatomia de sistemas de informação geográfica*. UNICAMP-Instituto de Computação, 1996.
- DE CASTRO, Josué. *Geografia da fome*. Casa do Estudante do Brasil, 1952.
- DE OLIVEIRA ANDRADE, Manoel Corrêa. *A Terra e o Homem no Nordeste*. 4. ed. Livraria Editora Ciências Humanas. 1980.
- FREITAS, Gilberto de; CASTRO, Carla S. «Percepção socioambiental (...) em relação ao rio Paraíba». *Educação Ambiental em Ação*, 2012. Retrieved: August 26, 2014.
- INPE-CPETEC. *Instituto Nacional de Pesquisas Sociais*. Retrieved: 2/26/2017. Available at: <http://enos.cptec.inpe.br/>
- LUCENA, Rebecca Luna; PACHECO, Christina. *O Cariri paraibano – aspectos geomorfológicos, climáticos e de vegetação*. UFPB, João Pessoa, PB, Brasil, 2017. Available at: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgMq8AC/cariri-paraibano-aspectos-geomorfologicos-climaticos-vegetacao>. Retrieved 3/18/2017.
- MMA-BRASIL. *Monitoramento dos Biomas Brasileiros – Bioma Caatinga*. Portalbio, 2010.
- NASCIMENTO, Sebastiana Santos; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana; LIMA, Priscila Pereira Souza. Análise Temporal Da Degradação Da Caatinga Na Sub-Bacia Do Alto Paraíba. *Okara: Geografia em Debate*. Vol. 8, n. 1, 2014.
- ROSA, Roberto; BRITO, Jorge Luiz Silva. Introdução *ao geoprocessamento: sistema de informação geográfica*. Uberlândia: EDUFU, 1996. 104 p.

SAMPAIO, Yoni; BATISTA, José Edmilson Mazza. ***Desenvolvimento regional e pressões antrópicas no bioma Caatinga***, 2017. http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/parte4_2caa.pdf. Retrieved: 2/20/2017.

SANTOS, A. R. et al. Projeto Estudo de Rochas Intrusivas. ***São José dos Campos, INPE***, 1982.



Centre d'Etudes Spatiales de la **BIO**sphère
TOULOUSE - FRANÇA

 Fundação
Joaquim Nabuco

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO



ISSN 0304-2685



770304 268000

