

José Gerardo Beserra de Oliveira
Marta Celina Linhares Sales

Monitoramento da desertificação em Irauçuba



Monitoramento da Desertificação em Irauçuba

Presidente da República
Dilma Vana Rousseff

Ministro da Educação
Aloízio Mercadante

Universidade Federal do Ceará - UFC

Reitor
Henry de Holanda Campos

Vice-Reitor
Custódio Luiz Silva de almeida

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação
Prof. Antônio Gomes de Souza Filho

Pró-Reitora de Administração
Profª. Denise Maria Moreira Chagas Corrêa

Imprensa Universitária
Diretor
Joaquim Melo de Albuquerque

Editora UFC
Diretor e Editor
Prof. Antonio Cláudio Lima Guimarães

Conselho Editorial
Presidente
Prof. Antonio Cláudio Lima Guimarães

Conselheiros
Profª. Angela Maria R. Mota Gutiérrez
Prof. Ítalo Gurgel
Prof. José Edmar da Silva Ribeiro

**José Gerardo Beserra de Oliveira
Marta Celina Linhares Sales**

Monitoramento da Desertificação em Irauçuba



Fortaleza
2015

Monitoramento da desertificação em Irauçuba

Copyright © 2015 by José Gerardo Beserra de Oliveira e Marta Celina Linhares Sales

Todos os direitos reservados

IMPRESSO NO BRASIL / PRINTED IN BRAZIL

Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC)
Av. da Universidade, 2932, fundos – Benfica – Fortaleza – Ceará

Coordenação Editorial

Ivanaldo Maciel de Lima

Revisão de Texto

Adriano Santiago

Normalização Bibliográfica

Marilzete Melo Nascimento

Programação Visual

Sandro Vasconcellos / Thiago Nogueira

Diagramação

Victor Alencar

Capa

Heron Cruz

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Bibliotecária Marilzete Melo Nascimento CRB 3/1135

M744

Monitoramento da desertificação em Irauçuba / José Gerardo Beserra de Oliveira,
Marta Celina Linhares Sales (Organizadores) - Fortaleza: Imprensa
Universitária, 2015.
372 p. : il. ; 21 cm. (Estudos da Pós-Graduação)

ISBN: 978-85-7485-234-8

1. Desertificação. 2. Degradação ambiental. 3. Meio ambiente. I. Oliveira, José
Gerardo Beserra de, org. II. Sales, Marta Celina Linhares, org. III. Título.

CDD 333.73

AGRADECIMENTOS

Ao longo dos últimos doze anos muitas ações foram engendradas para o desenvolvimento das pesquisas em Irauçuba, as quais não seriam possíveis sem a contribuição de inúmeras pessoas e instituições. Mesmo correndo o risco de alguns esquecimentos, a Coordenação e os pesquisadores do Projeto Irauçuba desejam expressar seu agradecimento:

Aos atuais e ex-proprietários das fazendas Aroeira, Formigueiro, Cacimba Salgada e Vila Mimosa por nos terem permitido instalar em suas propriedades nossas áreas experimentais;

Ao Chico Nel, pela dedicação com que tem cuidado, ao longo de todos esse anos, de nossas áreas experimentais;

Aos principais financiadores da pesquisa, o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à Funcap (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro;

Ao deputado Lula Morais, pelo apoio financeiro concedido ao projeto através de Emenda Parlamentar ao Orçamento do Estado do Ceará;

À FCPC (Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura), pelo competente gerenciamento dos recursos do Projeto e apoio concedido para publicação deste livro;

Ao professor Edson de Paula Nunes e aos técnicos Adalberto Carvalho e Elydyr Trigueiro (à época, lotados no Herbário Prisco Bezerra da Universidade Federal do Ceará), pela catalogação e identificação do material botânico;

Aos estudantes de graduação e pós-graduação, muitos deles hoje já colegas nossos de profissão que, ao longo desses anos, participaram na análise da vegetação realizada nas áreas experimentais: Marcelo Folhes, Claudia Saboia Aquino, Everton Torres Melo, Marcelo de Oliveira Moura, Ana Cristina Muniz, Gledson Magalhães, Lisandro Gomes, Mario Filho, Paula Tomaz;

Aos colegas e amigos do INSTITUTO CACTOS, de Irauçuba, pelo apoio que nos têm concedido;

Enfim, a todos que nos ajudaram na consecução desses trabalhos, na expectativa de novamente trabalharmos juntos na continuação das pesquisas.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	11
Introdução	11
IMPACTOS E MITIGAÇÃO DO ANTROPISSMO NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA - CE.....	21
Introdução	21
Caracterização do meio físico.....	22
Recuperação ecológica e econômica das áreas degradadas....	31
Considerações finais e recomendações	42
Referências Bibliográficas	43
SOLOS PREDOMINANTES EM ÁREAS DE EXPERIMENTAÇÃO (EXCLUSÃO) DO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA - CE.....	47
Introdução	47
Procedimentos Metodológicos e Operacionais	49
Referências Bibliográficas	64
POTENCIAL DE EROSÃO DAS TERRAS NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA ESTIMADA POR MEIO DOS PARÂMETROS DA EUPS	65
Introdução	65
Características dos solos de Irauçuba	67
Erosividade das chuvas.....	68
Referências Bibliográficas	82
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, MICROMORFOLÓGICAS E MINERALÓGICAS DE TRÊS TOPOSEQUÊNCIAS NO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA - CE E SUAS RELAÇÕES COM A DESERTIFICAÇÃO.....	87
Introdução	87
Análise estrutural da cobertura pedológica	92
Análise das variáveis ambientais	94
Resultados.....	95
Sistema de Solos Litodependentes.....	105
Discussão e Considerações Finais	120
Referências Bibliográficas	125

SUSCETIBILIDADE GEOAMBIENTAL DAS TERRAS SECAS DA MICRORREGIÃO DE SOBRAL - CE	
À DESERTIFICAÇÃO	127
Introdução	127
Resultados.....	131
Conclusões.....	136
Referências Bibliográficas	137
BANCO DE SEMENTES NO SOLO EM UMA ÁREA DE CAATINGA EM REGENERAÇÃO, NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA - CE	141
Introdução	141
Delimitação das áreas de estudo.....	144
Análise do banco de sementes	151
Resultados.....	152
Discussão	157
Considerações Finais.....	160
Referências Bibliográficas	160
EFETO DO SOBREPASTEJO E DA EXCLUSÃO DE ANIMAIS EM SOLOS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO CEARENSE	165
Introdução	165
A Área de Estudo.....	167
Resultados e Discussão	170
Conclusões.....	182
Referências Bibliográficas	182
APLICAÇÃO DE TORTAS OLEAGINOSAS NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DE UM SOLO DEGRADADO DE IRAUÇUBA - CE	187
Introdução	187
Resultados e Discussão	191
Conclusões.....	200
Referências Bibliográficas	201
ESCOAMENTO SUPERFICIAL, PERDA DE SOLO E NUTRIENTES NUMA ENCOSTA SEMIÁRIDA DEGRADADA COM DEZ ANOS DE POUSIO	205
Introdução	205
Resultados e Discussão	211

Conclusão	223
Referências Bibliográficas	224
DIAGNÓSTICO DE ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS	
DA MICROBACIA DO AÇUDE DO	
ARRIBITA – FORQUILHA - CE.....	231
Introdução	231
Resultados e Discussões.....	248
Levantamento de Aspectos Socioeconômicos	257
Considerações Finais.....	262
Referências Bibliográficas	265
ATIVIDADE BIOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO DE	
ESTIRPES RIZOBIANAS DE FEIJÃO-CAUPI ISOLADAS	
DE SOLO DO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA - CE	269
Introdução	269
Revisão de Literatura	271
Resultados e Discussão	285
Conclusões.....	293
Referências Bibliográficas	293
APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR	
DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA ANÁLISE	
DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA MICROBACIA	
HIDROGRÁFICA DO RIACHO DOS CAVALOS,	
CRATEÚS - CE.....	299
Introdução	299
Resultados e Discussões.....	306
Considerações Finais.....	308
Referências Bibliográficas	308
AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSCETIBILIDADE	
GEOAMBIENTAL NATURAL (ISGND) E SUSCETIBILIDADE	
GEOAMBIENTAL NATURAL ANTRÓPICA À DEGRADAÇÃO	
(ISGNAD) EM MUNICÍPIOS DO MÉDIO/BAIXO VALES	
DO RIO JAGUARIBE - CE.....	311
Introdução	311
Considerações Finais.....	331
Referências Bibliográficas	333

ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO/ DESERTIFICAÇÃO NA BACIA DO RIACHO FEITICEIRO, NO MUNICÍPIO DE JAGUARIBE - CE.....	337
Introdução	337
Resultados e Discussão	341
Considerações Finais.....	349
Referências Bibliográficas	351
ÁREAS DE INTERESSE PRIORITÁRIO NO ESTADO DO PIAUÍ PARA CONDUÇÃO DE ESTUDOS DE DESERTIFICAÇÃO.....	353
Panorama da Desertificação	353
Resultados.....	361
Conclusões.....	365
Referências Bibliográficas	366

APRESENTAÇÃO

José Gerardo Beserra de Oliveira

Marta Celina Linhares Sales

Introdução

O primeiro capítulo deste livro se constitui num artigo de autoria dos pesquisadores João Ambrósio de Araújo Filho e Nilzemary Lima da Silva, que situam a desertificação no município de Irauçuba em relação aos impactos causados pelo antropismo no manejo da terra. O segundo capítulo, de autoria dos pesquisadores Vládia Pinto Vidal de Oliveira e Marcos José Nogueira de Souza, consta da descrição e caracterização dos solos encontrados nas áreas experimentais do Projeto, em Irauçuba, os quais são um dos objetos da degradação causada pelo antropismo. Nos treze capítulos finais do livro são apresentados resultados das pesquisas conduzidas nos doze primeiros anos de execução do Projeto Irauçuba, ou seja, de duas teses de doutorado, dez dissertações de mestrado e uma monografia de graduação.

O Projeto Irauçuba foi concebido no ano de 1999 por um grupo de professores da Universidade Federal do Ceará (UFC), vinculados ao seu Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Prodema), e da Universidade Federal do Piauí (UFPI), participantes de seu Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste (Tropen) que, para atender a chamada do edital do Programa Nordeste de Pós-Graduação (PNEPG) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) apresentou a este

Conselho um projeto de pesquisa encaminhado ao CNPq através do processo nº CNPq 521213/98-3 – Estudo da Degradação/Desertificação em Sistemas de Produção no Semiárido Nordestino, nos estados do Ceará e do Piauí, vigente de 1º/9/1999 a 31/3/2002.

Este projeto de pesquisa foi estruturado buscando atender aos requisitos básicos expressos no edital do PNEPG, descritos na sequência.

1º) Associação entre duas universidades do Nordeste, uma mais antiga, a Universidade Federal do Ceará (UFC) e outra mais recente, a Universidade Federal do Piauí (UFPI).

2º) Tratar a pesquisa de um tema relevante para o Nordeste, escolha que recaiu no estudo da desertificação, cuja importância para a região pode ser depreendida dos trabalhos de Rodrigues (1987, 1992), Sales (1997) e Soares et al. (1995).

3º) Buscar a formação de pessoal.

A continuidade da pesquisa foi garantida ao longo dos 12 anos, decorridos desde 2000, com suporte financeiro dos projetos listados a seguir.

Processo Funcap 094/02 – Estudo da degradação/desertificação em sistemas de produção no semiárido cearense: o caso de Irauçuba, vigente de 11/9/2002 a 30/12/2004.

Processo CNPq 50.3326/03-8 – Estudo da degradação/desertificação e suas implicações sobre o balanço hídrico em sistemas de produção no semiárido cearense: o caso da microrregião de Sobral/Ceará, vigente de 12/7/2004 a 12/1/2007.

Processo CNPq 472080/2006-7 – Estudo da degradação/desertificação e suas implicações com o uso da terra em sistemas de produção no semiárido cearense: o caso da microrregião de Sobral/Ceará, vigente de 07/2006 a 08/2008.

Processo FCPC/Funcap 06/08 – Estudo da degradação/desertificação e suas implicações com o uso da terra em sistemas de produção no semiárido cearense: o caso do Núcleo de Desertificação de Irauçuba/Ceará (Emenda Parlamentar do deputado estadual Lula Morais), vigente de 09/2008 a 07/2010.

Com a pesquisa proposta, objetivou-se sempre o estudo de sistemas de produção em ecossistemas dos semiáridos cearense e piauiense, para:

a) estimativa da suscetibilidade geoambiental à desertificação das terras secas dos estados do Ceará e do Piauí;

b) identificar processos, intensidade e causas de ordens física e biológica da degradação/desertificação sob os atuais sistemas de produção e de mudanças na sua biodiversidade e ambiente físico, como base para deter esses processos e implantação de estratégias de recuperação das áreas degradadas, conduzindo esses estudos:

b1) em áreas abertas submetidas às práticas da agricultura e da pecuária sob os atuais sistemas de manejo da terra;

b2) em áreas cercadas, isoladas, protegidas de qualquer tipo de uso das práticas de manejo da terra;

c) formação de pessoal.

Em Irauçuba os estudos foram conduzidos em áreas-piloto localizadas nos tipos de terra mais representativos e de aspecto mais degradado do município, tendo-se por base sua estratificação nas associações de solo descritas por Jacomine (1973). Em cada área-piloto foram montados dois conjuntos de amostragem, constituídos por exclusões e áreas externas, cuja localização está indicada na Figura 1. As áreas-piloto são constituídas por exclusões, áreas de 0,25 hectare, protegidas do uso por meio de cerca com nove fios de arame farrapado e com estacas a cada metro, e por áreas externas não cercadas. Nestas e nas exclusões, foram demarcados quadrados permanentes, medindo 10m de lado e destinados à localização dos processos de amostragem nos estudos específicos (Figura 2).

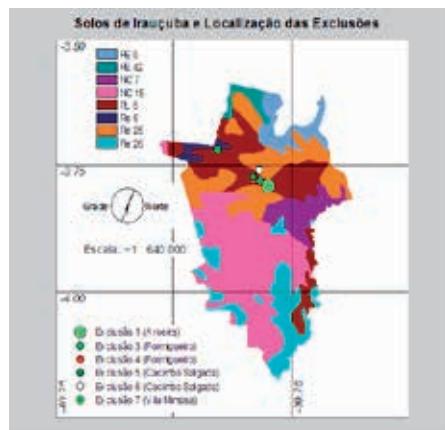


Figura 1 – Localização das exclusões

Fonte: Elaborada pelos autores.

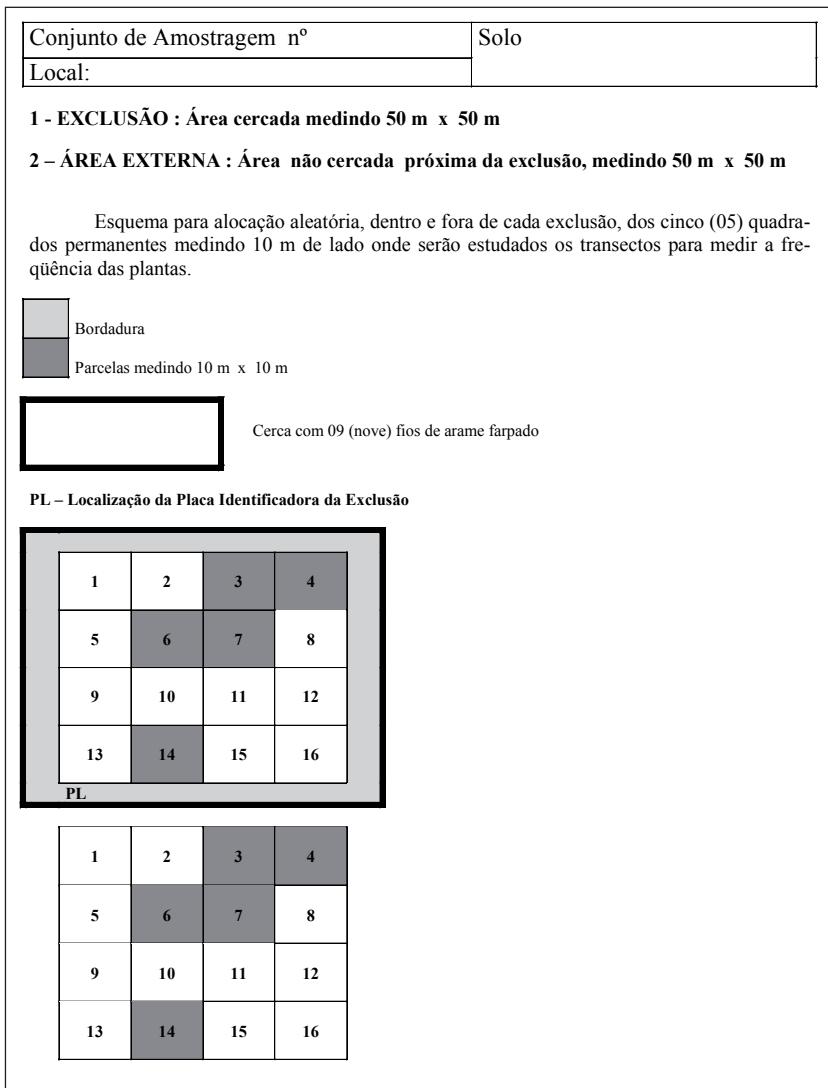


Figura 2 – Esquema dos conjuntos de amostragem
Fonte: Elaborada pelos autores.

Nos conjuntos de amostragem, são conduzidas as pesquisas em Irauçuba que buscam identificar processos, intensidade e causas de ordens física e biológica da degradação/desertificação sob os atuais sistemas de

produção e de mudanças na sua biodiversidade e ambiente físico. Estes estudos são realizados comparando-se os resultados obtidos nas áreas abertas submetidas às práticas da agricultura e da pecuária sob os atuais sistemas de manejo da terra com os das áreas cercadas, isoladas, protegidas de qualquer tipo de uso das práticas de manejo da terra, empregando-se, em cada um deles, a metodologia que lhe é específica.

Integradas ao projeto, foram conduzidas pesquisas fora da região de Irauçuba, em outras regiões semiáridas dos estados do Ceará e do Piauí, tendo-se sempre em vista seus objetivos fundamentais.

Resultados

Com os recursos financeiros alocados no projeto e para alcançar os objetivos propostos foram desenvolvidas, em Irauçuba, as duas teses de doutorado, as seis dissertações de mestrado e a monografia de graduação e, em outras regiões semiáridas dos estados do Ceará e do Piauí, as quatro dissertações listadas a seguir. As teses de doutorado foram apresentadas à Universidade de São Paulo e à Universidade Estadual Paulista, em Rio Claro; as dissertações de mestrado, 7 (sete) delas ao Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Prodema), 2 (duas) ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas e 1 (uma) ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, todos da Universidade Federal do Ceará; e a monografia de graduação ao Curso de Graduação em Agronomia desta Universidade.

Em Irauçuba

Estudos climáticos, morfopedológicos e fitoecológicos no Núcleo de Desertificação de Irauçuba - CE – tese de doutorado de Marta Celina Linhares Sales, em 2003.

Caracterização morfológica, micromorfológica e mineralógica de três topossequências no município de Irauçuba - CE e suas relações com o processo de desertificação – tese de doutorado de Jacqueline Pires Gonçalves Lustosa, em 2003.

Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral (Ceará) à desertificação – dissertação de mestrado de Tânia Maria Serra de Jesus Nolêto, em 2005.

Banco de sementes no solo em uma área de caatinga em regeneração, no Núcleo de Desertificação de Irauçuba - CE – dissertação de mestrado de Carla Daniela Sales Pessoa, em 2008.

Recuperação de solos de áreas degradadas em processo de desertificação devido a atividades agropastoris no nordeste brasileiro: o caso de Irauçuba – dissertação de mestrado de Francélio Pereira de Sousa, em 2009.

Estudo sobre as alterações na microbiota de solos de áreas manejadas ou não no Núcleo de Desertificação de Irauçuba - CE – dissertação de mestrado de Luíza Souza da Cunha Filha, em 2011.

Impacto da recuperação de área desertificada sobre a produção de água e sedimentos em ambiente semiárido – dissertação de mestrado de Cícero Lima de Almeida, em 2011.

Diagnóstico de aspectos socioambientais da microbacia do açude do Arribita/ Forquilha - CE – dissertação de mestrado de Déborah de Andrade Aragão, em 2011.

Atividade biológica e caracterização de estirpes rizobianas de feijão-caupi isoladas de solo do município de Irauçuba - CE – monografia de graduação de Ewerton Matos Costa, em 2013.

Em outras regiões semiáridas dos estados do Ceará e do Piauí

Estudo da suscetibilidade geoambiental à desertificação das terras secas do estado do Piauí – dissertação de mestrado de Cláudia Maria Sabóia de Aquino, em 2002.

Diagnóstico físico conservacionista da microbacia do riacho dos Cavalos – Crateús-Ceará – dissertação de mestrado de Ewerton Torres Melo, em 2008.

Condicionantes naturais e socioeconômicos da desertificação nos trechos médio e baixo do vale do rio Jaguaribe no estado do Ceará – dissertação de mestrado de Ana Cristina Fernandes Muniz, em 2009.

Processo de degradação/desertificação na bacia do riacho Feiticeiro, município de Jaguaribe – Ceará – dissertação de mestrado de Renata Aline Bezerra Pinheiro, em 2010.

Divulgação dos Resultados das Pesquisas do Projeto
Trabalhos publicados

LUSTOSA, J. P. G. Caracterização morfológica, micromorfológica e mineralógica de três topossequências no município de Irauçuba/CE e suas relações com os processos de desertificação. In: SEMINÁRIO DE ECOLOGIA NA UVA, Sobral, 2005.

LUSTOSA, J. P. G.; OLIVEIRA, J. G. B; NASCIMENTO, N. R. S. Aplicação da micropedologia nos estudos sobre os processos de desertificação em Irauçuba - CE (resumo expandido). In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57., 2005, Fortaleza: UECE/SBPC, 2005a.

LUSTOSA, J. P. G. et al. Análise estrutural da cobertura pedológica aplicada ao estudo em Irauçuba – CE. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA. 2005. Fortaleza: SBMET/Funceme, 2005b. Meio Digital: 15 p.

LUSTOSA, J. P. G. et al. Relação entre cobertura vegetal e tipos de solo no município de Irauçuba - CE. In: SIMPÓSIO DESENVOLVIMENTO DO TRÓPICO ECOTONAL DO NORDESTE, 2., 2006. Biodiversidade e desenvolvimento sustentável, Teresina, 2006. Meio Digital: 10 p.

NOLÉTO, T. M. S. J. *Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral/CE à desertificação*. In: SEMINÁRIO DE ECOLOGIA DA UVA, Sobral, 2005b.

NOLÉTO, T. M. S. J.; OLIVEIRA J. G. B. Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral à desertificação. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA. Fortaleza: SBMET/Funceme, 2005a. Meio Digital: 15 p.

NOLÉTO, T. M. S. J.; OLIVEIRA, J. G. B. Suscetibilidade climática das terras secas da microrregião de Sobral à desertificação (Resumo expandido). In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57., 2005, Fortaleza: SBMET/Funceme, 2005b.

OLIVEIRA, J. G. B. Estudo comparativo ao longo do tempo entre vegetação em áreas protegidas e não protegidas de pastejo em sistema de produção no município de Irauçuba. In: SEMINÁRIO DE ECOLOGIA NA UVA, Sobral, 2005.

OLIVEIRA, V. P. V. *Classificação dos solos das exclusões e descrição, coleta e análise dos seus perfis dos solos* (Dados não publicados). [200-?].

SALES, M. C. L. Estudos hidroclimáticos e morfopedológicos do núcleo de desertificação de Irauçuba/CE. In: SEMINÁRIO DE ECOLOGIA NA UVA, Sobral, 2005.

SALES, M. C. L; OLIVEIRA, J. G. B. Monitoramento da recuperação da vegetação e solos no núcleo de desertificação de Irauçuba/CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2005.

*Trabalhos apresentados no Seminário Irauçubense de Combate de Desertificação - Irauçuba/CE,
25 e 26 de junho de 2009.*

Painéis

PESSOA, C. D. S.; ARAÚJO, F. S.; OLIVEIRA, J. G. B. *Banco de sementes no solo em uma área de caatinga em regeneração*. Núcleo de Desertificação de Irauçuba, Ceará, Fortaleza.

SOUZA, F. P.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. *Efeito do sobrepastejo e exclusão de animais sobre propriedades do solo em áreas degradadas em processo de desertificação no semiárido cearense*. Fortaleza, [200-?].

SOUZA, F. P.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. *Comportamento do carbono e nitrogênio em solos degradados de áreas em processo de desertificação no semiárido brasileiro*. Fortaleza, [200-?].

LUSTOSA, J. P. G.; OLIVEIRA, J. G. B. *Análise estrutural da cobertura pedológica aplicada aos estudos de desertificação em Irauçuba - CE*. Fortaleza, [200-?].

MENDES FILHO, P. F. et al. *Estudos preliminares sobre as alterações na microbiota de solos de áreas manejadas ou não no município de Irauçuba - CE*. Fortaleza, [200-?].

NOLÉTO, T. M. S. J.; OLIVEIRA, J. G. B. *Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral/CE à desertificação*. Fortaleza, [200-?].

Palestras

OLIVEIRA, J. G. B. Palestra em reunião plenária sob o tema: *Desertificação em Irauçuba*. Fortaleza.

Participação em audiência pública da Assembleia Legislativa do Estado do Ceará.

OLIVEIRA, J. G. B. Palestra em reunião plenária sob o tema: *Desertificação em Irauçuba*. Fortaleza.

Referências Bibliográficas

JACOMINE, P. T. K. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará*. Recife: DRN, v. 1-2, 1973. (Boletim Técnico n. 28).

RODRIGUES, V. Desertificação: as relações entre suas causas e as atividades humanas. *Interciênciam*, Caracas, v. 12, n. 2, p. 63-69, mar./abr., 1987.

RODRIGUES, V. et al. *Avaliação do quadro da desertificação no Nordeste*: diagnóstico e perspectivas. Fortaleza: ICID, 1992.

RODRIGUES, W. A. L. et al. A desertificação no nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectiva. In: GOMES, G. M.; SOUZA, H. R.; MAGALHÃES, A. R. *Desenvolvimento sustentável no Nordeste*. Brasília: IPEA, 1995.

SALES, M. C. L. *Estudo da degradação ambiental em Gilbués – PI: reavaliando o núcleo de desertificação*. 1997. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997

SOARES, A. M. L. et al. Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Ceará. In: GOMES, G. M.; SOUZA, H. R.; MAGALHÃES, A. R. *Desenvolvimento sustentável no Nordeste*. Brasília: IPEA, 1995.

IMPACTOS E MITIGAÇÃO DO ANTROPISSMO NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA - CE

*João Ambrósio de Araújo Filho
Nilzemary Lima da Silva*

Introdução

O estado do Ceará apresenta acima de 80% de seu território enquadrado no semiárido brasileiro. Neste estado, são identificadas três áreas susceptíveis à desertificação: Irauçuba com 9.706,42km², no Sertão Norte; Jaguaribe, no Sertão do Médio Jaguaribe, com 8.422,77 km² e Tauá, no Sertão dos Inhamuns, com 8.303,46km² (CEARÁ, 2010).

O núcleo de Irauçuba apresenta evidências da susceptibilidade à desertificação, destacando-se: a destruição desordenada da cobertura vegetal, a erosão laminar acentuada, o assoreamento dos rios e barragens, o sobrepastejo, o empobrecimento da biodiversidade, a caça predatória, o descompasso entre a exploração dos recursos naturais e sua capacidade de recuperação e o consequente aumento da vulnerabilidade da capacidade produtiva dos recursos naturais em ambientes progressivamente degradados (CEARÁ, 2010).

O núcleo de desertificação de Irauçuba situa-se na região do sertão norte do Ceará, a 150 km ao norte de Fortaleza, a sota-vento

da serra da Uruburetama, tendo como centro a cidade Irauçuba. Este município comprehende uma área de, aproximadamente, 1.461km², ou 146.100 ha, e população humana de 22.347, resultando em uma densidade de 22,3hab/km².

Historicamente, a região tem na pecuária a mais importante atividade, dentro de um sistema de transumância, servindo de estação na época das chuvas para os rebanhos criados na região litorânea. Isto porque apresenta extensas áreas recobertas por planossolos sob uma caatinga do tipo savana com cobertura herbácea de excelente potencial forrageiro. Considerando a ocupação da área municipal, 12,4% são usados para a produção agrícola, a pecuária ocupa 67,1% e os restantes 20,5% são recobertos de matas. Confrontando os dados da distribuição dos solos e de sua ocupação, vê-se que a pecuária é praticada em toda a extensão dos planossolos e dos luvissolos, a agricultura ocupa pequena parcela do luvissolo e dos solos litólicos e a extração de madeira parte dos litólicos e dos luvissolos.

O rebanho do município é composto de 23.101 bovinos, 3.895 caprinos e 22.206 ovinos. Todavia, o número de bovinos aumenta substancialmente na época das chuvas, devido à transumância. De suas matas são extraídos anualmente até 12.566,7 esteres de madeira, parte da qual é utilizada para produção de carvão. Em termos econômicos, do valor total da produção agropecuária do município, a lavoura contribui com 21,3%, a pecuária com 78,7%, sendo aparentemente insignificante a contribuição da produção de lenha.

Caracterização do meio físico

Em termos geológicos, o núcleo está assentado na província do Escudo Oriental Nordeste, na subprovíncia Nordeste, onde predominam rochas cristalinas, tais como granitos e xistos, com os aquíferos formados a partir de fissuras e diâclases e apresenta um potencial hidrogeológico muito fraco (de 1.000 a 3.000 l/hora), relacionado com as condições limitantes de circulação da água que, sob um clima semi-árido, acarretam elevadas taxas de salinidade. Poços artesianos perfurados na área apresentam baixa vazão (no máximo 3.000 l/h) e a pouca

água obtida é geralmente salobra, necessitando de um filtro especial para se tornar potável.

No município de Irauçuba, três tipos de solos se destacam: luvisolos, com 43,2% de cobertura; planossolos, com 18,7%; e litólicos, com 33,2%. Juntos eles perfazem 95,1% da área do município. Pode-se afirmar que as atividades de lavoura se concentram nos luvisolos e nos litólicos, enquanto que as de pecuária, nos planossolos e nos luvisolos. Para os planossolos o relevo varia de plano a suave-ondulado (de 1 a 8%), os argissolos e os luvisolos apresentam-se em relevo de suave-ondulado a ondulado (de 8 a 20%) e os litólicos estão em relevo forte-ondulado (de 20 a 45%).



Figura 1– Barreiro da salvação em Irauçuba

Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2003.

O clima na área do núcleo de Irauçuba é, conforme classificação de Köppen, do tipo Bshw', semiárido, megatérmico, com curta estação chuvosa no verão-outono, com concentração das precipitações pluviais nos meses de março e abril. A região apresenta um dos mais baixos índices pluviométricos do estado do Ceará, com média histórica de 540,0mm. Isto porque a área encontra-se a sota-vento da serra de Uruburetama, constituindo-se em uma “sombra de chuva”, causada pela interceptação da serra e dos ventos úmidos oriundos do oceano. Aparentemente, o efeito citado reduz ainda mais a pluviosidade nos anos de seca verde. Nestes anos, o total anual de precipitações pluviais alcança, em geral, de 50 a 60% da média histórica. Já os dados disponíveis

sobre Irauçuba dão conta de que o total anual nos anos de seca alcança somente de 30 a 40% da média histórica.

O núcleo de Irauçuba está situado na bacia hidrográfica do rio Curu onde se encontram os rios Aracatiaçu e Caxitoré e vários riachos, destacando-se o Aroeira, o Gabriel e o Cachoeira. Existem, no município, cerca de 28 pequenos açudes, nomeando-se o Nogueira Ramos, o Cairu, o Santo Antônio do Aracatiaçu e o Jerimum, que abastece a cidade de Irauçuba. Uma estrutura muito comum no município é o barreiro da salvação, constituindo-se em um sistema temporário de armazenamento de água para atender a demanda dos rebanhos durante boa parte da estação seca (Figura 1).

Flora

A vegetação da área do núcleo de desertificação de Irauçuba espelha os efeitos dos fatores físicos, mormente os de natureza hídrica e edáfica e da ação antrópica. Assim, as áreas dos solos argissolos, litólicos e luvissolos apresentam uma cobertura arbustiva-arbórea, formando um verdadeiro mosaico de diferentes estádios sucessionais, em virtude das práticas agrícolas ambientalmente agressivas. Vastas áreas estão recobertas por um disclímax, predominadas pelo marmeiro (*Croton sonderianus*), nas melhores manchas de solo, e pela jurema preta (*Mimosa tenuiflora*), nas áreas com restrições edáficas, principalmente fertilidade e drenagem. O componente arbustivo arbóreo é predominado pelo pau branco (*Auxemma oncocalyx*), catingueira (*Caesalpinia bracteosa*), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), imburana (*Commiphora leptophloeos*), marmeiro (*Croton sonderianus*), jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e pinhão (*Jatropha mollissima*). No estrato herbáceo, em que já foram identificadas até 45 espécies compõe a dieta de ovinos, destacam-se a milhã branca (*Urochloa plantaginea*), capim mimoso (*Antheprora hermaphrodita*), capim panasco (*Aristida adscencionis*), capim barba de bode (*Cyperus compressus*), quebra panela (*Alternanthera sp*), cabeça branca (*Telanthera sp*), vassourinha de botão (*Borreria verticillata*), cunhãzinha (*Centrosema brasiliatum*) e mata pasto (*Senna tora*).

As áreas sobre os planossolos estão recobertas por uma caatinga assavanada e, esporadicamente, com afloramentos rochosos e com cobertura arbustiva arbórea média abaixo de 20% e densidade de cerca de 200 plantas/ha. Pau branco, catingueira, jurema preta e mofumbo (*Combretum leprosum*) perfazem o estrato lenhoso. A camada herbácea de biodiversidade inferior ao das áreas de luvissolos ou argissolos é rica, no entanto, em espécies forrageiras, destacando-se a erva de ovelha (*Stylosanthes humilis*), a vassourinha (*Stylosanthes angustifolia*), a urinana (*Zornia bracteata*) e o capim açu (*Paspalum milegrana*). O capim panasco, no entanto, predomina nas áreas sobrepastejadas.

Fauna

Como ocorre em toda região do semiárido nordestino, a fauna encontra-se extremamente dizimada. Relatos históricos dão conta da presença marcante de uma fauna diversificada. Atualmente, na época das chuvas, pode-se observar uma relativa abundância em aves. Na época seca, até duas décadas atrás, revoadas abundantes de avoantes (*Zenaida auriculata*) formavam grandes pombais na área do núcleo. Mas a caça sistemática e predatória resultou no virtual desaparecimento da espécie. Por outro lado, a destruição dos *habitats* pela ação antrópica contribuiu também para o empobrecimento da fauna.

Impactos do antropismo

O primeiro relato da presença do homem branco na área do núcleo de Irauçuba refere-se à passagem, nos anos de 1606-1607, dos jesuítas Francisco Pinto e Luís Figueira, conforme Girão (1967). Na época, a região era habitada por índios das etnias Tupi e Tapuia, citando-se os Anacé, Apuiaré e Kariri. Consta então que os indígenas viviam da caça e que, na época seca, ateavam fogo na erva para afugentar as cobras e facilitar a caça.

A predominância de extensas áreas recobertas por uma caatinga assavanada logo chamou a atenção dos primeiros colonizadores para o potencial de seu criatório. De fato, há relatos, de 1700, da existência, na localidade de Santo Antonio de Aracatiaçu, de uma fazenda com mais de 1000

matrizes bovinas. Embora não haja registros históricos, mas a memória dos mais antigos dá conta de que a transumância começou já no século XIX.

A cultura do sobrepastejo, fator histórica e geograficamente predominante no criatório nordestino, constitui um quadro por demais preocupante. Comparativamente a caprinos e ovinos, o impacto do pastoreio de bovinos, dados o hábito alimentar e a composição botânica da dieta, é de menor intensidade e mais facilmente absorvido pelo solo e pela vegetação da pastagem. A maneira como o bovino pasteja o impede de tosar com a mesma altura do ovino e de consumir certos componentes da árvore ou do arbusto, como o faz o caprino. Assim, o nível de degradação da pastagem sob o bovino é menos intenso e, pior ainda, pastagens degradadas por bovinos continuam sendo utilizadas, pois ainda propiciam condições de pastejo por ovinos e caprinos. E é aí que está o nó da questão. Para muitos, o incremento da atividade de ovinocaprinocultura se justifica pelo fato de as pastagens não mais suportarem o bovino, ou seja, estão degradadas a ponto de impedir a criação de vacuns, mas permitirem que o caprino e o ovino, animais sabidamente mais rústicos, prosperem nessas mesmas condições. Mas essa rusticidade dos pequenos ruminantes tem um preço ecológico muito elevado e pode levar à desertificação muito rapidamente as cambalidas pastagens dos sertões nordestinos.

Em termos gerais, o impacto do pastejo de caprinos e ovinos sobre a vegetação depende da riqueza da vegetação em espécies preferidas pelos animais e da intensidade de uso da pastagem. Os caprinos podem ser classificados, em termos de composição botânica de sua dieta, como ramoneadores oportunísticos, significando sua preferência por componentes botânicos do estrato lenhoso, sem a exclusão do consumo de plantas herbáceas, incluindo gramíneas. Por outro lado, quando em condições de superpastejo, podem causar prejuízos sensíveis à vegetação pelo consumo das cascas dos troncos de árvores e arbustos e pela remoção das plântulas das espécies arbóreas e arbustivas. Nessas condições, mudanças na composição florística da vegetação podem resultar, em virtude do desaparecimento das espécies lenhosas forrageiras, o que, em áreas de vegetação degradada, acelera o processo de desertificação.

Os ovinos, por seu turno, são considerados pastejadores oportunísticos, o que significa sua preferência por componentes botânicos do

estrato herbáceo, embora folhas de espécies lenhosas possam fazer parte significante de sua dieta. Nesse contexto, o sobrepastejo por ovinos pode resultar no desaparecimento das gramíneas e, ao final, de toda cobertura herbácea da vegetação, expondo o solo aos efeitos da erosão. As mudanças na composição florística da vegetação herbácea podem caracterizar-se ou pela substituição dos capins por ervas de folha larga e/ou arbustos, ou pela invasão da pastagem por gramíneas não forrageiras. Em áreas de caatinga, o pastejo por ovinos induz mudanças significativas na composição botânica do estrato herbáceo, com a redução da participação das gramíneas, mesmo em condições de pastoreio moderado. Vale salientar que o maior índice de preferência por gramíneas é observado no início da estação das chuvas, quando se verifica um uso excessivo da forragem, em virtude da baixa disponibilidade na ocasião. Então as plântulas dos capins são tassadas rente ao solo, impedindo-se, assim, o seu desenvolvimento, causando a falha na produção de sementes e seu consequente desaparecimento do pasto e exposição do solo à erosão (Figura 2). Embora seja considerado baixo o índice de erosão das áreas do planossolo na área do núcleo de Irauçuba, medidas da erosão no planossolo sob sobrepastejo (Figura 2) indicam perdas de solo superiores a 17t/ha em uma única estação das chuvas (Relatório), o que enfatiza a importância da cobertura vegetal na proteção contra a erosão.



Figura 2 – Contraste de cerca em Irauçuba

Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2003.

A carga animal na área do núcleo continua muito acima da real capacidade de suporte da região. Com efeito, o consumo anual de forragem de um bovino adulto (cerca de 300kg de peso vivo) é de 3.385kg. Trabalhos recentes informam que a produção média de fitomassa na região é de 1.090kg/ha, 60% dos quais, ou seja, 654kg/ha são considerados forragem. Então, a capacidade de suporte seria de 0,19 bov/ha. Transformando-se os 3.895 caprinos e os 22.206 ovinos em equivalentes bovinos, (dividindo-se o número total de pequenos ruminantes por seis) e somando-se à população permanente de bovinos (23.101), totaliza-se 27.450 cabeças. Considerando-se a área total de Irauçuba de 146.100ha, os 67,1% utilizados pela pecuária equivaleriam a cerca de 98.000ha. Dividindo-se pelo número de bovinos, tem-se uma carga animal de 0,27bov/ha, ou seja, 42% acima da capacidade de suporte calculada. Ademais, a situação de sobre-pastejo se agrava na estação das chuvas, quando a população de bovinos é substancialmente aumentada devido à transumância.

Como ocorreu com a ocupação da caatinga pelo colonizador, a introdução da pecuária no núcleo de Irauçuba trouxe a tiracolo a agricultura e a extração de madeira. A primeira baseava-se no desmatamento indiscriminado e na queimada geral. E a segunda, na coleta da lenha sem reposição florestal. Para que melhor se entenda o impacto que as práticas agrícolas adotadas pelos colonizadores tiveram sobre os solos e sobre a vegetação dominante na região semiárida nordestina, a caatinga, devem ser levadas em conta algumas considerações e recomendações para a exploração sustentável de seus solos, que são geralmente pouco profundos, de baixa permeabilidade, de baixo teor de matéria orgânica, mas relativamente ricos em bases trocáveis. Essa região recebe anualmente calor e luz em excesso, o que resulta em rápida mineração da matéria orgânica. A fertilidade de seus solos baseia-se, pois, na alcalinidade e na riqueza em bases. Assim, os métodos empíricos de exploração dos solos deveriam estar fundamentados no menor distúrbio possível do meio biológico e no reforço do aporte de matéria orgânica, pela manutenção de uma cobertura viva formada por plantas fixadoras de nitrogênio e de uma cobertura morta oriunda de restolhos culturais, esterco e fontes diversas de adubação verde. Isto porque nos ecossistemas florestais de clima tropical os nutrientes se concentram na biomassa e não no solo, como nos de clima temperado.

Porém, o que aconteceu foi a aplicação direta de métodos e práticas próprios para solos de clima temperado. Assim, as matas foram derrubadas, queimou-se a vegetação em larga escala e lavouras nômades foram estabelecidas, aproveitou-se o humo onde este já existia, expuseram-se os solos à erosão, enfim, saquearam-se os recursos naturais renováveis (DUQUE, 1980). Convém, no entanto, lembrar que, antes que os solos fossem atingidos pela erosão, a vegetação nativa sofreu duramente os efeitos das práticas agrícolas adotadas pelos colonizadores. Em 1861, a Comissão Científica, enviada para estudar o Nordeste, registrava, no Ceará, a destruição acelerada da vegetação, principalmente nos contrafortes das serras, em virtude dos desmatamentos e queimadas para plantio de mandioca.

Em Irauçuba, a agricultura do desmatamento e das queimadas é praticada nas áreas recobertas por luvissolos, argissolos e solos litólicos. Como vimos, estes solos estão posicionados sobre um relevo que varia de suave-onulado a forte-onulado, ou seja, de declividade de 8 a 45% (Figura 3).



Figura 3 – Agricultura de encosta em Irauçuba

Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2005.

Segundo os agricultores, a opção pelas terras nas encostas para a implantação dos roçados baseia-se no menor risco de perda de safra em função do alagamento comum nas terras planas do município, durante a época das chuvas. Nestas condições, as perdas de solo por erosão são assombrosas. Trabalhos realizados na Embrapa Caprinos e Ovinos, em Sobral, apontam para perdas de 69,0t/ha em um luvissolo com apenas 15% de declividade (Relatório). Outro fator que intensifica a degradação é o curtíssimo período de repouso. Estima-se em 50 anos o tempo necessário para que a vegetação da caatinga em um luvissolo que foi destruída pela queimada do roçado volte pela sucessão secundária ao clímax original. Ora, na região este período está reduzido a cerca de oito anos.

A Figura 3, tomada em setembro de 2005, é bem ilustrativa das etapas iniciais do processo de sucessão secundária, no estádio herbáceo e início do estádio arbustivo. No canto esquerdo inferior estão os restolhos culturais do roçado de 2005, ano em que a fotografia foi tomada. No canto esquerdo superior está a área desmatada que será queimada e plantada no inverno de 2006. No meio da foto, aparece a área do roçado de 2004, recoberta por vegetação herbácea seca, com pouquíssimas moitas de arbustos. Um pouco mais à direita, em sequência, as áreas dos roçados de 2003 e 2002 caracterizadas por uma crescente cobertura de arbustos.



Figura 4 – Disclímax com marmeleiro em Irauçuba

Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2007.

Por fim, os desmatamentos e queimadas seguidos por um curto período de pousio terminam por levar a vegetação a um disclímax dominado por arbustos, uma vez que o banco de sementes das arbóreas praticamente desapareceu (Figura 4). Nestas condições, o retorno ao clímax original será oneroso, requerendo a intervenção através de processos de recomposição florestal ou com adoção das práticas de agrossilvicultura.

Recuperação ecológica e econômica das áreas degradadas

O principal objetivo da recuperação de uma área degradada deve ser a recomposição da matéria orgânica do solo. Isto porque, para que se restabeleça a funcionalidade do ecossistema, é fundamental a revitalização da biologia do solo, principal responsável pela circulação de nutrientes. Além disso, o aumento da matéria orgânica e a formação de uma cobertura morta sobre o solo o protegerão contra a erosão laminar e melhorarão sua capacidade de retenção de água.

O tipo de solo, o estádio de degradação da área e o histórico do uso da terra são alguns dos parâmetros que devem ser levados em consideração, quando da seleção da alternativa das técnicas e práticas para a recuperação ecológica e econômica da produtividade das áreas degradadas em Irauçuba. Assim, considerando as extensões sob o planossolo, que ocupam uma área total de 27.321ha, duas recomendações podem ser propostas: a regeneração natural e a adubação organomineral.

A regeneração natural é um processo muito lento e, no caso do planossolo de Irauçuba, dificilmente proporcionará condições para retorno à produtividade esperada, que é de cerca de 4,0 toneladas de forragem por hectare e por ano (ARAÚJO FILHO, 1992). Isto porque, como consequência do sobrepastejo continuado ao longo provavelmente de centenas de anos, a erosão laminar já removeu porção significativa do horizonte A, expondo, em alguns casos, o horizonte B textural. Além disso, houve uma exaustão dos nutrientes do solo, principalmente do fósforo.



Figura 5 – Área não protegida à esquerda e área em pousio à direita em Irauçuba
Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2003.

Em um estudo realizado no período de 2003 a 2006, a produção inicial da área protegida era de 1,09t/ha, equivalente a somente 27,2% do potencial, alcançando, em 2006, 1,7t/ha (Tabela 1). A Figura 5 mostra o efeito do pousio em comparação com a área não protegida. Assim, o pousio durante quatro anos aumentou em 56% a produção de fitomassa do estrato herbáceo.

Tabela 1– Produção e incremento da produção de fitomassa (%) sob o efeito do pousio (testemunha) e da adubação organo-mineral, em um planossolo, ao longo de quatro anos, em Irauçuba, Ceará

Ano/	Incremento (%)											
	Trat		Testemunha		M. O.		N		P		K	
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%
2003	1,09	100,0	1,70	100,0	2,40	100,0	4,60	100,0	1,24	100,0		
2004	0,32	29,4	0,72	42,4	1,02	42,5	3,38	73,5	0,58	46,8		
2005	0,76	67,7	1,26	74,1	1,03	42,9	2,61	56,7	0,78	62,9		
2006	1,70	156,0	1,76	103,5	1,42	59,2	2,35	51,1	1,55	125,0		

Fonte: (ROCHA et al., 2009).

Araújo Filho et al. (1982), trabalhando em uma área protegida sob planossolo, em Irauçuba, no período de 1972 a 1974, encontraram produções de matéria seca que variaram de 2.106 kg/ha a 3.567kg/ha.

A diferença mais importante entre as duas áreas é que, na primeira, o horizonte A estava reduzido a cerca de 5,0cm, com muitos afloramentos do B textural e, na segunda, o horizonte superficial era de cerca de 20cm.



Figura 6 – Área protegida em Irauçuba com dominância do capim panasco
Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2002.

As quedas substanciais da produção de fitomassa nos anos de 2004 e 2005 estão provavelmente associadas à extrema irregularidade da distribuição temporal das precipitações em 2004, da baixa pluviosidade em 2005 (Tabela 2) e da virtual inexistência de uma cobertura morta para melhorar as condições de retenção de água do solo.

Tabela 2 – Totais mensais e anuais das precipitações pluviais (mm) ocorridas em Irauçuba, CE, no período de 2003 a 2006

Meses/Anos	Normal	2003	2004	2005	2006
Janeiro	48,1	40,0	432,5	7,5	10,5
Fevereiro	89,6	138,7	83,3	24,0	141,8
Marco	143,3	315,0	118,6	17,2	210,5
Abri	130,7	98,9	6,0	54,4	150,0
Maio	71,9	24,6	0,0	29,5	110,1
Junho	26,2	11,5	51,2	42,0	15,4
Julho	8,7	0,0	3,0	0,0	0,0
Agosto	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Setembro	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Outubro	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Novembro	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dezembro	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	539,2	628,7	694,6	174,6	638,3

Fonte: (FUNCME, 2006).

Por outro lado, a composição florística (% do peso seco) da fitomassa do estrato herbáceo era de 88,3% para o capim panasco, 8,7% para a erva de ovelha e 3,0% para outras espécies (Tabela 2). Constatou-se, portanto, a redução drástica de sua biodiversidade com a predominância do capim panasco, indicador de estado avançado do empobrecimento da vegetação forrageira herbácea (Figura 6).

Tabela 3 – Efeitos da adubação organo-mineral sobre a composição florística do estrato herbáceo de um planossolo em Irauçuba, Ceará

Espécies/Adubação	Composição Florística (% do peso seco)				
	Testemunha	M.O.	N	P	K
Capim panasco	88,3	45,2	69,7	22,0	60,5
Erva de ovelha	8,7	50,7	10,2	63,8	37,0
Outras espécies	3,0	4,1	20,1	14,2	2,5

Fonte: (ROCHA et al., 2009).

Então, está claro que a recuperação natural via pousio é muito lenta, mas constitui uma opção em muitos casos. Recomenda-se, pois, os seguintes procedimentos:

1. Suspensão de toda atividade pastoril e proteção da pastagem por até quatro anos. Os objetivos do pousio seriam aumento da manta orgânica sobre o solo para proteção contra a erosão e acumulação da matéria orgânica do solo.
2. Em seguida, uso da forragem a um percentual de 50%, somente durante o período seco, por até três anos. O objetivo mais importante seria a recuperação da biodiversidade do estrato herbáceo, através da proteção, na época das chuvas, permitindo, assim, a recuperação do banco de sementes.
3. A partir de então, uso regular da pastagem, mas mantendo a remoção da forragem em um nível máximo de 60%.

A aplicação de adubo orgânico (estercos) é outra alternativa de recuperação pastoril que poderia ser utilizada no núcleo de Irauçuba.

Trabalhos realizados na área com base no uso de 5,0 t/ha de esterco de ovelha apresentaram bons resultados no primeiro ano, com incrementos na ordem de 56% na produção de fitomassa do estrato herbáceo, correspondendo a 1,7t/ha (Tabela 1) e mudança significativa da composição florística (Tabela 2), pelo aumento da participação da erva de ovelha (8,7 *versus* 50,7), mas insuficiente, pois não incrementou a participação das ervas de folha larga e, portanto, praticamente sem efeito sobre a biodiversidade do estrato herbáceo. Observa-se também que a perda da produtividade nos anos irregulares (Tabelas 1 e 3) foi inferior à observada na testemunha em virtude provavelmente de uma cobertura morta mais elevada, advinda da aplicação do esterco. Por outro lado, a adubação com esterco perdeu totalmente seu efeito a partir do quarto ano pós-aplicação, quando a produção de fitomassa do estrato herbáceo foi semelhante ao da testemunha. Assim, considerando o custo elevado e a baixa eficiência, a adubação orgânica sozinha não seria uma alternativa recomendável.

Com respeito à adubação mineral, as respostas variaram de acordo com o nutriente empregado. No experimento foram aplicados 400kg/ha de nitrogênio (N), 100kg/ha de fósforo (P) e 60kg/ha de potássio (K). O nitrogênio incrementou a produção de fitomassa para 2,4t/ha no primeiro ano, correspondendo a um acréscimo de 120,2% com relação à testemunha (Tabela 1). Todavia, no segundo ano houve uma queda de cerca de 70,6% na produção de fitomassa, terminando o período com um valor inferior ao da testemunha. Vale salientar o impacto positivo que a aplicação de N teve na biodiversidade do estrato herbáceo, elevando a participação de outras espécies herbáceas para 20,1% da composição da fitomassa produzida (Tabela 2). Por seu turno, o uso do potássio não trouxe respostas nem com relação à produção, nem com respeito à composição florística do estrato herbáceo. O fósforo é o macronutriente de maior deficiência em solos tropicais. Nos planossolos de Irauçuba, análises químicas mostraram que o teor de fósforo situa-se em torno de 3,0mg/dm³. Assim, a aplicação de fósforo resultou em aumento substancial na produção de fitomassa e incremento significante da participação das ervas de folha larga na composição florística do estrato herbáceo (Tabelas 1 e 2). A perda verificada no segundo ano foi de apenas 29,7%, terminando o

período com uma produção superior em 115,6% com relação à observada no primeiro ano da testemunha. Com relação às mudanças na composição florística, três fatos devem ser comentados. O primeiro diz respeito ao aumento para 63,8% da participação da erva de ovelha na composição florística. Trocados em valores absolutos, nas parcelas adubadas com P, a erva de ovelha produziu 2.900kg/ha de fitomassa, enquanto, na testemunha, a produção desta forrageira foi de apenas 95kg/ha. O capim panasco produziu, na testemunha, 963 e 1.012kg/ha nas adubadas com fósforo. Já a produção de fitomassa das ervas de folha larga foi de 33kg/ha na testemunha e de 653,2kg/ha nas parcelas adubadas com fósforo.

Então, a fertilização com fósforo constitui uma boa opção para a recuperação ecológica e econômica das pastagens degradadas nos planossolos do núcleo de Irauçuba. Para tanto, deverão ser utilizados os seguintes procedimentos:

1. aplicação de fósforo na forma de superfosfato simples, no período seco e na quantidade necessária para atender a recomendação de 100kg/ha de fósforo;
2. pousio durante a estação das chuvas subsequentes;
3. pastejo na estação seca, com a utilização de 50% da fitomassa disponível;
4. novo pousio na estação das chuvas, visando ao pastejo recuperação da biodiversidade do estrato herbáceo;
5. normalização do uso da pastagem sempre ajustando a carga animal para uma utilização máxima de 60% da fitomassa disponível.

A área sob os luvissolos em Irauçuba, que recobre uma extensão de 63.115ha, está submetida à exploração agrícola, pastoril e de extração de lenha com base em práticas ambientalmente agressivas. Neste contexto, a agricultura migratória pode ser apontada como o principal responsável pela indução dos processos de degradação ambiental. Por outro lado, as atividades de lavoura parecem concentrar-se nas pequenas propriedades. O impasse a que chegou este modelo de agricultura, principalmente nessas unidades produtivas, deve-se à redução drástica do período de pousio, que deveria ser de cerca de 50 anos e se acha diminuído para seis ou sete anos. Com isto, não há a recuperação da fertilidade do solo e a recomposição da vegetação. Assim, a fixação da agricultura no terreno, a sustação do desmatamento e do uso do fogo

devem ser as diretrizes para trazer a mitigação dos impactos antrópicos negativos, a recuperação dos agroecossistemas e o aumento da produtividade agrícola e da renda familiar. Para atingir estes objetivos, a agrossilvicultura é, com certeza, o modelo de exploração da terra mais apropriado. Dentre os modelos de sistemas agroflorestais, o silvopastoril e o agrossilvipastoril seriam os mais indicados para as condições de Irauçuba. O primeiro associa o manejo florestal com a exploração pastoril, e o segundo associa o manejo florestal, a exploração pastoril e a agricultura, formando o sistema *lavoura-pecuária-floresta*.

O modelo silvopastoril pode ser estabelecido, seja para ter a madeira como o principal produto, seja para ter na exploração animal a principal atividade. No primeiro caso, a melhor opção é seguir o “Plano de Manejo” recomendado pelo Ibama, com adaptações para a introdução da pecuária. O plano consiste basicamente em dividir-se a área em 11 parcelas de igual tamanho, permitindo-se um período de repouso de dez anos e colhendo-se uma anualmente. A coleta de madeira pode ser feita segundo uma sequência anual ou seletivamente por talhão e por espécie. Isto porque a velocidade de crescimento das arbóreas da caatinga é muito variável. Bovinos ou ovinos, nunca caprinos, poderão ser admitidos na área somente na estação seca de cada ano. Para melhorar a oferta de forragem e acelerar a produção de madeira é recomendável proceder-se o manejo dos rebrotes. A maioria das espécies arbóreas da caatinga tem uma elevada capacidade de rebrotação, podendo chegar a mais de 20 rebrotes por toco. A planta eliminará naturalmente a maioria das rebrotações de tal maneira que aos dez anos restarão cerca de cinco a oito por planta. A remoção do excesso de rebrotes, já ao fim do ano, após corte, acelerará o desenvolvimento dos que foram mantidos, permitindo um maior rendimento em madeira em um tempo mais curto. Os autores sugerem que, se o objetivo for a produção de estacas para cerca, devem ser preservadas no máximo duas rebrotações por toco; se, por outro lado, a produção de lenha é a meta do manejo, devem ser mantidas no máximo cinco rebrotes por toco. Esta técnica oferece um bônus, ou seja, haverá anualmente uma intensa rebrotação na base do toco, aumentando a oferta de forragem, mesmo na estação seca, quando os rebrotes permanecerão verdes (Figura 7).



Figura 7 – Manejo dos rebrotes em Irauçuba

Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2008.

Quando a produção animal for o principal objetivo, o raleamento constitui uma das melhores opções. O raleamento da vegetação arbóreo-arbustiva da caatinga consiste no controle seletivo de espécies lenhosas, com o objetivo de, reduzindo o sombreamento e a densidade de árvores e arbustos indesejáveis, obter-se incremento da produção de fitomassa do estrato herbáceo, propiciando a formação de uma pastagem nativa de elevada produtividade (Figura 8). Três recomendações fundamentais garantem, quando seguidas, a sustentabilidade das tecnologias de manipulação da caatinga: preservação de até 400 árvores por hectare, ou o equivalente a 40% de cobertura, utilização máxima de 60% da forragem disponível e preservação da mata ciliar em toda a malha de drenagem da pastagem.

Esta tecnologia já vem sendo utilizada pelos produtores na região de Irauçuba, desde o início da década de 1980, envolvendo uma área de cerca de 3.000ha. O raleamento da caatinga traz vários benefícios, destacando-se:

1. aumento da produção de forragem, que passa de cerca de 400kg/ha/ano na caatinga sobre o luvissolo para 4.000kg/ha/ano;
2. aumento da capacidade de suporte, indo de 10/ha/bov/ano para 3,5ha/bov/ano;
3. incremento da produção de peso vivo animal, passando de 8,0kg/ha/ano para 60 kg/ha/ano;
4. facilidade de manejo do rebanho;
5. aumento da resiliência do ecossistema da pastagem.



Figura 8 – Caatinga arbustiva-arbórea e caatinga raleada em Irauçuba
Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2004.

Os luvissolos constituem os solos mais utilizados pela agricultura migratória do semiárido nordestino. As práticas rotineiramente adotadas do desmatamento e do fogo, a exposição do solo e a diminuição do período de pousio têm induzido processos de degradação, mormente os de erosão, havendo indicações de que pelo menos 65% da área de cobertura deste importante solo se encontram em erosão de grave a muito grave.



Figura 9 – Queimada e exposição do solo em Irauçuba
Fonte: Fotografia obtida por João Ambrósio de Araújo Filho, em 2002.

A Figura 9 mostra a queimada, a ausência completa de manta orgânica e o elevado nível de exposição do solo em um roçado na região de Sobral, Ceará. O impacto sobre o ecossistema é onipresente e caracteriza-se pela

queda da produção agrícola, pela degradação da vegetação nativa, pela erosão dos solos, pela perda da biodiversidade da flora e da fauna, pelo assoreamento e salinização dos mananciais e pela perda da resiliência, aumentando sua fragilidade diante das variações climáticas, típicas das regiões semiáridas. Em vez de uma produção potencial de cerca de 2.000kg/ha de grãos, a agricultura de subsistência da região colhe menos de 500kg/ha. Daí a baixa participação da agricultura na produção agropecuária do município de Irauçuba. Essa produção sequer paga os custos da lavoura, resultando em que, na maioria dos casos, os pequenos produtores estão pagando para plantar. São, pois, necessárias mudanças de atitude por parte dos produtores e da abordagem tecnológica dos métodos de produção com vistas a trazer sustentabilidade à lavoura da região.

Os métodos e práticas da agricultura sustentável espelham-se no funcionamento dos ecossistemas naturais. Os sistemas de produção agroflorestais (SAF) foram desenvolvidos em resposta às pressões por produção de alimentos, tanto para a população humana como para os rebanhos, e integram a exploração de espécies lenhosas perenes associadas às culturas e à pastagem, a fim de garantir a estabilidade da produção, elevar a produtividade da terra, diversificar a produção, melhorar a fertilidade do solo e aumentar a oferta de forragem de boa qualidade. Esses sistemas de produção estão sendo avaliados e propostos como alternativas ecologicamente sustentáveis de exploração das regiões tropicais. O uso de espécies arbóreas constitui a garantia de manter ativa a circulação de nutrientes e o aporte significativo de matéria orgânica, condição essencial para se cultivar, de maneira continuada, os solos tropicais.

Para as condições dos sertões nordestinos, os sistemas de produção agrossilvipastoris constituem a alternativa mais apropriada, pois a maioria das unidades de produção da região se assemelha a esses modelos, uma vez que exploram madeira, agricultura e pecuária. Os sistemas de produção agrossilvipastoris (Figura 10) são formas de uso e manejo da terra, nas quais árvores e arbustos são utilizados em associação com cultivos agrícolas e animais, numa mesma área, de maneira simultânea ou numa sequência temporal. Cada componente do sistema de produção deve ter, pelo menos, uma função própria e sua integração

garante sua funcionalidade. Assim, as árvores devem ser em número suficiente para um aporte significativo de serrapilheira, fonte de matéria orgânica para o solo. Os animais são os redistribuidores de nutrientes entre os componentes do sistema, via urina e esterco e as culturas garantem a produção de alimentos para a família e seus animais e contribuem para a circulação de nutrientes dentro do sistema. Os SAFs podem também ser usados para a reabilitação ecológica e econômica de áreas degradadas sobre luvissolos e argissolos.

O modelo SAF-Sobral foi desenvolvido na Embrapa Caprinos e Ovinos, em Sobral, Ceará. Consta de três componentes: a reserva legal, o roçado ecológico e a pastagem (caatinga raleada). Embora o modelo comece a ter impacto sobre a renda familiar a partir de uma área total de 5,0ha, sugere-se 8,0ha como o tamanho mais apropriado. A área de implantação do SAF-Sobral deve ser dividida em três parcelas:



Figura 10 – SAF-Sobral
Fonte: Fotografia de Silva (2008).

a primeira de 20% para um lote florestal, a segunda de 20% para o roçado ecológico e a terceira de 60% para a pastagem. O lote florestal pode ser transformado em uma APA. Também é adequado utilizá-lo no manejo florestal para produção de madeira, apicultura, enriquecimento com plantas medicinais e frutas nativas e pastejo por, no máximo 35

dias no início e 35 dias ao final do período das chuvas. Na área do roçado ecológico deve ser praticada a policultura, o plantio direto e a rotação cultural. Sua implantação começa com o corte raso da vegetação lenhosa, preservando-se cerca de 200 árvores por hectare, para garantir o aporte de 2.500kg de serrapilheira. Procede-se então a remoção da madeira útil e os garranchos são amontoados em cordões perpendiculares ao declive e espaçados de 3,0m. Em cada lado dos cordões de garranchos é estabelecida uma linha de uma leguminosa, formando aleias para produção de adubo verde e feno. As culturas, escolhidas a critério do produtor e do potencial da área, são implantadas nas faixas de três metros que separam as aleias. A área destinada ao criatório terá sua vegetação lenhosa raleada, conforme descrição acima. A capacidade de suporte do SAF-Sobral é de 2,7ha/bov/ano ou 2,5 ovinos ou caprinos por hectare por ano. A pecuária em sistemas de produção de regiões semiáridas constitui uma atividade tampão dos efeitos da seca, facilita a dispersão dos riscos de perdas, tem boa liquidez econômica e é um fator muito importante de fixação do homem à terra.

Considerações finais e recomendações

Embora o quadro de degradação ambiental no entorno de Irauçuba seja por demais preocupante, ainda há condições para sua reabilitação ecológica e econômica. As fases de sucessão secundária retrogressiva em que se encontram variam do desaparecimento da vegetação original à eliminação da cobertura vegetal. Assim, sua recuperação será bastante onerosa, pois nas áreas de planossolo será necessária uma redução elevada do número de animais, sustação das atividades por um período de pousio e reposição da fertilidade do solo. Nas áreas de luvissolo, a implantação de sistemas agroflorestais tem também um custo econômico, embora o retorno seja mais rápido.

A opção pela agrossilvicultura, como a alternativa mais apropriada para a reabilitação dos solos de potencial agrícola mais elevado, fundamenta-se na garantia que este sistema de uso da terra traz à segurança ambiental e à segurança alimentar. No primeiro caso, o solo é protegido contra a erosão pelo acúmulo de serrapilheira, tem sua fertilidade reposta e sua biologia ativada pela deposição da matéria orgânica. Os recursos

hídricos são beneficiados pela manutenção da mata ciliar, evitando o assoreamento das nascentes e reservatórios e pela redução das perdas de água pelo solo. A flora, com a sustação das queimadas e dos desmatamentos tem sua biodiversidade incrementada e integração das árvores no sistema produtivo. Por fim, a fauna é beneficiada pela criação de corredores ecológicos, preservação dos habitats e suspensão do uso de agrotóxicos.

A segurança alimentar é garantida pela maior quantidade, melhor qualidade e sustentabilidade da produção de alimentos para a família, como milho, feijão, mandioca, leite e carne, como também alimentos para os animais domésticos, como feno, forragem verde, silagem e grãos, resultando, no final, no aumento da renda familiar e melhoria da qualidade de vida.

Referências Bibliográficas

- ARAGÃO, R. B. *História do Ceará*. 3. ed. 1990.
- ARAÚJO FILHO, J. A. *Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris*. Sobral: Embrapa, 1992. 18 p. (Circular Técnica, 11).
- ARAÚJO FILHO, J. A. et al. *Estudo de pastagem nativa do Ceará*. Fortaleza: BNB, 1982. 75 p.
- ARAÚJO FILHO, J. A. et al. Sistema agrossilvipastoril Embrapa caprinos. In: LIMA, G. F. C. et al. *Criação familiar de caprinos e ovinos no Rio Grande do Norte*: orientações para viabilização do negócio rural. Natal: EMATER, EMPARN, 2006. 426 p.
- BRAGA, R. *História da comissão científica de exploração*. Fortaleza: Imprensa Universitária do Ceará, 1962. 405 p.
- CARVALHO, F. C. et al. Manejo in situ do sabiá (*mimosa caesalpiniifolia* benth.) para produção simultânea de madeira e forragem, em um sistema silvipastoril. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 121-129, jul./dez. 2004.
- CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. *Programa de ação de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAE-CE*. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 372 p.

- DELAMO, R. S.; RAMOS, P. J. Use and management of secondary vegetation in a humid tropical area. *Agroforestry Systems*, v. 21, p. 27-42, 1993.
- DUQUE, J. G. *Solo e água no polígono das secas*. 5. ed. Mossoró: ESAM, 1980. 271 p. (Coleção Mossoroense, 142).
- GIRÃO, R. *Três documentos do Ceará colonial*. Fortaleza: departamento de Imprensa Oficial, 1967.
- JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas: características e uso agrícola. In: ALVAREZ V.; FONTES, M. P. F. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e desenvolvimento sustentado*. Viçosa: SBCS/UFV-DS, p. 95-111, 1996.
- KIRMSE, R. D. *Effects of clearcutting on forage production, quality and decomposition in the caatinga woodland of northeast Brazil: implications to goat and sheep nutrition*. Logan, EUA: Utah State University, 1984. 150 p.
- LEITE, E. R.; MESQUITA, R. C. M. *Fatores morfológicos que interferem na seleção de forrageiras pelos herbívoros*. Brasília: EMBRAPA, 1988. 21 p.
- LIMA, F. W. *Efeitos dos fatores físicos e biológicos sobre a decomposição e dinâmica de liberação de nutrientes da folhagem de espécies arbóreas da caatinga*. 2009. 52 f. Tese (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Vale do Acaraú, Fortaleza, 2009.
- MILLER, A. *Meteorology*. 2. ed. Columbia, Ohio: Charles E. Merrill Publishing, 1971.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produto interno bruto dos municípios 2004 - 2008*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2004_2008/pibmunic2004_2008.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2013.
- ROCHA, M. M. C.; ARAÚJO FILHO, J. A. efeitos da adubação mineral e orgânica sobre a produção. *Agropecuária científica no semiárido*, Campina Grande, v. 5, p. 22-29, 2009.

SALES, M. C. L. *Estudos climáticos, morfopedológicos e fitoecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba-Ceará.* 2003. 122 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, N. L. *Sistema de produção agrossilvipastoril de caprinos e ovinos.* Integração Lavoura-Pecuária-Caatinga. 2008. (Curso de curta duração / Extensão).

SOLOS PREDOMINANTES EM ÁREAS DE EXPERIMENTAÇÃO (EXCLUSÃO) DO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA - CE

*Vládia Pinto Vidal de Oliveira **
*Marcos José Nogueira de Souza***

Introdução

A área, objeto de estudo, restringe-se aos setores de experimento (exclusão) no município de Irauçuba, Ceará. (Figura 1)

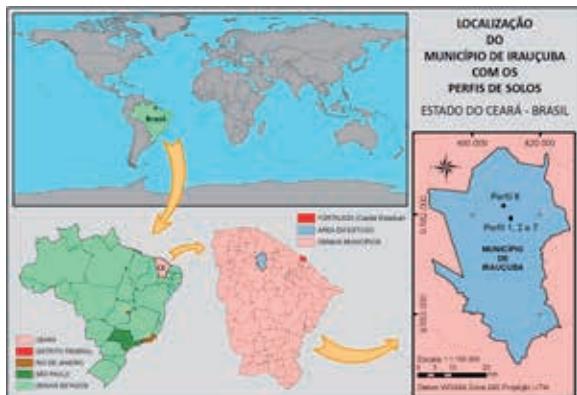


Figura 1 – Localização dos perfis nas áreas experimentais (exclusões) no município de Irauçuba
Fonte: Elaborada pelos autores.

Esses setores de experimento foram selecionados no âmbito do Projeto “Estudo da Degradação/Desertificação em Sistemas de Produção no Semiárido Nordestino nos Estados do Ceará e Piauí”, financiado pelo Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico, através do PNEPG/CNPq, sob a coordenação do Professor Dr. José Gerardo Beserra de Oliveira. Trata-se de uma área inserida na depressão sertaneja no semiárido setentrional cearense. As particulares condições edafoclimáticas, situadas a sota-vento da serra de Uruburetama, são especialmente sensíveis aos processos degradacionais, ocasionando desequilíbrios e acentuando as vulnerabilidades naturais. Por outra parte, as eventuais secas ocorridas nos últimos anos têm provocado declínio na atividade pecuária e abandono das pequenas parcelas de terras cultivadas que, ao perder a proteção da cobertura vegetal, favorece a intensificação de processos erosivos.

* Professora Associada do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC)/Pesquisadora CNPq.

** Professor Titular da Universidade Estadual do Ceará (UECE).

Buscou-se analisar os tipos de solo e seu estado de degradação após décadas de uso intensivo pela atividade pecuária e pelo extrativismo vegetal desordenado. O conhecimento da dinâmica dos solos viabiliza avaliar o seu potencial de resiliência e propor um sistema de manejo adequado para esses solos, mitigando os efeitos dos processos de desertificação. O material originário dos solos é muito heterogêneo e, no contexto da área de estudo, exibe a ocorrência de rochas das mais diversas origens, com destaque para os litotipos do complexo cristalino (plutônicas e metamórficas).

A posição geográfica da área, a sota-vento da serra de Uruburetama, condiciona a escassez hídrica, refletindo-se na cobertura vegetal xerofítica, representada pela caatinga com diferentes padrões fisionômicos e florísticos.

Os solos predominantes da depressão sertaneja de Irauçuba têm Planossolos associados a Neossolos Litólicos e Vertissolos em menor proporção.

A evolução pedogenética desses solos de natureza ou caráter intransicional é a determinante na ocorrência de solos sódicos e hidromórficos

que concentram variados teores de argila mineral. Sua análise fornece subsídios para a reconstituição dos mecanismos de evolução dos solos, das formações superficiais e da esculturação das superfícies de aplanaamento escalonadas.

Procedimentos Metodológicos e Operacionais

Para o desenvolvimento da pesquisa considerou-se uma série de etapas interdependentes, cuja execução obedece, sequencialmente, às seguintes atividades:

- análise dos atributos da paisagem (geologia, clima, geomorfologia, solos e cobertura vegetal) e condições de uso e ocupação da terra;
- seleção e abertura de perfis para análise morfológica, coleta de amostras de solos para análise físico-química e classificação dos mesmos;
- as análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará, seguindo normas utilizadas pela (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997). A classificação taxonômica das classes de solos predominantes foi realizada de acordo com a (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006).

Resultados e Discussão

Pode-se afirmar que toda atividade produtiva gera algum impacto sobre o ambiente. As atividades de pecuária e de extrativismo vegetal no município de Irauçuba causaram modificações físico-químicas e biológicas conforme se constata na análise dos resultados de descrição dos perfis de solos. Da ordem dos Planossolos foram avaliados 4 (quatro) perfis que foram caracterizados morfologicamente, realizadas análises físico-químicas e classificados. Subsequentemente, tratou-se do estado atual de conservação e suas implicações com a degradação ambiental.

Os Planossolos são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que tem transição abrupta com o horizonte B. Podem apre-

sentar horizontes A ou E, seguidos de B plânico, tendo sequência de horizonte A, AB ou A, e seguidos de Bt, Btg, Btn. Alguns apresentam propriedades estágnicas, pelo menos em parte do horizonte, e têm um limite brusco sobre um horizonte pouco permeável em uma profundidade de 12,5cm a partir da superfície, não contendo B nátrico ou espódico.

Dentro dessa ordem de Planossolos se incluem os perfis P-1 (Planossolo Háplico Solódico), P-2 e P-6 (Planossolo Nátrico Órtico) e P-7 (Planossolo Nátrico Gleizado), conforme Figuras 2, 3, 4, 5 e 6.

Trata-se dos solos mais representativos da depressão sertaneja de Irauçuba que constituem os pediplanos de topografias esbatidas, planas a suave onduladas, estendendo-se em rampas suaves, desde os pés da serra de Uruburetama aos fundos de vales em cotas altimétricas compreendidas entre os 70 a 150/175m. Há que destacar que a ocorrência dos Planossolos está associada à intensificação da semiaridez.

São solos fortemente erodidos em face da atividade de pecuária e de extrativismo, com escassa ou nenhuma cobertura vegetal, afetados pela incidência de erosão hídrica laminar que tem propiciado o adelgaçamento dos horizontes superficiais arenosos, a pedregosidade dos solos e a frequência de afloramentos rochosos e de pavimentos detriticos.

A drenagem se enquadra na classe de solos muito escassamente a imperfeitamente drenados. As propriedades texturais na sequência dos horizontes condicionam uma permeabilidade lenta e/ou muito limitada que, na estação chuvosa, motiva frequentes inundações em superfície e períodos mais ou menos prolongados de hidromorfia.

O desenvolvimento desses perfis determina clara diferenciação de horizontes: horizonte A, com características de horizonte de diagnóstico órtico; horizonte E, quando presente, apresenta espessura de 2,5 – 13,5cm como no perfil 7, que se situa sobre Bt, Btg1, Btg2 (B argílico) que apresentam fase de gleização.

Estes horizontes apresentam diferenças significativas tanto em suas propriedades morfológicas como nas condições químicas e físico-químicas. O horizonte A apresenta matiz de 10YR, tendo textura grosseira (areia franca e franco arenosa), estrutura em blocos subangulares. O horizonte Bt apresenta textura média (franco) e estruturas subangulares e colunares. É frequente nesses solos a ocorrência de manchas

amarelas semicirculares, normalmente de natureza ferruginosa, que evidencia períodos de hidromorfia temporal.

O incremento da argila é observado nos horizontes argílicos frente aos horizontes superficiais, refletindo-se no aumento da capacidade de intercâmbio catiônico nos primeiros. Encontram-se também mais saturados por cátions. O pH é ácido em todos os horizontes superficiais, enquanto que no B-argílico a taxa é variável, tendendo para menor acidez ou condições de neutralidade. A condutividade elétrica também aumenta em profundidade.

Os perfis são caracterizados a seguir, considerando a profundidade dos horizontes, sua descrição macromorfológica e as análises fisioco-químicas. Para cada perfil são indicadas as condições de composição mineralógica, dados químicos do grau de flocação, densidade, umidade e pH, complementando-se com dados do complexo sortivo.

PERFIL 1

CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO ENTORNO

Classificação: Planossolo Háplico Solódico

País/Estado/Município: Brasil/Ceará/Irauçuba

Localização: Fazenda Aroeira

Coordenadas U.T.M.: 41.1419 e 958.1088

Altitude: 160m

Posição fisiográfica: Superfície pediplanada da depressão sertaneja

Forma do terreno circundante: Montanhoso

Declive: 0 a 3%

Material Original: Granito do Complexo Nordestino

Drenagem: Mal drenado

Pedregosidade: Exposições de paleopavimentos e matacões

Afloramentos rochosos: Ligeiramente rochoso

Erosão: Laminar moderada

Vegetação potencial: Caatinga arbórea-arbustiva aberta

Uso atual: Pecuária extensiva e extrativismo vegetal

Profundidade do lençol freático: não definida

Horizonte	Profundidade	Descrição Macromorfológica
Ap1	0 – 2,5cm	Cinza (10YR 6/1) quando seco; (10YR 5/2) bruno acinzentado quando úmido; textura areia franca; estrutura fraca em blocos subangulares médios; porosidade comum; consistência quando seco; ligeiramente duro, quando úmido; friável, quando molhado; não plástico e não pegajoso; presença abundante de raízes muito finas; transição abrupta e plana.
BA	2,5 – 29cm	Bruno amarelado (10YR 5/4) quando úmido e bruno amarelado claro (10YR 6/4) quando seco; textura franco arenosa; estrutura moderada em blocos angulares grandes; comuns e pequena porosidade; consistência quando seco; ligeiramente duro, quando úmido; friável, quando molhado; não plástico e não pegajoso; presença frequente de raízes muito finas; transição difusa e ondulada.
Btn	29 – > 48cm	Bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/2) quando seco; cor bruno amarelado claro (10YR 6/4) quando úmido; textura franco; estrutura moderada em blocos subangulares; presença abundante de mosqueado; baixa porosidade; consistência quando seco; ligeiramente duro, quando úmido; firme, quando molhado; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; raízes raras.

Análise Físico-Química do Perfil 1

Horizonte		Composição Granulométrica (g/kg)					Classificação textural
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila natural	
Ap	0 – 2,5	430	410	150	10	60	Areia franca
BA	2,5 – 29	480	290	190	40	30	Franco arenoso
Btn	29 – >48	470	140	170	220	200	Franco

Grau de Floculação (g/100g)	Densidade (g/cm³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E. (dS/m)
	Global	Partícula	0,033MPa	1,5MPa	Água útil	Água	KCL	
40	1,54	2,69	2,90	2,75	0,15	4,6	-	0,84
25	1,63	2,58	3,36	2,78	0,58	4,9	-	0,17
9	1,35	2,65	15,16	10,11	5,05	6,5	-	0,32

Complexo Sortivo (cmol _c /Kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V(%)	m(%)	PST
1,00	0,80	0,08	0,21	1,48	0,15	2,1	3,6	58	7	2
0,90	0,80	0,10	0,11	1,98	0,40	1,9	3,9	49	17	2
6,30	3,30	0,98	0,13	0,82	0,00	10,7	11,5	93	-	8

C (%)	N (%)	C/N	M.O. (%)	P Assimilável (mg/kg)
0,70	0,07	10	1,20	22
0,23	0,03	8	0,40	1
0,19	0,02	10	0,33	1



Figura 2 – Perfil 1. Planossolo Háplico Solódico na Fazenda Aroeira, município de Irauçuba. Em superfície, além da ocorrência de matações e de paleopavimentos, notar o padrão de caatinga arbustiva aberta com um tapete herbáceo extensivo que se presta como pastagem natural

Fonte: Fotografia obtida pelos autores.

PERFIL 2 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO ENTORNO

Classificação: Planossolo Nátrico Órtico

Localização: Município de Irauçuba: Fazenda Aroeira 2

Coordenadas: 0411435 e 9580789

Altitude: 185m

Situação e declive: Depressão sertaneja, com 3% de declive

Forma do terreno circundante: Relevo aplainado com presença de inselbergs

Material Original: Granito com pórfiros do Complexo Nordestino e material coluvial

Drenagem: Imperfeitamente drenado

Pedregosidade: Ligeiramente pedregoso

Afloramentos rochosos: Paleopavimentos e matacões

Erosão: moderada a severa

Vegetação Potencial: Caatinga arbórea-arbustiva

Uso atual: Pastagem (herbácea)

Profundidade do lençol freático: não definido

Horizontes	Profundidade (cm)	Descrição Macromorfológica
Ap1	0 – 2,5	Cinzento escuro (10YR4/1) em úmido e cinzenta(10YR5/1)em seco; textura franco arenosa; estrutura fraca em blocos subangulares médios; ligeiramente duro em seco; friável em úmido; não plástico, não pegajoso quando molhado; poros pequenos e comuns; pouca atividade biológica de formigas; raízes do tipo cabeleiras finas a muito finas; transição abrupta e plana.
AB	2,5 – 18,0	Bruno (10YR5/3) em úmido bruno claro acinzentado (10YR6/3) em seco; textura areia franca; estrutura moderada, em blocos subangulares médios; macio quando seco e muito friável quando úmido; não plástico e não pegajoso; muitos poros médios; transição gradual e plana.
B	18,0 – 35,0	Bruno claro acinzentado (10YR6/3) em úmido e bruno claro acinzentado (10YR6/3) em seco; textura franco; estrutura forte, colunar grande; extremamente duro quando seco e extremamente firme quando úmida; plástica e pegajosa; poucos poros pequenos; transição gradual e ligeiramente sinuosa.
Btn1	35,00 – 46,0	Bruno claro acinzentado (10YR6/3) em úmido e bruno claro acinzentado (10YR6/3) em seco; textura franca; estrutura forte, colunar moderada; extremamente dura quando seco e firme quando úmida; muito plástico e muito pegajoso; sem poros visíveis; transição gradual e irregular.
Cg	> 46,0	—

Análise Físico-Química do Perfil 2

Horizonte		Composição Granulométrica (g/Kg)					Classificação textural
Simbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila natural	
Ap ₁	0 – 2,5	530	240	170	60	10	Franco arenoso
AB	2,5 – 18	450	160	220	170	150	Franco
B	18 – 35	600	210	150	40	20	Areia franca
Btn ₁	35 – 46	340	170	270	220	190	Franco

Grau de Floculação (g/100g)	Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E. (dS/m)
	Global	Partícula	0,033MPa	1,5MPa	Água útil	Água	KCL	
83	1,54	2,70	5,24	4,80	0,44	5,0	-	0,21
12	1,46	2,53	11,06	8,97	2,09	6,2	-	0,27
50	1,66	2,64	2,69	2,26	0,43	4,6	-	0,26
14	1,40	2,52	20,22	10,57	9,65	7,1	-	1,12

Complexo Sortivo (cmol _c /Kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ²⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V(%)	m(%)	PST
3,80	0,80	0,20	0,23	7,42	0,20	5,0	12,4	40	4	2
5,00	3,00	0,89	0,11	0,82	0,00	9,0	9,8	92	-	9
1,00	0,50	0,07	0,13	3,13	0,45	1,7	4,8	35	21	1
6,90	4,90	2,52	0,15	0,33	0,00	14,5	14,8	98	-	17

C (%)	N (%)	C/N	M.O. (%)	P Assimilável (mg/kg)
2,12	0,22	10	3,7	121
0,38	0,04	9	0,65	2
0,40	0,04	10	0,69	6
0,31	0,03	9	0,53	18



Figura 3 – Perfil do Planossolo Nátrico Órtico – Perfil 2: exibindo Planossolo com presença de horizonte subsuperficial gleizado, que dificulta a infiltração da água, na Fazenda Aroeira, município de Irauçuba

Fonte: Fotografia obtida pelos autores.

PERFIL 6 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO ENTORNO

Classificação: Planossolo Nátrico Órtico

Localização: Município de Irauçuba: Fazenda Cacimba Salgada 2

Coordenadas: 0409236 e 9584642

Altitude: 175m

Situação e declive: Depressão sertaneja aplainada de Missi, com 3% de declive

Forma do terreno circundante: Relevo aplainado com presença de inselbergs

Material Original: Granito gnaissificado do Complexo Nordestino e material coluvial

Drenagem: Imperfeitamente drenado

Pedregosidade: Ligeiramente pedregoso

Afloramentos rochosos: Paleopavimentos

Erosão: Laminar moderada

Vegetação Potencial: Caatinga arbórea-arbustiva aberta

Uso atual: Pastagem (herbácea)

Profundidade do lençol freático: Não definida

Horizontes	Profundidade (cm)	Descrição Macromorfológica
Ap	0 – 6,5	Bruno claro acinzentado (10YR6/3) em úmido e cinzenta (10YR5/1) em seco; textura areia franca; estrutura fraca em blocos subangulares médios; ligeiramente duro em seco; friável em úmido; não plástico, não pegajoso quando molhado; poros pequenos e comuns; moderada atividade biológica de formigas e minhocas; muitas raízes do tipo cabeleiras finas a muito finas; transição clara e plana.
Btn1	6,5 – 29,0	Bruno (7.5YR 5/2) em úmido; textura franco; forte estrutura prismática grande; dura quando seco e firme quando úmido; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; presença de superfície fosca; presença comum de manchas pequenas distintas de cor bruno amarelada (10YR 6/8); poucos poros pequenos; raízes comuns; transição difusa e irregular.
Btn2	29,0 – 57,0	Cinzento (7.5YR5/1) em úmido; franco; estrutura forte colunar grande; presença de calhaus de quartzo arestados e subangulares; muito duro quando seca e extremamente firme quando úmida; plástica e pegajosa; presença de poucos nódulos negros (manganês?); poucos poros pequenos; raras raízes; transição difusa e irregular.
CR	> 57	-

Análise Físico-Química do Perfil 6

Horizonte		Composição Granulométrica (g/Kg)					Classificação textural
Símbolo	Profundidade (cm)	Arcia grossa	Arcia fina	Silte	Argila	Argila natural	
Ap	0 – 6,5	400	390	170	40	10	Areia franca
Btn ₁	6,5 – 29	380	240	170	210	130	Franco
Btn ₂	29 – 57	330	280	210	180	140	Franco

Grau de Floculação (g/100g)	Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E. (dS/m)
	Global	Partícula	0,033MPa	1,5MPa	Água útil	Água	KCL	
75	1,66	2,55	11,88	3,03	8,85	6,3	-	0,16
38	1,44	2,56	15,12	9,74	5,38	5,8	-	0,55
22	1,40	2,58	18,48	10,81	7,67	8,0	-	1,15

Complexo Sortivo (cmol _c /Kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V(%)	m(%)	PST
1,20	1,00	0,22	0,16	1,48	0,05	2,6	4,1	63	2	5
4,00	2,50	1,41	0,10	1,48	0,25	8,0	9,5	84	3	15
4,00	2,50	2,73	0,10	0,16	0,00	9,3	9,5	98	-	29

C (%)	N (%)	C/N	M.O(%)	P Assimilável (mg/kg)		
0,34	0,03	11	0,58	7		
0,17	0,02	9	0,29	5		
0,11	0,01	11	0,19	13		



Figura 4 – Perfil 6: Planossolo Nátrico, expondo estruturas colunares nos horizontes subsuperficiais

Fonte: Fotografia obtida pelos autores.



Figura 5 – Perfil 6: Planossolo Nátrico com horizonte CR

Fonte: Fotografia obtida pelos autores.

PERFIL 7
CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO ENTORNO

Classificação: Planossolo Nátrico Gleizado

Localização: Município de Irauçuba: Fazenda Vila Mimosa

Coordenadas: 0411435 e 9580789

Altitude: 185m

Situação e declive: Depressão sertaneja pediplanada, com 0-8% de declive

Forma do terreno circundante: Relevo aplainado com presença de inselbergs

Material Original: Granito gnaissificado do Complexo Nordestino e material coluvial

Drenagem: Imperfeitamente drenado

Pedregosidade: Moderadamente pedregoso

Afloramentos rochosos: Não rochoso

Erosão: Laminar ligeiro

Vegetação Potencial: Caatinga arbórea-arbustiva

Uso atual: Pastagem (herbácea)

Profundidade do lençol freático: Não definido

Horizontes	Profundidade (cm)	Descrição Macromorfológica
Ap1	0 – 2,5	Bruno (10YR5/3) em úmido; textura franco arenosa; estrutura fraca em blocos subangulares médios; ligeiramente duro em seco; friável em úmido; não plástico; não pegajoso quando molhado; poros pequenos e comuns; pouca atividade biológica de formigas; comuns raízes do tipo cabeleiras finas a muito finas; transição abrupta e plana.
E	2,5 – 13,5	Bruno amarelado (10YR5/6) em úmido; textura areia franca; grãos simples; presença de calhaus heterométricos arrestados subangulares de natureza quartzosa; solto, quando seco, e úmido e não plástico e não pegajoso; muitos poros médios; raízes finas; transição gradual e ondulada.

Btg1	13,5 – 18,0	Cinzento (10YR6/1) em úmido e bruno claro acinzentado (10YR6/3) em seco; textura franco; estrutura maciça; presença de manchas de cor amarelo brunado (10YR6/8); ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; poucos poros muito pequenos; transição clara e ondulada.
Btg2	18,00 – 52,0	Vermelho acinzentado (2.5YR5/2) em úmido; textura franca; estrutura colunar; dura quando seco e muito firme quando úmida; plástico e pegajoso; manchas de cor cinzento muito escuro (2.5Y3/1) com alterações de minerais ferromagnesianos; sem poros visíveis; transição difusa e ondulada.
C	> 52,0	—



Figura 6 – Perfil 7 – Planossolos exibindo horizonte E sobre horizonte Btg1 em estrutura maciça
Fonte: Fotografia obtida pelos autores.

Considerações Finais

A par das considerações feitas sobre os Planossolos das áreas de exclusão do projeto retromencionado, salienta-se que essa ordem de solos na região de Irauçuba associa-se, comumente, com Neossolos Litólicos, Afloramentos de Rochas e Neossolos Flúvicos. As Topossequências têm Neossolos Litólicos nas elevações residuais dos inselbergs e nos topos e vertentes desgastadas pela erosão laminar em topografias parcialmente dissecadas. Tratam-se de solos rasos a muito rasos, com textura arenosa a média, pedregosos e com fertilidade natural aparente de média a baixa. Os Planossolos estão dispostos nas baixas vertentes das rampas de sedimentação que têm cimento topográfico suave para os fundos de vales. Via de regra, tratam-se de solos pouco profundos, mal drenados, com textura que varia de arenosa a média e argilosa e fertilidade natural aparente média. Além de suscetibilidade à erosão, própria dos ambientes semiáridos revestidos por caatinga aberta, há sérios problemas de salinização e acidez nesses solos. Acresentam-se a pedregosidade e a alta frequência de lajedos e matações. A melhoria na qualidade dos solos na região estaria condicionada à ocorrência de solos com propriedades vítreas e de Neossolos Flúvicos que recobrem as planícies fluviais. Há, então, a ocorrência de solos mais profundos, moderadamente drenados e alta fertilidade natural aparente.

Dentre os problemas que afetam as condições dos solos da área de Irauçuba cabe destaque a exploração florestal e o extrativismo, historicamente exacerbado, e o sobrepastoreio.

No primeiro caso, do extrativismo vegetal, constata-se que as espécies lenhosas da caatinga têm sido suprimidas e exploradas através de finalidades as mais diversas: construção de cercas, mourões, extração de lenha para consumo doméstico e de carvão. O sobrepastoreio tem conduzido ao declínio progressivo das pastagens naturais, implicando a supressão das formações herbáceas e o excesso de pisoteio pelo gado. Isso repercute negativamente na ablação dos horizontes superficiais dos solos, intensificando os efeitos do escoamento superficial. Traduz-se também na incidência dos processos de

erosão linear através de sulcos e ravinamentos, além do aumento de exposições rochosas. São condições que vão conduzindo à expansão do núcleo de desertificação de Irauçuba e dos sertões do centro-norte do Ceará (CEARÁ, 2010).

Referências Bibliográficas

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997, 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

Agradecimento

Expressamos nossos agradecimentos ao coordenador do projeto e colega Prof. José Gerardo Beserra de Oliveira, pela oportunidade de contribuir nessa importante obra que versa na temática de desertificação e também aos anos de convívio, incentivo e amizade.

POTENCIAL DE EROSÃO DAS TERRAS NO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA ESTIMADA POR MEIO DOS PARÂMETROS DA EUPS

Marta Celina Linhares Sales

Introdução

A erosão dos solos é uma das mais importantes alterações resultantes da degradação em uma determinada área e pode ser também considerada como importante indicador da desertificação (BOAVENTURA, 1986; MENEZES e SAMPAIO, 2000; SILVA, 2000). Aquino (2002) apresenta um esquema elaborado por Roxo e Mourão (1998), aqui reproduzido na Figura 1, no qual é evidente a intensa relação entre a desertificação e a erosão dos solos.

A erosão compreende desagregação, transporte e deposição das partículas de solos pela força erosiva das gotas da chuva e do fluxo da água na superfície. Dependendo da forma como ocorre o escoamento superficial, podem-se desenvolver dois tipos de erosão: laminar, quando as águas escoam em lençol, de modo difuso, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo, e em sulcos, causada por concentração das linhas de fluxo das águas do escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno (SALOMÃO, 1999).

De acordo com Silva (2000), a erosão laminar, em termos globais, é a mais disseminada na área do semiárido e de mais difícil percepção. Bertoni e Lombardi Neto (1990) consideram que, em razão da

dificuldade de se perceber a remoção de camadas uniformes e delgadas de solo, a erosão laminar se torna a mais perigosa. As perdas de solo por este processo são comandadas por diversos fatores relacionados com as condições naturais do terreno, com destaque para a chuva, a cobertura vegetal, a topografia do terreno e as características intrínsecas dos solos (SALOMÃO, 1999). Em decorrência do número e da complexidade dos fatores envolvidos nos processos de erosão dos solos, torna-se deveras difícil e dispendioso a quantificação deles diretamente no campo.

Wischmeier e Smith (1958), analisando dados de perdas de solos obtidos em mais de 10.000 parcelas experimentais em condições de chuvas naturais e simuladas, deduziram a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), que é o modelo empírico mais usado em todo o mundo para predição dessas perdas. A equação expressa a perda de solo por unidade de área como:

$$A = R \ K \ L \ S \ C \ P,$$

onde A é a perda de solo por unidade de área:

R é o fator erosividade da chuva:

K é o fator erodibilidade do solo:

L é o fator relativo ao comprimento da encosta:

S é o fator relativo à declividade da encosta:

C é o fator relativo ao uso e manejo do solo:

P é o fator relativo à prática conservacionista adotada

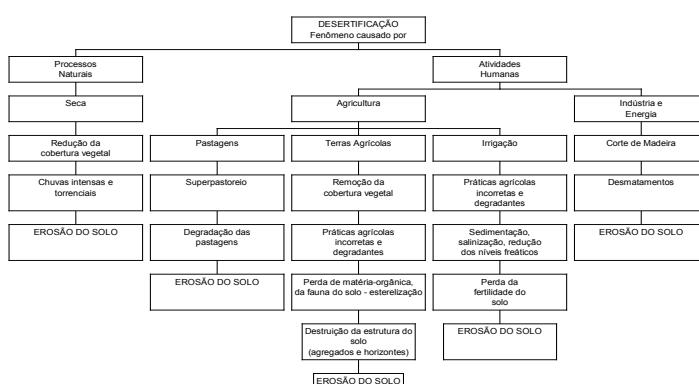


Figura 1 – Esquema indicando etapas e processos na Erosão dos Solos
Fonte: Aquino (2002).

Salomão (1999) chama atenção para o fato de que os cálculos dos valores dos fatores de cada componente da equação, em se tratando de trabalhos em escala regional, não devem ser vistos como valores reais, servindo apenas para categorizar qualitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor suscetibilidade à erosão laminar.

Nesta perspectiva, foram selecionados e adaptados, com suporte nos básicos disponíveis, alguns fatores da USLE passíveis de determinação para o município de Irauçuba, com o objetivo de conhecer a suscetibilidade de seus solos à erosão laminar. Como aporte para a compreensão dos processos erosivos na área de estudo seguem breve caracterização e espacialização das principais classes de solos ocorrentes em Irauçuba.

Características dos solos de Irauçuba

De acordo com Jacomine (1973), no município de Irauçuba ocorrem oito associações de solos agrupadas em quatro tipos predominantes. Os solos Brunos-não-cálcicos (Luvissolos) predominam no município onde ocupam cerca de 43,26% de sua área. Os solos Litólicos (Neossolos Litólicos) compõem o segundo grupo de solos, ocorrendo em 33,04% da área, seguido dos solos Planossolos e Solonetzs (Planossolos) com 18,74% e, finalmente, os Podzólicos (Argissolos) ocorrendo em somente 4,96% da área do município. O mapa de solos do município de Irauçuba é apresentado na Figura 2.

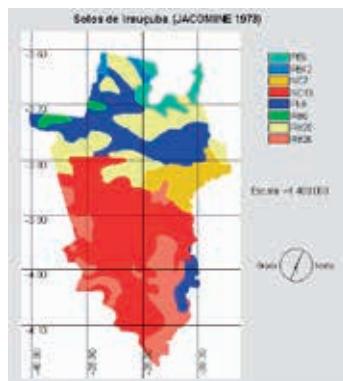


Figura 2 – Solos do município de Irauçuba
Fonte: (JACOMINE, 1973).

No diagnóstico geoambiental do município de Irauçuba, elaborado por Brandão et al. (2003), as associações de solos diferem daquelas apresentadas pelo Radambrasil, entretanto os tipos de solos mapeados são os mesmos. Deve-se destacar, também, a existência de associações de Planossolos e Solonetz Solodizados que ocorrem em subcompartimentos da depressão sertaneja, formando depressões com pequenos desníveis em cotas altimétricas quase sempre inferiores a 200 metros, mapeadas pelo Radambrasil como áreas de acumulação inundáveis.

Erosividade das chuvas

Com base no estudo das características das precipitações foi possível estimar os valores de erosividade das chuvas para a região. Esta se define como a capacidade potencial da chuva em causar erosão mediante a desagregação das partículas da camada superficial do solo pelo impacto das gotas das águas e posterior arraste do material desagregado. A energia cinética empregada em tais processos é resultante não apenas da intensidade como também da duração e frequência dos episódios pluviais (SANT'ANNA NETO, 1995).

Aquino (2002), após criteriosa revisão bibliográfica acerca dos diversos métodos propostos para estimativa da erosividade das chuvas, o chamado fator R da Equação Universal da Perda de Solos, utiliza o método desenvolvido por Lombardi Neto e Moldenhauer (1980), apresentado em Bertoni e Lombardi Neto (1990) para estimar a erosividade das chuvas nas terras secas do estado do Piauí. O índice EI_{30} é geralmente considerado adequado para as condições brasileiras (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), sendo o mesmo verificado para outras regiões tropicais do mundo.

Essa estimativa foi com uso da seguinte equação:

$$EI = 67,355(r^2/p)^{0.85}$$

onde, **EI** (Mj.mm/ha.h.ano) é a média mensal do índice de erosão;

r (mm) é a precipitação média mensal;

p (mm) é a precipitação média anual;

Os valores anuais da erosividade da chuva são o somatório dos valores mensais.

Com base na equação ora descrita, foram calculados os índices de erosividade para os postos pluviométricos selecionados. Com a finalidade de espacializar a distribuição dos valores de erosividade, foram traçadas isoerodentes – linhas que unem pontos de igual valor de erosividade – que delimitaram três regiões ou intervalos de valores para as quais foram atribuídos pesos definindo as áreas como classes de baixa, média e alta erosividade. Os intervalos de valores e suas respectivas ponderações e classes estão descritos na Tabela 1.

Os valores de erosividade das chuvas para a região de Irauçuba variam entre 4218 e 7481MJ.mm/ha.h.ano. O mapa das isoerodentes da Figura 2 mostra que o município de Irauçuba está inserido nas classes de média e baixa erosividade, correspondendo a 88,65 % e 11,35% de sua área, respectivamente. A Tabela 2 apresenta os índices de erosividade e suas respectivas classes para os 12 postos pluviométricos selecionados.

Tabela 1 – Intervalos de R com os pesos e as denominações das classes de erosividade correspondentes a cada intervalo

Intervalos de R (MJ.mm/há.h.ano)	Peso	Classes
$R \leq 5305$	1	Baixa
$5305 < R \leq 6392$	2	Média
$R > 6392$	3	Alta

Fonte: Organizada por Sales (2003).

Comparando os resultados encontrados em Irauçuba com os indicados por Aquino (2002) para as terras secas do Piauí (4800 a 9300), os valores em Irauçuba são inferiores aos do Piauí, em razão, provavelmente, das baixas precipitações na área de estudo. É importante considerar, entretanto, as características das precipitações nas regiões tropicais que, além da torrencialidade, no caso específico da região de Irauçuba, ocorrem concentradas em um curto período do ano.

Observa-se, numa antecipação do papel da erosividade na região de Irauçuba que, mesmo sendo esta relativamente baixa, seus efeitos se manifestam num momento em que a cobertura vegetal, praticamente

ausente, em virtude do caráter decíduo da vegetação local, pouco protege os solos dos efeitos da chuva na desagregação e no transporte das partículas de sua superfície, contribuindo para uma maior erosão.

Tabela 2 – Erosividade da chuva para os Postos Pluviométricos na região de Irauçuba, indicados por seus valores, ponderações e classes

POSTO	VALOR DE R (Mj. mm/ha.h.ano)	PESO ATIBUÍDO	CLASSE DE EROSIVIDADE
ARACATIAÇU	4876	1	BAIXA
AYRES DE SOUZA	5699	2	MÉDIA
IRAUÇUBA	4218	1	BAIXA
ITAPAJÉ	5883	2	MÉDIA
ITAPIPOCA	7481	3	ALTA
JUÁ	4266	1	BAIXA
MIRAIAMA	6857	3	ALTA
PATOS	5024	1	BAIXA
SANTA MARIA	4771	1	BAIXA
SANTA QUITÉRIA	6422	3	ALTA
TEJUSSUOCA	5251	1	BAIXA
UBIRAÇU	6353	2	MÉDIA

Fonte: Organizada por Sales (2003).

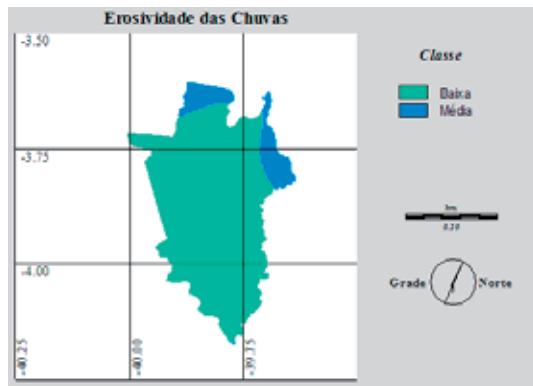


Figura 3 – Classes de erosividade do município de Irauçuba – CE
Fonte: Organizada por Sales (2003).

Ruellan (1953), discutindo a importância das enxurradas para a formação do relevo no Brasil, mais especificamente a erosão laminar, faz a seguinte observação:

O que devemos salientar, em primeiro lugar, é a questão da força das chuvas tropicais. Possuem elas incontestavelmente um tal poder de choque, no momento que batem no solo, seja este mole ou movediço, que chegam a imprimir sua marca na superfície, ao mesmo tempo em que projetam, centrifugamente, as partículas encontradas. Esta ação é tanto mais importante, se considerar que, na região da caatinga espinhosa, e, mesmo, dos campos cerrados (com extensões de pequenas árvores de troncos torcidos), ou “campos limpos” (herbáceos), o solo detritico é insuficientemente coberto pela vegetação e alternadamente umedecido e dissecado pela insolação intensa.

Erodibilidade dos solos

A erodibilidade do solo expressa sua susceptibilidade à erosão, constituindo-se em uma propriedade intrínseca do solo, que depende da velocidade de infiltração da água no solo, da sua capacidade de armazenamento da água, das forças de resistência do solo à ação da chuva na desagregação do solo e no transporte do material pelo escoamento superficial (PRUSKI, 2000).

A resposta do solo aos processos erosivos é complexa e é influenciada por suas propriedades como textura, estabilidade da estrutura, conteúdo de matéria orgânica, tipos de argila e constituintes químicos, sendo ainda mais complexa considerando-se que algumas dessas propriedades como, por exemplo, a matéria orgânica, pode ser alterada ao longo do sistema pelo tempo de uso da terra e práticas de manejo (LAL; ELLIOT, 1994).

A erodibilidade é referida na USLE como o fator K. Sua determinação pode ser feita diretamente no campo pela medição da quantidade de solo erodida por unidade do índice de erosão da chuva natural ou simulada para um solo específico, que é mantido sem cobertura, submetido a práticas culturais normais em um declive de 9% e comprimento de rampa de 22,1 metros (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; SILVA, 1994; PRUSKI, 2000).

Em decorrência, porém, das dificuldades e dos custos para levantamento desses dados diretamente no campo, foram elaborados alguns métodos indiretos para determinação do K (WISCHMEIER; JONSON; CROSS, 1971; ROMKENS; PRASAD; POESEN, 1987; ROMKENS et al., 1997).

Trabalhando na determinação da erodibilidade dos solos do Ceará, Silva (1994) sugeriu o uso da equação de Romkens, Prasad e Poesen (1987) em substituição ao método nomográfico de Wischmeier, Jonson e Cross (1971). Para Silva, a equação de Romkens e colaboradores mostrou-se satisfatória para predizer a erodibilidade, uma vez que os resultados estimados por esta não exprimem diferenças estatísticas significativas quando comparadas com os resultados obtidos em condições de chuvas naturais.

A equação de Romkens calcula o fator K com base na média geométrica do diâmetro das partículas primárias encontradas no solo, proposta por Shirazi e Boersma (1994). Assim, com base nas descrições das texturas do horizonte superficial nos perfis de solos descritos por Jacomine (1973), representativos das nove associações de solos que ocorrem no município de Irauçuba, foi possível determinar a erodibilidade dos seus solos.

O resultado final para cada associação de solo é a média ponderada calculada com base na erodibilidade média de cada um de seus solos e de sua percentagem de ocorrência na associação. Para os valores de erodibilidade obtidos para as nove associações, foram estabelecidos três intervalos de igual amplitude com seus respectivos pesos, de modo a constituir três classes de erodibilidade, conforme exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Intervalos de K com os pesos e denominações das classes correspondentes a cada intervalo

Intervalos de K (ton.ha.h/ ha.MJ.mm)	Peso	Classes
0,013 < K < 0,016	1	Baixa
0,017 < K < 0,019	2	Média
K > 0,019	3	Alta

Fonte: Organizada por Sales (2003).

Conforme indicado na Tabela 4 e Figura 4, os valores de erodibilidade dos solos estimados para as nove associações encontradas no município de Irauçuba variam de 0,013 na associação de solo PE42 a 0,022 nas associações PE6, NC7 e NC15. As classes correspondentes a alta, média e baixa erodibilidade ocorrem, respectivamente, em 48,60%, 36,01% e 15,72% da área de Irauçuba.

Tabela 4 – Valores de Erodibilidade (K) estimados nas Associações de Solos descritas por Jacomine (1973) no município de Irauçuba, de acordo com a Equação de Romkens et al. (1997)

ASSOCIAÇÃO DE SOLO	VALORES DE K (ton.ha.h/ha.MJ. mm)	PESO ATRIBUÍDO	CLASSE DE ERODIBILIDADE
PE6	0,022	3	ALTA
PE42	0,013	1	BAIXA
NC7	0,022	3	ALTA
NC15	0,022	3	ALTA
PL6	0,019	2	MÉDIA
Re6	0,020	3	ALTA
Re25	0,017	2	MÉDIA
Re26	0,014	1	BAIXA

Fonte: Organizada por Sales (2003).

Os resultados aqui expressos para Irauçuba devem ser vistos com certa cautela, sobretudo se comparados com os resultados exibidos por Silva (1994) para o estado do Ceará, que estima valores para as diferentes associações de solos que ocorrem no estado, variando de 0,011 a 0,042.

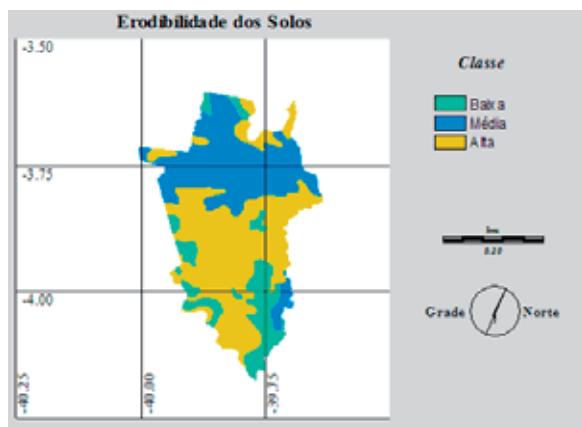


Figura 4 – Classes de erodibilidade dos solos no município de Irauçuba – CE
Fonte: Organizada por Sales (2003).

Declividade do relevo

Na Equação Universal de Perdas de Solo (UEPS), o fator topográfico, descrito como LS, corresponde respectivamente ao comprimento da encosta e à declividade do terreno. Quanto mais íngreme e mais longa for a encosta, tanto maior será a intensificação do escoamento superficial e, consequentemente, maiores devem ser a velocidade e a vazão correspondentes, o que aumentará a capacidade de transporte de sedimentos (PRUSKI, 2000). A topografia do terreno, representada por esses dois componentes, influencia a velocidade do fluxo d'água que, por sua vez, determina o tamanho e a quantidade de material transportado por araste, em suspensão ou saltação (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Tradicionalmente, para determinação do fator LS na USLE, é avaliado o efeito simultâneo dessas duas características topográficas – grau de declive e comprimento da encosta. Mesmo reconhecendo que o comprimento da rampa é tão importante quanto sua declividade, na impossibilidade de determinar a primeira destas características, optou-se pela elaboração da carta de declividade do município de Irauçuba como alternativa para avaliar a influência da topografia para o risco de erosão das terras em Irauçuba.

Com apoio nas cartas topográficas do DSG/Sudene disponíveis para a região, na escala de 1/100.000 e com equidistâncias de

40 metros, foram digitalizadas, com uso do software de digitalização CartaLinx (HAGAN; EASTMAN, 2002), as curvas de nível na área do município de Irauçuba, gerando informações depois transferidas para o de Sistema de Informações Geográficas IDRISI (EASTMAN, 2002) para elaboração de um mapa digital de elevação que serviu de base para confecção da carta de declividade do terreno. Nesta carta, foram definidos intervalos de declividade que, aplicados à área, permitiram a identificação de cinco classes de relevo (Tabela 6, Figura 5).

É importante observar que a declividade do terreno no município de Irauçuba se encontra dividida em basicamente duas categorias – a dos relevos planos, ocupando 65,4% da área do município, e a categoria dos relevos escarpados, que corresponde a 31,3% – sendo praticamente inexpressiva a participação de outras categorias.

Portanto, aproximadamente dois terços da área do município são constituídos de relevos planos que não exibem, do ponto de vista da declividade, limitação ao seu uso em virtude da baixa suscetibilidade à erosão. Por outro lado, um terço de suas terras, as áreas de relevo escarpado, é considerado totalmente inapropriado à utilização agrícola e pecuária, sendo estas indicadas, pela legislação ambiental vigente, para proteção permanente.

Pode-se, pois, considerar, numa antecipação da discussão sobre o papel da declividade do terreno na erosão potencial dos solos na região de Irauçuba, que ela não é um fator que acelere significativamente este processo, a não ser em áreas de relevo escarpado.

Tabela 5 – Classe de relevo e de declividade com suas áreas e seus percentuais de ocorrência no município de Irauçuba

CLASSE DE RELEVO	DECLIVIDADE (%)	ÁREA (km ²)	% DE OCORRÊNCIA NO MUNICÍPIO
Plano	< 3	869,9	65,4
Suave Ondulado	3 a < 8	0,70	-
Ondulado	8 a , 20	0,04	-
Forte Ondulado	20 a < 45	31,7	2,4
Montanhoso	45 a < 75	12,15	0,9
Escarpado	> = 75	416	31,3

Fonte: Organizada por Sales (2003).

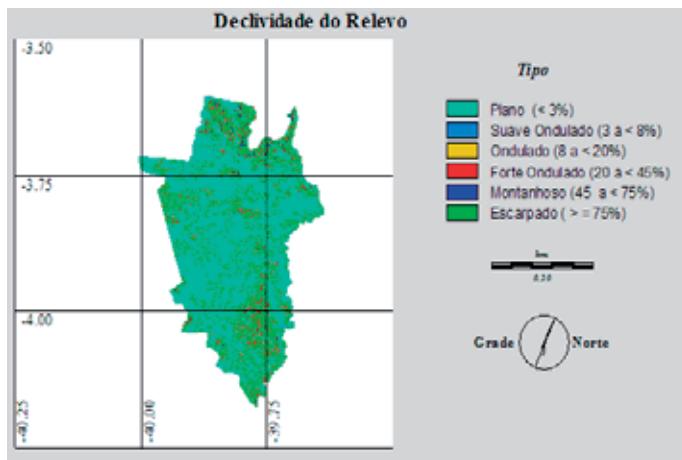


Figura 5 – Classes de declividade no município de Irauçuba – CE
Fonte: Organizada por Sales (2003).

Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é considerada um dos mais importantes fatores de proteção do solo contra a ação hídrica, por constituir a proteção natural do solo contra a erosão. De um modo geral, quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, menor será sua suscetibilidade à erosão. Comentando o papel que a cobertura vegetal exerce na proteção dos solos, Pruski (2000) destaca o aumento da capacidade de água interceptada, o amortecimento da energia de impacto das gotas de chuva, a redução da destruição dos agregados responsáveis pela obstrução dos poros e selamento superficial do solo e a redução da velocidade do escoamento superficial em virtude do aumento da rugosidade hidráulica.

Na Equação Universal das Perdas de Solo (USLE), o fator C quantifica o efeito combinado de cobertura e manejo do solo, sendo definido como a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno cultivado em determinadas condições de cobertura e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto.

Associado ao fator C, deve-se considerar também o fator P (Práticas Conservacionistas), outro componente da USLE diretamente relacionado ao manejo da cobertura vegetal em um determinado tipo de solo. O fator P, por sua vez, expressa a relação entre as perdas de solo em um terreno cultivado sob determinada prática conservacionista (terraceamento, cobertura morta, plantio direto etc) e as perdas de solo quando o plantio é feito sem nenhuma técnica de conservação (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; PRUSKI, 2000).

Para Pruski (2000), como o fator C, o fator P influencia a interceptação das chuvas, a resistência ao escoamento superficial, a infiltração da água no solo, o armazenamento superficial e o comprimento e direcionamento do escoamento superficial.

Especificamente na relação entre cobertura vegetal e solos, Stocking (1994) considera que os principais processos interativos dos solos com a vegetação que afetam a erosão incluem a ligação física do solo com o caule das plantas e as raízes, as ligações químicas de substâncias eletroquímicas e nutrientes entre as raízes e o solo, a interrupção do escoamento pelos caules e matéria orgânica, o aumento da infiltração ao longo dos canais das raízes e a maior incorporação de matéria orgânica dentro do solo, que resulta em melhor estrutura e qualidade de conservação da água e no aumento da atividade biológica, levando à melhoria da estrutura do solo.

Na USLE, o fator C é considerado e contabilizado com origem nas taxas médias de perda de solo (SLR) em uma dada condição num determinado período. A determinação das taxas de perdas de solos é feita empregando-se a equação a seguir descrita.

$$\text{SLR} = \text{PLU} \times \text{CC} \times \text{SC} \times \text{SR} \times \text{SM}$$

onde: **SLR** é a taxa de perda de solo para dadas condições;

PLU é o subfator de uso anterior da terra;

CC é o subfator cobertura da copa;

SC é o subfator de cobertura da superfície;

SR é o subfator rugosidade da superfície;

SM é o subfator umidade do solo.

Segundo (YODER, et al., 1997 apud AQUINO, 2002), o subfator PLU expressa os efeitos residuais das culturas anteriormente desenvolvidas na erosão dos solos; o subfator CC representa a eficácia da copa das plantas na redução da energia da precipitação que atinge o solo; o subfator SC corresponde à cobertura superficial representada pelos resíduos de outras culturas, afloramentos rochosos e outros materiais não erodíveis que estejam recobrindo a superfície, atuando na diminuição do escoamento e permitindo a deposição de material; a rugosidade ou aspereza do terreno é contabilizada no subfator SR, tendo no seu aumento a redução da velocidade do escoamento; e, finalmente, o subfator SM corresponde à umidade preexistente no solo de modo que, quanto mais úmido o solo menor será a capacidade de absorção, intensificando o volume de água disponível para o escoamento superficial.

Neste estudo, a exemplo de Aquino (2002), dada a inexistência de dados básicos e a impossibilidade de gerá-los, optou-se por trabalhar apenas como subfator CC, que corresponde estritamente à proteção que a vegetação oferece na redução da energia da precipitação.

Para o fator CC, Crepani et al. (2000), no roteiro metodológico proposto para o Zoneamento Ecológico e Econômico do Brasil, indicaram os níveis de proteção do solo contra a erosão pelos diferentes tipos de cobertura encontrados nos estudos de Radambrasil, relatados para o município de Irauçuba em (BRASIL, 1981). Nessa proposta metodológica, Crepani et al. (2000) consideraram a densidade da cobertura vegetal como o parâmetro a ser definido, por ser este o fator de proteção do solo contra os processos morfogenéticos que correspondem aos níveis de proteção contra a erosão. Esses autores atribuíram valores para os níveis de proteção do solo pela vegetação, numa escala que varia de próximo a 1,0 para as altas densidades de cobertura, 2,0 para as densidades intermediárias e 3,0 para as baixas densidades de cobertura vegetal.

Assim, para os tipos de vegetação descritos no Brasil (1981) para o município de Irauçuba (Tabela 6, Figura 6), foram considerados níveis de proteção aos quais foram atribuídos pesos, conforme consta na Tabela 5 e na Figura 6.

Tabela 6 – Tipos de vegetação no município de Irauçuba, níveis de proteção por eles oferecidos e pesos atribuídos

Categoría*	Descrição	Nível de Proteção**	Pesos**
Eap	Estepe arbórea aberta, com palmeiras	Médio	2
Eas	Estepe arbórea aberta, sem palmeiras	Médio	2
Eps	Estepe parque sem palmeiras	Baixo	1
Ac ₁	Agricultura	Baixo	1
Ac ₂	Agricultura	Baixo	1
Eds	Estepe arbórea densa sem palmeiras	Alto	3

Fonte: (BRASIL, 1981).

Os resultados referentes aos níveis de proteção da cobertura vegetal, apresentados na Figura 6, indicam que 91,1%, 8,16% e 0,68% da área do município de Irauçuba têm, respectivamente, proteção média, baixa e alta da cobertura vegetal contra a erosão.

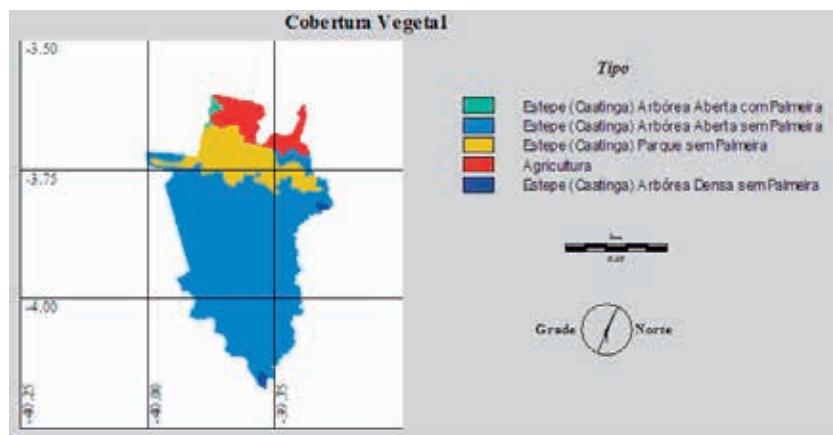


Figura 6 – Tipos de cobertura vegetal do município de Irauçuba
Fonte: (BRASIL, 1981).

Risco potencial de erosão

O risco potencial de erosão, indicado na Figura 7, foi estimado pelo produto que se obteve quando foram multiplicados os valores atribuídos às classes ou níveis de erosividade da chuva (R), erodibilidade dos solos (K) e cobertura vegetal.

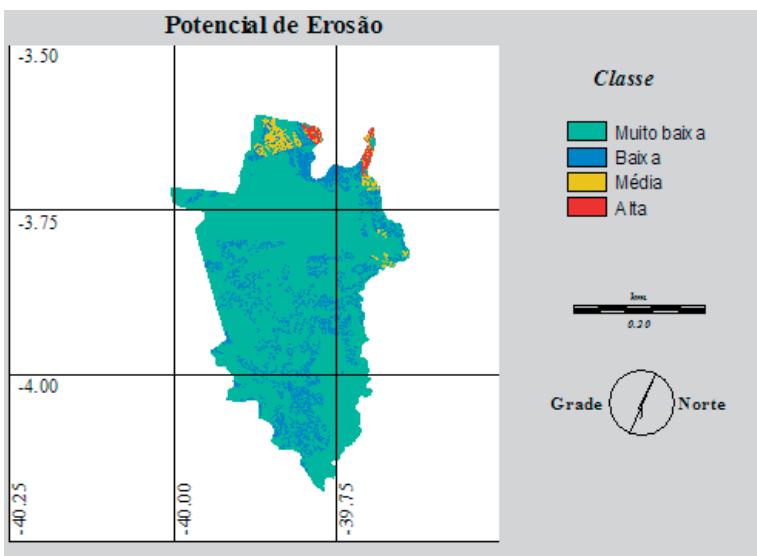


Figura 7 – Risco potencial de erosão do município de Irauçuba

Fonte: Organizada por Sales (2003).

A faixa de valores compreendida entre os valores mínimo e máximo deste produto foi dividida em quatro intervalos de mesma grandeza, aos quais foram atribuídos, em ordem crescente, valores correspondentes às classes de risco consideradas neste ensaio ou como sendo muito baixa, baixa, média e alta. Essas classes foram empregadas na confecção do Mapa de Risco Potencial de Erosão da Figura 33, que indica estarem 81,7%, 15,4%, 2,0% e 0,9% das terras do município de Irauçuba inseridas, respectivamente, nas classes muito baixa, baixa, média e alta de risco potencial de erosão.

Considerações finais

Os estudos morfopedológicos realizados em escala local, no contexto do município, foram conduzidos pela adaptação de alguns componentes da USLE de forma a indicar o potencial de erosão das terras do município de Irauçuba. Quanto à erosividade das chuvas, que está diretamente associada aos totais das precipitações, não se poderiam esperar resultados diferentes dos encontrados, em que 88,65% e 11,35% das terras do município se enquadram, respectivamente, nas classes de média e baixa de erosividade.

A erodibilidade dos solos, considerados individualmente, representa fator importante para a erosão dos solos de Irauçuba, levando-se em conta o fato de que os solos do tipo Bruno não Cálcicos, citados entre os principais tipos que ocorrem no sertão nordestino como o de maior suscetibilidade à erosão, se distribuem em 43,26% da área do município (SÁ et al., 1994; SILVA, 1994). Por outro lado, deve-se considerar que a existência, em algumas áreas do município, de um pavimento dendrítico com afloramentos rochosos pode exercer um importante papel na atenuação do efeito do impacto da gota da chuva no solo e alteração da rugosidade do terreno, sendo este também um fator redutor da erosão.

Considerando a morfologia das terras, evidencia-se uma situação curiosa, enquanto aproximadamente 60% da área do município são constituídas de relevos planos, portanto, sem limitações quanto à declividade; um pouco mais de 30% são do tipo escarpado, totalmente inapropriado para qualquer uso. O que se observa, no entanto, na região de Irauçuba, no trecho correspondente às áreas de terrenos escarpados, é que existe a prática corriqueira entre os pequenos produtores do uso indistintamente dos solos nos terrenos de maior declive sem a menor preocupação com as perdas de solos e diminuição da produtividade destes. Esta prática não se restringe ao município de Irauçuba, pois atinge também todo o maciço de Uruburetama, constituindo-se, talvez, num dos maiores problemas ambientais atuais no estado do Ceará, com as perdas dos solos agricultáveis de suas serras úmidas, áreas estas que, historicamente, se constituem em importantes

polos produtores de fruticultura do Ceará, bem como importante fonte de renda da população local (SALES; OLIVEIRA, 2007).

Em razão da intensa dinâmica a que a vegetação está submetida no sistema ambiental, constituindo-se em subsistema de mais fácil alteração, considera-se que os dados de nível de proteção da cobertura vegetal que foram apresentados neste trabalho superestimam essa possível proteção, principalmente pela base de dados estar desatualizada, como é o caso de Brasil (1981). Considera-se que o resultado final indicado pelo Potencial de Erosão fica prejudicado pelo resultado parcial dos níveis de proteção da cobertura vegetal. Desta forma, o baixo risco potencial de erosão indicado deve ser visto com cautela, sobretudo se considerarmos a ação das primeiras chuvas na região que, graças ao caráter decíduo da vegetação, deixa os solos completamente expostos ao trabalho erosivo das águas da chuva, além do pastoreio do gado.

Referências Bibliográficas

- AQUINO, C. M. S. de. *Suscetibilidade geoambiental das terras secas do estado do Piauí à desertificação*. 2002. 169 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Prodema, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p. il.
- BOAVENTURA, R. S. Erosão acelerada e desertificação. In: SEMINÁRIO SOBRE DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE. Brasília: SEMA/SPL, p. 71-78, 1986.
- BRANDÃO, R. L. et al. *Zoneamento geoambiental da região de Irauçuba-CE: carta geoambiental*. Texto Explicativo. Fortaleza: CPRM, 2003. 63 p. il.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. *Folhas SB.24/25 - Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da Terra*. Rio de Janeiro: MME, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).

- CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro In: ALVAREZ, V. H. et al. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável*. Viçosa: SBCS/UFV/DPS, 1996.
- CREPANI, E. et al. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológicos e econômicos e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE, 2000.
- EASTMAN, J. R. *IDRISI 3.2*. Worcester, Mass: Clark University, USA, 2002.
- HAGAN, E. J.; EASTMAN, J. R. *CartaLinx*. Worcester, Mass: Clark University, USA, 2002.
- JACOMINE, P. T. K. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará*. Recife: SUDENE/DRN, v. 1-2, 1973. (Boletim Técnico n. 28).
- LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. *Soil erosion: research methods*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p. 180-208. 1994.
- LAL, R. *Soil erosion: research methods*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1994.
- LEBRUN, J. C. *Manejo e conservação de solos no Nordeste*. Recife: SUDENE, 1988.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. *Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. Bragantina*, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.
- MELO, J. de O. *Os solos do estado do Ceará*. São Paulo: IGEOG/USP, 1972. (Caderno de Ciências da Terra, 26).
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. de S. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. In: AGRICULTURA, SUSTENTABILIDADE E O SEMI-ÁRIDO, 1., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Folha de Viçosa, 2000. p. 233-296.

PRUSKI, F. F. Aplicação de modelos físico-matemáticos à engenharia de conservação de água e solo. In: AGRICULTURA, SUSTENTABILIDADE E O SEMI-ÁRIDO, 1., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Folha de Viçosa, 2000. p. 233-296.

ROXO, M. J.; MOURÃO, J. M. Um passo contra o deserto: a percepção pública do fenómeno. *Revista Florestal*, Lisboa, v. 11, n. 1, p. 30-34, 1998.

RUELLAN, F. O papel das enxurradas no modelado do relevo brasileiro. In: BOLETIM PAULISTA DE GEOGRAFIA. São Paulo: AGB, 1953.

SÁ, I. B. et al. Degradação ambiental e reabilitação natural do trópico semiárido Brasileiro. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO. Fortaleza, 1994.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação do nordeste brasileiro. *Geousp*, São Paulo: Espaço e Tempo, n. 11, p. 115-126, 2002.

_____. *Estudos climáticos, morfopedológicos e fito-ecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba, Ceará*. 2003. 122 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Analise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. In: SILVA, J. B. et al. *Litoral e sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro*. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2007.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 195-227, 1999.

SAMPAIO, Y.; SAMPAIO, E. V. S. B. Desertificação: conceitos, causas, consequências e mensuração. In: AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS ATUAIS E ALTERNATIVAS EM ÁREAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO. Recife, 2002.

- SANT'ANNA NETO, J. L. A erosividade das chuvas no estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n. 9, 1995.
- SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no semi-árido. In: OLIVEIRA, T. S. et al. *Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.
- SOARES, A. M. L. et al. *Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Ceará-Brasil*. Fortaleza: ICID, 1992.
- SOUZA, M. J. N. *Notas sobre o problema de limitações ao uso dos solos do Ceará*. São Paulo: Instituto de Geociências – USP, 1972. (Caderno de Ciências da Terra, 24).
- _____. *O Estado do Ceará: geomorfologia, ambiente e problemas conservacionistas*. 1983. Tese (Professor Titular) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1983.
- SOUZA, M. J. N. et al. Redimensionamento da região semiárida do nordeste do Brasil. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO. Fortaleza, 1994.
- STEPHERSON, N. L. Actual evapotranspiration and deficit: biologically meaningful correlates to vegetation distribution across spatial scales. *Journal of Biogeography*, v. 25, p. 855-870, 1998.
- STOCKING, M. A. In: LAL, R. *Soil erosion: research methods*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p. 180-208, 1994.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review*, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. *Publications in Climatology*, Centerton, New Jersey, v. 8, n. 1, 1955.
- _____. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, Centerton, New Jersey, v. 10, n. 3, 1957.
- WISCHMEIR, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transactions, American Geophysical Union*, Washington, v. 39, n. 2, p. 285-291, apr. 1958.

WISCHMEIER, W. H.; JONSON, C. B.; CROSS, B. V. Soil erodibility normograph for farmland and construction site. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 26, p. 189-193, 1971.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, MICROMORFOLÓGICAS E MINERALÓGICAS DE TRÊS TOPOSSEQUÊNCIAS NO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA - CE E SUAS RELAÇÕES COM A DESERTIFICAÇÃO

Jacqueline Pires Gonçalves Lustosa

Joel Barbujani Sigolo

Nadia Regina do Nascimento

Introdução

Parte do nordeste semiárido brasileiro encontra-se seriamente afetado por processos de degradação/desertificação, abrangendo variados níveis de degradação de seus solos, vegetação e recursos hídricos, concentrando-se em maior intensidade nos 18.743,5km² distribuídos entre as regiões de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (RN/PB) e Cabrobó (PE).

Soares et al. (1995) mostram que 14% do estado do Ceará são suscetíveis à desertificação, sendo mais afetadas as áreas que se situam no município de Irauçuba, no sertão dos Inhamuns e no médio Jaguaribe. Irauçuba passou, então, a ser objeto de estudo de várias vertentes da Ciência, tais como Geografia, Biologia, Ecologia, e outras, que buscam entender a origem e a evolução da desertificação ocorrente na região. Os trabalhos desenvolvidos sob essas diferentes ópticas quase sempre constituem estudos de caracterização ambiental e apontam a ação antrópica como principal causadora da desertificação.

Rodrigues (1997), revendo os estudos e dados sobre desertificação no Brasil, lista 56 trabalhos que tratam do assunto, entre os quais alguns propõem metodologias de pesquisa e outros que abordam aspectos específicos do problema. Entre esses, a maioria aponta aspectos antrópicos, tais como busca do desenvolvimento econômico, efeito do uso da terra, capacidade de suporte de pastagens, erosão e salinização do solo como causas da desertificação, enquanto outros mapeiam a suscetibilidade das áreas ao processo e a intensidade com que ele ocorre. Em relação aos aspectos climáticos da desertificação, esses trabalhos abordam apenas suas relações com o clima atual em seus elementos em alguns aspectos relacionados com balanço hídrico, tais como precipitação pluvial e evapotranspiração, empregados para definir níveis de aridez do clima atual.

O presente trabalho teve como objetivo principal entender a relação entre a gênese e a evolução da cobertura pedológica e o processo de desertificação em Irauçuba, buscando-se, especificamente, entender o funcionamento do seu meio físico mediante a análise integrada de suas variáveis ambientais e relacionar a gênese e a evolução dos sistemas pedológicos com os aspectos fisionômicos de sua paisagem.

Para tanto, um enfoque foi considerado para o estudo da evolução da paisagem seca ou em processo de desertificação ali encontrada, em estudos que propõem para o problema uma origem ecológica/antrópica (CONTI, 1995). Esta pesquisa contesta, em parte, essa abordagem ecológica/antrópica, amplamente adotada, e introduz nova forma de interpretar o processo de desertificação, com base nos estudos do clima, vegetação, relevo e litologia, associados ao de transformações pedológicas, supondo que a convergência entre eles e suas características determinam a “desertificação” climática/natural na região de Irauçuba. A compreensão dessa convergência requer abordagem multi-interdisciplinar da área de estudo e seus solos, de acordo com as variáveis geologia, clima, geomorfologia, vegetação e uso e ocupação do solo, que é necessária para o entendimento do aspecto da fisionomia desertificada de Irauçuba.

Parte-se, ainda, da premissa de que a aridez do clima de Irauçuba, maior do que a definida no clima regional semiárido, decorre da localização na zona de sombra de chuva da serra de Uruburetama e é,

portanto, de natureza orográfica, podendo ser acentuada pelas características dos solos e da vegetação que dela resultam, o que aumenta ainda mais a condição de aridez.

Caracterização da área de estudo

A caracterização ambiental da área de estudo foi realizada com base nas especificações das variáveis que constituem os seus ambientes – geologia, clima, relevo, solo, vegetação – e que determinam as características físicas e biológicas da paisagem. A combinação dessas variáveis cria uma variedade de efeitos específicos que diferenciam o município de Irauçuba no contexto regional. Portanto, sua paisagem reflete a ação combinada dessas variáveis ambientais, o que a torna ímpar no contexto semiárido cearense.

Clima

Por se localizar no setor a sota-vento da serra de Uruburetama, a área de estudo recebe intensa influência da barreira orográfica, o que se evidencia pela ocorrência de índices pluviométricos mais baixos do que nos municípios vizinhos. Os valores da precipitação média anual estão em grande parte na área abaixo de 600mm. Os índices que definem o clima da área de estudo foram calculados por meio do balanço hídrico de Thornthwaite '55 (THORNTHWAITE; MATTER, 1955). O período chuvoso está concentrado em poucos meses, com uma estiagem que resulta em nove a mais de dez meses secos. O índice efetivo de umidade é menor do que – 49,9 e a evapotranspiração potencial é superior a 1650mm.

Geologia

A área estudada pertence à subfaixa de dobramentos Curu-Independência, formados pelos terrenos do tipo Complexo Tamboriú-Santa Quitéria que, segundo Souza Filho (1998), é representado pelo embasamento gnáissico-migmatítico. É constituída basicamente por ortognáisses básicos a ácidos, porfiríticos ou equigranulares (metato-

nalitos, biotita-granitos e metaquartzodioritos), migmatitos e, subordinadamente, paragnaisses, ortoanfibolitos, metaultramaficos e rochas calciosilicatadas (SOUZA FILHO, 1998). As unidades fanerozoicas são representadas por basaltos e diabásios que evidenciam atividades ígneas relacionadas ao evento de abertura do Oceano Atlântico.

Petrograficamente, as litologias são granitos e granodioritos de textura porfirítica, representadas por feldspatos inequigranulares, com granulação de grosseira a média. A análise mineralógica identificou K-feldspato (microclina), plagioclásio (albita-oligoclásio), biotita e quartzo nas amostras coletadas nos setores estudados do município de Irauçuba. Os minerais acessórios identificados nesse conjunto litológico foram zircão, apatita e titanitas presentes como inclusões nos feldspatos e biotitas. Os minerais secundários são muscovitas, argilominerais, minerais opacos e allanita.

No contexto regional, a serra de Uruburetama impede a penetração de massas de ar úmidas provenientes do Oceano Atlântico e que se deslocam com orientação nordeste-sudoeste em direção ao interior da área de estudo. Este fenômeno é responsável, em parte, pela baixa precipitação pluvial na área, situada a sota-vento da serra, com suas consequentes acentuação da aridez e limitação na intensidade das reações químicas necessárias ao desenvolvimento de solos profundos. Essas limitações produzem, ao contrário, solos litodependentes, que se caracterizam por serem rasos, com muitos minerais primários não decompostos.

Assim, tanto as características litológicas como a estrutura geológica regional, associadas à dinâmica dos elementos climáticos – baixas precipitações e temperaturas elevadas que caracterizam a condição de semiaridez – afetam a formação dos solos, de modo a se poder inferir a ideia de que a litologia da área de estudo está em equilíbrio dinâmico com as demais variáveis ambientais.

Geomorfologia

A área de estudo está inserida geomorfologicamente no bloco de Itapajé (serra de Uruburetama), que se caracteriza por mostrar uma extensa planície arrasada pela ação de um sistema de erosão que circunda os maciços residuais típicos de escudos ou núcleos cratônicos

(SOUZA FILHO, 1998). Em decorrência da heterogeneidade litológica desses núcleos, a estrutura é expressa como condicionadora, com vistas a facilitar a ação dos agentes e processos modeladores. Além desse aspecto, a morfologia é influenciada pelos efeitos paleoclimáticos, que explicam as formas herdadas pelos condicionantes climáticos da semiáridez local, que impõem os processos de erosão e comandam a dinâmica atual, e pelos solos e cobertura vegetal que possibilitam uma ação mais direta dos processos morfoclimáticos.

Segundo Mabessone (1975), durante o Pleistoceno, vigoraram condições climáticas semiáridas interrompidas por período úmido que levaram à elaboração da superfície de aplainamento do norte do Ceará. As evidências, para o autor, baseiam-se na inexistência de pedimentos embutidos, o que comprova a larga permanência de condições semiáridas durante o Pleistoceno Médio e Superior, quando, possivelmente sob os efeitos de chuvas torrenciais típicas de climas mais secos, ocorreram a expansão dessa superfície de piso e uma mudança no sistema de drenagem, que assumiu um caráter exorreico atual. Esta mudança no caráter da drenagem é evidência de que climas úmidos devem ter atuado nos períodos que antecederam a elaboração do piso pediplanado, pois, do contrário, a drenagem dificilmente assumiria o exorreísmo observado no presente.

Solos

Na área de estudo, foram identificados, de acordo com o Levantamento Exploratório de Solos do Estado do Ceará (JACOMINE, 1973), oito Associações de Solos, dentre as quais se destacam: Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (antigo Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico), encontrado sob caatinga hipoxerófila e hiperxerófila, nas regiões de relevo ondulado a forte ondulado, Luvissolo (antigo Bruno não Cálcico), sob caatinga hiper e hipoxerófila em área de relevo plano a montanhoso, Planossolo, recoberto pela caatinga hiperxerófila, que ocorre, predominantemente, em áreas de relevo plano e, entre esses solos, ocorrendo inclusões de Neossolos (antigos solos Litólicos e Regossolos).

Vegetação

Jordy Filho e Salgado (1975) classificaram e mapearam a vegetação da área como caatingas dos tipos Estepe Arbórea aberta com Palmeiras, Estepe Arbórea Aberta, Estepe Parque, Estepe Arbórea Densa, que na área se expandem sobre a depressão sertaneja e os maciços residuais e adquirem mecanismos fisiológicos de defesa às adversidades do clima.

Análise estrutural da cobertura pedológica

Essa metodologia, desenvolvida por Boulet et al. (1982), tem como objetivo identificar as sucessões verticais susceptíveis de serem observadas nos perfis de solos (nível de observação) e, sobretudo, estudar as variações laterais que neles ocorrem. O estudo da cobertura pedológica, conforme Boulet et al. (1982), é feito em topossequências e examinando-se o perfil da vertente em que ela se situa, em três trincheiras nela abertas inicialmente: uma no topo, uma no meio e outra na base, realizando-se as observações intermediárias necessárias entre elas por meio de tradagens. O objetivo é ligar lateralmente as observações sucessivas, feitas verticalmente, para reduzir ao máximo as incertezas entre as trincheiras. Encontradas diferenças entre elas, são instaladas trincheiras intermediárias, e fazendo-se, a seguir, novas tradagens na mesma sequência e orientação das trincheiras. Utiliza-se um pedocomparador, no qual são postas as amostras de cada tradagem, dispostas verticalmente como no terreno. Dessa forma, podem ser comparadas duas tradagens. Se forem distintas, implanta-se outra trincheira entre as duas e assim sucessivamente até encontrar os limites de transição entre uma organização e outra. Achados os limites nas trincheiras intermediárias, é realizada coleta do material para o estudo micromorfológico dos solos.

a) Procedimentos de campo

A investigação da cobertura pedológica, por meio da análise estrutural, iniciou-se com a escolha das áreas para a implantação das topossequências; para isso, foram utilizadas imagens Landsat 5, na escala de 1:100.000, fotografias aéreas na escala de 1:39.000 do Departamento Nacional de Obras

Contra as Secas (DNOCS), carta topográfica do IBGE (1:100.000), mapa de solos do município de Irauçuba, de 1985, na escala de 1:500.000 e um minucioso reconhecimento do terreno. As observações das características do relevo, dos tipos de solos e da cobertura vegetal foram importantes para a delimitação das áreas propícias à implantação das topossequências.

Os sítios foram posicionados geograficamente com o auxílio de um GPS e o perfil topográfico das topossequências foi levantado com trena de 50 metros, régua e clinômetro.

Após a determinação precisa do local, foram inicialmente abertas três trincheiras: uma no topo, uma no meio e outra na base das vertentes escolhidas. À medida que apareciam diferenças entre elas indicadas pelo processo de tradagem, novas trincheiras foram abertas. Na topossequência 1, foi utilizado o trado para encontrar os limites entre as organizações, mas, nas topossequências 2 e 3, em virtude do endurecimento do solo, foram utilizadas picaretas para o aprofundamento das trincheiras.

Com base na descrição detalhada da geometria das organizações e das características morfológicas do material dos solos, fez-se a coleta de amostras friáveis e indeformadas para análises em laboratório (granulométricas, química, mineralógica e micromorfológica). Foram coletadas, também, amostras de rochas para a confecção de lâminas petrográficas.

b) Procedimentos de Laboratório

Os procedimentos de laboratório consistiram na confecção e descrição de lâminas delgadas de solos e petrográficas; análises granulométricas, mineralógicas e de química total.

Para a análise granulométrica, o material foi separado seguindo o método da pipeta, modificado por Camargo et al. (1986) em quatro frações: areia grossa, areia fina, silte e argila, segundo o diâmetro das partículas de Atterberg.

A técnica utilizada para a extração de argila para difração de raios X foi adaptada do Méthode de préparations des argiles des sols pour études minéralogiques (ROBERT; TESSIER, 1974).

A difratometria de raios X foi realizada pelo aparelho Diffraktometer D5000 da SIEMENS, com ânodo de cobalto, numa

tensão de 35KW com foco longo. O ângulo de leitura foi de 40º, o modo de varredura foi passo a passo com duração de tempo de 0,8 segundo e o software utilizado para interpretação foi o DIFRACT-AT.

As amostras para a realização da análise química total foram moídas até ser alcançada a granulometria de 150mesh. O material foi, em seguida, submetido à fluorescência dos raios X para se detectar a quantidade relativa de elementos maiores (Si; Al; Fe; Mg; Ca; Na; K; P).

Análise das variáveis ambientais

O estudo das variáveis ambientais foi realizado com enfoque interdisciplinar tendo como base as proposições de Birkeland (1974), segundo as quais a vegetação e o solo e, consequentemente, os ecossistemas, são formados naturalmente pela ação combinada de cinco variáveis ou fatores de formação: material de origem, clima, relevo, organismos vivos e tempo. Esse autor considera as proposições de Major (1951), que se baseia em Jenny (1941), relacionando as mudanças na vegetação, nos solos e nos ecossistemas, segundo a equação:

$$v, s, e = f (cl, r, p, o t) \quad (1)$$

em que as variáveis são:

v, s, e são, respectivamente, a vegetação, o solo e o ecossistema

cl é o clima

r é o relevo

p é o material de origem

o são os organismos, e

t é o tempo.

Na equação (1) v, s e e são variáveis dependentes, enquanto cl, r, p, o e t, denominados fatores de formação, são variáveis independentes. Assim, modificações na vegetação, no solo e no ecossistema são ocasionadas por processos causados por mudanças no clima, no relevo, no material de origem e nas atividades dos organismos que ocorram ao longo de certo período. Jenny (1941), Major (1951) e Birkeland (1974)

expressam essas modificações em v, s, e como decorrentes de funções específicas que definem as equações que seguem, em cada uma das quais variam apenas os fatores de formação e o tempo t, enquanto as demais variáveis permanecem constantes.

Para estabelecer a relação entre a dinâmica dessas variáveis com a fisionomia desertificada da paisagem da área de estudo, fez-se necessário adotar os conceitos sobre os tipos de desertificação de Conti (1995) os quais têm origem por meio de processos que podem ser analisados de acordo com a equação (1). O autor considera a existência de dois tipos do fenômeno: a desertificação climática ou natural e a ecológica ou antrópica. A desertificação climática ou natural ocorre pela diminuição progressiva das chuvas decorrente de causas naturais, como alterações na atividade solar, mudanças na temperatura da água do oceano etc. Já a desertificação ecológica ou antrópica ocorre quando o ecossistema perde sua capacidade de regeneração após ter diminuído seu potencial para produção por causa da ação do homem na exploração dos recursos naturais. Em ambos os tipos de desertificação, a fisionomia da paisagem desértica ou em desertificação é percebida, sobretudo, por mudanças no solo e na vegetação.

Resultados

As organizações pedológicas foram analisadas pelo estudo de três topossequências (T1, T2 e T3), que permitiram identificar, na escala da paisagem, dois sistemas de solos: sistema Argissolo com nódulos ferruginosos e sistema de solos litodependentes: Luvissolo e Planossolo. Esses sistemas foram detalhados por meio da análise de setores de montante e jusante.

Sistema Argissolo com Nódulos Ferruginosos/Aluvissolos

Esse sistema está localizado na Fazenda Bueno, situada no Distrito de Missi, a 31,6 km da cidade de Irauçuba (Figura 1) e é representado pela topossequência T1 (Figura 2). A topossequência estende-se por 250m a partir da base de um pequeno inselberg e alonga-se até um fundo de vale. Sua superfície tem desnível de 1,80m entre seu ponto inicial, na base do inselberg, e final, no local da sua última trincheira (Tr3). Os solos ali en-

contrados são Argissolo e Aluvissolo. De acordo com a classificação de Thornthwaite e Mather (1955), o clima é semiárido com Índice Efetivo de Umidade de -33,4, com valores médios anuais de precipitação entre 700 e 800mm e Evapotranspiração Potencial entre 1600 e 1650mm e número médio de meses secos entre nove e dez. No setor que corresponde à toposequência, existe um remanescente da vegetação representado por uma caatinga arbórea, sendo a área utilizada para plantio de algodão mocó.

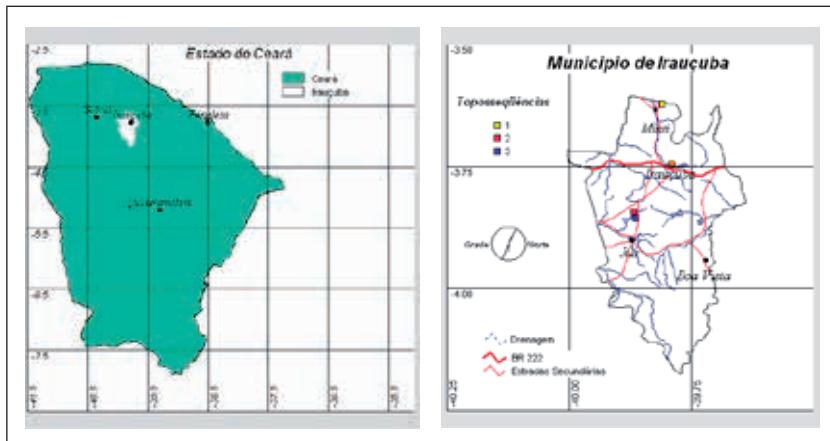


Figura 1 - Localização das toposequências
Fonte: Lustosa (2004).

A toposequência 1 foi estudada por meio de oito tradagens e sete trincheiras, que revelaram, segundo a posição topográfica e disposição dos horizontes e suas relações geométricas, a existência de dois setores: um a montante e outro a jusante. O setor a montante é representado pelas fases entre as trincheiras Tr1, Tr4, Tr6 e Tr7; o setor a jusante pelas fases entre as trincheiras Tr7, Tr5, Tr2 e Tr3.

Setor a Montante

O setor a montante se individualiza por conter em suas fases, situadas entre Tr1 e Tr4, nódulos ferruginosos que são envolvidos por uma matriz arenosa e exibem, em sua fábrica interna, grãos minerais semelhantes

aos da matriz que os envolve. A partir de Tr4, esses nódulos desaparecem, surgindo, até o fim do setor, um conjunto de horizontes de areia lavada.

As características de superfície mostram, tanto no setor a montante como no setor a jusante, a predominância na sua textura da fração areia grossa, classe granulométrica mais significativa no setor a jusante. Fragmentos de quartzo e feldspato formam pavimentos detriticos em quase toda a superfície da topossequência.

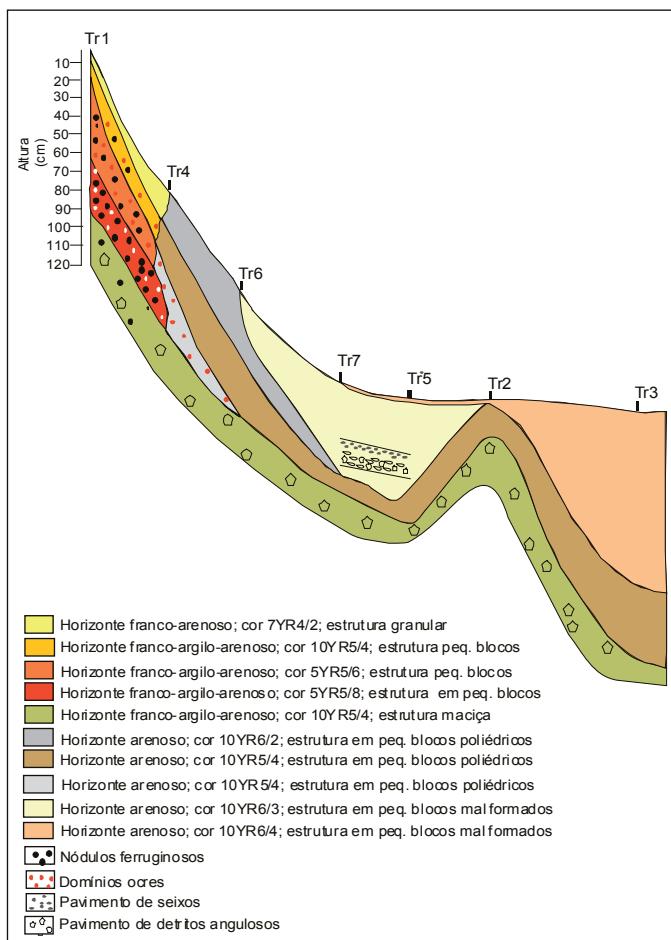


Figura 2 - Geometria da topossequência 1

Fonte: Lustosa (2004).

Quanto à geometria, permite-se inferir:

- dentro do setor a montante, pode-se observar dois tipos de material: um em pequenos blocos, que não apresentam traços de endurecimento; e outro em nódulos ferruginosos. Apesar de não serem identificadas, no nível macroscópico, as relações entre esses dois materiais, pode-se inferir que a presença dos minerais da rocha nos pequenos blocos e no interior dos nódulos indica que eles são formados a partir da rocha matriz;

- as transições verticais graduais de cor, textura e das unidades do domínio ferruginoso mostram uma diferenciação do perfil sobre o mesmo material de origem;

- o alto teor da fração areia grossa, em todo o perfil, causa alta porosidade que pode levar à perda da fração argila e a uma segregação do ferro, porém cria condições favoráveis à formação de nódulos, processo que requer redução de permeabilidade;

- o desaparecimento gradual dos nódulos, lateralmente, assim como na direção da superfície, corrobora a hipótese de que a fase ferruginosa se encontra em processo de “deferruginização” mantida pelas atuais condições de umidade. A fase inicial de formação desses nódulos, no entanto, deve decorrer de processos hidrolíticos comandados por um clima mais úmido do que o atual.

De forma geral, nesta topossequência, é possível observar quatro tipos de materiais: 1) com estrutura em pequenos blocos mal formados que não apresentam traços de endurecimento; 2) com nódulos ferruginosos; 3) com estrutura maciça e consistência extremamente dura; e 4) com muitos fragmentos de rocha.

As fases do setor a jusante da topossequência caracterizam-se por exibir horizontes arenosos de deposição. Apesar de não se poder precisar, no nível macroscópico, qual a relação entre os materiais desses horizontes, podem-se fazer algumas inferências quanto à formação dos nódulos:

- o fato de haver nódulos nos horizontes da trincheira 1 indica que houve um desenvolvimento vertical dessa cobertura, o que é visto hoje apenas na montante. Como há diminuição desses nódulos, tanto em tamanho como na quantidade, até desaparecer no horizonte

superficial, indica que esses nódulos não se formam atualmente, mas se destroem. Também, o fato de não haver continuidades desses nódulos e dos materiais avermelhados no sentido de jusante, mas apenas pontuações ocres e domínios ferruginosos, reforçam as primeiras inferências.

- o nível do lençol freático pode ter sido mais alto que o atual e essa flutuação do lençol permitiu a formação dos nódulos.

- o intemperismo químico foi pouco atuante, pois não propiciou a destruição dos nódulos, daí sua permanência no local de origem.

- um processo pedogenético, diferente daquele ligado à oscilação do lençol, permitiu a individualização do ferro, levando-o à nodulação.

- o fato de haver semelhança dos traços dos nódulos litorreliquares dos horizontes superiores com os nódulos preservados dentro do horizonte de alteração apoia a segunda inferência.

Setor a Jusante

Com relação à morfologia do setor jusante é possível supor:

A partir da trincheira 2 (Tr2) instala-se outro sistema pedológico que parece estar associado à forma do relevo que permite a ocorrência de processos deposicionais. Essa hipótese é reforçada pelas classes texturais de seus horizontes superiores semelhantes ao material de superfície do setor a montante.

As características microestruturais permitem supor que:

- em todos os níveis do horizonte entre 4 e 16cm a presença de grãos minerais com estrutura petrográfica preservada indica baixa decomposição química da rocha em decorrência dos baixos índices pluviométricos na vertente;

- o fundo matricial, composto por aproximadamente 70% de grãos minerais, permite que a porosidade se organize de acordo com o arranjo do empilhamento dos grãos de esqueleto e, como efeito, a perda do material fino, mantendo o plasma somente em torno destes grãos;

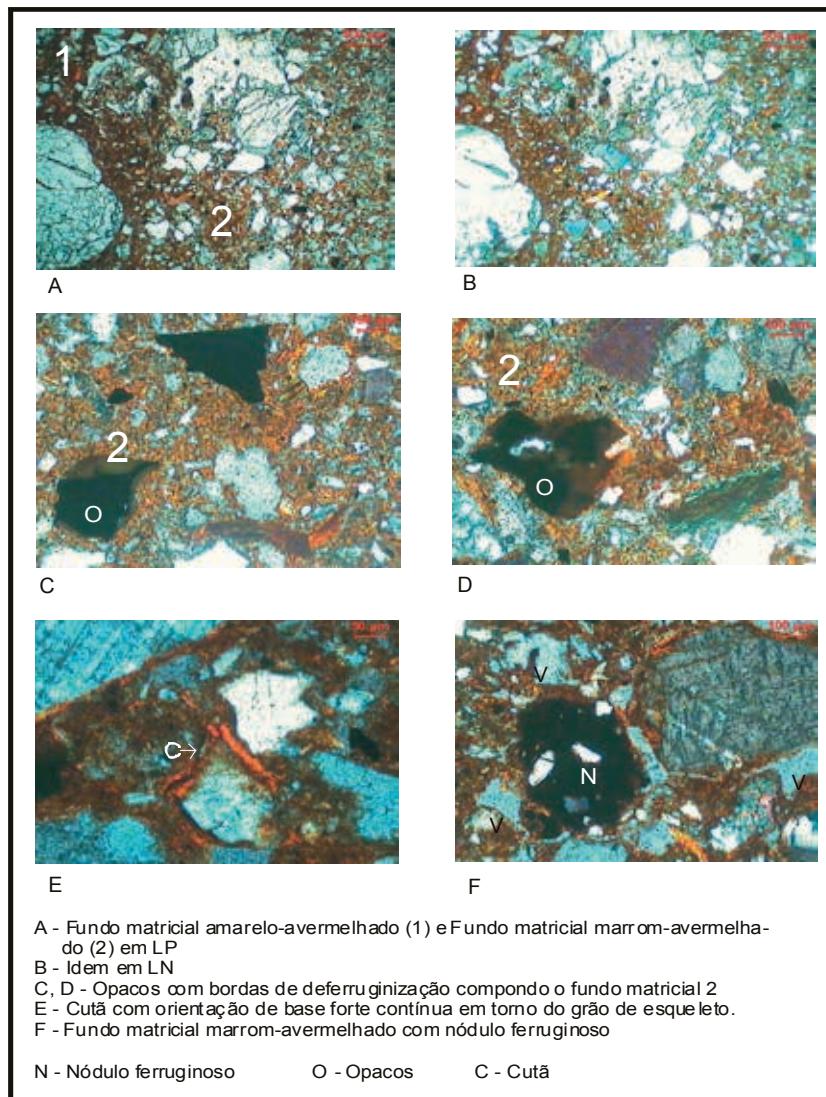


Figura 3 - Fotomicrografias dos fundos matriciais do horizonte de 16-27cm de profundidade
 Fonte: Lustosa (2004).

- a pouca movimentação de água nesses horizontes é comprovada pelo grau de rugosidade ondulada nas paredes internas dos canais e cavidades (vazios). Segundo Stoops (2010), quando se tem

movimento contínuo de água no solo, as paredes dos vazios se tornam lisas. Portanto, a rugosidade das paredes dos vazios indica que um baixo volume de água é disponível para sua pedogênese atual;

- entre 16 e 27cm de profundidade, foram observados dois fundos matriciais: no topo da lâmina, um fundo matricial amarelo-avermelhado similar ao encontrado na lâmina anterior e que transita gradualmente para marrom-avermelhado em direção à base (Figura 3A);

- o domínio marrom-avermelhado caracteriza-se pelo escurecimento da cor e aumento do plasma em torno de 15% em relação aos horizontes superficiais. Os grãos de esqueleto compostos por fragmentos minerais ocupam 60% na seção delgada. Exceto pela presença da hornblenda e aumento de fragmentos de biotita e opacos, eles são semelhantes em composição mineral, grau de seleção, formas (euhe-dral e subhedral), orientação e distribuição de base aos observados no horizonte superior. Os opacos aumentam de tamanho, quantidade e profundidade na seção delgada. Alguns deles, em aumento de 10X, apresentam descoloração periférica de cor marrom e são fragmentados. As bordas dos fragmentos são mais claras, o que indica perda de cor por deferruginização (Figura 3 C, D), processo que permite inferir que o domínio marrom-avermelhado está se transformando;

- entre 27 e 40cm de profundidade o domínio nodular é responsável por ~40% do volume total da base do horizonte e exibe cor bruno-avermelhada (Figura 4).

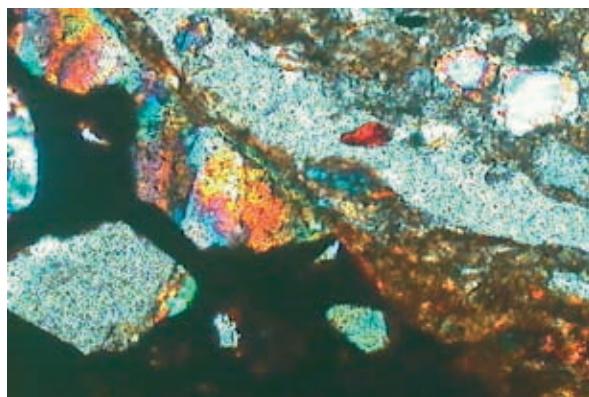
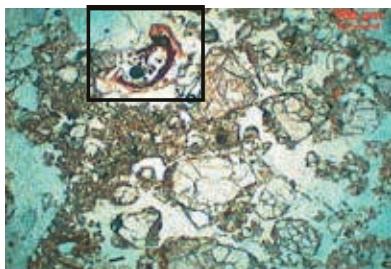


Figura 4 - Fotomicrografias do horizonte 27 - 40cm
Fonte: Lustosa (2004).

Os nódulos possuem tamanhos que variam de 0,3 a 11,0mm (4X), são isalteríticos, pois mantêm a estrutura do mineral, e pseudomórficos, por serem compostos por um ou mais material cristalino (Figura 4).

- o horizonte de alteração (Figura 5), que ocorre acima de 60cm de profundidade, apresenta um fundo matricial de cor bruno-esverdeada, tem 75% de seu volume formado por esqueleto quartzoso em que os cristais de quartzo estão associados a grandes quantidades de cristais de microclina, plagioclásio e biotita. Estes fragmentos minerais possuem formas, padrões de orientação e distribuição semelhantes aos descritos nos horizontes superiores. O plasma, que exibe cor bruno-esverdeada, ocupa apenas 5% da seção delgada. Os vazios são de empilhamento simples e intragrangular, provenientes do arranjo de grãos. Observam-se, ainda, nódulos ferruginosos com cores marrom-avermelhada e vermelha, cujo fundo matricial exprime distribuição relativa porfírica. Os fragmentos minerais que integram o fundo matricial nodular são semelhantes ao do fundo matricial adjacente. Entre as fraturas dos fragmentos minerais, ocorre deposição de material ferruginoso onde se destacam algumas separações plasmáticas de cor vermelho-amarrelada em seu interior.



A - Fundo matricial bruno-esverdeado com muitos fragmentos minerais e, em destaque, restos de material ferruginoso.

Figura 5 - Fotomicrografias do horizonte acima de 60cm
Fonte: Lustosa (2004).

Interpretações

A descoloração dos plasmas, o desaparecimento dos nódulos, o aumento da fração areia grossa e a discordância entre os fundos

matriciais indicam que a pedogênese desses materiais é incipiente, resultando em solos pouco desenvolvidos, sendo possível constatar que apenas no compartimento extremo de setor a jusante há formação de um Aluvissolo.

No setor a montante, onde o solo se formou sobre material *in situ*, a transformação e perdas dos plasmas avermelhados levam à permanência de um esqueleto arenoso ainda com minerais primários, como os feldspatos e o quartzo, próprio dessa evolução atual. Esta história pedogenética é responsável pelo aspecto seco da paisagem.

Como a alteração e a pedogênese atuais são incipientes, não há aprofundamento dos solos, mas um maior progresso na formação dos horizontes arenosos, o que contribui, de forma significativa, para o aspecto seco e desertificado da área.

Esses processos pedogenéticos atuais, com alteração incipiente, são melhor compreendidos no estudo das duas topossequências situadas no Juá e que constituem o sistema de solos litodependentes.

Análise granulométrica

A proporção entre as frações granulométricas dos horizontes da topossequência (T1) permite levantar algumas hipóteses sobre os processos atuantes no interior dessas coberturas pedológicas:

- o maior percentual de areia grossa nos perfis de solo pode estar associado à prematuridade desse material pedológico;
- os incipientes processos de alteração e pedogênese atuais não permitem maior aprofundamento do solo e sim maior progresso na formação de horizontes arenosos, com baixa capacidade de retenção de água, fato que pode ser relacionado ao aspecto seco da paisagem;
- a presença de pavimentos detriticos em profundidade e o predomínio da fração areia no setor a jusante permitem inferir a ideia de que os solos deste setor foram formados por meio de processos deposicionais de material proveniente do setor a montante ou que por ele transita;
- apesar de o maior teor de argila dos perfis de solo do setor a jusante estar relacionado ao horizonte de alteração, os altos valores de argila na trincheira 2, a partir de 17cm de profundidade, são explicados

pelo arqueamento do substrato rochoso que aproxima o horizonte de alteração da superfície;

- a proximidade do horizonte de alteração da superfície é um indicador de uma antiga topografia colinosa que foi sendo gradativamente recoberta até alcançar o nível plano atual.

Análises químicas

Por esses dados não se pode precisar qual o processo de formação dos nódulos, mas é possível supor que o FeO_3 neles encontrado é proveniente da alteração da biotita da rocha, mas, por eles estarem em processo de deferruginização sob o clima atual, pode-se supor que eles foram formados em época anterior e sob clima mais úmido do que o presente. É possível, ainda, supor que, dada a presença de minerais primários da rocha no interior desses nódulos (Figura 6) e na matriz do solo, esse clima do passado não era tão úmido ao ponto de promover a alteração química desses materiais.

Pode-se, também, supor que a mudança climática conduziu à instalação de novos processos pedogenéticos em que o material erodido do setor a montante foi depositado a jusante, sem que aqui tenha ocorrido a formação de nódulos, mas que estão promovendo a deferruginização dos existentes no setor a montante.

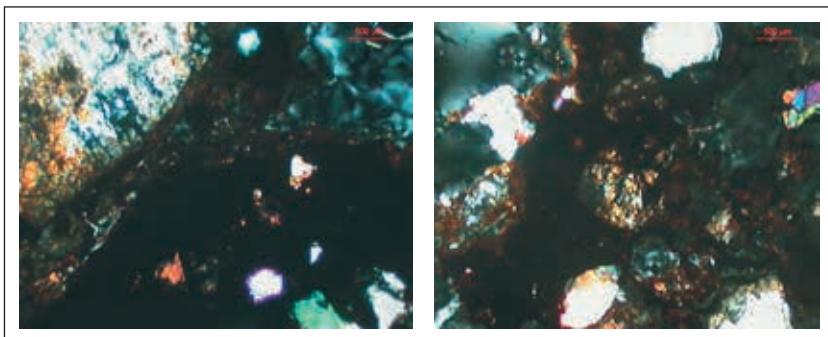


Figura 6 - Fotomicrografias do interior dos nódulos ferruginosos
Fonte: Lustosa (2004).

Os resultados obtidos com o emprego de difrações de raios X mostram que os argilo minerais mais comuns nos solos da topossequência do sistema argissolo com nódulos ferruginosos/aluvissolo foram a caolinita e a ilita. Com relação aos componentes minerais, os difratogramas mostram a ocorrência de picos secundários de quartzo e traços de feldspatos. Os difratogramas demonstram que a argila possui um comportamento bastante homogêneo com relação à composição e intensidade dos picos e que as pequenas variações mineralógicas ocorrem nos horizontes mais profundos.

A presença, sobretudo, da caolinita em regiões com solos pouco desenvolvidos e índice pluviométrico em torno de 500mm/anuais, como é o caso de Irauçuba, pode estar associada ao material de origem ou à pedogênese anterior.

Sistema de Solos Litodependentes

Esse sistema é representado pelas topossequências T2 e T3, localizadas no Distrito de Juá, na localidade de Cacimba Salgada (Figura 1).

Topossequência T2

A topossequência T2 localiza-se na Fazenda Cacimba Salgada, a 2km do Distrito de Juá. Esta topossequência está instalada em relevo pedimentar com vertentes suavemente convexas, fracamente inclinadas com cimento de 1,80m do topo da vertente até um pequeno vale onde ela termina. Foi estudada por meio de quatro trincheiras que revelaram, segundo a descontinuidade litológica e disposição dos horizontes e suas relações geométricas, a existência de dois setores: um a montante e outro a jusante. O setor a montante é representado pelas fases entre as trincheiras Tr1 e Tr4; o setor a jusante pelas fases entre as trincheiras Tr4, Tr2 e Tr3.

O clima é semiárido com valores médios anuais de precipitação menores que 600mm e número médio de meses secos maior que 10. O Índice Efetivo de Umidade é menor do que -49,9% e a Evapotranspiração Potencial está entre 1550 e 1600mm. O solo, classificado por Jacomine

(1973), faz parte da associação NC15, que engloba os solos Luvissolos, Neossolos Litólicos, Planossolos e Vertissolos. A cobertura vegetal é constituída por uma Caatinga Parque, com estrato arbóreo raquítico entremeado por vegetação herbácea em que se destaca o capim panasco (*Aristida adscensionis* L.).

As características da superfície mostraram que toda a vertente é recoberta por uma fina e uniforme camada de areia com 5cm de espessura, fração granulométrica que diminui significativamente até 30cm de profundidade a montante da trincheira 4 (TR4). No setor a montante da topossequência predomina um solo vermelho-rosado (7,5 YR 7/4), arenoso, que se assenta sobre litologia granítica. A partir da média encosta, há o domínio de um solo de cor cinza oliváceo claro (5 YR 6/2), mais argiloso, que capeia uma litologia gnáissica. Essa topossequência situa-se transversalmente sobre os contatos entre os *sheets* de granitos de direção leste-oeste e dos gnaisses encaixantes que formam o substrato cristalino da área.

Geometria das organizações pedológicas

De modo geral, observa-se pouca complexidade quanto à geometria da topossequência T2. No setor a montante da vertente, a topografia é levemente côncava, tornando-se convexo-côncavo-convexa no setor a jusante (Figura 7).

O conjunto de horizontes amarelo-avermelhado/cinza-rosados, a montante, que se assenta sobre a litologia granítica, termina quando se transita para a litologia gnáissica, sendo substituído pelo conjunto de horizontes cinza-oliváceos. Isto ocorre a partir da Tr4, onde se inicia o setor a jusante. O conjunto cinza oliváceo, além de recobrir todo o setor a jusante, mergulha em direção ao setor a montante, sob o horizonte amarelo-avermelhado. Diante dessa geometria, podem-se fazer algumas inferências:

- a geometria dessa topossequência indica que o substrato rochoso dessa área é constituído por litologias diferentes e que a associação solo/litologia propiciou o desenvolvimento de solos litodependentes ao longo da vertente;

- o conjunto de horizontes amarelo-avermelhado/cinza-rosados, a montante, que se assenta sobre a litologia granítica, termina quando se transita para a litologia gnáissica, sendo substituído pelo conjunto de horizontes cinza-oliváceos. Isto ocorre a partir da Tr4, onde se inicia o setor a jusante. O conjunto cinza oliváceo, além de recobrir todo o setor a jusante, mergulha em direção ao setor a montante, sob o horizonte amarelo-avermelhado. Em razão dessa geometria, pode-se levantar a seguinte hipótese:

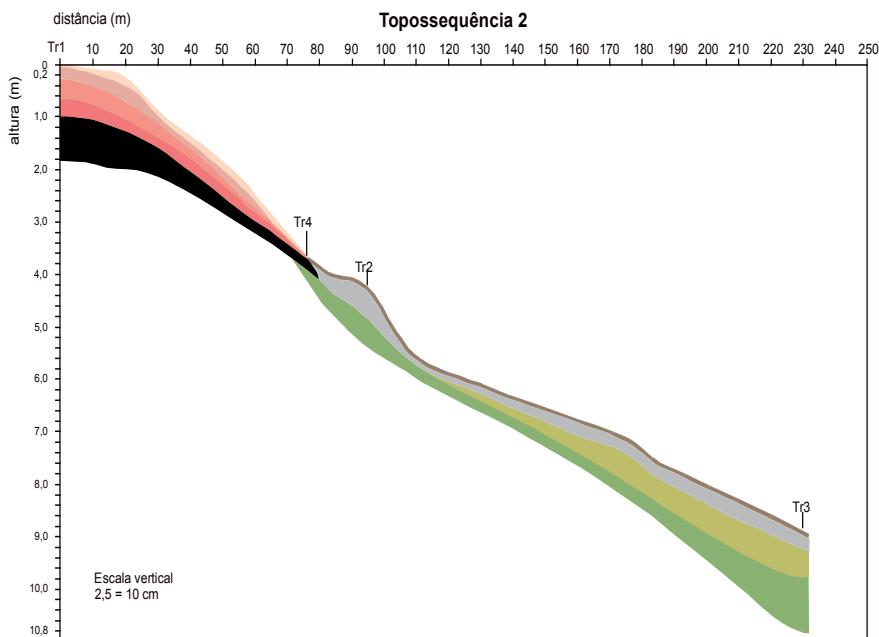
- a geometria dessa toposequência indica que o substrato rochoso dessa área é constituído por litologias diferentes e que a associação solo/litologia propiciou o desenvolvimento de solos litodependentes ao longo da vertente.

Descrições micromorfológicas

Setor a montante

Trincheira 1 (Tr1)

Os horizontes superficiais (0-16cm) formam um domínio bruno com esqueletos quartzosos constituídos por fragmentos minerais predominantemente de quartzo (2,6mm, 4X), acompanhados por fragmentos de cristais de plagioclásio, microclina, biotita e opacos. Os grãos não são selecionados, não possuem orientação de base e se distribuem aleatoriamente por toda a seção delgada. Suas formas são dos tipos na-hedral e sub-hedral, com padrão de alteração isoterítico e grau de alteração paralela linear, sobretudo nos fragmentos de microclina (Figura 8A). O plasma parece ser composto por material orgânico de cor bruna em Luz Normal (LN) e preto em Luz Polarizada (LP). Os vazios têm formas arredondadas (cavitários) e alongadas (canais), estes últimos estando associados às atividades biológicas promovidas pelas raízes. Por serem horizontes de superfície, apresentam muitas raízes com 2,2mm de diâmetros no aumento de 4X (Figura 7B). As separações plásmicas podem ser associadas à deferruginização dos opacos, que indicam este processo por via da descoloração de suas bordas (Figura 8C).



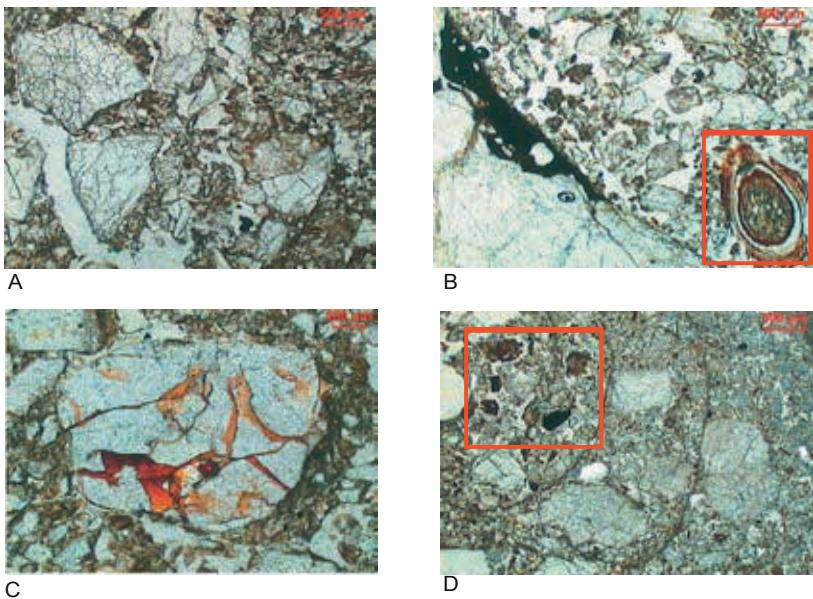
Legenda

- Horizonte arenoso; estrutura laminar; de cor cinza rosada clara
- Horizonte arenoso de cor cinza rosada estrutura poliédrica
- Horizonte areno-argiloso de cor rosa estrutura poliédrica
- Horizonte arenoso de cor amarelo-avermelhado estrutura petrográfica
- Horizonte arenoso; cor bruno pálido (10YR7/3); sem estrutura pedológica
- Horizonte arenoso; cor cinza claro(2,5Y7/2); estrutura laminar; presença de raízes
- Horizonte franco argilo-arenoso; cor amarelo oliváceo (2,5Y6/2); estrutura prismática
- Horizonte franco argilo arenoso; estrutura maciça (barro de louça)

Figura 7 - Geometria das organizações pedológicas da topossequência (T2) do Sistema de solos Litodependentes
Fonte: Lustosa (2004).

Na profundidade entre 16 a 38cm, os grãos que compõem o esqueleto aumentam em tamanho, o quartzo alcança o diâmetro de 5,6mm na objetiva de 4X, principalmente no topo da seção. Prevalece um fundo matricial de cor bruno-esverdeada, que passa para bruno-amarelada com manchas vermelhas, provenientes da dissolução do ferro contido nos opacos. Esses opacos chegam a formar nódulos típicos de cor preta em LN e LP que contrastam nitidamente com a matriz adjacente. Alguns nódulos mostram bordas de deferruginização com contraste difuso e pouco nítido, cortados pelo fundo matricial. Na base da lâmina, foram observadas formações de cutâs de iluviação, de cor amarelo-vermelhada com contraste forte e abrupto, exibindo orientação forte contínua. Provavelmente, estes cutâs são formados por material ferruginoso e argila (ferri-argilâs).

Na profundidade de 38 a 48cm passa a predominar um domínio amarelo, cujo fundo matricial constitui-se de um esqueleto quartzoso que ocupa 42% da área observada e com aumento significativo do plasma, que alcança 45% desse domínio. Este plasma possui orientação forte-contínua e manchada e orientação referida paralela, enquanto que a distribuição relativa é porfírica. Apresenta pedalidade de grau moderadamente desenvolvido e parcialmente acomodada. Exibe birrefringência dos tipos salpicada em mosaico e estriada. As estrias são distribuídas paralelas aos poros ao acaso e, raramente, crescentes. Os vazios se distribuem entre os peds (intrapedais) e formam cavidades e pequenas fissuras, iniciando, assim, o desenvolvimento da pedalidade. Ocorrem cutâs de iluviação de cor vermelho-alaranjada em LP que, em decorrência da boa orientação, contrastam nitidamente com o fundo matricial adjacente. O fundo matricial é impregnado por material de cor bruno-alaranjada, que pode ser associada à ocorrência de opacos nos quais a descoloração periférica para bruno-vermelhada indica a dissolução de ferro *in situ*. Na passagem para a base da seção, ocorrem escurecimento da cor e maior ocorrência de cutâs ao redor dos poros e de cutâs crescentes de cor amarela em LN, com orientação forte contínua (Figura 8).



A - Fundo matricial bruno com esqueleto quartzoso. Os vazios são cavitários e alongados

C - Quartzo com fraturas preenchidas por material ferruginoso

D - Em destaque distribuição de opacos com bordas descoloridas indicando deferruginização.

Figura 8 - Fotomicrografias do horizonte 0 - 16cm de profundidade
Fonte: Lustosa (2004).

Trincheira 2 (Tr2)

Este conjunto exibe, em superfície, um domínio bruno-escuro, com 70% ocupados por esqueleto quartzoso (Figura 10), sendo bastante semelhante aos descritos no conjunto de horizontes superficiais da Tr1. O plasma ocupa 10% da área observada, possui distribuição relativa enáulica e gefúrica, não apresenta formação de microagregados e sua birrefringência é indiferenciada. Os poros são cavitários, provenientes dos arranjos dos grãos de esqueleto. Ocorrem raízes preservadas por material ferruginoso em suas bordas, sendo alongadas ou arredondadas, medindo, respectivamente, 1,9mm e 0,6mm de diâmetro.

As concentrações plásmicas formam nódulos com fragmentos minerais de 1,0mm de diâmetro, fragmentos estes semelhantes aos que ocorrem no fundo matricial. Estes nódulos possuem contraste nítido e não mostram bordas de deferruginização.

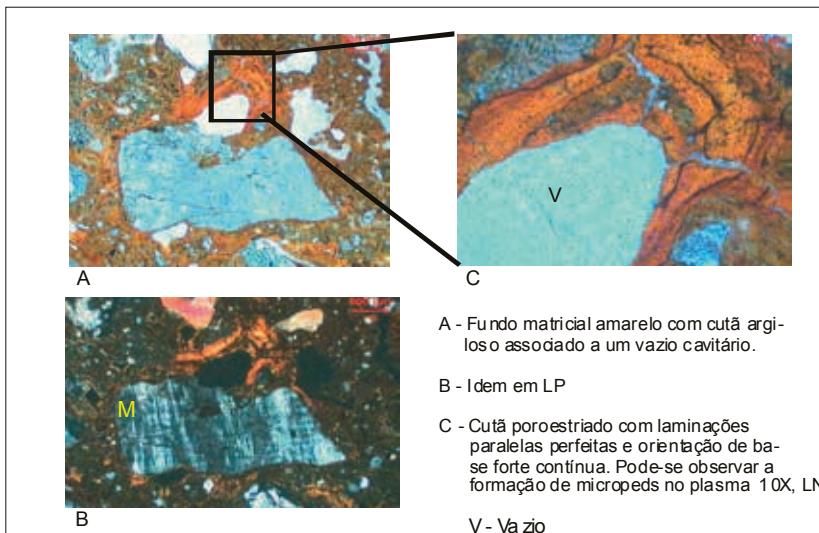


Figura 9 - Microfotografias do horizonte 38 - 40cm de profundidade
 Fonte: Lustosa (2004).

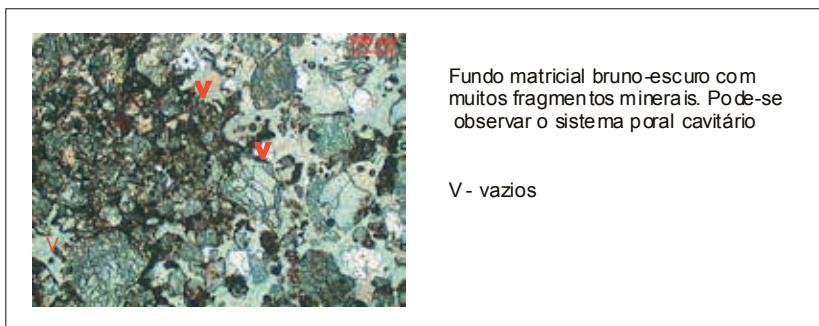


Figura 10 - Microfotografia do horizonte superficial da Trincheira 2
 Fonte: Lustosa (2004).

Sobre a rocha, na base do horizonte de alteração, observa-se um fundo matricial composto por um grande número de fragmentos minerais que perfazem 75% desse fundo (Figura 10 A, B). O plasma representa 10% e possui distribuição relativa gefúrica. Aí ocorrem separações plâsmicas em forma de pequenos nódulos de cor vermelho-alaranjada em LN e bruna em LP, e em forma de nódulos alongados e com muitos fragmentos minerais, principalmente biotita (Figura 10 C, D). Nesta camada, onde existem fantasmas de dissolução, as biotitas preservam as suas estruturas laminares.

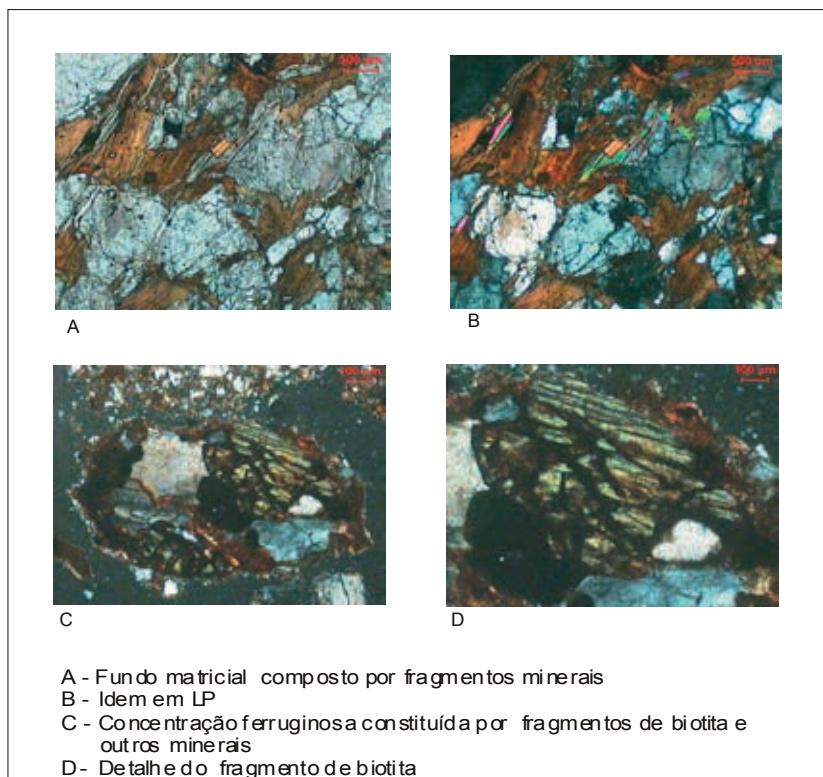


Figura 11- Fotomicrografias do horizonte de alteração
Fonte: Lustosa (2004).

Trincheira 3 (Tr3)

Nesta trincheira, até 20cm de profundidade, predomina um domínio cinza-esverdeado com manchas de cor bruno-avermelhada, indicando impregnação de material ferruginoso no fundo matricial. Os opacos medem aproximadamente 0,3mm, possuem contraste muito proeminente e abrupto com a matriz adjacente. Alguns desses opacos possuem descoloração em suas bordas de cor bruna, com contraste fraco e difuso. A estrutura de base é granular e a distribuição relativa é mônica e gefúrica.

A partir de 20cm de profundidade, ocorre o aumento do plasma e dos fragmentos minerais. Há formação de nódulos de aproximadamente 1,00mm de diâmetro, de cor preta, com alguns fragmentos minerais medindo 0,09mm no seu interior, com distribuição relativa porfírica. O contraste dos nódulos, que apresentam descoloração periférica bruno-escura, com o fundo matricial, é proeminente. Os fragmentos de microclina apresentam-se com alteração linear cruzada preenchida por material ferruginoso de cor bruno escuro e vermelho-alaranjada em LP. Neste domínio, ocorrem feições pedológicas do tipo cutâ de depleção de cor vermelha em LN e preta em LP, e sua porosidade é do tipo empilhamento complexo, predominantemente cavitário.

Análises granulométricas

A análise conjunta da granulometria das trincheiras dessa toposequência mostra, de um modo geral, que há um aumento das frações argila e silte em profundidade, com a consequente diminuição, no mesmo sentido, da fração areia (areia grossa + areia fina).

Os processos de alteração e pedogênese atuais, limitados pela condição de aridez do clima, conduziram à formação de um solo com horizontes arenosos na superfície e horizontes de estrutura maciça e extremamente dura em camadas mais profundas. Esta organização dificulta a penetração de raízes, fato que pode ser relacionado com limitação ao estabelecimento e crescimento das plantas, principalmente das de maior porte, o que, associado à deficiência hídrica, contribui para a aparência seca da fisionomia da paisagem que se manifesta em maior grau na estação seca.

Análises mineralógicas

O estudo da mineralogia na topossequência 2, por meio da técnica de difração de raios X, mostrou que a fração argila tem uma composição com pequenas variações ao longo dessa topossequência, sobretudo no conjunto de alteração. Os difratogramas dessa topossequência mostram que em seus solos os minerais de argila dominantes são caolinita e ilita, com traços de muscovita, vermiculita, clorita, além de apresentarem ainda traços de microclina e quartzo.

A análise dos difratogramas da trincheira 1 (Tr1) mostra que a caolinita, a ilita e os minerais associados variam pouco em profundidade e que, no horizonte de superfície, aparecem picos de clorita associados à caolinita e ao quartzo e pequenos picos de magnetita e vermiculita. Na profundidade de 4 - 16cm, desaparece o pico da clorita e surgem picos de albite, associados à ilita e a pequenos picos de microclina e montmorilonita. Entre as profundidades de 16 e 38cm, o pico de caolinita permanece alto, acompanhado, por ordem decrescente em intensidade, de quartzo, ilita, muscovita, montmorilonita e magnetita. Já no intervalo de 38 a 48cm, os picos dominantes de caolinita são acompanhados pelos de muscovita e montmorilonita. A partir da profundidade de 48cm, no horizonte de alteração da rocha, aumentam os picos de muscovita e vermiculita. Nessa trincheira, os picos de caolinita aumentaram em profundidade, enquanto a ilita, que permanece presente em todo perfil, diminui.

Na trincheira 4 (Tr4), que marca a transição entre os domínios vermelho-rosado e cinza-oliváceo, a intensidade da ilita permanece alta, tanto na superfície como em profundidade, seguida, em ordem decrescente, pela caolinita, quartzo e muscovita, aparecendo picos significativos de vermiculita na zona de contato com o horizonte de alteração.

A trincheira 2 (Tr2), localizada na parte média da vertente, difere da anterior por apresentar, desde a superfície, picos que indicam ser a ilita o mineral de argila de maior concentração, que permanece alta por todo o perfil, seguido em intensidade pelos picos representativos de caolinita e quartzo e por vermiculita e montmorilonita em menor intensidade. Na profundidade de 5 - 23cm, a intensidade dos picos de

caolinita e montmorilonita aumenta com relação ao horizonte anterior e aparecem traços de vermiculita associados à caolinita. Na profundidade de 14cm, não há diferenças entre os picos de ilita, caolinita, quartzo e muscovita; apenas a intensidade, o pico vermiculita aumenta.

A trincheira 3 (Tr3) apresenta, na superfície (1 - 5cm), picos de caolinita, ilita e quartzo, acompanhados por picos menores de muscovita. No horizonte inferior (5 - 14cm), os minerais dominantes continuam os mesmos do horizonte anterior, seguidos de muscovita e montmorilonita.

Descrições petrográficas

A presença desses minerais apontados pela descrição petrográfica nas lâminas de solo permite dizer que os solos da Tr1 se desenvolveram a partir da alteração da rocha granítica e que a presença de fragmentos desses minerais indica um baixo teor de decomposição, o que pode explicar o desenvolvimento destes solos de pouca espessura. O setor a montante desta topossequência foi instalado sobre sheets graníticos encaixados em estrutura gnáissica, onde os solos são avermelhados e menos espessos. Nas faixas de domínio de gnaisses, os solos apresentam-se com maior espessura do que nas faixas restritas à ocorrência do granito. A vertente traz uma litossequência em que a relação solo/litologia observada em campo, mediante a abertura das trincheiras, sugere que os solos presentes nessa unidade geológica sejam litodependentes.

Topossequência T3

A terceira topossequência estudada, a segunda do sistema de solos litodependentes, foi instalada para verificar a hipótese já levantada na T2 de que haveria uma relação direta entre a litologia e o desenvolvimento dos solos na área de estudo. Essa topossequência localiza-se, também, na fazenda Cacimba Salgada, distrito de Juá, e foi instalada na vertente oposta em relação ao fundo de vale e a 38m na direção leste daquela em que se encontra a topossequência T2, razão por que as características ambientais são as mesmas, com exceção da

cobertura vegetal, composta somente por um estrato herbáceo de capim panasco (*Aristida adscensionis* L.).

As características de superfície entre Tr4 e Tr3 mostram, no seu setor a montante, afloramentos de rocha sã a 36 e a 21m, respectivamente, dessas trincheiras. Em direção da média encosta, os afloramentos diminuem. Esses afloramentos indicaram faixas alternadas de paleossomas e neossomas no sentido leste-oeste, ao longo da vertente, e que influenciaram diretamente na formação dos solos da área. Ao longo da topossequência, há fragmentos de rochas por toda a superfície, com muito material primário, principalmente quartzo e feldspato. Há formação de níveis de cascalheira quartzosa, fragmentos que chegam a atingir 32cm de tamanho. Os afloramentos e os níveis de cascalheira diminuem em direção ao setor a jusante da topossequência.

Geometria das organizações

A unidade de relevo em que foi instalada essa topossequência exibe um segmento levemente côncavo no setor a montante e na parte média, sendo ligeiramente convexa no setor a jusante. A declividade é muito pequena ($0,1^\circ$) no setor a montante, alcançando $0,5^\circ$ na parte média, chegando a $1,2^\circ$ a jusante, por causa da ruptura do terreno por entalhe de um pequeno córrego. A topossequência tem extensão de 150m e nela foram abertas 4 trincheiras a 50m de distância uma da outra (TR1, TR2, TR3 e TR4).

As organizações no nível da topossequência estão representadas na Figura IV.37. De modo geral, essa topossequência exibe uma simetria da disposição dos horizontes, de montante para jusante. Os horizontes de superfície, independentemente da sua espessura, capeiam um horizonte de estrutura colunar extremamente duro. Nessa estrutura, em alguns perfis, as colunas chegam a alcançar 22cm de altura por 13cm de largura. É rara a presença de raízes nesse horizonte. Em razão dessa geometria, levantam-se as seguintes hipóteses:

- a superposição do horizonte arenoso sobre o de estrutura colunar uniformemente em toda a vertente indica que não ocorre descontinuidade litológica ao longo da topossequência;

- a geometria em forma de horizontes paralelos de montante e jusante sugere que eles constituem um conjunto contínuo;
- a pouca profundidade e a presença de minerais primários em todo perfil permite levantar a hipótese de que os solos são originados *in loco*;
- as organizações pedológicas demonstram a litodependência no processo de gênese dos solos.

Análises granulométricas

Os resultados demonstram uma pequena variação de seus valores, indicando que há, sob este aspecto, uniformidade entre os horizontes das quatro trincheiras. Os horizontes de superfície trazem valores altos da fração areia, que diminui na direção dos níveis inferiores do perfil, alcançando 60% no horizonte de alteração da rocha. No horizonte intermediário, estão as maiores percentagens, cerca de 25% da fração de argila.

Para determinação da classe textural de cada horizonte, foram estimadas, por cálculo da média ponderada, as suas frações granulométricas, fazendo-se uma correspondência entre espessura e localização do horizonte e as camadas do solo.

Análises químicas

Essas análises foram realizadas em 18 amostras de solo correspondentes às diferentes trincheiras da topossequência 3, do sistema de solos litodependentes. Pode-se observar uma predominância de SiO_2 , seguido por Al_2O_3 , FeO_3 , CaO , Na_2O e K_2O , enquanto os outros elementos, TiO_2 , MnO e P_2O_5 não correspondem nem a 1%.

Os resultados mostram que em todas as trincheiras os valores de SiO_2 aumentam em direção à superfície, enquanto Al_2O_3 e o FeO_3 , ao contrário, aumentam em profundidade. No horizonte superficial, as concentrações de CaO , Na_2O e K_2O exprimem valores que diminuem da superfície até uma dada profundidade para, em seguida, aumentarem em direção às camadas mais profundas. Ao longo da topossequência esse comportamento se repete em todas as trincheiras.

Análises petrográficas

A análise petrográfica das rochas que constituem o material de origem dos solos da topossequência 3 do sistema de solos litodependentes, conduzida pelo estudo microscópico de lâminas da amostra de um afloramento de rocha gnáissica, situado a 21m da trincheira 2, identificou: quartzo (10 - 15%), plagioclásio (50 - 55%, com teor de anortita 28%), biotita (15 - 20%), opacos (5%), apatita (<1%), calcita (1%), mica branca (2%) e epidoto (1%) (Figura 12).

As observações petrográficas dessa amostra revelam que o quartzo ribbons, em virtude da deformação da sua estrutura cristalina, demonstra extinção ondulante, desenvolvimento em subgrãos e bandas de deformação. Localmente, os cristais se apresentam com contatos retos poligonizados. O plagioclásio encontra-se sausuritizado (Figura 12 B, D) com extinção ondulante e geminação lamelar. O grau de sausurização (transformação dos feldspatos plagioclásios, alterados em epidoto, mica branca etc) permite supor que calcita, mica branca e epidoto são produtos de alteração do plagioclásio. Observa-se, ainda, que algumas biotitas esverdeadas (ferrosa) possuem clivagem deformada e extinção ondulante.

Os teores de anortita calculados para os diferentes níveis de alteração do plagioclásio registraram os seguintes valores: muito alterado = 28%, sem alteração = 30%, borda alterada = 26%, centro do plagioclásio alterado = 32%. O teor de anortita do plagioclásio ficou em torno de 24%.

Para melhor entendimento da relação solo/litologia, em função dos solos e da natureza do substrato rochoso da área de estudo, foi aberta uma trincheira sobre uma ocorrência de granito para verificar se os solos sobre ela desenvolvidos são semelhantes aos encontrados nas faixas graníticas da topossequência 2. Para isto, realizou-se uma análise microscópica de amostra de um afloramento granítico situado próximo da topossequência 3, análise que revelou a seguinte composição da rocha: quartzo (20 - 30%), microclina (30 - 35%), plagioclásio (20 - 25%), muscovita (2%), opacos (<1%), apatita (<!%), zircão (<1%), mica branca (sericita) (3%).

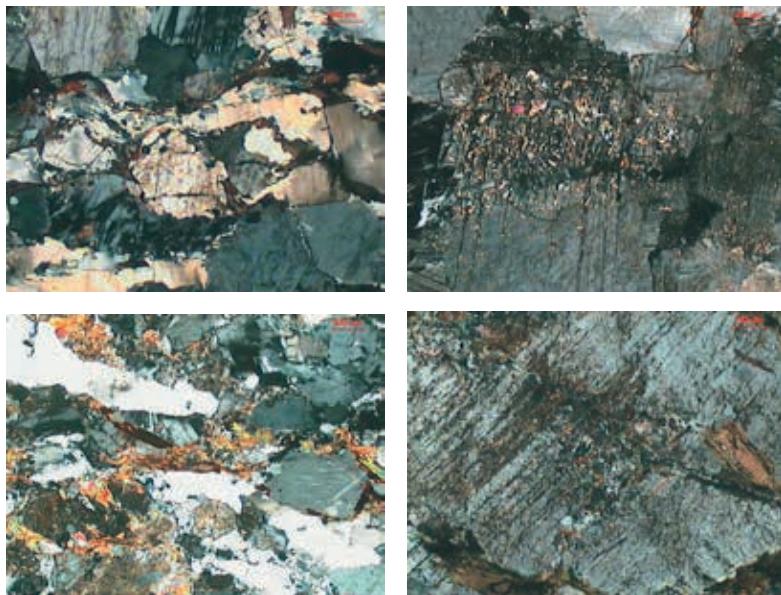


Figura 12 - Fotomicrografias de lâminas petrográficas do sistema de solos litodependentes
Fonte: Lustosa (2004).

- (A) – composição mineralógica da rocha;
- (B, D) – sausurização do plagioclásio;
- (C) – composição mineralógica do neossoma.

Essas análises revelaram que a rocha possui composição mineralógica assemelhada à que é encontrada na trincheira 1 do setor a montante da T2, e que os solos desenvolvidos sobre ambas são vermelho-rosados, com características semelhantes nas duas localidades.

A ocorrência da relação solo/litologia observada nessa vertente decorre do fato de os solos estarem relacionados diretamente com a litologia. O desenvolvimento dessa cobertura pedológica sobre o domínio do gnaisse é evidenciado pelas observações feitas em campo e em lâminas delgadas de solos, como também pelas análises granulométricas e químicas. Essa relação de dependência, litologia/solo pode, ainda, ser

observada em uma trincheira com 100 metros de comprimento, localizada a 10km da entrada do Juá, na fazenda Fumo, disposta sobre rochas paraderivadas granito/gnaisse. Nessa trincheira, sobre o domínio do gnaisse, originou-se um solo mais profundo, enquanto sobre o domínio do granito, os solos encontrados são incipientes.

Interpretação

O substrato rochoso mapeado como sendo constituído por lentes de rochas graníticas (neossomas) encaixadas em rochas gnáissicas (pa-leossomas), aliado à análise petrográfica que mostra que plagioclásio salsutirizado da amostra de rocha gnássica é mais antiga por apresentar núcleo mais cálcico e borda mais sódica e o processo de milonitização da segunda amostra granítica indica que os minerais se posicionam na zona de cisalhamento.

Estas evidências demonstram que a vertente é constituída por uma litossequência e que os diferentes solos da topossequência refletem essa associação. Essas observações contribuem para supor que os solos são formados *in situ*, o que, sob as condições do clima atual, resulta na gênese de solos delgados, pouco desenvolvidos, com bastante minerais primários e que, pelo conjunto dessas características morfológicas, não são adequados para o desenvolvimento de uma vegetação ecologicamente mais exigente.

Discussão e Considerações Finais

Os resultados da análise integrada dos componentes geoambientais mostram uma complexidade ambiental que determina, na área de estudo, a ocorrência de condições de semiaridez acentuada dentro do contexto semiárido cearense, (topossequências de Missi e Juá, no município de Irauçuba). Esta condição de semiaridez é causada pela sua localização frente à vertente a sota-vento, na zona de sombra de chuva da serra de Uruburetama, num regime climático em que a evapotranspiração é elevada em consequência das altas temperaturas que ali ocorrem.

Esta acentuação da semiaridez conduz a uma situação em que, pela baixa umidade no ambiente, há limitação da intensidade do intemperismo químico, numa situação em que as altas temperaturas favorecem o intemperismo físico das rochas, o que implica, nestas condições climáticas atuais, a formação de solos pouco evoluídos. Concomitantemente à formação desses solos, e em associação com eles, o clima permite o desenvolvimento de uma cobertura vegetal de aspecto xerofítico, com características morfofisiológicas indicadas pela fisionomia da paisagem, e que exerce papel pouco incisivo sobre os processos pedogenéticos.

Os resultados dos estudos das organizações pedológicas nas localidades de Missi e Juá (Cacimba Salgada), sob a ação integrada dos componentes geossistêmicos, mostram interações que sugerem interpretações a respeito de distintos processos pedogenéticos ocorrentes em suas coberturas pedológicas.

Na topossequência no Missi (T1), os resultados dos estudos levaram à formulação de hipóteses, segundo as quais ela evoluiu com a formação de dois setores em discordância genética e de funcionalidade: o setor a montante, formado *in situ*, e o setor a jusante com características pedogenéticas que atestam a sua origem a partir de material alóctone. A trincheira 1 (Tr1) do setor a montante apresenta características de uma evolução *in situ*, marcada pela presença reliquiar de nódulos ferruginosos. Esses nódulos podem evidenciar a ação de mecanismos de pedogênese química peculiares de clima mais úmido do que o atual.

Estudos comparativos da topossequência (T1) relacionando os materiais que ocorrem em montante e aqueles que recobrem o setor a jusante, assim como a inexistência de nódulos ferruginosos neste setor, conduzem a uma interpretação que diverge de uma evolução *in situ* e leva a supor que houve uma pedogênese a partir de processos de erosão e deposição do material proveniente do setor montante. Estes processos podem estar relacionados à variação climática que possibilitou a evolução morfopedogenética da cobertura de jusante, a partir do material erodido e transportado do setor a montante, sem formação dos nódulos ferruginosos. O fato de não terem sido encontradas relíquias da fase ferruginosa neste setor pode significar que os nódulos ferruginosos não se desenvolveram ou que esses testemunhos foram destruídos.

Assim, a evolução dessa topossequência estaria relacionada ao evento paleoclimático que, segundo Mabessone (1975), atingiu o nordeste brasileiro. De acordo com esse autor, no Terciário, durante o Plioceno-Pleistoceno, vigoraram condições climáticas semiáridas interrompidas por período úmido. Pode-se, então, sugerir que o domínio nodular, observado na parte montante da vertente, é o mais antigo, e sua formação teria ocorrido no período de clima mais úmido. O setor a jusante, com material idêntico ao dos horizontes superiores de montante, mas sem os nódulos, seria mais recente, tendo evoluído em condições semiáridas posteriores. Significa ser a ferruginização com formação de nódulos o processo pedogenético dominante que levou à formação do solo da trincheira 1. Este solo, anteriormente mais espesso, tem sido retrabalhado pela erosão e por deferruginização, processos que o conduziram à atual aparência da paisagem.

Dessa maneira, pode-se entender a evolução dessa topossequência da seguinte forma:

1) a trincheira 1 do setor a montante com nódulos ferruginosos se formou sob condições climáticas mais úmidas do que as atuais. No desenvolvimento de seus horizontes atuaram processos químicos que permitiram maior aprofundamento do perfil de solo e a ferruginização;

2) em determinado momento dessa evolução, houve a passagem do clima úmido para o seco. Com o aumento da aridez, se estabelece na área uma vegetação mais aberta que possibilitou a instalação de um sistema de erosão capaz de remover os horizontes superficiais da topografia elaborada em clima mais úmido;

3) então, a cobertura pedológica na trincheira 1 se rebaixou, sendo removido o seu topo para depositar-se no setor a jusante, conservando, contudo, a organização de seus horizontes e suas estruturas nodulares, que são mantidas como relíquias (Figura 13).

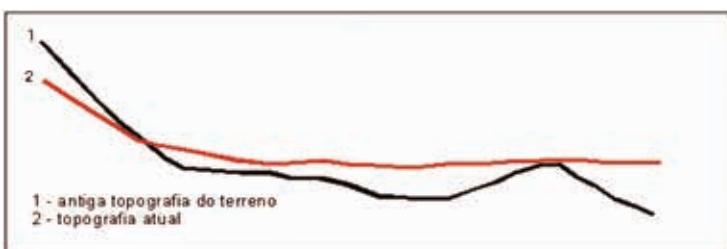


Figura 13 - Evolução da Topossequência 1
Fonte: Lustosa (2004).

Os resultados das análises estruturais do setor a montante mostram em síntese que:

1 – a atuação de uma mudança pedogenética mais antiga comandada por um clima mais úmido é evidenciada pela morfologia dos solos, a qual exibe diminuição dos nódulos que reduzem tanto em quantidade como em tamanho, em direção à superfície, e pelas pontuações ocreas nos materiais de jusante, confirmando que esses nódulos não se formam nas atuais condições climáticas, mas se destroem. Este fato é apoiado em estudo micromorfológico, pelo qual as descolorações periféricas dos nódulos são entendidas como decorrente da remoção e remobilização do ferro por processo de deferruginização.

2 – a área de estudo possui uma história pedogenética atual incipiente e que evolui com o desenvolvimento de horizontes arenosos. Isto é comprovado pela presença de grãos minerais com estrutura petrográfica preservada, indicando uma baixa decomposição química da rocha. A baixa umidade no ambiente, que não propicia a alteração química, é indicada pela rugosidade das paredes internas dos canais (vazios), que demonstram a pouca movimentação de água no solo. O predomínio do fundo matricial composto por um esqueleto quartzoso é próprio dessa evolução atual.

Os resultados das análises estruturais do setor a jusante mostram em síntese:

– a instalação de sistema pedológico associado à ocorrência de processos deposicionais. Essa hipótese é confirmada pela classe textural de seus horizontes superiores semelhantes ao material de superfície do setor a montante;

– presença de grãos minerais com estrutura petrográfica semelhante aos encontrados no setor a montante;

– ausência de nódulos ferruginosos.

As topossequências T2 e T3, quando comparadas com a topossequência T1, apresentam como diferença fundamental o fato de não possuírem, no interior de suas coberturas, nódulos ferruginosos originados em condições climáticas mais úmidas que antecederam as atuais. Este fato indica que os solos das topossequências T2 e T3 se formaram sob condições climáticas de semiáridez atuais, sendo, portanto, solos recentes.

As atuais condições climáticas do local onde se encontram as topossequências T2 e T3, expressas pelo volume pluviométrico médio anual inferior a 600mm/ano, número de meses secos maior do que 10, índice efetivo de umidade menor do que – 49,9% e evapotranspiração potencial entre 1600 e 1650mm/ano, não permitem que as transformações químicas que ocorrem em processo pedogenético aqui se efetivem intensamente, mas favorecem o intemperismo físico como processo dominante na sua evolução genética. Por essas razões, esses solos são pouco desenvolvidos, com horizontes superficiais arenosos.

Nessas topossequências, as organizações pedológicas demonstram uma associação litologia/solo refletida nas características morfológicas das coberturas. A presença de minerais primários observados nas análises microscópicas em lâminas delgadas de solos da topossequência T2 indica que estes solos são provenientes de uma pedogênese recente e que estão em equilíbrio pedobioclimático, de acordo com a noção de equilíbrio proposta por Boulet et al. (1994), ao preceituarem que as coberturas pedológicas em equilíbrio são aquelas constituídas pela associação solo-relevo. Essas topossequências não demonstram discordâncias de horizontes e mostram variações laterais progressivas, acompanhando suas vertentes. A diferenciação pedológica é, assim, essencialmente vertical, com as estruturas a derivarem umas das outras durante o aprofundamento das frentes (limite de penetração de um horizonte em outro, de descontinuidade e de movimento).

A conjugação das condições geológicas, climáticas, pedológicas, geomorfológicas e biogeográficas explica a fisionomia seca da paisagem. A interferência humana, no uso do solo e da vegetação, contribui com o aumento do seu aspecto “seco”, mas a ação antrópica neste meio não parece afetar os mecanismos naturais que geraram a atual paisagem de Irauçuba, considerada por Boaventura (1986) como indicadora de desertificação. Como a desertificação é um processo que tem por causa transformações na funcionalidade dos elementos dos ecossistemas, transformações que, segundo Hare (1985), são naturalmente irreversíveis, resultando na mudança de cenário e, desde que a análise estrutural da cobertura pedológica da região indique a existência de um equilíbrio pedobioclimático, a condição dos sistemas pedológicos de Irauçuba resulta numa fisionomia que parece com a de um deserto.

Portanto, pode-se considerar a possibilidade de a área encontrar-se em evolução natural em um equilíbrio dinâmico entre os elementos que constituem a sua paisagem e que a acentuação da fisionomia desertificada é consequência do antropismo.

Referências Bibliográficas

- BIRKELAND, P. W. *Pedology, weathering, and geomorphological research*. New York: Oxford University Press, 1974.
- BOAVENTURA, R. S. Erosão acelerada e desertificação. In: SEMINÁRIO SOBRE DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE. Brasília: SEMA/SPL, p. 71-78, 1986.
- BOULET, R. et al. Analyse structurale et cartographie en pédologie: I - Prise en compte de l'organisation bidimensionale de la couverture pédologiques: les études de topsequences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. *Cahiers ORSTOM*, Paris: Bondy, v. 19, n. 4, 1982. (Séries Pédologie).
- CAMARGO, O. A. et al. Análise granulométrica. In: CAMARGO et al. *Métodos de análises química, mineralógica e física de solos do IAC*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986. (Boletim Técnico, 106).
- CONTI, J. B. *Desertificação nos trópicos*: proposta de metodologia de estudo aplicada ao nordeste brasileiro. São Paulo. 290 f. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- HARE, F. K. The climatology of drought. *Geography*, v. 71, p. 97-101, 1980.
- HARE, F. K. *Climate variations, drought and desertification*. Geneva: World Meteorological Organization, 1985.
- JACOMINE, P. K. T. et al. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado do Ceará*. Recife: SUDENE/DRN, v. 2, 1973. (Boletim de Pesquisa n. 28).
- JENNY, H. *Factors of soil formation*. New York: McGraw-Hill, 1941.

JORDY FILHO, S.; SALGADO, O. A. Vegetação. In: RADAMBRASIL. *Folha SA.24*. Fortaleza: IBGE, 1975.

LUSTOSA, J. P. G. *Caracterização morfológica, macromorfológica e mineralógica de três toposequências no município de Irauçuba e suas relações com os processos de desertificação*. 2004. 161 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2004.

MABESSONE J. M.; CASTRO, C. *Desenvolvimento geomorfológico do nordeste brasileiro*. Recife: SBG, 1975. (Boletim, 3).

MAJOR, J. A functional factorial approach to plant ecology. *Ecology*, n. 32, p. 392-412, 1951.

ROBERT, M.; TESSIER, R. Méthode de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques. *Ann. Agron.*, v. 25, n. 6, p. 850-862, 1974.

RODRIGUES, W. *Pesquisa dos estudos e dados existentes sobre desertificação no Brasil*. Projeto BRA 93/036. Plano Nacional de Combate à Desertificação. Brasília: MMA, 1997.

SOARES, A. M. L. et al. Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Ceará. In: GOMES, G. M.; SOUZA, H. R.; MAGALHÃES, A. R. *Desenvolvimento Sustentável no Nordeste*. Brasília: IPEA, 1995.

SOUZA FILHO, O. A. *Geologia e mapa de previsão de ocorrência de água subterrânea. Folha AS.2Y-Y-V, Irauçuba-Ce*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, 1998.

STOOPS, G. Micromorphology as a tool in soil and regoliths studies. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (Ed.). *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*. Amsterdam: Elsevier, p. 38-46, 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. *Publications in Climatology*, v. 8, n. 1, New Jersey: Centerton, 1955. 104 p.

SUSCETIBILIDADE GEOAMBIENTAL DAS TERRAS SECAS DA MICRORREGIÃO DE SOBRAL - CE À DESERTIFICAÇÃO

*Tânia Maria Serra de Jesus Nolêto
José Gerardo Beserra de Oliveira*

Introdução

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente – CNUMAD, realizada em 1992, no Rio de Janeiro, concluiu que os fatores que levam à desertificação são as variações climáticas e as atividades humanas resultantes da degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subsumidas secas (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 1997). Acredita-se que os riscos de desertificação são mais acentuados nas regiões mais densamente povoadas, onde as frequentes secas, que são uma característica de toda a região semiárida do nordeste brasileiro, contribuiriam no agravamento de problemas ambientais e na vulnerabilidade econômica e social da população. A ação antrópica induz, principalmente, a erosão laminar e a destruição da cobertura vegetal natural que se agravam com as irregularidades pluviométricas, criando as condições materiais para o estabelecimento dos processos de desertificação.

A microrregião de Sobral é composta por 12 municípios, dentre eles Irauçuba e Sobral, e apresenta um regime de precipitações médias anuais relativamente baixas com altas taxas anuais de temperatura e evapotranspiração potencial. O primeiro desses municípios é tido como um Núcleo de Desertificação (VASCONCELOS SOBRINHO, 1978), enquanto Sobral

se destaca pela sua importância histórica, industrial e educacional, com a Universidade Estadual do Vale do Acaraú (UVA) e o Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPC) da Embrapa, além de sua função médico-hospitalar, destacando-se a Santa Casa de Misericórdia, que é um dos hospitais mais importantes da região, fatos estes que justificaram um estudo sobre o fenômeno da desertificação na área da microrregião de Sobral. Estudos realizados por Folhes e Viana (2001) consideraram que os municípios integrantes dessa microrregião apresentam níveis de propensão à desertificação de moderado a muito forte.

O estudo da suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral à desertificação fundamentou-se, de acordo com a disponibilidade de dados, na combinação de fatores que causam a erosão, adaptados da metodologia de Pimenta et al. (1998), que consideram a desertificação como causa de fatores naturais e fatores antrópicos. Foram utilizados alguns parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS (WISCHMEIER; SMITH, 1965), estimando-se o quanto esta área estaria propensa ao fenômeno da desertificação demonstrado em dois momentos: por meio da Suscetibilidade Geoambiental Natural – SGN e da Suscetibilidade Geoambiental Antrópica – SGA, utilizando-se os Sistemas de Informação Geográfica – SIG para a combinação das variáveis para gerar os índices de suscetibilidade à desertificação. O esquema da metodologia está resumido na Figura 1.

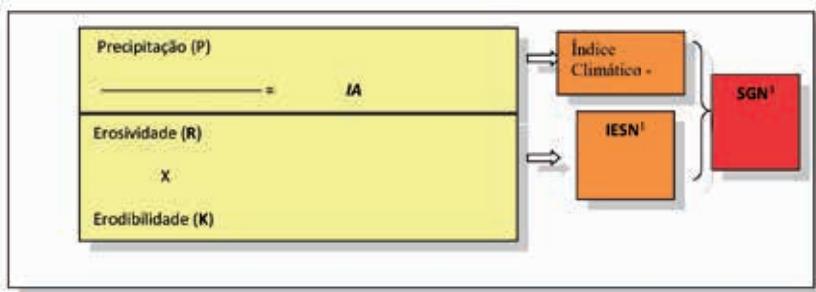


Figura 1 - Esquema metodológico
Fonte: Adaptada de Pimenta et al. (1998).

Os dados de precipitação pluvial média anual (P) para o cálculo do Índice de Aridez - IA na microrregião de Sobral foram obtidos na Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (1990), no período

de 1935 a 1984, para 32 postos pluviométricos localizados na área e no seu entorno. As falhas existentes na base de dados foram corrigidas pelo método de ponderação regional de Tucci (1993), em que os dados incompletos para as séries históricas foram retificados utilizando a média ponderada da precipitação pluvial dos postos vizinhos àquele com ausência de dados. O cálculo da evapotranspiração potencial foi realizado por programa computacional desenvolvido por Oliveira e Sales (2005), elaborado para cálculo do balanço hídrico sequencial de acordo com a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1957).

Para a identificação das zonas climáticas da United Nations Environment Programme (1991) da microrregião de Sobral fez-se a espacialização dos valores do Índice de Aridez – IA computados para os 32 postos pluviométricos utilizados para a microrregião de Sobral em um mapa de divisão política do estado do Ceará na escala 1:500.000, considerando as coordenadas de cada um dos postos e, em seguida, foram traçadas, com uso de técnicas cartográficas de triangulação, as isolinhas que delimitam as zonas climáticas estabelecidas pela (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1991), indicadas na Tabela 1.

O Índice de Severidade do Clima – ISC é o número médio de meses secos estimados pelo estudo do balanço hídrico sequencial das séries históricas dos postos pluviométricos considerados. O índice de erosão dos solos representa o potencial do solo à erosão, determinado pelos seguintes parâmetros da EUPS: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), componente topográfico (LS), cobertura vegetal (C) e ação antrópica (P). Nesse contexto foram produzidos mapas de duas naturezas distintas sobre o processo erosivo: o mapa de potencial natural de erosão (IESN) e o mapa de expectativa de perdas de solos (EPS).

Tabela 1 - Zonas climáticas e intervalos de IA de acordo com a United Nations Environment Programme

Zonas climáticas	Intervalo considerado de IA
Subúmida e úmida	IA > 0,65
Subúmida seca	0,50 < IA ≤ 0,65
Semiárida	0,20 < IA ≤ 0,50

Fonte: United Nations Environment Programme (1991).

Fatores da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS

Erosividade da chuva (R)

Erosividade é a capacidade que tem a chuva de promover erosão pela desagregação e transporte das partículas do solo, processos decorrentes, respectivamente, do impacto direto das gotas d'água e do transporte, pelo escoamento superficial da água, das partículas desagregadas (LAL, 1994). Dentre os diversos métodos propostos por vários autores para a determinação da erosividade da chuva (R), optou-se pelo indicado por Bertoni e Lombardi Neto (1990), pois requer apenas dados de precipitação média mensal. Foram utilizados dados de 32 postos pluviométricos da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (1990), do período de 1911 a 1985, localizados na área de estudo e no seu entorno.

Erodibilidade do solo (K)

A Erodibilidade do solo (K) representa a integração dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em face dos processos erosivos (LAL, 1994). No estudo optou-se pelo uso do método de Romkens et al. (1997), pela facilidade da aquisição dos dados prontamente encontrados nos levantamentos de solos feitos por Jacomine (1973) e em razão dos resultados encontrados por Silva (1994), que indicou esse método como o mais apropriado para a estimativa do fator K nos solos do Ceará.

Componente Topográfico (LS)

Para a determinação do Componente Topográfico, foi empregado o método utilizado por Aquino (2002), considerando-se, para sua estimativa, os tipos de relevo local indicados nas descrições dos perfis dos solos das associações da área de estudo indicados em Jacomine (1973), empregando-se as classes e os tipos de relevo e de declividade, segundo Lepsh et al. (1991), em que os limites extremos das classes de relevo foram denominados, respectivamente, de Inferior e Superior.

Cobertura Vegetal (C)

O fator Cobertura Vegetal da EUPS (C) foi estimado pela identificação dos tipos de cobertura vegetal na microrregião de Sobral com

base no mapa fitoecológico de Brasil (1981), na escala 1:1.000.000, em que foi adotada a metodologia proposta por Crepani et al. (2000) para atribuir a cada tipo de cobertura vegetal o seu peso correspondente à proteção contra erosão.

Índice Climático (IC)

O Índice Climático representa o papel do clima na estimativa da suscetibilidade da terra à desertificação e foi computado pela combinação dos Índices de Aridez (IA) da United Nations Environment Programme (1991) e da Severidade do Clima (ISC).

Potencial de Erosão

O Índice de Erosão dos Solos (IES) resulta de uma simulação em dois momentos em que foram combinados os fatores que afetam a erosão – clima, solo, relevo e cobertura vegetal: o primeiro indica o Potencial Natural de Erosão do Solo (IESN), em que foram usados dados de Cobertura Vegetal Natural (C); e o segundo, representado pelo Potencial Antrópico de Erosão do Solo (IESA), mas numa situação em que toda a Cobertura Vegetal Natural (C) foi removida em decorrência das práticas relacionadas com o uso da terra pelo homem.

Suscetibilidade Geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral à desertificação

A Suscetibilidade Geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral à desertificação representa o quanto esta área está propensa ao fenômeno e, neste estudo, demonstra-se em dois momentos: por meio da Suscetibilidade Geoambiental Natural (SGN) no qual se combinou o Índice Climático (IC) com o Potencial Natural de Erosão (IESN) e, no segundo momento, decorrente da combinação do Índice Climático (IC) com o Potencial Antrópico de Erosão (IESA), resultando na Suscetibilidade Geoambiental Antrópica (SGA).

Resultados

As terras secas indicadas na Figura 2, que correspondem a 80,10% da área total da microrregião de Sobral, têm climas semiárido e subsumido seco, que estão incluídos entre os climas que, de acordo com

a United Nations Environment Programme (1991), são característicos de áreas suscetíveis ao processo de desertificação.

Os valores de R encontrados para as terras secas da microrregião de Sobral foram 29,63%, 29,13%, 26,04%, 11,27% e 3,92%, considerados, respectivamente, muito baixos, baixos, moderados, altos e muito altos.

Para a erodibilidade das associações de solos da microrregião de Sobral, os valores encontrados variaram, em ton.ha.h./MJ.mm.ha, de 0,006, o menor, e 0,030 o maior, para as associações de Regossol eutrófico (REe3) e Solos aluviais eutróficos (Ae3), respectivamente.

Nas terras secas da microrregião de Sobral, 95,95% das associações de solo apresentam relevo plano, 4,07% suave ondulado, 0,07% ondulado, 0,025% um relevo muito ondulado, enquanto 0,048% tem o relevo do tipo forte ondulado.

A distribuição espacial dos diferentes tipos de vegetação (BRASIL, 1981), considerando os níveis de proteção que oferecem ao solo contra a erosão e as ponderações a eles atribuídas, segundo Crepani et al. (2000), demonstra que, em termos percentuais, 2,03% das terras secas da área oferecem alto nível de proteção, 91,67% apresentam um nível de proteção médio e 6,29% um nível baixo.

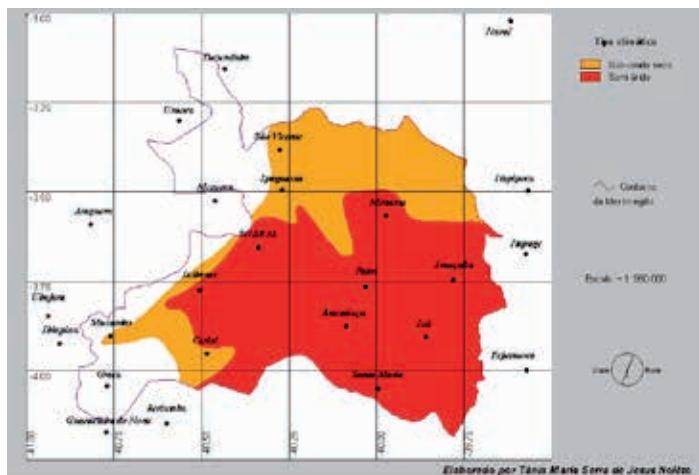


Figura 2 – As terras secas na microrregião de Sobral
Fonte: Nolêto (2005).

Potencial de Erosão

O Potencial Natural de Erosão (IESN) das terras secas da microrregião de Sobral pode ser visualizado na Figura 3, na qual está indicado pelos níveis baixo, médio e alto de vulnerabilidade aos processos naturais de erosão. A análise dos dados empregados para confecção dessa figura mostra que 87,40%, 11,31% e 1,30% das terras apresentam, respectivamente, níveis médio, alto e baixo de vulnerabilidade à erosão natural.

A baixa vulnerabilidade ao potencial erosivo natural, predominante nas terras secas, pode ser atribuída ao tipo de relevo, nas mais das vezes plano, ao nível de proteção da cobertura vegetal e a relativamente baixa erosividade das chuvas.

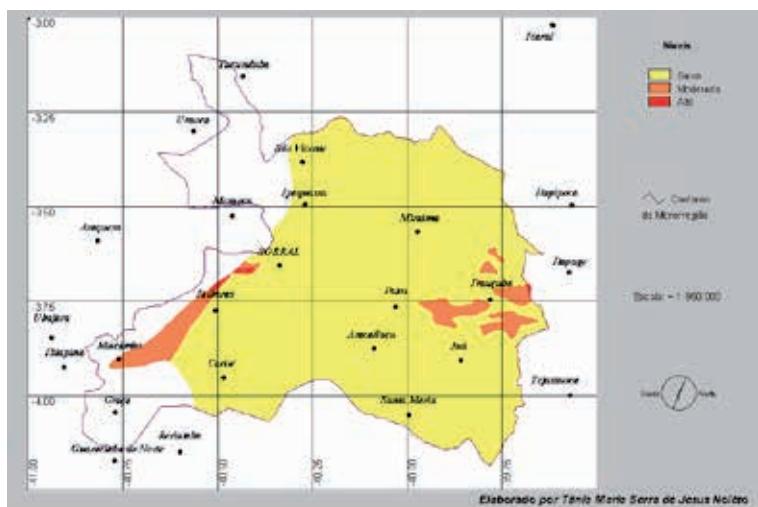


Figura 3 – Potencial natural de erosão nas terras secas da microrregião de Sobral. Fonte: Nolêto (2005).

O Potencial Antrópico de Erosão (IESA) é mostrado na Figura 4, em que estão indicados níveis baixos, moderados e altos de vulnerabilidade. A análise dos dados utilizados para confecção desse mapa mostra que 84,20%, 8,16% e 7,64% das terras secas teriam, respectivamente, níveis baixos, moderados e altos.

A análise dos dados utilizados para confecção do mapa na Figura 4 mostra que 84,20%, 8,16% e 7,64% das terras secas teriam, respectivamente, segundo essa simulação, níveis baixo, moderado e alto de suscetibilidade à erosão antrópica. Comparando os resultados encontrados com os dados de potencial de erosão natural (IESN) e as percentagens ocupadas pelos níveis de erosão, constata-se que, para o nível baixo do potencial, há uma variação de 87,40% para 84,20%, e para os níveis moderado e alto há, concomitantemente, uma variação de 11,31% para 8,16% e de 1,30% para 7,64%.

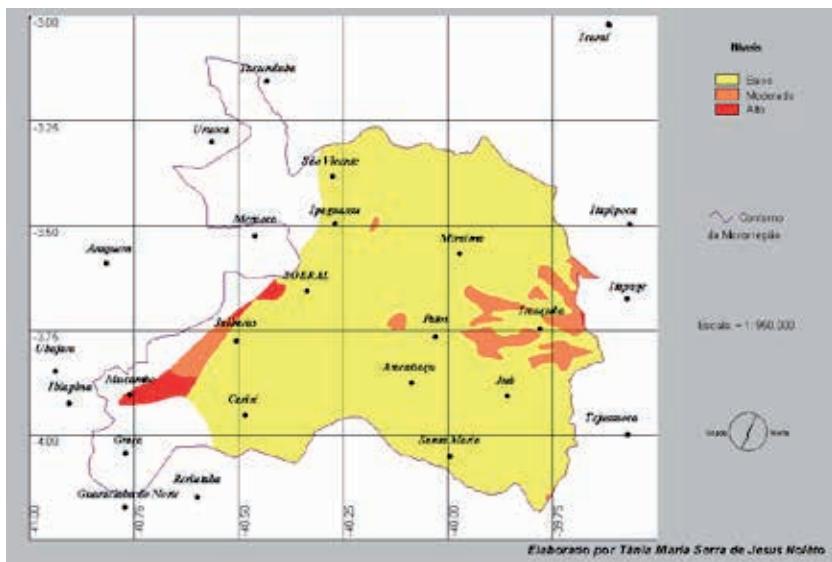


Figura 4 – Potencial antrópico de erosão nas terras secas da microrregião de Sobral
Fonte: Nolêto (2005).

Mediante simulação, verifica-se que há a necessidade de uma conscientização na forma de uso e ocupação das terras, adotando medidas preventivas e conservacionistas para o melhor aproveitamento do solo com a finalidade de evitar o aumento dos processos erosivos provocados pela ação antrópica.

Susceptibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral à desertificação

Os resultados obtidos para a Suscetibilidade Geoambiental Natural (SGN) estão indicados na Figura 5, cujos dados empregados para sua obtenção mostram que 95,97%, 3,67% e 0,36% da área apresentam, respectivamente, baixo, moderado e alto nível de suscetibilidade geoambiental natural à desertificação. A Suscetibilidade Geoambiental Antrópica (SGA) das terras secas está indicada no mapa síntese da Figura 6, em que são apontadas as zonas correspondentes aos níveis baixo, moderado e alto de suscetibilidade. A análise dos dados empregados para a confecção desse mapa demonstra que 87,48%, 10,49% e 2,03% da área de estudo indicam, concomitantemente, baixa, moderada e alta suscetibilidade antrópica à desertificação. Esses dados apontam um predomínio do nível baixo de suscetibilidade.

Comparando os dados da suscetibilidade geoambiental antrópica com as percentagens da suscetibilidade geoambiental natural à desertificação, constata-se que as percentagens ocupadas pelas classes de suscetibilidade baixa e média variam, respectivamente, de 95,97% a 87,48% e de 3,67% a 10,49%, enquanto para a classe denominada alta varia de 0,36% a 2,03%.

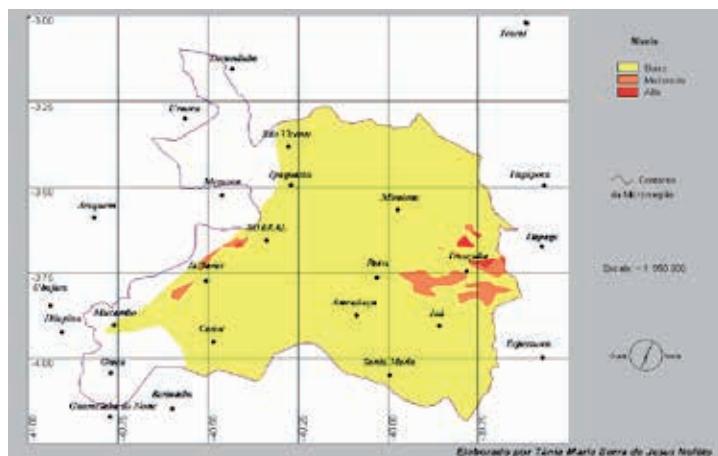


Figura 5 – Suscetibilidade geoambiental natural das terras secas da microrregião de Sobral à desertificação.

a deserção
Fonte: Nolêto (2005)

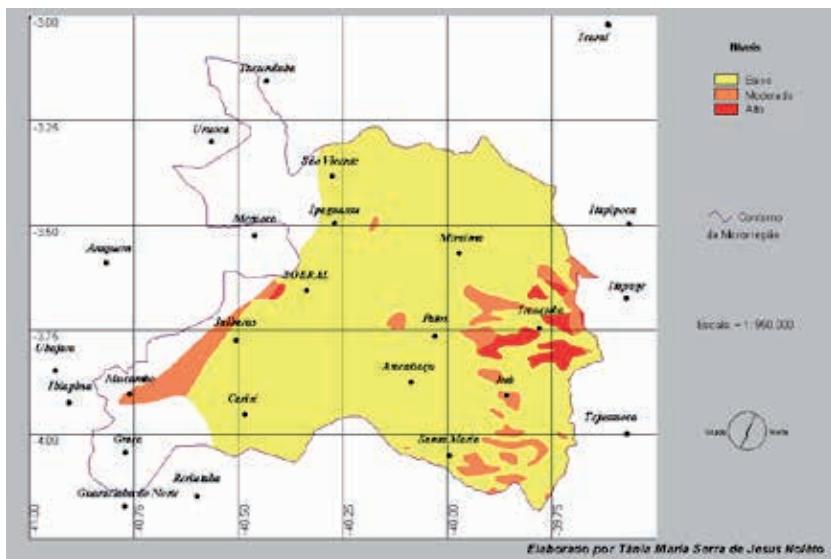


Figura 6 – Suscetibilidade geoambiental antrópica das terras secas da microrregião de Sobral à desertificação
Fonte: Nolêto (2005).

Os municípios de Sobral, Miraíma e Irauçuba foram os que exibiram o nível mais alto de suscetibilidade geoambiental antrópica à erosão com seus respectivos valores percentuais, 0,47%, 0,54% e 10,87%.

Conclusões

Os resultados deste trabalho permitem concluir que a microrregião de Sobral tem 80,10% de seu território enquadrado em áreas suscetíveis aos processos de desertificação. As terras secas dessa microrregião apresentam diferentes níveis de suscetibilidade geoambientais natural e antrópica à desertificação. O aumento da suscetibilidade antrópica em relação à natural ocorre como resultado da eliminação da cobertura vegetal natural e sua substituição pela vegetação que surge em decorrência das atividades agropecuárias, o que pode, a médio e longo prazo, conduzir à intensificação do processo de desertificação. O resultado da simulação de um cenário futuro mostrado na carta de

suscetibilidade geoambiental antrópica à desertificação corrobora a necessidade iminente da realização de estudos detalhados que conduzam ao estabelecimento de ações que orientem a utilização sustentável dos recursos naturais, especialmente água, solos e cobertura vegetal, e a uma política racional de uso e ocupação das terras secas da microrregião de Sobral, tornando-se, também, de grande importância o estudo do fenômeno em cada um dos municípios integrantes da área e que apontaram algum nível de suscetibilidade ao processo de desertificação.

Referências Bibliográficas

- AQUINO, C. M. S. de. *Suscetibilidade geoambiental das terras secas do estado do Piauí à desertificação*. 2002. 169 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Prodema, Universidade Federal do Ceará, 2002.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. *Folhas SB.24/25 - Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro: MME, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355p. il.
- CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE. Brasil, Senado Federal. Brasília, 1997.
- CREPANI, E. et al. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológicos-econômicos e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE, 2000.
- FOLHES, M. T.; VIANA, M. O. *Estudo da degradação/desertificação em sistemas de produção no semi-árido, nos estados do Ceará e Piauí*. Diagnóstico socioeconômico do Município de Irauçuba. Fortaleza: 2001.
- JACOMINE, P. K. T. et al. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado do Ceará*. Recife: SUDENE/DRN, v. 2, 1973. (Boletim de Pesquisa, 28).

LAL, R. *Soil erosion: research methods.* 2. ed. Ohio: Ohio State of University Columbus. 1994. 340 p.

LEPSCH, I. F. et al. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.* 4^a aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. *Programa para cálculo do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite.* Fortaleza: 2005.

PIMENTA, M. T. et al. A suscetibilidade à desertificação: definição a partir de índices. *Revista Florestal*, v. 11, n. 1, p. 27-34, jan./jun., 1998.

ROMKENS, M. J. M. et al. Soil erodibility factor (K) (Eq. 3-5). In: RENARD, K. G. et al. (Coord.). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).* Washington: Department of Agriculture, 1997. (Agriculture Handbook, 703).

SILVA, J. R. C. *Erodibilidade dos solos do Ceará: distribuição espacial e avaliação de métodos de determinação.* 1994. 60 f. Tese (Professor Titular) – Departamento de Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1994.

SOARES, A. M. L. et al. *Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Ceará.* Brasil, Fortaleza: ICID, 1992.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. *Dados pluviométricos mensais do Nordeste: estado do Ceará.* Pluviometria: 3. Recife: Sudene, 1990.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, Centerton, New Jersey, v. 10, n. 3, 1957.

TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia: ciência e aplicação.* Porto Alegre: EDUSP, v. 4, p. 182-193, 1993. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Status of desertification and implementation of the united nations plan of action to combat desertification.* Nairobi, Kenya: UNEP, 1991.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Processos de desertificação no nordeste brasileiro. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ECOLOGIA, 1., 1978, Recife: SEMA/SUDENE, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion loss from cropland east of the rocky mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation*. Washington: Department of Agriculture, 1965. (Agriculture Handbook, 282).

BANCO DE SEMENTES NO SOLO EM UMA ÁREA DE CAATINGA EM REGENERAÇÃO, NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DE IRAUÇUBA - CE

Carla Daniela de Sales Pessoa

Luiz Wilson Lima-Verde

Francisca Soares de Araújo

Introdução

Resiliência é definida como a quantidade e intensidade de distúrbios que um ecossistema pode suportar sem perder a estrutura e os processos mantenedores do sistema original (HOLLING, 1973). Dependendo da frequência e da intensidade do distúrbio, podem ser afetadas as relações interespécificas, a riqueza e a diversidade de espécies, ajustando-se a um modelo de sucessão ecológica (EL-SHEIKH, 2005). A capacidade de um ecossistema suportar distúrbio e retornar às condições iniciais reflete a resiliência (GUDERSON, 2000).

Estudos recentes demonstram que, em ambientes de climas áridos e semiáridos, a vegetação exibe uma dinâmica de não equilíbrio complexa, em razão de processos não lineares e eventos estocásticos complexos (CHAPMAN, 1992). Por exemplo, a vegetação muda rapidamente conforme a disponibilidade de água e pode sofrer alterações complexas conforme o aumento de distúrbios antrópicos ou naturais (HOFFMAN; BARR; COWLING, 1990); (DARKOH, 1996). Desse

modo, torna-se difícil avaliar se a mudança observada é consequência de um evento passageiro, como a seca, ou se é uma resposta ao uso inadequado da terra (VAN DEN BERG; KELLNER, 2005).

Campos abandonados são locais ideais como sistema modelo para o estudo da capacidade de recuperação do ecossistema, pois permitem avaliar a resposta de plantas a perturbações de diferentes intensidades e frequências em um determinado tempo (EL-SHEIKH, 2005). Há muitos estudos sobre a capacidade de recuperação em campos abandonados de regiões temperadas e tropicais, exceto em climas áridos e semiáridos (EL-SHEIKH, 2005).

A degradação de terras em decorrência de práticas humanas foi identificada como um problema mundial (BEAUMONT, 1989). A atividade antrópica em ambientes de climas áridos e semiáridos foi intensificada nas últimas décadas devido à superutilização da terra, o que tem ocasionado o esgotamento do solo destas áreas com impactos às vezes irreversíveis na vegetação, especialmente na diversidade (EVANS; GEERKEN, 2004).

O semiárido brasileiro possui uma história de uso da terra marcada por atividades agropastoris intensivas, muitas vezes inadequadas, sem observar as potencialidades dos sistemas naturais e sem a preocupação com o tipo de sistema agropastoril implantado (SILVA-JUNIOR et al., 2004; ANDRADE; OLIVEIRA, 2004; WEISBERG; BUGMAN, 2003).

As ações da atividade pecuarista e das práticas de agricultura inadequadas representam fatores impactantes no processo de degradação da biodiversidade, resultante da modificação de paisagens, perda de tipos funcionais, além de exaurir os recursos naturais disponíveis (SIGWELA et al., 2003; PEREIRA et al., 2003; WEISBERG; BUGMANN, 2003; ZEIDLER; HANRAHAN; SCHOLE, 2002).

Sistemas agrícolas inadequados introduzidos na terra em substituição aos sistemas ecológicos naturais comprometem o rendimento do sistema original e, desse modo, são responsáveis por parte da perda de biodiversidade em terras áridas e semiáridas, pois ensejam a erosão do solo, apesar da reconhecida capacidade de resiliência da vegetação ao

pastoreio (MCNEELY, 2003). A intensidade e a persistência de atividades degradantes, no entanto, podem dificultar o restabelecimento da vegetação nativa, visto que a estrutura do solo pode ser afetada e impossibilitar ou retardar o tempo de recuperação (BRIGGS; SCHAAFSMA; TRENKOV, 2007).

A recolonização vegetal em um ambiente pós-distúrbio ocorre, principalmente, por meio dos bancos de sementes no solo, os quais mantêm um papel fundamental no equilíbrio dinâmico da vegetação (SCHIMTZ, 1992). Em habitats com frequência de distúrbios, como áreas de pastagens, o principal meio de recompor a vegetação é pela composição do banco de sementes no solo, e o sucesso depende da densidade de sementes aptas a germinar quando as condições ambientais são favoráveis (MARTINI, 2002; MARKS; MOHLER, 1985; LEVASSOR; ORTEGA; PECO, 1990; LAVOREL et al., 1991; WARR; THOMPSON; KENT, 1993).

A recuperação de 90% da biomassa da caatinga original pode levar até 15 anos (SAMPAIO; SALCEDO, 1997). Sabe-se, porém, que, dependendo do grau de degradação, a recuperação de vegetação de áreas severamente degradadas por meio de processos de sucessão naturais é lenta, mas não impossível (EL-SHEIKH, 2005).

Com efeito, neste trabalho questiona se, em seis anos, é possível evidenciar a capacidade de regeneração da caatinga por meio do banco de sementes, após um longo período de atividades agropastoris na área em processo de desertificação de Irauçuba, CE. Para tentar responder a este questionamento, foi analisado o banco de sementes no solo em uma área sobre vertissolo com seis anos em pousio. Teve-se como objetivo conhecer os atributos densidade, composição, riqueza e diversidade do banco de sementes no solo no final da estação seca, em três diferentes áreas de caatinga em pousio, bem como verificar quais atributos do banco de sementes no solo refletem melhor o potencial de regeneração da caatinga em áreas sob desertificação.

O trabalho desenvolvido e aqui apresentado faz parte do projeto de pesquisa intitulado: “Estudo da degradação/desertificação e suas implicações com o uso da terra em sistemas de produção no semiárido cearense: o caso da microrregião de Sobral”, no qual foram delimitadas

as áreas utilizadas para este estudo as quais se encontram em pousio há seis anos e foram cedidas por agricultores locais, servindo como áreas piloto para vários estudos sobre degradação/desertificação na região.

Localização e caracterização ambiental da área de estudo

O trabalho de campo foi desenvolvido no município de Irauçuba, situado ao norte do Ceará, em solos da ordem vertissolo, com uma média de precipitação anual de 518mm e temperaturas médias de 28 °C (DIAS, 1998).

A vegetação apresenta fisionomia de Savana-Estépica Parque – caracterizada por mostrar nanofanerófitos espinhosos espaçados sobre um denso tapete gramíneo-lenhoso (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1992) sob atividades agropastoris intensivas e extração de lenha (SALES; OLIVEIRA, 2006). Esta área é considerada como em forte processo de degradação e desertificação (LEITE et al., 1992).

Delimitação das áreas de estudo

Visando analisar a capacidade de regeneração da vegetação com base no banco de sementes no solo, foram selecionadas três áreas e em cada uma foi delimitada uma parcela de 50x50m, permanente em pousio desde 2000, com equidistância entre si variando de 1 a 2km, aproximadamente (Figuras 2 e 3).

Cada parcela permanente foi isolada de atividades agropastoris por uma cerca de nove fios de arame farpado. Na borda interior de cada parcela foi delimitada uma faixa de 5m e a área interna restante foi dividida em 16 subparcelas de 10x10m, demarcadas com piquetes de ferro (Figura 2). Em cada área também foi delimitada uma parcela-controle (uso contínuo), que também foi demarcada por piquetes de ferro, a 5m de distância da parcela em pousio. Esta também foi dividida em 16 parcelas de 10x10m (Figuras 2 e 4). A localização geográfica e o tipo de solo de cada parcela encontram-se

na Tabela 1. As três áreas deste estudo situam-se sobre relevo plano a suave ondulado, sujeito a inundações periódicas, em cotas altimétricas inferiores a 200m.

Para facilitar a leitura, as parcelas em pousio serão chamadas de experimento (E) e as parcelas em uso contínuo serão chamadas de controle (C). Assim, serão utilizadas as abreviações E1, E2, E3, C1, C2, e C3 para representar, respectivamente, o experimento 1, 2 e 3 e controle 1, 2 e 3.

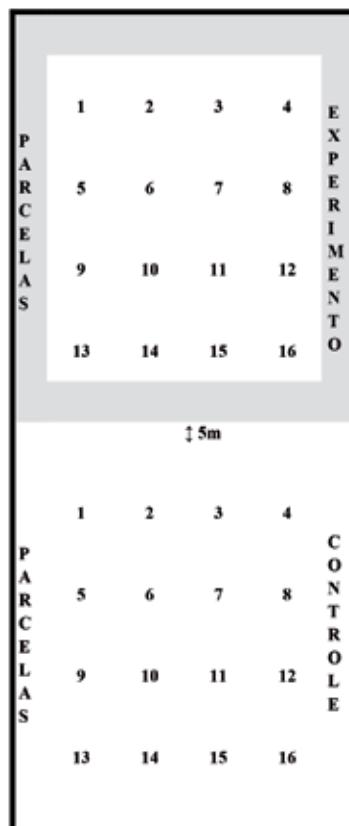


Figura 1 – Esquema demonstrativo do desenho experimental em cada uma das três áreas deste estudo, Irauçuba, CE
Fonte: Pessoa (2008).

Foi confeccionado um mapa de cobertura vegetal da região, gerado pelo Laboratório de Fitogeografia da Universidade Federal do Ceará, a partir de uma imagem remota do satélite CBERS-2 (China-Brazil Earth Resources Satelite), disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A cena utilizada corresponde à órbita 152 / ponto 104, gerada em 4 de julho de 2007. As bandas 2, 3 e 4 da imagem foram unidas em um só arquivo que, por sua vez, foi submetido a processo de classificação supervisionada no aplicativo ENVI 3.6. Foram definidas cinco classes de cobertura do solo: vegetação herbácea-abustiva, vegetação arbórea, plantações, solo sem vegetação, e água – em seguida, executado o processo de classificação supervisionada por máxima semelhança (Maximum Likelihood). Os arquivos gerados foram convertidos para formato compatível com o aplicativo ArcGis 9.0, onde foi elaborado o mapa. Para elaboração do mapa final, em escala de 1:200.000, os dados gerados pelo ENVI 3.6 foram projetados em UTM (Datum SAD'69) no ArcGis 9.0.

Tabela 1 – Localização geográfica, altitude e solo
dos três experimentos, no município de Irauçuba - CE

Experimento	Fazenda	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Solo
1	Fornigueiro	03°46'49,7"	39°49'01,0"	168	Vertissolo
2	C. Salgada I	03°46'38,2"	39°49'47,2"	170	Vertissolo hidromórfico
3	C. Salgada II	03°46'13,9"	39°49'47,5"	159	Vertissolo hidromórfico

Fonte: Pessoa (2008).

As camadas vetoriais das classes geradas com o ENVI 3.6 foram sobrepostas juntamente com as coordenadas das parcelas de estudo, no município de Irauçuba, sendo gerado um mapa contendo fragmentos de vegetação da região e a localização das parcelas de estudo (Figura 3).

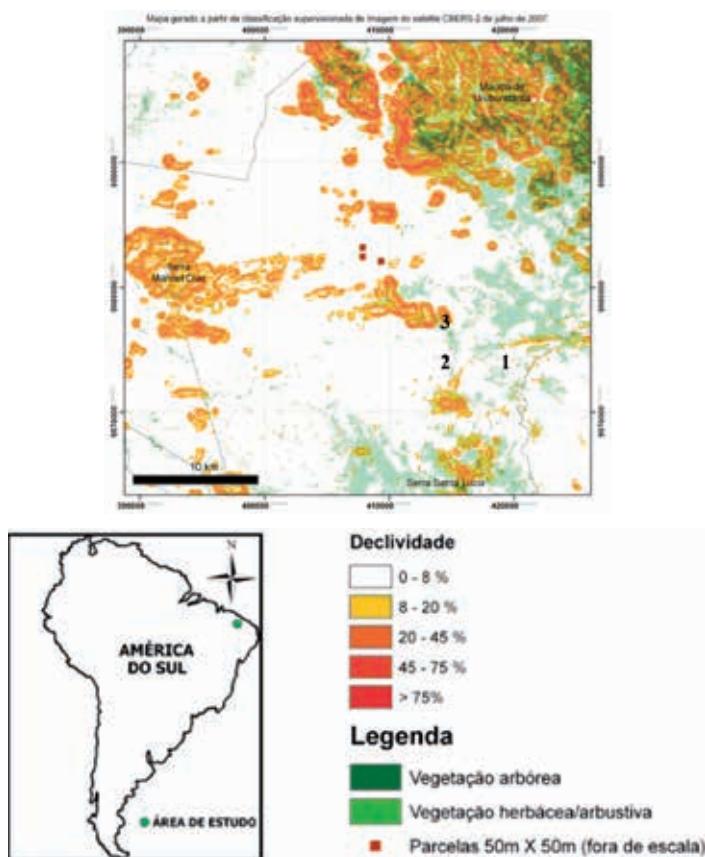


Figura 2 – Localização das parcelas experimento e controle e mapa de cobertura vegetal da área, município de Irauçuba, CE
Fonte: Pessoa (2008).

A Figura 4 mostra uma vista geral das três parcelas em pousio usadas para análise da capacidade de regeneração da vegetação com base no banco de sementes no solo.

Coleta das amostras do banco de sementes no solo

Em cada parcela experimento e controle, de cada uma das três áreas (Figura 2 e 3), foram sorteadas cinco subparcelas de 10x10m e no centro de cada uma foi retirada uma amostra circular do solo de 25cm de diâmetro

e 2cm de profundidade, delimitada por um cilindro de aço (Figura 4). A amostragem foi feita no final da estação seca. Em cada parcela experimento e controle foi amostrada uma área total de 0,25m², respectivamente.



Figura 3 – Cilindro de aço usado para delimitar a parcela circular na amostragem do banco de sementes no solo
Fonte: Pessoa (2008).

Cada amostra foi acondicionada individualmente em sacos plásticos pretos, devidamente etiquetados com o número da parcela e se pertencia à área de experimento ou controle. As amostras foram armazenadas em laboratório sob temperatura ambiente que variou entre a máxima de 31,3 °C e mínima de 25,1 °C e umidade relativa máxima de 68% e mínima de 33%, por aproximadamente um mês, até a realização do experimento de germinação em casa de vegetação.



Figura 4 – Vista geral das parcelas em pousio, município de Irauçuba, CE
Fonte: Pessoa (2008).

Experimento de germinação do banco de sementes

Para avaliar a densidade, curva de germinação e composição florística do banco de sementes, as amostras foram colocadas em casa de vegetação sob condições ambiente, com uma temperatura de 28,4 °C, com variação de $\pm 0,9$ °C, umidade relativa do ar de 73,9%, com variação de $\pm 5,8\%$ e a duração média diária de horas de luz de 9.8. Os dados climáticos foram registrados na estação climática ($3^{\circ} 44' 40,81''S$ $38^{\circ} 34' 26,28''W$), distante cerca de 200m da casa de vegetação.

Cada amostra de solo foi distribuída em uma fina camada (aproximadamente 0,5 cm) sobre um leito de vermiculita estéril em bandejas plásticas (45x30x7cm) e mantidas em casa de vegetação (Figura 6). O solo contido nas bandejas foi irrigado diariamente, com água comum de torneira, por um período de seis semanas. Algumas bandejas plásticas, com solo esterilizado sobre vermiculita, foram igualmente irrigadas e utilizadas como controle de contaminação externa na casa de vegetação.



Figura 5 – Experimento em casa de vegetação
Fonte: Pessoa (2008).

A espessura de cada camada de solo nas bandejas e o tempo de irrigação seguiu o método de Dalling, Swaine e Garwoods (1994), que recomenda uma espessura de no máximo 0,5cm e tempo de duração do experimento de seis semanas. A casa de vegetação utilizada é coberta com telhas de fibra de vidro clara (translúcida) protegida nas laterais com tela de nylon de malha de 1mm de lado, situada no *Campus* do Pici da Universidade Federal do Ceará ($3^{\circ}44'41.41''S$ $38^{\circ}34'26.27''W$).

Durante todo o período de irrigação em casa de vegetação, as plântulas emergidas nas bandejas plásticas foram, a cada um ou dois dias, transplantadas individualmente para células de germinação em isopor (4cm de lado por 6cm de profundidade cada), preenchidas com solo nativo previamente esterilizado em autoclave (45 minutos a 121 °C e 1atm) e mantido em repouso por 40 dias, para acompanhamento do crescimento visando à identificação taxonômica (Figura 7).

Para cada plântula transplantada foram registrados, em planilha, o número da amostra e, se presente na parcela-experimento ou controle, a data de germinação e o grupo taxonômico (monocotiledônea ou dicotiledônea). Após o transplante, cada indivíduo foi irrigado diariamente e acompanhado em seu desenvolvimento até ser possível distinguir em morfoespécies.



Figura 6 – Células de germinação com plântulas transplantadas
Fonte: Pessoa (2008).

Com o objetivo de facilitar a identificação taxonômica C das morfoespécies, três a quatro indivíduos de cada morfoespécie foram transferidos para sacos de muda com solo nativo e mantidos por um período mais longo, que dependeu do tempo para floração e frutificação de cada espécie.

Após a floração e/ou frutificação, o material-testemunho foi herborizado para posterior identificação por meio de comparação com material já identificado e depositado no acervo do herbário EAC (Prisco Bezerra) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e envio a especialistas, quando necessário. Utilizou-se o sistema de classificação APG II.

Análise do banco de sementes

A determinação da densidade do banco de sementes no solo foi expressa em sementes por metro quadrado (sem/m^2), conforme recomendado por Baskin e Baskin (2001).

A curva de germinação foi traçada com base nos dados de emergência de plântulas registrados diariamente, por meio da contagem direta do número de sementes germinadas/dia, até o final do experimento. Então, foi construído um gráfico em que o eixo horizontal mostra um gradiente temporal e o eixo vertical indica a quantidade de sementes germinadas, permitindo uma aproximação da cinética de germinação.

A riqueza de espécies, a diversidade e o índice de equabilidade (ZAR, 1984) de cada experimento e controle foram determinados pelo número de morfoespécies, já que não foi possível a identificação taxonômica de todas as plantas germinadas. Para verificar se a diversidade na parcela em pousio (experimento) foi maior que na parcela-controle (uso contínuo) foi calculado o Teste t, proposto por Hutcheson (1970), para cada uma das três áreas estudadas.

Para verificar as existentes no número total de indivíduos do banco de sementes, em função das áreas estudadas, foi utilizado o teste de t para dados não pareados. Para analisar as diferenças entre as parcelas experimentais realizou-se a análise de variância ANOVA com *post hoc* Scheffer, já que as amostras têm tamanhos diferentes. Estas análises foram realizadas no programa SPSS (Statistical Package for the Social

Science), versão para Windows 11.0, a 5% de significância, uma vez que as pressuposições de homogeneidade e normalidade foram atendidas.

Resultados

Tamanho do banco de sementes

O número médio de sementes germinadas nas parcelas-experimento foi maior do que nas parcelas-controle, com exceção da área 1 (Tabela 2). Só foi encontrada diferença significativa em relação ao número médio de sementes germinadas na área 2 entre a parcela controle e a experimental (Tabela 2). A densidade de sementes germinadas no banco de sementes no solo mostrou-se maior nas parcelas-experimento quando comparadas com o controle, com exceção da área 1 (Tabela 3). As densidades mostram diferenças significativas entre as parcelas-experimento quando realizado o teste ANOVA. Em relação à composição florística, o banco de sementes foi formado, predominantemente, por dicotiledôneas (Tabela 4). As quantidades de dicotiledôneas e monocotiledôneas mostram diferenças significativas dentro da mesma parcela, quando realizado o teste do Chi-Square (Tabela 4).

Tabela 2 – Média da quantidade de sementes germinadas nas áreas 1, 2 e 3

Parcelas	Experimento	Controle
1	29,6 ^a	34 ^a
2	90,2 ^b	64,4 ^c
3	104 ^d	68,4 ^d

Fonte: Pessoa (2008).

Letras iguais designam diferenças não significativas ($p \geq 0,05$).

Letras diferentes designam diferenças significativas ($p \leq 0,05$).

Tabela 3 – Tamanho do banco de sementes das áreas amostradas no final da estação seca

Parâmetros analisados	Dados coletados nas parcelas-experimento e controle					
	E1	C1	E2	C2	E3	C3
Densidade total (sem/m ²)	592 ^a	680	1804 ^b	1288	2080 ^c	1408
Número total de sementes germinadas	148	170	451	322	520	352

Fonte: Pessoa (2008).

Letras iguais designam diferenças não-significativas ($p \geq 0,05$).

Letras diferentes designam diferenças significativas ($p \leq 0,05$).

As comparações para análise entre as parcelas-experimento estatísticas foram realizadas utilizando-se ANOVA.

Tabela 4 – Número de sementes monocotiledôneas e dicotiledôneas das áreas amostradas no final da estação seca

Dados coletados nas parcelas-experimento e controle											
E1		C1		E2		C2		E3		C3	
M	D	M	D	M	D	M	D	M	D	M	D
42 ^a	106 ^b	27 ^a	143 ^b	116 ^a	335 ^b	59 ^a	263 ^b	211 ^a	307 ^b	237 ^a	115 ^b

Fonte: Pessoa (2008).

Letras iguais designam diferenças não-significativas ($p \geq 0,05$).

Letras diferentes designam diferenças significativas ($p \leq 0,05$).

As comparações estatísticas, visando observar diferenças entre as monocotiledôneas e dicotiledôneas, foram realizadas utilizando-se o teste do Chi-Square.

Cinética de germinação do banco de sementes

A germinação, em casa de vegetação, teve início no segundo dia após a primeira irrigação. Ocorreu uma alta taxa de germinação nos primeiros dez dias, com pico entre o quarto e o décimo dia. Em

seguida, houve declínio, seguido por picos menores, até que a germinação cessasse totalmente, o que ocorreu, em média, no quadragésimo dia. A Figura 8 mostra que a cinética de germinação para os grupos de monocotiledôneas e dicotiledôneas demonstra comportamento similar, com pico maior nos dez primeiros dias de irrigação, seguido por picos menores e, posteriormente, declínio da germinação.

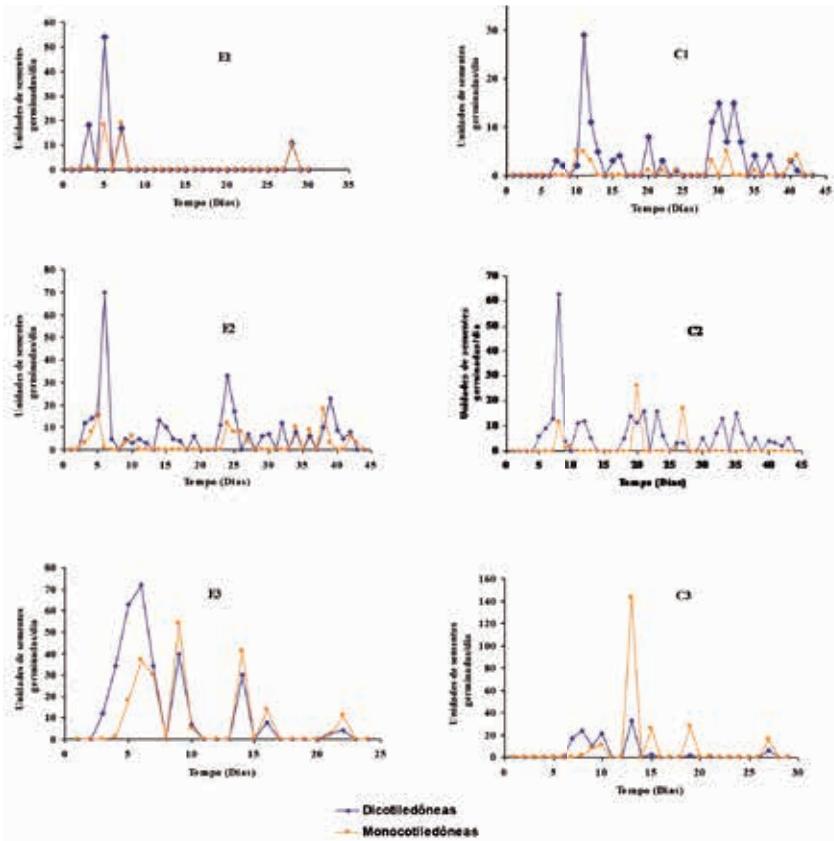


Figura 7 – Cinética de germinação de monocotiledôneas e dicotiledôneas do banco de sementes em E1, C1, E2, C2, E3 e C3. T_0 = início da irrigação; T_1 = início da germinação
Fonte: Pessoa (2008).

Composição florística, riqueza e diversidade do banco de sementes no solo

Foi possível identificar, no nível de família, gênero e/ou espécie cerca de 59, 51 e 56% das plântulas emergidas distribuídas em 8, 2 e 15 espécies em E1, E2 e E3, respectivamente. Nas parcelas-controle, foram identificadas 78, 50 e 40%, distribuídas em 8, 2 e 10 espécies em C1, C2 e C3, respectivamente. A porcentagem de plântulas mortas antes que fosse possível qualquer identificação, nem mesmo ao nível de morfoespécies, foi de cerca de 40, 49, 45, 22, 50 e 60% para E1, E2, E3, C1, C2 e C3, respectivamente.

Quanto às formas de vida foi encontrada uma elevada quantidade de terófitos em todas as áreas (58, 51, 54, 35, 50 e 39% em E1, E2, E3, C1, C2 e C3, respectivamente). Embora presente nas parcelas em pousio, não foi registrada nenhuma espécie de árvore no banco de sementes no solo.

Em cada área foram identificadas oito espécies em cinco famílias, duas espécies em duas famílias e 13 espécies em dez famílias nas parcelas E1, E2 e E3, respectivamente. A família *Portulacaceae* aparece apenas em E1, com um indivíduo. A família *Brassicaceae* aparece com uma espécie e um indivíduo em E2. As famílias *Euphorbiaceae*, *Fabaceae* subfamília *Faboideae*, *Lamiaceae*, *Malvaceae* e *Verbenaceae* foram registradas apenas em E3, apresentando baixa diversidade (Tabela 5).

Poaceae representou a família nas áreas 1 e 3, com duas espécies para E1 e C1 e três espécies para E3 e C3. Tanto na parcela experimental como na controle, a espécie *Stylosanthes humilis* Kunth (*Fabaceae* subfamília *Mimosoideae*) foi a espécie de maior densidade no banco de sementes no solo, com exceção da parcela C1, na qual a espécie *Portulaca cf pilosa* L (*Portulacaceae*) representou cerca de 42% do banco de sementes. A espécie *Aristida setifolia* Kunth (*Poaceae*) foi registrada somente na parcela 3 e representou 16% do banco de sementes no solo em E3 e 19% em C3. Em E2 e C2 só germinaram duas espécies – *Brassica sp* e *Stylosanthes humilis* Kunth (Tabela 5).

Tabela 5 – Espécies presentes no banco de sementes
da E1, C1, E2, C2, E3 e C3, e o respectivo número de indivíduos
(n) e a forma de vida (FV)

Família	Nº	Espécie	E1	C1	E2	C2	E3	C3	FV
Amarantaceae	1	<i>Froelichia humboldtiana</i> (Schult.) Seub.	-	2	-	-	-	-	Te
	2	<i>Alternanthera brasiliensis</i> (L.) Kuntze	29	-	-	-	12	-	Te
Brassicaceae	3	<i>Brassica</i> sp.	0	0	1	1	-	-	Te
Cyperaceae	4	<i>Cyperus</i> sp.	4	8	-	-	-	-	Te
	5	<i>Pycreus cf. fugax</i> (Liebm.) C.D.Adams	0	0	-	-	-	3	Te
Euphorbiaceae	6	<i>Phyllanthus caroliniensis</i> Walter	-	-	-	-	4	-	Te
Fabaceae fibroideae	7	<i>Centrosema pascuorum</i> Mart. ex Benth.	-	-	-	-	1	-	Ca
Fabaceae mimosoideae	8	<i>Mimosa</i> sp.	2	2	-	-	6	12	Ca
	9	<i>Stylosanthes humilis</i> Kunth	15	38	228	160	42	46	Te
Lamiaceae	10	<i>Hypisia suaveolens</i> (L.) Poit.	-	-	-	-	17	-	Te
Lythracene	11	<i>Cuphea campestris</i> (Mart.) Koehne	6	1	-	-	41	7	Te
Malvaceae	12	<i>Waltheria indica</i> L.	-	-	-	-	2	1	Ca
Pouceae	13	<i>Anthephora hermaphrodita</i> (L.) Kuntze	-	-	-	-	3	-	Te
	14	<i>Aristida setifolia</i> Kunth	-	-	-	-	82	64	Te
	15	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	4	5	-	-	-	2	Te
	16	<i>Digitaria cf. ciliaris</i> (Retz.) Koeler	-	-	-	-	2	-	Te
	17	<i>Gymnopogon</i> sp.	-	-	-	-	-	1	Te
	18	<i>Paspalum plicatum</i> Michx.	27	5	-	-	12	-	Te
Portulacaceae	19	<i>Portulaca</i> cf. <i>pilosa</i> L.	1	71	-	-	-	-	H
Verbenaceae	20	<i>Stachytarpheta</i> cf. <i>dichotoma</i> (Ruiz Pav.) Vahl	-	-	-	-	63	2	Te
Total			88	132	229	161	287	138	

Fonte: Pessoa (2008).

Forma de vida: Ca – caméfito, H – hemicriptófito e Te – terófito.

A Tabela 6 mostra que os números de espécie são iguais na parcela experimento e controle nas áreas 1 e 2. O teste t (HUTCHESON, 1970) mostrou haver maior diversidade nas parcelas em pousio para as áreas 1 e 3.

Na área 1, a riqueza na parcela em pousio foi igual à do controle, porém a equitabilidade foi maior e por isso se obteve maior diversidade para a parcela em pousio (Tabela 6).

O número de espécies identificadas para a área 2 foi igual nas parcelas-experimento e controle, no entanto a equitabilidade foi maior para a parcela controle, mostrando haver uma maior diversidade na mesma (Tabela 6).

Para a área 3, encontram-se um maior número de espécie e maior equitabilidade nas parcelas-experimento, o que leva à maior diversidade (Tabela 6).

Tabela 6 – Índices de riqueza, diversidade e equabilidade determinados para as áreas de estudo

	ÍNDICES		TRATAMENTOS	
			Experimento	Controle
Área 1	Número de espécies	(NO)	8	8
	Índice de Shannon	(H')	1,562 ^a	1,274 ^b
	Equabilidade		0,751	0,613
Área 2	Número de espécies	(NO)	2	2
	Índice de Shannon	(H')	0,028 ^c	0,038 ^d
	Equabilidade		0,041	0,054
Área 3	Número de espécies	(NO)	15	10
	Índice de Shannon	(H')	2,004 ^e	1,388 ^f
	Equabilidade		0,740	0,603

Fonte: Pessoa (2008).

Letras iguais designam diferenças não significativas ($p>0,05$).

Letras diferentes designam diferenças significativas ($p<0,05$).

Discussão

Tamanho do banco de sementes

Encontrou-se uma elevada variação para o banco de sementes no solo nas três áreas estudadas, fato também observado na literatura e mostrado na Tabela 7. As densidades encontradas neste estudo nas parcelas em pousio 2 e 3 são menores do que as relatadas por Gonçalves et al. (2011) e maiores do que as relatadas por Mamede e Araújo (2008), Costa e Araújo (2003) e Pessoa (2007), valores estes próximos aos encontrados nas parcelas de uso contínuo 2 e 3 e inferiores aos encontrados tanto nas parcelas em uso contínuo como nas em pousio da área 1. Silva (2009) encontrou, no entanto, valores bem próximos aos demonstrados na área 1.

A maior diversidade de sementes registradas nas parcelas em pousio mostra a regeneração da área (à exceção de E1).

Tabela 7 – Densidade do banco de sementes no solo encontrados na literatura

Autores	Tipo de vegetação	Local / País	Densidade (sem/m ²)	Método
Gonçalves et al. (2011)	Caatinga	Sossego, PB	8620	Emergência de plântulas
Silva (2009)	Caatinga	Caruaru, PE	591	Emergência de plântulas
Mamede e Araújo (2008)	Caatinga	Sobral, CE	1436	Emergência de plântulas
Costa e Araújo (2003), Pessoa (2007)	Caatinga	Quixadá, CE	807	Emergência de plântulas
Kemp (1989)	Deserto	Baixo Colorado, USA	1369	Emergência de plântulas
Solomon, Snyman, Smit, (2006)	Pastagem	Etiópia	798.8	Vários

Fonte: Pessoa (2008).

Composição florística e cinética de germinação das espécies do banco de sementes no solo

Todas as espécies de maior densidade no banco são terófitos, confirmado estudo registrado por Mamede e Araújo (2008), Costa e Araújo (2003) e Pessoa (2007) em banco de sementes no solo da caatinga. Além disso, segundo Schippers et al. (2001), com o aumento da perturbação, espera-se que o ambiente exiba diversidade maior de sementes de espécies terófitos.

El-Sheikh (2005), investigando campos abandonados há 25 anos, em diferentes estádios sucessionais no vale do rio Nilo, descobriu que, quanto mais baixo o nível de perturbação, mais facilmente espécies arbóreas e arbustivas colonizam o ambiente, sendo o aumento de terófitos proporcional ao aumento do distúrbio no ambiente. Constata também que, nos primeiros dois anos de abandono, tendem a aumentar rapidamente a riqueza e a diversidade de espécies, diminuindo com o passar do tempo.

A alta germinabilidade, observada na cinética de germinação no início do experimento (Figura 8), indica que há rápido recrutamento

de novos indivíduos, comportamento similar já observado na caatinga por Mamede e Araújo (2008), Costa e Araújo (2003), Pessoa (2007) e Gonçalves et al. (2011). Este dado reforça a noção de que as sementes terófitas da caatinga mostram rápida germinação no início da estação chuvosa, característica que favorece a permanência no ambiente, visto que essa estação é curta (cerca de três meses).

Diversidade do banco de sementes no solo

Mamede e Araújo (2008), em uma caatinga em pousio há cerca de 20 anos, e Gonçalves (2011), em remanescente de caatinga sem a presença de indivíduos adultos da espécie invasora *Parkinsonia aculeata* L., encontraram um índice de diversidade de 3,22 e 2,78, respectivamente, valor este acima dos encontrados neste estudo, visto tratar-se de uma área em processo de desertificação. Nas áreas 1 e 3, os índices de diversidade, riqueza e equabilidade calculados são maiores nas parcelas experimento do que nas parcelas controle, fato que mostra a regeneração na área isolada da atividade agropastoril. Embora Sampaio e Salcedo (1997) tenham registrado que a caatinga recupera 90% da biomassa em até 15 anos, o longo histórico de uso na área de desertificação de Irauçuba, associado à ausência de fragmentos de vegetação nas proximidades das parcelas em pousio, dificulta a regeneração da vegetação, refletida na baixa diversidade do banco de sementes no solo, quando comparado com áreas de caatinga estudadas por Mamede e Araújo (2008).

Miller e Kauffman (1998) sugerem a manutenção de locais intocados próximos às áreas com atividades agropastoris com o objetivo de facilitar a preservação da biodiversidade de espécies, fato não observado na área deste estudo, pois, como mostrado na Figura 3, a fonte de novos propágulos encontra-se distante, o que dificulta a regeneração, visto que na E1 há apenas duas espécies de árvores e nenhum registro nas demais parcelas. Miller e Kauffman (1998) também mostram que o aumento da atividade agrícola causa uma diminuição considerável na diversidade da área, mas não significa a deterioração de serviços de ecossistemas relevantes, a menos que haja a perda de algum grupo funcional ou de alguma espécie-chave (MILLER; KAUFFMAN, 1998).

Considerações Finais

Pode-se concluir com os resultados obtidos que:

- a) o maior número de sementes germinadas, no final da estação seca, nas parcelas em pousio, evidencia a ocorrência de regeneração, pelo menos da biomassa herbácea;
- b) a maior diversidade nas parcelas em pousio 1 e 3 do banco de sementes no solo indica que está ocorrendo recuperação, pelo menos do componente herbáceo; e
- c) a ausência de árvores do banco de sementes do solo reflete o nível de degradação da região e a ausência de fragmentos conservados próximos.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, J. B.; OLIVEIRA, T. S. Análise espaço-temporal do uso da terra em parte do semiárido cearense. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, n. 28, p. 393-401, 2004.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP II. An update of the angiosperm phylogeny group classification for orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141, p. 399-436, 2003.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. New York: Academic Press, 2001. 666 p.
- BEAUMONT, P. *Drylands, environmental management and development*. 2. ed. London: Routledge, 1989. 536 p.
- BRIGGS, J. M.; SCHAAFSMA, H.; TRENKOV, D. Woody vegetation expansion in a desert grassland: prehistoric human impact? *Journal of Arid Environments*, n. 69, p. 458-472, 2007.
- CHAPMAN, G. P. *Desertified grasslands: their biology and management*. London: Academic Press, p. 17-33, 1992.

- COSTA, R. C.; ARAÚJO, F. C. Densidade, germinação e flora do banco de sementes no solo, no final da estação seca, em uma área de caatinga, Quixadá, CE. *Acta Botanica Brasilica*, v. 17, n. 2, p. 259-264, 2003.
- DALLING, J. W.; SWAINE, M. D.; GARWOODS, N. C. Effect of soil depth on seedling emergence in tropical soil seed-bank investigations. *Functional Ecology*, v. 9, p.119-121, 1994.
- DARKOH, M. B. K. Combating desertification in Zimbabwe. *Desertification Control Bulletin*, v. 13, p. 17-28, 1996.
- DIAS, R. L. F. *Intervenções públicas e degradação ambiental no semi-árido cearense (O Caso de Irauçuba)*. 1998. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Prodema, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.
- EL-SHEIKH, M. A. Plant succession on abandoned fields after 25 years of shifting cultivation in Assuit, Egypt. *Journal of Arid Environments*, v. 61, p. 461-481, 2005.
- EVANS, J.; GEERKEN, R. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation. *Journal of Arid Environments*, v. 57, p. 535-554, 2004.
- GONÇALVES, G. S. et al. Estudo do banco de sementes do solo em uma área de caatinga invadida por Parkinsonia aculeata L. *Revista Brasileira de Biociência*, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 428-436, out./dez. 2011.
- GUDERSON, L. H. Ecological resilience – In theory and application. *Annual Review Ecology System*, v. 31, p. 425-439, 2000.
- HOFFMAN, M. T.; BARR, G. D.; COWLING, R. M. Vegetation dynamics in the semi-arid eastern Karoo, South Africa - the effect of seasonal rainfall and competition on grass and shrub basal cover. *South African Journal of Science*, v. 86, p. 462 - 463, 1990.
- HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review Ecology Systems*, v. 4, p. 1-123, 1973.
- HUTCHESON, K. A test for comparing diversities based on the shannon formula. *Journal of Theoretical Biology*, v. 29, p. 151-154, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual técnico da vegetação brasileira*, Rio de Janeiro, 1992. 92 p.

KEMP, P. R. Seed banks and vegetation processes in deserts. In: LECK, M. A.; PARKER, V. T.; SIMPSON, R. L. (Ed.). *Ecology of soil seed banks*. New York: Academic Press, p. 257-280, 1989.

LAVOREL, S. et al. Nested spatial patterns in seed bank and vegetation of Mediterranean old-fields. *Journal Vegetation Science*, v. 2, p. 367-376, 1991.

LEITE, F. R .B. et al. *Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Ceará – Brasil*. Fortaleza. ICID, 1992.

LEVASSOR, C.; ORTEGA, M.; PEZO, B. Seed bank dynamics of mediterranean pastures subjected to mechanical disturbance. *Journal Vegetation Science*, v. 1, p. 339-344, 1990.

MCNEELY, J. A. Biodiversity in arid regions: values e perceptions. *Journal of Arid Environments*, v. 54, p. 61-70, 2003.

MAMEDE, M. A.; ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 72, p. 458-470, 2008.

MARKS, P. L.; MOHLER, C. L. Succession after elimination of buried seeds from a recently plowed field. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, v. 122, p. 376-382, 1985.

MARTINI, A. M. Z. *Estrutura e composição da vegetação e chuva de sementes em subbosque, clareiras naturais e área perturbada por fogo em floresta tropical no sul da Bahia*. 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2002.

MILLER, P. M.; KAUFFMAN, J. B. Effects of slash and burn agriculture on species abundance and composition of a tropical deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, v. 103, p. 191-201, 1998.

PESSOA, L. M. *Variação espacial e sazonal do banco de sementes do solo em uma área de caatinga Serra Talhada, PE*. Recife. 45 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

PEREIRA, I. M. et al. Use history effects on structure and flora of caatinga. *Biotropica*, v. 35, n. 2, p. 154-165, 2003.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Análise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. In: LITORAL E SERTÃO, NATUREZA E SOCIEDADE NO NORDESTE BRASILEIRO. Fortaleza: Expressão Gráfica, p. 223-232, 2006.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 1997. CD-ROOM.

SCHIPPERS, P. et al. *Herbaceous plant strategies in disturbed habitats*. Oikos, v. 95, p. 198–210, 2001.

SCHIMTZ, M. C. Banco de sementes no solo em áreas no reservatório da UHE, Paraibuna. In: KAGEYAMA, P. Y. (Ed.). *Recomposição da vegetação com espécies arbóreas nativas em reservatórios de usinas hidrelétricas da CESP*, v. 8, n. 25, p. 7-8, 1992. (Série IPEF).

SILVA, K. A. *Banco de sementes (lenhosas e herbáceas) e dinâmica de quatro populações herbáceas em uma área de caatinga em Pernambuco*. 2009. 132 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA-JUNIOR, W. M. et al. Natural regeneration of trees and shrubs species in two sites of a tropical semi deciduous forest. Viçosa, *Scientia Forestalis*, v. 66, p. 169-179, 2004.

SIGWELA, A. M. et al. Quantifying the costs of unsustainable domestic herbivory for biodiversity and ecosystem functioning in succulent thicket, Eastern cape, South Africa. In: INTERNATIONAL RANGELAND CONFERENCE, 6., Durban, Africa do Sul, 2003.

SOLOMON, T. B.; SNYMAN, H. A.; SMIT, G. N. Soil seed bank characteristics in relation to land use systems and distance from water in a semi-arid rangeland of southern Ethiopia, South African. *South African Journal of Botany*, v. 72, p. 263-271, 2006.

STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCE. *Systat*. Version 11.0. SPSS Inc., Chicago, IL. 1998.

VAN DEN BERG. L; KELLNER, K. Restoring degraded patches in a semi-arid rangeland of South Africa. *Journal of Arid Environments*, v. 61, p. 497-511, 2005.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

WARR, S. J.; THOMPSON, K.; KENT, M. Seed banks as a neglected area of biogeographic research: a review of literature and sampling techniques. *Progress in Physical Geography*, v. 17, n. 3, p. 329-347, 1993.

WEISBERG. P. J.; BUGMANN, H. Forest dynamics and ungulate herbivory: from leaf to landscape. *Forest Ecology and Management*, v. 181, p. 1-12, 2003.

ZAR, J. H. *Biostatistical analysis*, 4. ed. New Jersey: Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1984. 663 p.

ZEIDLER, J.; HANRAHAN, S.; SCHOLES, M. Land-use intensity affects range condition in arid to semi-arid Namibia. *Journal of Arid Environments*, v. 52, p. 389-403, 2002.

EFETO DO SOBREPASTEJO E DA EXCLUSÃO DE ANIMAIS EM SOLOS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO CARENSE

*Francélio Pereira de Sousa
Ricardo Espíndola Romero
Tiago Osório Ferreira*

Introdução

A Região Nordeste do Brasil possui, atualmente, uma população estimada em 53,08 milhões de habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010), e mostra problemas estruturais quanto à sustentabilidade dos sistemas de produção de alimentos. Aliados aos efeitos negativos do clima, como as secas, existem processos de degradação do solo, água, biodiversidade e, como consequência, o início da desertificação.

Degradação, de acordo com o Manual de Diretrizes para Recuperação de Áreas Degradas (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 1990), ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil de solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a inviabilização socio-econômica da área.

No Brasil, aproximadamente 33% das terras do semiárido nordestino apresentam susceptibilidade muito baixa e baixa à degradação, 34% média e 33% têm susceptibilidade alta e muito alta. As análises de dados de satélite mostram que, entre os anos de 1984 e 1990, a área antropizada no Nordeste passou de 34% para 53%, ao passo que a área de cobertura nativa remanescente caiu de 65% para 47% (BRASIL, 1991; PEREIRA, 2000). Embora estas mudanças, algumas já em estádio de desertificação, fossem atribuídas a muitas causas possíveis, o sobrepastejo por animais domésticos vem sendo apontado, em muitos trabalhos, como sendo o principal fator (SOARES et al., 1995; SALES, 2003; LUSTOSA, 2004).

A devastação da caatinga para dar espaço às atividades agropastoris e à exploração de produtos florestais são ameaças crescentes à biodiversidade desse bioma e constitui um forte agente de degradação ambiental. Essa devastação ocorre frequentemente na região de Irauçuba - CE. O desmatamento é usado como ferramenta para aumentar a produção das forrageiras e para formação de novas pastagens, que são usadas em condições de sobrepastejo e pastejo contínuo, o que, aliado às condições de solo e clima locais, não permitem o desenvolvimento de uma densa vegetação de porte arbóreo.

Considerando-se a extensão do município de Irauçuba - CE, tipos de solos e situação da pastagem nativa, Mesquita et al. (1981) concluíram que a lotação adequada total do município é de aproximadamente 12.000 unidade animal (UA). Segundo o censo agropecuário de 2006, o rebanho bovino do município era de aproximadamente 20.400 UA (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006). Isso revela um excesso de lotação de aproximadamente 8.400 UA, o equivalente a 9.300 cabeças, resultando em uma superlotação em torno de 40% em relação à capacidade do município. Quando são incluídos bovinos, caprinos, equinos, asininos e muares a este excesso, somam 26.300 UA, elevando a superlotação para 54%.

Sales (2003), analisando áreas de exclusão de animais em Irauçuba - CE, no semiárido nordestino, concluiu que a interação

dos resultados indica que a principal limitação, do ponto de vista dos recursos naturais para melhoria do uso da terra, é a condição climática a que está submetida a maioria dos municípios da região de Sobral. Para Lustosa (2004), em ambientes naturalmente instáveis como esse, a intervenção humana contribui de forma significativa para intensificar o aspecto seco da paisagem, mas não constitui o fator determinante.

O município de Irauçuba exibe uma paisagem que reflete as condições climáticas, geológicas e geomorfológicas nos solos e na vegetação, tornando o seu aspecto mais seco do que as áreas inseridas no âmbito do semiárido cearense. Embora Irauçuba - CE apresente condições climáticas adversas, levantou-se a hipótese de que, o uso atual do solo, sob condições de sobrepastejo, é um dos principais fatores responsáveis por sua degradação. O objetivo desta pesquisa foi avaliar, por meio de atributos físicos e químicos, as alterações no comportamento do solo em áreas com exclusão de pastejo em relação às áreas com sobrepastejo numa região do semiárido cearense que se encontra em processo de desertificação.

A Área de Estudo

Meio físico

A área de estudo está localizada em Irauçuba, no sertão centro-norte do estado do Ceará e na microrregião de Sobral. O município de Irauçuba comprehende uma área de 1.451km² com altitude de 152,5m, precipitação média anual de 530mm, concentrada em três meses do ano e temperatura média anual de 26,3 °C. Seu clima é classificado, segundo Köppen, como do tipo Bsw' h', ou seja, um clima quente e semiárido com chuvas de verão.

O município apresenta terrenos sobre embasamento cristalino, originados de rochas Pré-cambrianas do Complexo Tamboriu-Santa Quitéria, com unidades litológicas diversas, caracterizadas, principalmente, pelo complexo nordestino que, segundo Souza Filho (1998), é representado pelo embasamento gnáissico-migmatítico. Associados a estas unidades são comuns,

no âmbito da folha de Irauçuba, os veios e aplitos não deformados de composição granítica, megaxenólitos de gnaisses aluminosos, de gnaisses calciosilicatados e de ortognaisses dioríticos, litologias que estão vinculadas à serra de Uruburetama (LUSTOSA, 2004).

A compartimentação geomorfológica do estado do Ceará, ao nível de reconhecimento, indica que há ocorrência de cinco unidades morfoestruturais, sendo identificados na região de Irauçuba dois desses compartimentos: a Superfície Sertaneja e os Maciços Residuais (SOUZA, 1988).

O Levantamento Exploratório/Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, (BRASIL, 1973) identifica oito associações de solos na área de estudo, com predominância de classes que, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (GALVANI; GAERTNER, 2006) se enquadram como Argissolos, Luvissolos, Neossolos e Planossolos, também constatadas por Lustosa (2004). Embora os Planossolos representem 18,7% dos solos do município (MESQUITA et al., 1981), nas áreas de exclusões, Sales (2003) identificou associações de Planossolos e Luvissolos, tendo a caatinga como vegetação dominante.

Trabalho de campo

Foram utilizadas seis áreas com exclusão de animais domésticos (exclusão), cercadas no primeiro semestre de 2000 com 0,25ha cada, e suas adjacências (sobrepasto) que permanecem em condições de sobrepasto, em que estão sendo comparados seus efeitos em função do tempo de exclusão.

Para o estudo, foram coletadas amostras deformadas de solos nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20cm, em triplicatas, e homogeneizadas, para obtenção da amostra composta, com três repetições em cada área de exclusão e sobrepasto para a determinação de atributos químicos e físicos. Coletas de amostras indeformadas também foram obtidas para se determinar a densidade e a porosidade total do solo.

As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e submetidas às análises laboratoriais.

Análises químicas

Na caracterização química, o pH foi determinado em água (1:2,5) por potenciometria; e para a condutividade elétrica (CE) foi utilizado o condutivímetro no extrato de saturação do solo. O sódio (Na^+) e o potássio (K^+) foram extraídos com Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama. O cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) foram extraídos com KCl a 1 mol L⁻¹ e determinados por titulação com EDTA a 0,0125M e a acidez potencial ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7 e titulada com NaOH 0,0606 N na presença de fenolftaleína a 3%. Os valores de Ca, Mg e Al+H não foram expressos em tabela, sendo utilizados apenas para os cálculos dos valores da CTC, V e PST, todos segundo métodos contidos em (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997).

Os teores de matéria orgânica do solo (MOS) foram calculados com base nos teores de carbono orgânico total (COT) quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando-se solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS; BREMNER, 1998). O nitrogênio total foi quantificado nas amostras de solos submetido à digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjedahl (BREMNER, 1996).

Análises físicas

A caracterização física foi realizada determinando-se a composição granulométrica do solo pelo método da pipeta, utilizando-se hidróxido de sódio como dispersante, seguindo-se metodologia descrita por (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997), com o objetivo de determinar as frações areia, silte e argila de cada área. A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico; a densidade das partículas (Dp), pelo método do balão volumétrico, utilizando-se álcool etílico, sendo que esses dois foram determinados apenas na profundidade de 0 – 5cm em decorrência da pedregosidade do solo na camada mais profunda; e a porosidade total pela relação

entre a densidade do solo e a densidade de partículas, todos seguindo metodologia contida em (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997).

Para determinação da argila dispersa em água, foi utilizada a mesma metodologia descrita para a granulometria, excluindo-se o emprego do hidróxido de sódio (dispersante químico), enquanto o grau de floculação foi calculado pela relação entre a argila dispersa em água e a argila total (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997).

Análise estatística

A análise estatística das variáveis foi realizada por meio do cálculo de medidas descritivas, como as médias das três repetições, desvio-padrão, mínimo, máximo e tamanho da amostra, e as médias comparadas pelo Teste de Mann-Whitney, usando-se simulação de Monte Carlo para cada variável por profundidade, ao nível de 5% de significância, com auxílio do programa computacional SPSS.

Resultados e Discussão

Propriedades químicas do solo

Os resultados obtidos para os atributos químicos foram variados e não apresentaram comportamento que pudesse ser atribuído ao manejo realizado nas áreas de estudo (Tabela 1).

Os valores de pH variaram de 4,85 a 6,47 (Tabela 1), mostrando-se moderadamente ácidos. As áreas de exclusão exibiram uma tendência de redução nos valores de pH, entretanto com poucas alterações estatisticamente significativas. Na profundidade de 0 – 5 cm, as áreas 1, 3 e 4 apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), sendo que, na área 1, a exclusão foi maior do que o sobrepastejo, um comportamento oposto ao exposto nas áreas 3 e 4 em que os valores foram maiores nas áreas de sobrepastejo. O comportamento nas áreas 1 e 3 se repetiu na profundidade de 10 – 20 cm e a área 5 ($p < 0,05$) semelhante ao constatado na área

3 na mesma profundidade. Na profundidade de 5 – 10cm somente a área 5 registrou diferenças significativas, sendo maior o valor de pH registrado no tratamento com sobrepastejo.

Vários estudos mostram valores de pH de solo significativamente menores em áreas de exclusão (HIERNAUX et al., 1999; SU et al., 2004; YONG-ZHONG et al., 2005; LI; JIA; DONG, 2006; PEI et al., 2007). Os menores valores de pH nas exclusões podem estar relacionados à cobertura de plantas, à atividade dos sistemas radiculares e à decomposição da matéria orgânica, que promove a liberação de ácidos orgânicos (SU et al., 2004). Nas áreas de estudo, poucas foram as diferenças significativas nos valores do pH. Este fato pode indicar que a resposta da prática de exclusão varia de acordo com o tipo de solo e com o tempo de adoção da prática.

Quanto à condutividade elétrica (CE) (Tabela 1), os valores diferiram ($p < 0,05$) apenas na área 3 (profundidade 0 – 5cm), na 2 (profundidade 5 – 10cm) e na 6 (profundidade 10 – 20cm), em que os maiores valores foram registrados nas áreas de sobrepastejo. Mekuria et al. (2007), comparando áreas com 5 e 10 anos de exclusão com uma de sobrepastejo em solos degradados da Etiópia, não encontraram diferença significativa para os parâmetros pH e CE e atribuíram estes resultados ao tempo de adoção da exclusão como insuficiente para que ocorressem alterações significativas. Yong-Zhong et al. (2005) constataram também o mesmo comportamento para a CE.

Quanto ao sódio trocável (Na^+), pode-se observar uma tendência de maiores teores nas áreas de sobrepastejo (Tabela 1). Assim, a área 2 mostrou diferenças nas três profundidades, a área 3 nas profundidades 0 – 5 e 5 – 10cm, a área 5 na profundidade 0 – 5cm e a área 6 na profundidade 10 – 20cm. Somente a área 1 registrou os maiores teores de Na^+ nos tratamentos de exclusão de pastejo, nas profundidades 0 – 5 e 10 – 20cm. Este comportamento inverso aos das demais áreas também foi observado com o pH, fato que pode estar associado às variabilidades na área de estudo.

Tabela 1 – Características químicas dos solos estudados sob áreas de exclusão de animais e de sobrepastejo

Área	pH	CE	Na ⁺	K ⁺	CTC	V	PST	N	MO
	H ₂ O	dS m ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----	----- % -----	----- g kg ⁻¹ -----				
0 – 5cm									
1 Exc	5,21*	0,41	0,10*	0,35	8,85	53,91*	1,10*	0,93	14,54
1 Sp	4,85	0,66	0,04	0,33	8,17	39,44	0,53	0,83	13,45
2 Exc	5,24	0,41	0,06	0,47*	7,80	50,51	0,73	0,93	15,06
2 Sp	5,06	0,60	0,13*	0,30	8,13	54,18	1,55*	1,10	14,71
3 Exc	5,23	0,63	0,11	0,58	11,82	60,22	0,91	1,00	22,01*
3 Sp	5,64*	0,88*	0,22*	0,65	10,30	64,52	2,11*	1,00	15,34
4 Exc	4,98	0,64	0,07	0,44	7,92	37,12	0,78	1,20	20,06
4 Sp	5,65*	0,54	0,11	0,65	10,16	54,75	0,85	0,83	13,56
5 Exc	4,92	0,59	0,09	0,45	6,67	51,77	1,32	0,93	17,87
5 Sp	5,47	0,67	0,12	0,68	9,47	67,42	1,43	0,93	13,33
6 Exc	5,13	0,43	0,03	0,52	4,22	50,98	0,76	0,73	11,38
6 Sp	5,05	0,39	0,05	0,38	4,10	45,37	1,09	0,73	11,67
5 – 10cm									
1 Exc	5,34	0,49	0,18	0,18	7,43	63,82*	2,38*	0,67	7,87
1 Sp	4,87	0,18	0,08	0,19	7,80	41,26	1,04	0,90	9,08
2 Exc	5,06	0,26	0,07	0,22*	6,86	47,68	1,04	0,73	8,45
2 Sp	5,05	0,82*	0,20*	0,13	7,53	60,80*	2,66*	0,83	8,16
3 Exc	5,38	0,99	0,27	0,27	11,28	74,72	2,55	0,77	11,44
3 Sp	5,87	1,78	0,60*	0,44	13,61	78,09	4,45	0,90	13,27*
4 Exc	5,07	0,46	0,16	0,20	6,89	39,68	2,00	0,50	11,95
4 Sp	5,60	0,36	0,15	0,39	11,08	58,41	1,00	0,67	9,54
5 Exc	5,22	0,52	0,14	0,25	5,02	62,03	2,83	0,60	6,09
5 Sp	6,18*	0,45	0,27*	0,37	12,41*	82,33*	2,72	0,67	9,37
6 Exc	4,95	0,22	0,04	0,31	3,51	44,20	1,02	0,40	6,32
6 Sp	5,05	0,23	0,07	0,20	4,14	53,28	1,82	0,80	6,78
10 – 20cm									
1 Exc	5,80*	0,54	0,48*	0,18	12,03*	75,34	4,04*	0,67	7,47
1 Sp	5,07	0,31	0,14	0,15	7,80	49,15	1,88	0,73	7,82
2 Exc	5,08	0,54	0,20	0,19	8,39	53,65	2,24	0,93	7,99
2 Sp	5,53	1,31	0,64*	0,14	12,32*	77,08	5,09*	0,73	8,73
3 Exc	5,82	1,20	0,60	0,25	15,75	82,18	3,88	0,83	10,40
3 Sp	6,43*	1,77	0,96	0,41	15,21	79,95	6,96	0,67	12,18
4 Exc	5,29	0,65	0,25	0,18	7,23	49,16	3,06	0,67	10,06
4 Sp	5,65	0,44	0,22	0,31	11,34	58,23	1,54	0,57	7,36
5 Exc	5,59	0,98	0,40	0,34	8,18	74,24	4,60	1,47	7,24
5 Sp	6,47*	0,53	0,47	0,31	14,35	89,54	4,02	0,67	8,39
6 Exc	5,07	0,22	0,07	0,30	4,63	45,30	1,50	0,50	5,75
6 Sp	5,22	0,45*	0,22*	0,17	5,62	62,10	3,93*	0,43	5,69

Fonte: (SOUZA, 2009).

* Médias que diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade

Exc: Exclusão; Sp: Sobrepastejo

Embora não tenha sido feito teste de média, pode-se observar um aumento nos teores de Na^+ em profundidade, provavelmente em razão da proximidade do horizonte B plânico, rico desse elemento (BRASIL, 1973; OLIVEIRA et al., 2003). O comportamento do Na^+ em áreas sob exclusão de pastejo e sobrepastejo ainda carece de estudos.

Os teores de potássio (K^+) revelaram comportamento (Tabela 1) oposto ao Na^+ , com redução dos teores em profundidade. Com relação aos tratamentos, apenas a área 2 exibiu diferença significativa ($p < 0,05$) com teores de K^+ mais elevados nas exclusões (profundidades de 0 – 5 e 5 – 10cm). A redução dos teores de K^+ em função da profundidade também foi observada por Huang, Wang e Wu (2007) e Mekuria et al. (2007). Os mesmos autores constataram ainda aumento nos teores de K^+ em áreas de exclusão de pastejo que, segundo eles, seria dependente da cobertura vegetal, adquirida com o tempo de adoção da prática.

A capacidade de troca de cátions (CTC) indicou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos somente na área 5 (profundidade de 5 – 10cm) com maiores valores na área sob sobrepastejo. Na profundidade de 10 – 20cm, as áreas 1 e 2 denotaram comportamento distinto. A primeira indicou maiores valores na exclusão, enquanto a segunda, no tratamento com sobrepastejo de animais. O tipo de uso a que estão sendo submetidos os solos estudados parece não estar causando alterações no comportamento da CTC em nenhuma das profundidades estudadas. Por outro lado, Mekuria et al. (2007) constataram maiores valores de CTC em áreas com exclusão com cinco e dez anos de adoção, cujos resultados se correlacionaram diretamente com os maiores teores de matéria orgânica do solo.

Os teores de matéria orgânica do solo (MOS) foram superiores na camada superficial em relação às demais profundidades (Tabela 1), entretanto as diferenças entre tratamentos não foram significativas. No que diz respeito ao uso do solo, somente os teores da área 3 nas camadas superiores diferiram, sendo os teores de MOS na profundidade de 0 – 5 superiores na exclusão.

Deve-se destacar, no entanto, o fato de que, ao analisar o horizonte A dessas áreas, Sousa et al. (2012) encontraram aumento significativo nos teores de carbono orgânico do solo (COT) nos tratamentos de exclusão das áreas 2, 3, 4 e 5. Além disso, determinando-se o estoque de carbono orgânico, que leva em consideração a espessura do horizonte A e a densidade do solo, os autores observaram ainda que a exclusão proporcionou um incremento no estoque de carbono de todas as áreas.

No que diz respeito ao tipo de uso do solo na área de realização deste estudo, o nitrogênio (N) foi o elemento que menos foi alterado (Tabela 1), tendo comportamento semelhante em todas as profundidades e entre tratamentos, não diferindo em nenhuma das áreas. O horizonte A das áreas de exclusão deste estudo, entretanto, apontou aumento significativo nos teores de N (exceto na área 1) e no estoque de N (SOUZA et al., 2012).

Vários estudos em regiões semiáridas de outros países e sobre áreas com exclusão de animais mostram valores maiores nos teores de N total e de MOS em diferentes tempos de adoção (REEDER; SCHUMAN, 2002; DESCHEEMAEKER et al., 2006; HUANG; WANG; WU, 2007; MEKURIA et al., 2007). A tendência de restauração da MOS e do N é influenciada pelo tempo de exclusão dos animais, ou seja, os teores desses elementos e a cobertura vegetal incrementam, à medida que aumenta o tempo de exclusão e estão, provavelmente, relacionados com o restabelecimento da vegetação natural que se acumula em superfície e, talvez, na qualidade da serapilheira no ciclo de nutrientes.

Um impacto direto do pastoreio sobre os ecossistemas é a remoção de parte da biomassa da superfície do solo, que provoca redução no aporte de serapilheira, causando consequências negativas para a conservação do solo e a ciclagem de nutrientes (SOLOMON; LEHMANN; ZECH, 2000). Esses problemas são mais graves em regiões semiáridas, em que o período chuvoso é curto e as temperaturas são elevadas.

Em consequência, a produção de biomassa é reduzida, principalmente em decorrência das espécies de plantas, que têm um impacto significativo sobre deposição e reciclagem de nutrientes nesses ecossistemas.

Os resultados dos trabalhos com exclusão de animais em longo prazo, realizados em áreas degradadas de regiões semiáridas, mostram um aumento da cobertura do solo em virtude da recuperação da vegetação, acumulação de MOS e melhoria da fertilidade do solo quando comparadas às áreas de pastejo contínuo (REEDER; SCHUMAN, 2002).

Analizando-se os resultados (Tabela 1) da percentagem de saturação por bases (V), pode-se observar que a área 1 foi uma exceção, pois os maiores valores de V ($p < 0,05$) foram encontrados nas exclusões em todas as profundidades, nas profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm. Nas outras áreas sob sobre-pastejo, os valores de V foram superiores, diferindo ($p < 0,05$) apenas na profundidade 5 – 10 (áreas 2 e 5).

A percentagem de sódio trocável (PST) teve comportamento (Tabela 1) semelhante ao do Na^+ nas profundidades de 0 – 5 e 10 – 20, diferindo na profundidade de 5 – 10, na qual o valor na exclusão da área 1 foi maior ($p < 0,05$) do que o sobre-pastejo, enquanto na área 2 o comportamento foi oposto, sendo maior ($p < 0,05$) no sobre-pastejo. Os valores de PST na camada superficial variaram de 0,53% a 2,11%, aumentando com a profundidade, chegando a 6% na profundidade de 10 – 20. Em se tratando de condições climáticas, estes valores estão condizentes com os indicados por Luz et al. (1992) no semiárido pernambucano, onde foram encontrados valores de saturação por sódio variando de 2 a 5%.

Estudos sobre V e PST em áreas degradadas, com prática de exclusão de pastejo, ainda são escassos. Dentre as possíveis causas dessas diferenças, está a variação nas quantidades de minerais-fonte (p.ex., plagioclásios sódicos, albita) no material de origem dos solos. Já o acúmulo de Na^+ é processo típico de regiões semiáridas em razão da pouca

profundidade dos solos, altas temperaturas e baixa precipitação pluvial, fazendo com que o potencial de evapotranspiração seja maior do que a precipitação, promovendo acúmulo de bases. Os processos erosivos podem, também, ter contribuído para esse comportamento nos valores de V e PST, pois a camada superficial do solo, carreada pelas enxurradas, deixa o material pouco alterado mais exposto à superfície.

Comportamento das propriedades físicas do solo

Os resultados da análise granulométrica (Tabela 2) mostram que as áreas apresentam vários tipos de classe textural, desde franco-argilo-arenosa à areia, com a classe textural franco arenosa se mostrando em maior proporção.

Os valores elevados da fração areia (Tabela 2) podem indicar seu acúmulo residual ante os processos erosivos e às práticas de uso do solo. O pequeno número de diferenças significativas ($p < 0,05$), somente em algumas profundidades de poucas áreas (2, 5 e 6), deve estar mais relacionado à variabilidade espacial dos solos.

Apesar de a fração grosseira prevalecer, supõe-se que esse fato isolado não está diretamente relacionado às práticas de uso do solo, tampouco com os processos de erosão, mas sim com os fatores de formação do solo, principalmente o material de origem.

A fração silte (Tabela 2) mostrou o mesmo comportamento entre os tratamentos em todas as profundidades, porém com um pequeno decréscimo em subsuperfície. Na comparação entre os tratamentos, não foram encontradas diferenças ($p < 0,05$) quanto ao tipo de uso do solo.

Os teores de argila (Tabela 2) variaram de $39,67\text{g kg}^{-1}$ na exclusão da área 2 (profundidade de 0 – 5) a $207,50\text{g kg}^{-1}$ no sobrepastejo da área 3 (profundidade de 10 – 20). Esses valores são relativamente baixos em relação aos encontrados em outros trabalhos realizados em áreas semelhantes de região semiárida (OLIVEIRA et al., 2003; MAIA et al., 2006).

Tabela 2 – Granulometria, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) dos solos sob áreas de exclusão de animais e de sobrepastejo

Área	Areia	Silte	Argila	ADA	G.F.
	----- g kg ⁻¹ -----				
0 - 5cm					
1 Exc	768,20	170,17	61,63*	17,5*	71,62
1 Sp	787,90	169,53	42,60	13,03	68,64
2 Exc	854,33*	106,00	39,67	9,27	76,88
2 Sp	725,57	212,67	61,77	14,63	76,19
3 Exc	696,97	218,30	81,40	18,70	77,19
3 Sp	748,20	175,90	75,90	23,23	71,40
4 Exc	732,20	214,50	53,30	13,73	74,58
4 Sp	754,43	167,03	78,53	31,87	60,02
5 Exc	731,03	208,37	60,60	15,17	74,90
5 Sp	701,33	207,00	91,67	33,03	67,03
6 Exc	855,97	103,57	40,47	10,77	73,09
6 Sp	832,07	122,73	45,20	12,00	72,9
5 - 10cm					
1 Exc	827,40	110,80	61,80	21,83	65,23
1 Sp	816,77	133,47	49,77	14,47	71,10
2 Exc	858,83	96,07	45,10	12,80	72,52
2 Sp	782,43	153,63	60,60	20,47	68,18
3 Exc	731,63	172,40	95,97	36,47	61,83
3 Sp	715,67	136,90	147,43	56,03	62,76
4 Exc	732,57	202,90	64,53	21,77	66,79
4 Sp	744,77	158,57	96,63	58,23	38,65
5 Exc	762,17*	174,63	63,17	19,30	69,29
5 Sp	678,93	197,33	123,70	54,23	57,50
6 Exc	877,10	79,37	43,53	14,10	67,57
6 Sp	866,33	90,87	42,80	16,43	59,42
10 - 20cm					
1 Exc	757,47	105,90	136,63*	71,93*	48,10
1 Sp	776,37	156,90	66,73	20,17	69,39
2 Exc	852,23*	83,00	64,77	22,10	67,78
2 Sp	720,50	120,30	159,17	79,03	51,22
3 Exc	668,13	172,37	159,50	75,60	53,24
3 Sp	657,10	135,40	207,50	104,93	49,40
4 Exc	727,43	180,87	91,70	30,30	72,09
4 Sp	709,70	172,53	117,60	55,40	56,68
5 Exc	741,40	142,93	115,63	58,00	51,72
5 Sp	640,77	208,57	150,70	83,33	45,73
6 Exc	851,53*	88,43	60,03	19,27	67,52
6 Sp	819,50	103,00	77,50	28,97	63,46

Fonte: (SOUZA, 2009).

* Médias que diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade
Exc: Exclusão; Sp: Sobrepastejo

Os teores de argila dispersa em água (Tabela 2) apresentam valores mais elevados com o aumento da profundidade em todas as áreas estudadas, fato que deve estar relacionado com os maiores teores de Na^+ e valores de PST (OLIVEIRA et al., 2003).

Esses resultados corroboram os encontrados por Mekuria et al. (2007) em áreas com cinco e dez anos de exclusão no semiárido da Etiópia, em que a granulometria não demonstrou diferença significativa com o tempo de adoção. Segundo Klepker e Anghinoni (1995), alterações das frações granulométricas são difíceis de ocorrer e, quando acontecem, são detectadas após períodos variados de uso.

Outros estudos com exclusão no semiárido chinês (SU et al., 2004; YONG-ZHONG et al., 2005 e PEI et al., 2007) mostraram que, na textura, o percentual de areia aumentou em média 4,4% e houve uma diminuição de silte e argila na camada superficial (15cm) na área de pastejo contínuo, o que contribui também para um aumento na densidade do solo em relação às áreas de exclusão.

Os dados desses autores corroboram os apresentados por Huang, Wang e Wu (2007), que mostram uma diminuição de silte em 91%, 78% e 81% nas camadas de solo de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 30cm, respectivamente, em uma área de pastejo contínuo, e um aumento significativo de 69% para 93% de areia na camada de 0 – 15cm. Para os autores, a distribuição de partículas por tamanho indicou que os efeitos da desertificação favorecem a remoção de silte, tendo como resultado solos de texturas mais grosseiras. A erosão é indicada como a causa principal das mudanças na composição das partículas do solo, promovendo a perda da parte superior do solo (HE et al., 2004) com sua intensidade variando de acordo com a erodibilidade de cada solo.

O grau de flocação (Tabela 2) apresentou valores entre 38% a 77%, entretanto sem diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre as práticas de uso do solo, embora os tratamentos com exclusão exibissem valores relativamente maiores na profundidade de 0 – 5cm. De modo geral, houve um decréscimo do grau de flocação em profundidade, talvez pelo efeito dispersivo de

sódio e magnésio no complexo de troca (CORRÊA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003). Tal dispersão contribuiria para a redução da macroporosidade e o aumento na densidade do solo.

De fato, a cobertura vegetal em áreas de exclusão se mostrou como um potencial para a melhoria das propriedades físicas do solo, tais como densidade do solo e porosidade total (CASTELLANO; VALONE, 2007; HUANG; WANG; WU, 2007). Estes, por sua vez, aumentam as taxas de infiltração da água no solo e reduzem a velocidade das enxurradas pelo acúmulo de MO na superfície do solo, o que reduz o volume, a velocidade e a capacidade erosiva do escoamento superficial (FULLEN; BOOTH; BRANDSMA, 2006; MEKURIA et al., 2007).

Neste experimento, as diferenças na densidade do solo (Figura 1) e porosidade total (Figura 2) entre os tratamentos com exclusão e com sobrepastejo foram relativamente pequenas em todas as áreas, o que pode ser um reflexo da textura arenosa do solo combinada aos baixos teores de MO.

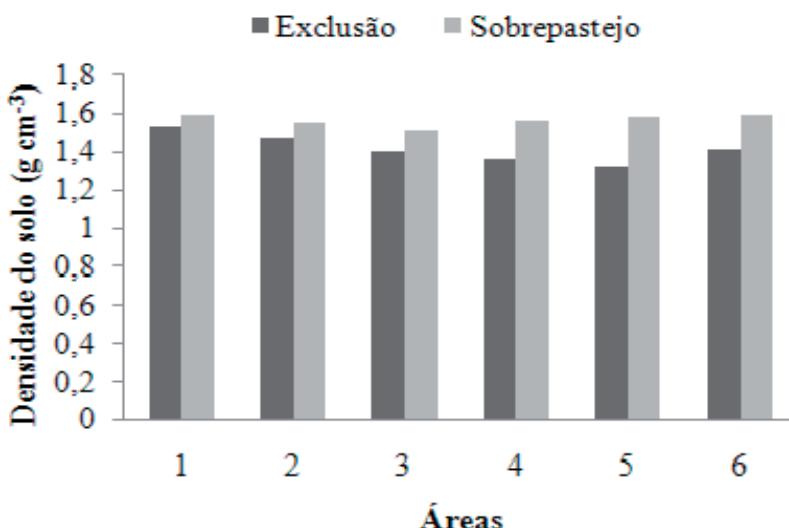


Figura 1 – Média da densidade do solo (g cm^{-3}) na profundidade de 0 – 5cm nas áreas de exclusão e de sobrepastejo
Fonte: (SOUZA, 2009).

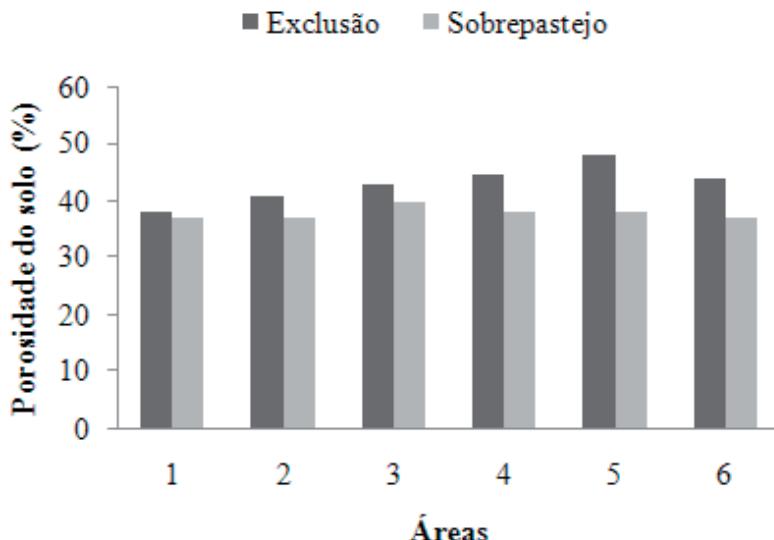


Figura 2 – Média da porosidade total do solo (%) na profundidade de 0 – 5cm nas áreas de exclusão e de sobrepastejo
Fonte: (SOUZA, 2009).

Os valores de densidade variaram de 1,32 a 1,59g cm⁻³ e estão de acordo com os encontrados por Corrêa et al. (2003) em Planossolos do semiárido pernambucano, onde os valores variaram de 1,14 a 2,07g cm⁻³. Apesar de o teste estatístico utilizado para comparação das médias não ter mostrado diferença significativa ($p < 0,05$) quanto ao tipo de uso do solo, os tratamentos com sobrepastejo de animais expressaram maiores valores de densidade do solo em todas as áreas (Figura 1).

Os valores de densidade do solo menores nas exclusões dão indícios de que pode haver uma melhora na qualidade do solo com a prática de exclusão de animais no decorrer de mais alguns anos, visto que a cobertura vegetal nas exclusões pode favorecer essa redução na densidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Mekuria et al. (2007), comparando áreas de exclusão com áreas de pastejo em região semiárida, onde os

valores na exclusão foram superiores aos da área com pastejo, mas que não diferiram estatisticamente com o tempo de adoção.

Outros estudos comprovam a eficiência da exclusão na diminuição da densidade do solo (SU et al., 2004; YONG-ZHONG et al., 2005; PEI et al., 2007), chegando a detectar uma redução de até 60% nas exclusões, fato indicativo de que essa melhora é dependente do tipo de solo, clima e tempo de exclusão.

Os valores de porosidade variaram de 37 a 48% e estão entre os valores encontrados por Corrêa et al. (2003), 22 a 57% em solos e região semelhante. Apesar de não terem diferido estatisticamente ($p < 0,05$), os valores da porosidade total do solo nas exclusões foram superiores em todas as áreas estudadas (Figura 2).

Esse comportamento corrobora o encontrado por Mekuria et al. (2007). Isso pode ser reflexo da regeneração da cobertura vegetal, da ação mais intensa de macro e microrganismos na decomposição da matéria orgânica.

Castellano e Valone (2007) e Huang, Wang e Wu (2007) encontraram uma redução significativa na densidade do solo e aumento na porosidade total e, consequentemente, uma diminuição na compactação do solo. As condições de umidade do solo, assim como a atividade das plantas, dos microrganismos e da macrofauna do solo são provavelmente responsáveis pela redução da compactação depois exclusão (SEYBOLD; HERRICK; BREJDA, 1999).

Os efeitos da exclusão sobre a densidade do solo e a porosidade podem não ser significativos no estádio inicial, possivelmente em razão do comportamento do solo em relação à compactação por animais, que pode ser diferente, dependendo da classe de solo, estrutura, precipitação e tipo de vegetação.

Os maiores valores na porosidade total nas áreas de exclusão permitem maior taxa de infiltração de água, diminuindo a erosão e, também, melhorando a condutividade hidráulica do solo. De certa forma, as exclusões de animais da área experimental, no município de Irauçuba, indicam uma sensível melhora em relação às áreas sob sobrepastejo.

Conclusões

Resultados deste estudo mostram que as exclusões não apontaram, estatisticamente, melhoria nas propriedades químicas e físicas do solo ao longo de sete anos de exclusão. Estes resultados indicam que, apesar do aumento da cobertura vegetal, o tempo de exclusão não foi suficiente para que se processassem alterações significativas nos atributos do solo nas condições pedológicas e climáticas da área estudada.

Os dados que indicam uma redução da densidade e o aumento da porosidade total do solo nas áreas de exclusão e, portanto, permitem sugerir que a erradicação do sobrepastorejo com a consequente regeneração da vegetação, podem ser uma prática viável para as condições ambientais do local, sendo uma boa alternativa para reduzir a degradação nessas áreas.

Numa perspectiva ecológica de restauração e/ou recuperação e uso dos solos com pastagens nativas, a prática de exclusão de animais surge como uma estratégia de manejo importante nessas áreas degradadas no semiárido nordestino. O tempo de resposta desses solos à prática requer, entretanto, períodos mais longos, considerando as condições edáficas e climáticas da região.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão Pedológica. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará*. Recife: DRN, v. 1-2, 1973. (Boletim Técnico, 28).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *O desafio do desenvolvimento sustentado*. Relatório do Brasil para a Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Brasília: MMA, p. 101-103, 1991.

BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D. L. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 3. Madison: América Society of Agronomy, p. 1085-1121, 1996. (SSSA Book Series, 5).

- CASTELLANO, M. J.; VALONE, T. J. Livestock, soil compaction and water infiltration rate: Evaluating a potential desertification recovery mechanism. *Journal of Arid Environments*, v. 71, p. 97-108, 2007.
- CORRÊA, M. M. et al. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza (PB). *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, n. 2, p. 311-324, 2003.
- DESCHEEMAEKER, K. et al. Litter production and organic matter accumulation in exclosures of the Tigray highlands, Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, v. 233, n. 1, p. 21-35, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997, 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.
- FULLEN, M. A.; BOOTH, C. A.; BRANDSMA, R. T. Long-term effects of grass ley set-aside on erosion rates and soil organic matter on sandy soils in east Shropshire. *Soil and Tillage Research*, UK, v. 89, p. 122-128, ago. 2006.
- HE, W. Q. et al. Study on some factors influencing soil erosion by wind tunnel experiment in North Ectone between agriculture and pasture. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 18, p. 1-8, 2004.
- HIERNAUX, P. et al. Effects of livestock grazing on physical and chemical properties of sandy soil in Sahelian rangelands. *Journal of Arid Environments*, 41, p. 231-245, 1999.
- HUANG, D.; WANG, K.; WU, W. L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Nortern China. *Journal of Arid Environments*, v. 70, p. 120-136, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2006. *Censo agropecuário de 2006*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 20 jan. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. *Censo populacional de 2007*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 19 dez. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 1990. *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação*. Brasília. 96 p.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 19, p. 395-401, 1995.

LI, X. R.; JIA, X. H.; DONG, G. R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, north-west China. *Journal of Arid Environments*, v. 64, p. 505-522, 2006.

LUSTOSA, J. P. G. *Caracterização morfológica, micromorfologia e mineralógica de três toposequências no município de Irauçuba-CE e suas relações com os processos de desertificação*. 2004. 161 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2004.

LUZ, L. R. Q. P.; SANTOS, M. C. D.; MERMUT, A. R. Pedogênese em uma toposequência do semi-árido de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 16, p. 95-102, 1992.

MAIA, S. M. F. et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre qualidade do solo no semiárido cearense. *R. Árvore*, v. 30, p. 837-848, 2006.

MEKURIA, W. et al. Effectiveness of exclosures to restore degraded soils as a result of overgrazing in Tigray, Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, v. 69, p. 270-284, 2007.

- MESQUITA, R. C. M. et al. Manejo de pastagem nativa para caprinos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CAPRINOS E OVINOS TROPICAL, 1., 1981, Sobral: CNPC/EMBRAPA. 1981.
- OLIVEIRA, L. B. et al. Classificação de solos planossólicos do sertão do Araripe (PE). *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p. 685-693, 2003.
- PEI, S. et al. Changes in soil properties and vegetation following enclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. *Agric. Ecosyst. Environ.*, p. 1-7, 2007.
- PEREIRA, I. M. *Levantamento florístico do estrato arbutivo-arbóreo e análise da estrutura fotossociológica de ecossistema de caatinga sob diferentes níveis de antropismo*. 2000. 65 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2000.
- REEDER, J. D.; SCHUMAN, G. E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. *Environmental Pollution*, v. 116, n. 3, p. 457-463, mar. 2002.
- SALES, M. C. L. *Estudos hidroclimáticos e morfopedológicos do núcleo de desertificação de Irauçuba-Ceará*. 2003. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Science*, v. 164, n. 4, p. 224-234, abr. 1999.
- SOARES, A. M. L. et al. Áreas degradadas susceptíveis ao processo de desertificação no Ceará. In: GOMES, G. M.; SOUZA, H. R.; MAGALHÃES, A. R. *Desenvolvimento Sustentável no Nordeste*. Brasília: IPEA. 1995.
- SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, v. 78, p. 203-213, 2000.

SOUZA, F. P. et al. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 148, p.11-21, 2012.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará. Fortaleza: *Revista de Geologia*, v. 1, p. 73-91, 1988.

SOUZAFILHO, O. A. *Geologia e mapa de previsão de ocorrência de água subterrânea folha SA.24-Y-D-V – Irauçuba, Ceará*. 1998. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 1998.

SU, Y. Z. et al. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. *Soil Tillage Res*, v. 75, p. 27-36, 2004.

VALONE, T. J. Timescale of perennial grass recovery in desertified arid grasslands fallowing livestock removal. *Conservation Biology*, v. 16, n. 4, p. 995-1002, 2002.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science & Plant Analysis*, v. 19, p. 1467-1476, 1998.

YONG-ZHONG, S. et al. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, inner Mongolia, northern China. *Catena*, v. 59, p. 267-278, 2005.

APLICAÇÃO DE TORTAS OLEAGINOSAS NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DE UM SOLO DEGRADADO DE IRAUÇUBA - CE

Luíza Souza da Cunha Filha

Vânia Felipe Freire Gomes

Paulo Furtado Mendes Filho

Aldênia Mendes Mascena

Antônia Tathiana Batista Dutra

Introdução

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e a mamona (*Ricinus communis* L.) estão entre as principais oleaginosas potenciais para a produção de biodiesel na Região Nordeste do Brasil com perspectivas de alta produção de grãos e óleo vegetal por unidade de área. A extração do óleo das sementes dessas plantas, entretanto, resulta na produção de resíduos que, se não tiverem uma destinação adequada, poderá causar impactos no ambiente com prejuízos na eficiência da produção.

Esses resíduos, no entanto, quando utilizados adequadamente como adubos, trazem uma série de benefícios para o solo e, consequentemente, para as plantas cultivadas, pois melhoram a fertilidade e a estrutura do solo (CARDOSO; OLIVEIRA, 2002), além de maximizar as condições biológicas por conter carbono como fonte de energia para os microrganismos.

A aplicação de quantidades elevadas desses resíduos no solo, no entanto, pode provocar fitotoxicidade e indução de carência de nitrogênio pela imobilização durante a decomposição microbiana. Segundo Graham, Haynes e Meyer (2002), muitas vezes a adição de carbono ou nitrogênio pode aumentar a biomassa microbiana do solo e, com isso, imobilizá-los na sua constituição celular. Para Lima et al. (2006), porém, a torta de mamona isolada, em pequenas quantidades, contribui para o adequado crescimento das plantas, por ser um material orgânico de rápida decomposição e, assim, a liberação dos nutrientes para as plantas ocorre de maneira praticamente imediata (SEVERINO et al., 2004).

Estudos com esses resíduos fazem-se, contudo, necessários para descobrir seus efeitos nos parâmetros de avaliação da qualidade e da sustentabilidade do solo, principalmente por aqueles envolvidos na decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, pois são alterados por variações de pH, temperatura, umidade e teor de carbono orgânico no solo.

Em solos degradados, os baixos teores de matéria orgânica podem determinar menor disponibilidade de nutrientes para as plantas, resultando numa das principais limitações à produção vegetal. Portanto, uma das opções para o destino desses resíduos orgânicos pode ser sua incorporação ao solo que, servindo como meio depurador, poderia elevar a produtividade das plantas por meio da melhoria da fertilidade do solo.

A região de Irauçuba, no estado do Ceará, é caracterizada pela intensa degradação ocasionada por fatores climáticos e, principalmente, pela ação antrópica, como o superpastejo da vegetação nativa, que deixa o solo desprovido de aporte orgânico. Então, este ensaio teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação das tortas de pinhão manso e de mamona na forma de adubos orgânicos no crescimento do feijão caupi e nas propriedades biológicas de um Vertissolo degradado do município de Irauçuba - CE.

O experimento foi instalado em casa de vegetação e o solo utilizado foi um Vertissolo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20cm de profundidade, numa área em condição de sobrepastejo de animais domésticos (área 1) e numa área de exclusão de animais

domésticos (área 2), esta cercada no primeiro semestre do ano 2000, compreendendo uma área de 0,25 hectare, na qual está sendo avaliada a regeneração do solo de forma natural.

As amostras de solo foram secas ao ar e, posteriormente, passadas em peneiras de 2mm de malha, de onde foi retirada uma subamostra para as análises físicas e químicas, realizadas no Laboratório de Análises de Solos/Água/Planta do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, conforme a metodologia adotada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em 1997. Os resultados analíticos constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo das propriedades químicas do solo utilizado no experimento

Camada (0-20 cm)	pH (H ₂ O)	P (mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg (cmolc kg ⁻¹)	Na	H+Al	S
Área 1	5,4	30,0	0,11	1,5	2,3	0,15	2,31	4,1
Área 2	4,9	24,0	0,15	2,0	1,4	0,26	2,81	3,8

Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

Os resíduos orgânicos utilizados no experimento foram: torta de mamona e de pinhão manso. A torta de mamona foi adquirida da Indústria e Comércio de Óleos Vegetais Ltda – OLVEQ da cidade de Quixadá - CE e a de pinhão manso fornecida pelo Instituto Fazenda Tamanduá, da cidade de Santa Terezinha - PB.

As tortas foram utilizadas em três diferentes doses: (D = 0, D2 = 5 e D3 = 10% v/v) e seguem as proporções utilizadas em estudo de Morais et al. (2009), em que, avaliando a torta de pinhão manso como adubo orgânico nas proporções 5, 10, 15 e 20% (m/m), atestaram a eficiência do uso dessa torta como adubo orgânico.

Em vasos contendo 3kg de solo, foram misturados 150g e 300g das tortas de mamona e pinhão manso, compreendendo a dose 5 (D2) e 10% (D3), na razão equivalente a 100 Mg ha⁻¹ e 200 Mg ha⁻¹, respectivamente. O solo foi incubado por 45 dias, sendo revolvido diariamente para maior aeração, uniformização e mineralização do material

orgânico. Conforme a necessidade de manutenção da capacidade de campo do solo, eram feitas irrigações sistemáticas. As análises químicas desses resíduos estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Características químicas das tortas de mamona (T1) e pinhão manso (T2)

	N	P	P_2O_5	K	K_2O	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	%						$mg\ kg^{-1}$				
T1	5,5	0,7	1,7	1,0	1,2	0,8	0,5	210,9	10,3	91,6	46,9
T2	2,6	1,0	2,3	1,6	1,9	1,3	0,6	451,0	17,7	40,6	47,2

Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

Após 45 dias da incorporação das tortas ao solo dos vasos, foram semeadas com quatro sementes de feijão caupi [*Vigna unguiculata* (L.)], cultivar Pitiúba, por vaso, sendo as sementes fornecidas pelo Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia da UFC/CE. Após dez dias da semeadura, as plantas que já exibiam a primeira folha definitiva foram selecionadas de acordo com a uniformidade de tamanho e vigor para a realização do desbaste, deixando-se, ao final, duas plantas por vaso.

As plantas, mantidas em casa de vegetação por 30 dias após a germinação, foram irrigadas diariamente, procurando-se manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Decorrido esse período, as plantas foram coletadas, sendo analisadas a altura e a massa da matéria seca da parte aérea e, no solo, foram determinados o pH (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997), carbono orgânico total (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997), quantificação de esporos de FMA (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), respiração basal (MENDONÇA; MATOS, 2005), carbono da biomassa microbiana (ISLAM; WEIL, 1998), quociente metabólico (ANDERSON; DOMSCH, 1993) e quociente microbiano (SPARLING, 1992).

O experimento foi analisado, considerando-se cada torta individualmente dentro de cada área, utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 3 (duas áreas e três doses de torta), com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas

experimentais para cada torta, sendo cada parcela constituída por um vaso contendo duas plantas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), utilizando-se o programa computacional Assistat desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande - PB.

Resultados e Discussão

Na avaliação dos dados sobre massa seca da parte aérea das plantas (Figura 1), observou-se que os tratamentos com a torta de mamona na dose 10% exibiram os menores valores de massa seca da parte aérea das plantas, tanto na área 1 quanto na 2. Diferentemente, os tratamentos com a torta de pinhão manso na dose 10%, tanto na área 1 como na área 2, demonstraram os maiores valores de massa seca da parte aérea das plantas. A média do peso da massa seca das plantas dos tratamentos que receberam a torta de mamona variou de 0,76g a 2,80g, enquanto as que receberam a torta de pinhão manso variaram de 0,94g a 3,46g, nas duas áreas estudadas.

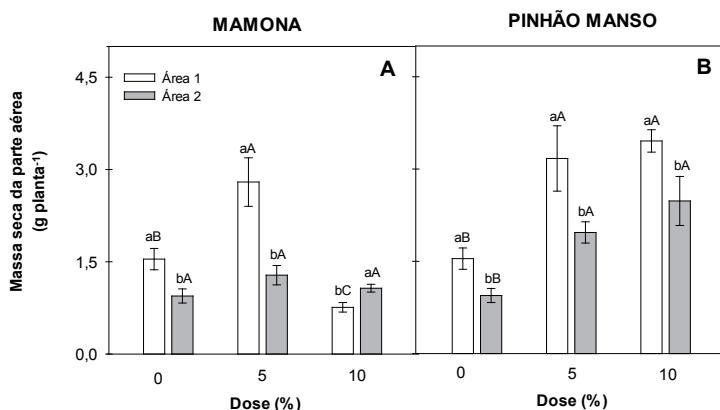


Figura 1 – Massa seca da parte aérea em plantas de feijão, nas áreas 1 (área sobrepastejo) e 2 (área de exclusão), submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas 1 e 2, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)
Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

Essa resposta das plantas de feijão à adubação orgânica com as tortas nas áreas estudadas já era prevista, tanto para as doses de torta de mamona quanto para as de pinhão manso, uma vez que, em ambas, foi observado o potencial nutricional desses substratos, quando realizada previamente sua caracterização química. Esses resultados corroboram os de Lima et al. (2006) que encontraram valores elevados de massa seca da parte aérea em mudas de pinhão manso, semeadas em substrato composto por mistura de terra, casca de mamona e torta de mamona.

A altura da parte aérea das plantas de feijão mostrou aumento significativo quando da aplicação das diferentes doses das tortas, sendo a torta de pinhão manso aquela que promoveu maior crescimento das plantas. Esses acréscimos, porém, não foram concomitantes ao aumento das doses (Figura 2).

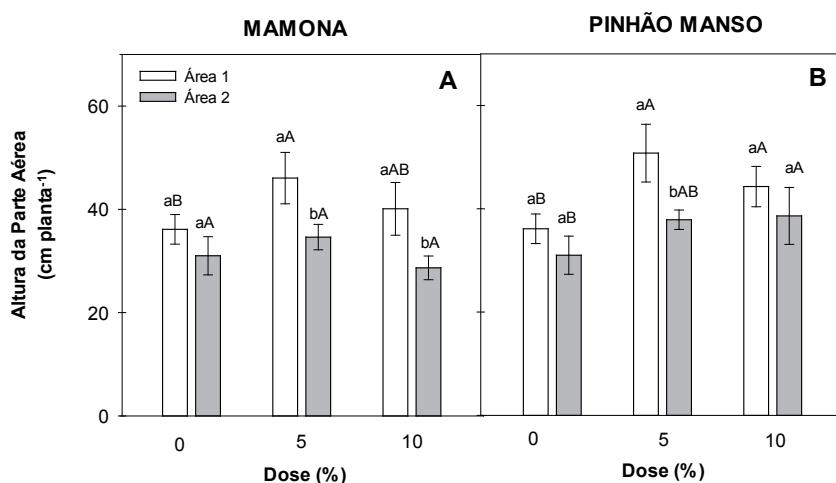


Figura 2 – Altura da parte aérea em plantas de feijão, nas áreas 1 (área sobrepastojo) e 2 (área de exclusão), submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas 1 e 2, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)
Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

A aplicação de 5% da torta de mamona promoveu incremento de 27 e 11% no crescimento das plantas, na área 1 e na área 2, respectivamente. Com a aplicação da dose de 10% de torta de mamona, ocorreram elevação de 10% na altura nas plantas da área 1 e decréscimo de 7% nas plantas da área 2 (Figura 2A). Já naquelas tratadas com 5% de torta de pinhão manso, foi verificado um incremento de 40 e 22% nas áreas 1 e 2, respectivamente, enquanto nas plantas tratadas com 10% da torta o incremento foi de 22 e 24%, respectivamente (Figura 2B).

As maiores alturas nas plantas de *Acacia polyphylla* encontradas por Modesto et al. (2009) foram nos tratamentos que utilizaram, como adubo orgânico, o lodo de esgoto e naqueles com associação de outros resíduos orgânicos. Santos et al. (2008) também encontrou os melhores resultados para altura das plantas de pinhão manso nos tratamentos que receberam adubação com resíduos orgânicos.

Na Figura 3, encontram-se os resultados para o pH do solo após o cultivo com feijão caupi, considerando as doses das tortas em cada área. Os valores diferiram estatisticamente entre as áreas, sendo a área 1 com o pH mais alto em relação à área 2. Os tratamentos 5 e 10% de torta de mamona foram iguais na área 1, aumentando o pH do solo para valores próximos a 8 em relação ao controle, enquanto que, na área 2, elevaram o pH para valores próximos a neutro, diferindo-se do controle (Figura 3A).

A torta de pinhão manso na dose 10% aumentou em quase 40% o pH do solo da área 1, diferindo estatisticamente dos outros tratamentos em relação ao controle (Figura 3B). O aumento do pH do solo está relacionado com as características tamponantes da matéria orgânica e/ou com o aumento da força iônica da solução do solo, por causa do incremento dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ na camada superficial (FRANCHINI et al., 1999). Embora o pH do solo influencie o tipo de microrganismo predominante, a decomposição da matéria orgânica ocorre de modo mais rápido em solos de pH neutro. De acordo com Malavolta (1981), o pH do solo interfere diretamente na disponibilidade dos nutrientes, cuja fonte principal é a matéria orgânica.

Os resultados estão de acordo com os encontrados no estudo de Freitas (2009), em que a aplicação das maiores doses de torta de mamona (40 , 80 e 160 Mg ha^{-1}) promoveu um aumento significativo no pH do solo utilizado no seu experimento.

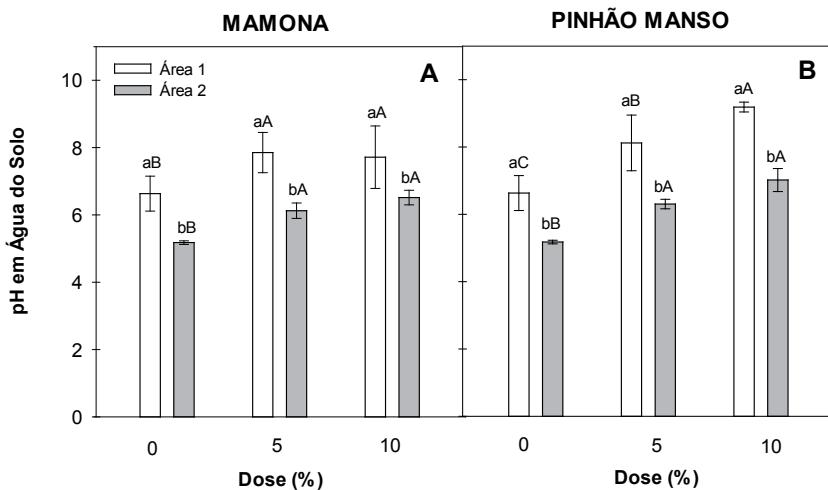


Figura 3 – pH em água do solo nas áreas 1 (área sobrepastejo) e 2 (área de exclusão) submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).
Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

Considerando as doses das tortas em cada área, os resultados para o COT com a torta de mamona aumentaram, juntamente com as doses, tanto na área 1 como na área 2 (Figura 4A). Com a torta de pinhão manso na dose de 10%, o COT no solo aumentou em mais de 142% na área 1 em relação ao controle. Possivelmente, o aumento do COT na área de sobrepastejo, em relação à área de exclusão de pastejo, decorra do fato de ela ser utilizada para pastejo intensivo com acúmulo de resíduos dos animais na superfície do solo.

Alvarenga e Davide (1999), avaliando áreas com diferentes manejos, constataram que áreas de pastagem não diferiram estatisticamente de áreas de cerrado, indicando tratar-se de um ambiente concentrador de matéria orgânica. Com relação ao aporte de resíduos orgânicos, Oliveira et al. (2002) afirmaram que a adição do lodo de esgoto foi capaz de proporcionar aumentos significativos nos teores de COT no solo, indicando a possibilidade de utilização desse resíduo para o incremento destes teores.

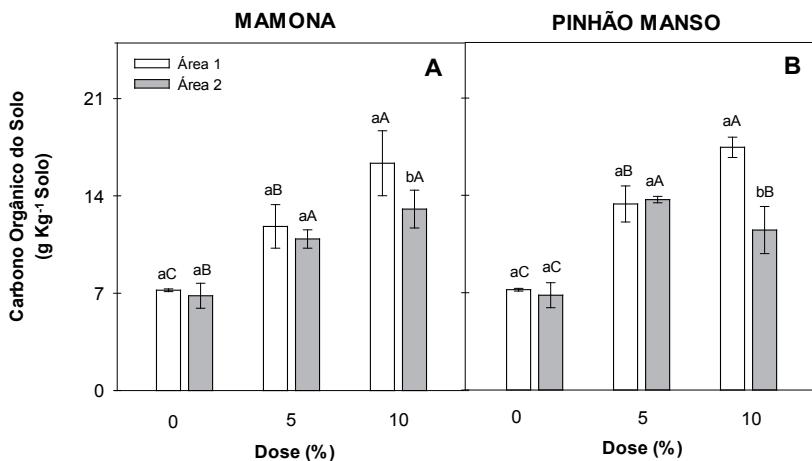


Figura 4 – Carbono orgânico do solo nas áreas 1 (área sobrepastejo) e 2 (área de exclusão), após cultivo de feijão comum, submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

Analizando os dados para densidade de esporos de FMA do solo, constatou-se que a torta de mamona, em média, diminuiu o número de esporos do solo de 517 para 303 esporos/100g de solo na área 1, de 953 para 488 esporos/100g de solo na área 2 (Figura 5A).

Em relação aos tratamentos dos solos que receberam a torta de pinhão manso, os resultados também revelaram decréscimos significativos na densidade de esporos de FMA do solo. A diminuição do número de esporos de FMA no solo das áreas avaliadas com a D3 foi em média 20% em relação ao controle (Figura 5B).

Esses baixos valores do número de esporos de FMA, encontrados nos solos que receberam os adubos orgânicos, podem ser atribuídos ao curto período de condução do experimento, que pode ter sido insuficiente para a produção de esporos, ou ainda pela influência da adição das tortas, que certamente elevaram os níveis de nutrientes, especialmente o fósforo, no solo. De acordo com Moreira e Siqueira (2006), foi observado que níveis de fósforo próximo ao ótimo para o desenvolvimento

das plantas, disponível no solo, inibem a colonização micorrízica, a produção de esporos e a formação de micélio externo de fungos micorrízicos arbusculares no solo.

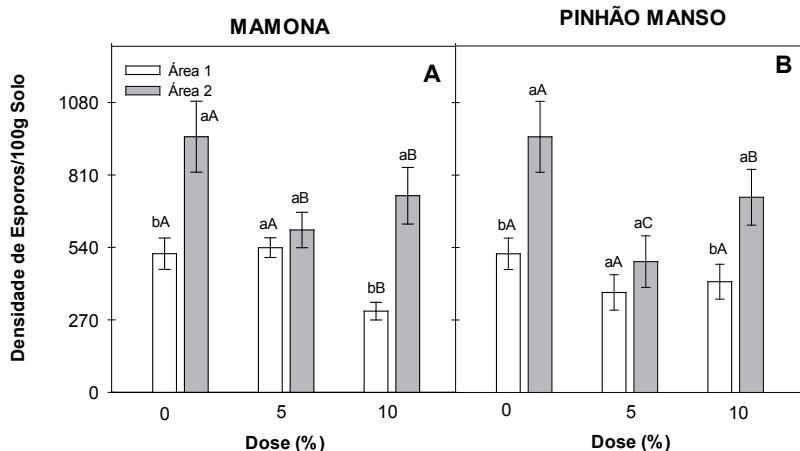


Figura 5 – Densidade de esporos de FMA do solo nas áreas 1 (área sobrepastejo) e 2 (área de exclusão), após cultivo de feijão comum, submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).
Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

As diferentes doses das tortas promoveram alterações nos teores de CBM do solo nas duas áreas estudadas (Figura 6). Com a torta de mamona, houve um decréscimo de 50% na área 1. Enquanto isso, na área 2, houve acréscimos de CBM no solo em torno de 36% em relação ao controle (Figura 6A).

Com a torta de pinhão manso, os acréscimos de CBM no solo da área 2 foram na ordem de 80% (Figura 6B). Isso indica uma condição mais favorável à atividade dos microrganismos do solo, fato esse que pode ser atribuído, possivelmente, a uma estabilização maior do solo da área de exclusão, pelo tempo de regeneração e do aporte contínuo e variado de substratos orgânicos, provenientes da vegetação nativa e, consequentemente, dos diferentes graus de suscetibilidade à decomposição. A decomposição é fundamental

na liberação dos nutrientes constituintes das estruturas dos compostos orgânicos. Os nutrientes liberados nesses processos poderão ser imobilizados pelos organismos e utilizados na síntese de novos compostos orgânicos, ou mineralizados, e liberados para a solução do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

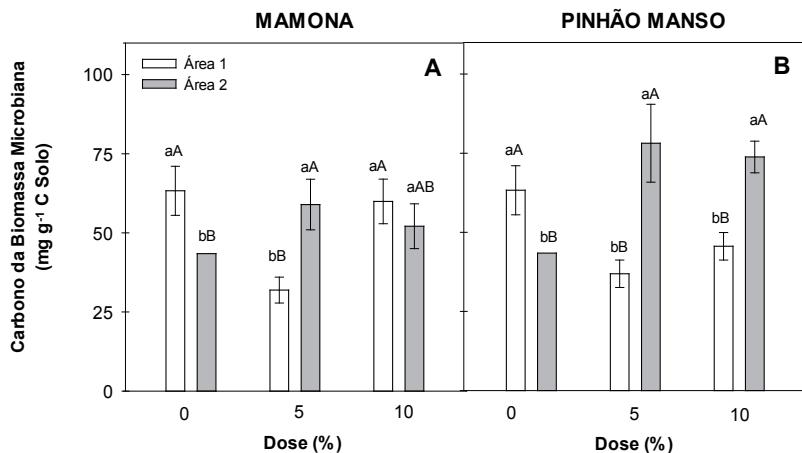


Figura 6 – Carbono da biomassa microbiana do solo nas áreas 1 (área sobrepastejo) e 2 (área de exclusão), após cultivo com feijão comum, submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

A atividade metabólica da biomassa microbiana, expressa pela RBS, foi maior na área de sobrepastejo (área 1), tanto para os tratamentos com a torta de mamona como para os tratamentos com a torta de pinhão manso (Figura 7). Esses resultados da maior atividade da microbiota do solo na área 1 em relação à área 2, possivelmente possam ser explicados pelo fato de que ela possuía uma deposição de resíduos orgânicos oriundos dos animais que nela pastejavam ou podem ser indicativos de uma menor eficiência dos microrganismos em fixar carbono na sua biomassa, corroborando Carvalho (2005) ao ressaltar que, à medida que uma determinada

biomassa microbiana se torna ineficiente, mais carbono é perdido como CO₂ pela respiração, e uma fração menor de carbono é incorporada à biomassa microbiana.

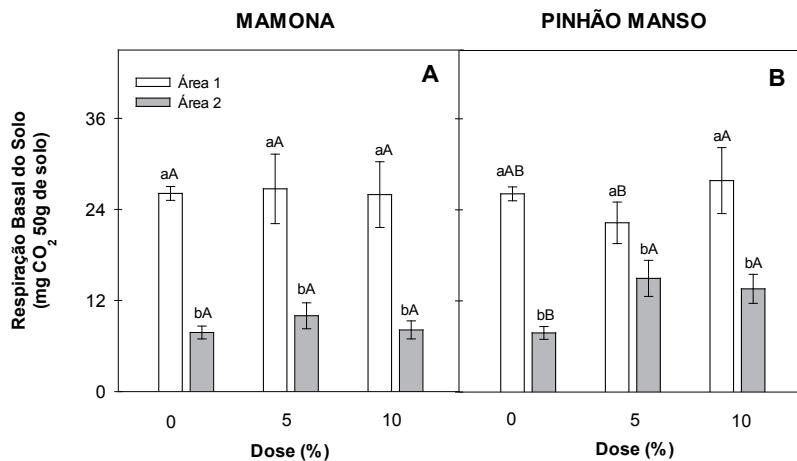


Figura 7 – Respiração basal do solo nas áreas 1 (área sobrepastejo) e 2 (área de exclusão), após cultivo com feijão comum, submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

Com relação ao qCO₂, é possível observar que os menores valores foram encontrados na área 2. Isso indica, segundo Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), que a biomassa microbiana possa estar em equilíbrio, com menores perdas de CO₂ pela respiração e, com isso, maior incorporação de carbono nas células microbianas. Não se observa isso, no entanto, na área 1, na qual a população microbiana do solo consome mais carbono para manutenção de suas atividades, promovendo uma perda maior deste elemento na forma de CO₂ (Figura 8). De acordo com Anderson e Domsch (1993), o qCO₂ é usado para estimar a eficiência do uso dos substratos orgânicos pelos microrganismos do solo.

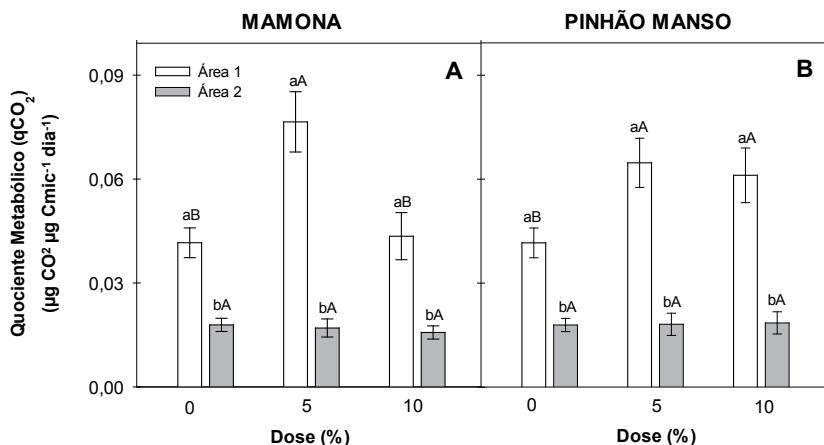


Figura 8 – Quociente metabólico do solo nas áreas 1 (área sobrepastejo) e 2 (área de exclusão), após cultivo de feijão comum, submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).
Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

Os resultados encontrados por Simões et al. (2010) constataram que, em cerrado nativo, o qCO₂ não mostrou diferença significativa, ao passo que a cobertura com acácia reduziu o qCO₂ em cerca de 20%, indicando que a introdução de nitrogênio no solo, via fixação biológica de N₂ pela simbiose com bactérias do grupo rizóbio, seja usada para a constituição da biomassa microbiana e, por consequência, do C do solo. A mesma justificativa pode ser atribuída à área 2 deste estudo, que se encontrava sob vegetação de Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora* [Willd] Poir.), planta leguminosa fixadora de nitrogênio.

Analizando conjuntamente os dados, pode-se observar que em todos os tratamentos houve decréscimos dos valores de quociente microbiano do solo para as duas tortas e nas duas áreas analisadas (Figura 9).

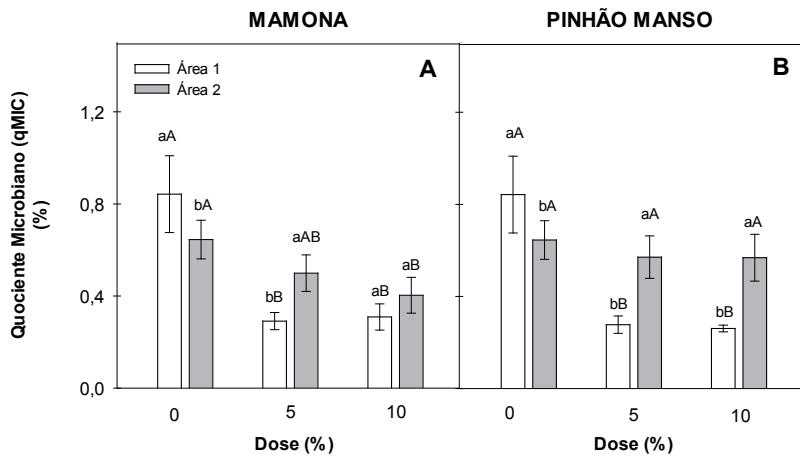


Figura 9 – Quociente microbiano do solo nas áreas 1 (área sobrepastejo) e 2 (área de exclusão), após cultivo de feijão comum, submetidas a diferentes doses de torta de mamona (A) e de pinhão manso (B). Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem em cada dose e da mesma letra minúscula não diferem entre as áreas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).
Fonte: (CUNHA FILHA, 2011).

Na área 1, os tratamentos com a torta de mamona fizeram cair os valores do qMIC em aproximadamente 70%. Na área 2, entretanto, os decréscimos foram menores em relação à área 1, mostrando-se em torno de 38% nos tratamentos com a torta de mamona e de apenas 12% nos com a torta de pinhão manso. Portanto, a redução dos valores de qMIC na área 1 (sobrepastejo), de acordo com Wardle (1994), sugere uma provável condição de estresse para a microbiota do solo, possivelmente determinada pelo manejo intensivo do solo.

Conclusões

1 No solo da área sobrepastejo (área 1) as variáveis responderam significativamente pela aplicação das tortas de mamona e pinhão manso, especialmente na dose 5% (D2);

2 O solo da área de exclusão (área 2) apresentou os maiores valores de carbono da biomassa microbiana do solo;

3 O qCO₂ foi maior na área 1, para ambas as tortas aplicadas, nas duas doses testadas;

4 A adição das tortas de pinhão manso e mamona em ambas as doses reduziram a densidade de esporos de FMA do solo das duas áreas;

5 As tortas de mamona e pinhão manso contribuíram para o crescimento das plantas;

6 A utilização das tortas de mamona e pinhão manso pode ser uma alternativa na reabilitação de áreas degradadas.

Referências Bibliográficas

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 25, p. 393-395, 1993.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agrosistemas. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 23, p. 933-942, 1999.

CARVALHO, F. de. *Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de araucaria angustifolia (Bert.)*. O. Ktze. no Estado de São Paulo. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luis de Queirós, Piracicaba, 2005.

CARDOSO, E. L.; OLIVEIRA, H. *Sugestões de uso e manejo dos solos do assentamento Taquaral*. Corumbá, 2002. 4 p. (Circular Técnica, 35).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAAGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 23, p. 533-542, 1999.

FREITAS, F. C. *Uso de resíduo orgânico da produção de biodiesel direta da semente na atenuação dos efeitos de hidrocarbonetos de petróleo no solo*. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 159-170, 2008.

GERDEMANN, J. W.; NICHOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone extracted from soil by wetsieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 46, p. 235-244, 1963.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 34, p. 93-102, 2002.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microware irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility of Soils*, v. 27, p. 408-416, 1998.

LIMA, R. L. S. et al. Avaliação da casca e da torta de mamona como fertilizante orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. *Anais... Aracaju: EMBRAPA*, 2006.

MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola, adubos e adubação*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

MODESTO, P. T. et al. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 33, p. 1489-1498, 2009.

- MORAIS, D. L.; VIÉGAS, R. A.; MARINHO, R. F. Produção de mudas de pinhão manso com adição de composto orgânico no meio de cultivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 12., Fortaleza. 2009. (Resumos).
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- OLIVEIRA, F. C. et al. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, ph e ctc. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 505-519, 2002.
- SEVERINO, L. S. et al. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 5, n. 1, 2004. 6 p.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.
- SIMÕES, S. M. O. et al. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de acacia mangium no cerrado de Roraima. *Acta Amazonica*, v. 40, n. 1, p. 23-30, 2010.
- WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Brasília: Embrapa, p. 419-436, 1994.

ESCOAMENTO SUPERFICIAL, PERDA DE SOLO E NUTRIENTES NUMA ENCOSTA SEMIÁRIDA DEGRADADA COM DEZ ANOS DE POUSIO

*Cícero Lima de Almeida
José Carlos de Araújo*

Introdução

As regiões de clima semiárido são vulneráveis às alterações antropogênicas no seu ambiente natural. A intensificação da exploração humana sobre os recursos naturais nessas regiões ocasiona a degradação do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade, o que, em adição aos fatores ambientais e socioeconômicos, dá início à desertificação. Entre as atividades humanas que mais contribuem para a degradação ambiental destacam-se o sobrepastejo de animais e o desmatamento para fins agrícolas (OLDEMAN, 1994).

Quanto aos processos de degradação do solo, observam-se a erosão hídrica, a erosão eólica, a degradação química (salinização e sodificação) e a degradação física (compactação), sendo a erosão o principal processo (LE HOUÉROU, 1996). A erosão provoca a perda de solo, promovendo a redução da fertilidade e, consequentemente, a redução da capacidade de manter o crescimento das plantas. A cobertura vegetal, desde sua copa até a serrapilheira, intercepta o impacto direto da chuva sobre o solo e diminui a velocidade de escoamento. A cobertura vegetal é, portanto, o

principal fator de redução do escoamento superficial e da perda de solo (MORENO-DE LAS HERAS et al., 2009; GARCIA-ESTRINGANA et al., 2010; BOER; PUIGDEFÁBREGAS, 2005).

A forma mais comumente usada para recuperação de áreas degradadas é o pousio. No pousio, o fator mais relevante de recuperação da fertilidade do solo e da cobertura vegetal é o próprio poder de resiliência do solo. O tempo de pousio, contudo, na prática agrícola da região semiárida do Brasil, tem diminuído em função da crescente demanda por produtos agrícolas. Essa redução no tempo de pousio intensifica o uso da terra e reduz a capacidade de recuperação do solo, ou seja, sua resiliência (CEARÁ, 2010).

O estudo que ora se apresenta avalia o impacto hidrológico e sedimentológico da prática de pousio numa encosta desertificada em Irauçuba - CE. A avaliação foi realizada com base na comparação analítica de duas encostas: uma submetida a pousio há dez anos e outra submetida a sobrepastejo há mais de 20 anos.

Local de estudo

O estudo foi realizado na Área Susceptível à Desertificação (ASD) – Sertões de Irauçuba e centro-norte no município de Irauçuba, que também é um dos núcleos de desertificação do semiárido brasileiro (BRASIL, 2004; CEARÁ, 2010). O clima da região é do tipo quente e semiárido, com chuvas de verão (média anual de 530mm) e evapotranspiração potencial anual média acima de 2.000mm. O solo é do tipo Planossolo Nátrico Órtico típico A fraco. A vegetação nativa é a caatinga arbustiva aberta. A principal atividade econômica na área de estudo é a pecuária extensiva (bovino e ovino) em sobrepastejo, sem uso de práticas conservacionistas (CEARÁ, 2010; SOUSA, 2009). A seguir, são caracterizadas as duas encostas analisadas: a encosta em pousio e a desertificada. A encosta em pousio (E_p – 370m²) foi definida numa área de exclusão de animais em tempo superior a dez anos. A encosta desertificada (E_D – 468 m²) localiza-se numa área de sobrepastejo animal (bovino/

ovino) com as mesmas características de solo, relevo e clima da área em pousio. A diferença entre as encostas limita-se apenas ao uso e à cobertura do solo (Figura 1).

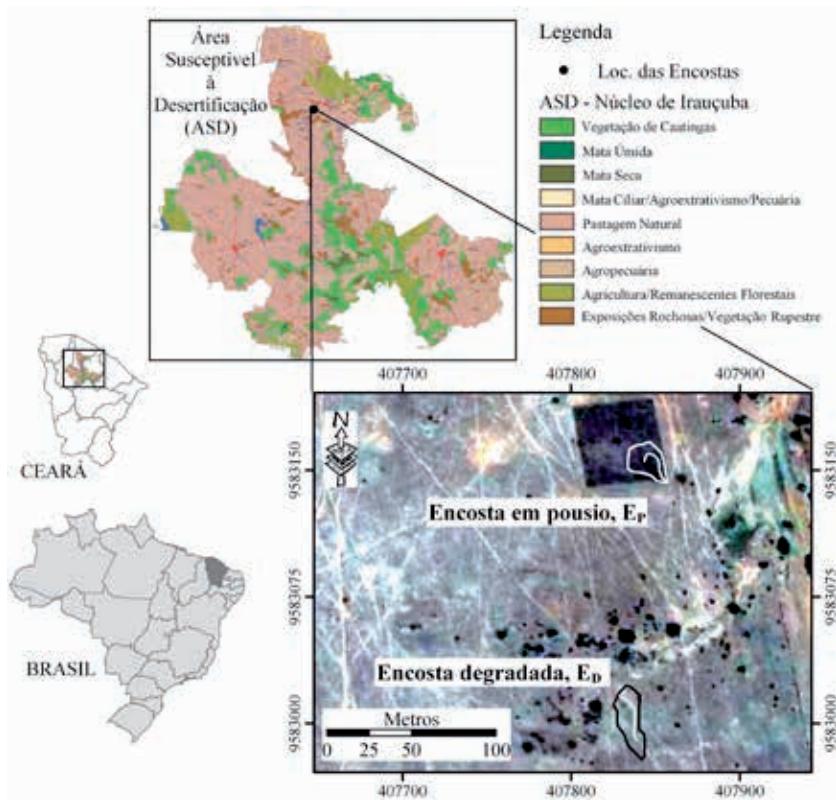


Figura 1 – Mapa da cobertura vegetal da ASD – Sertões de Irauçuba e Centro-Norte e localização da encosta em pousio (E_p) e da encosta degradada (E_d)

Fonte: Adaptada de (CEARÁ, 2010) e imagem extraída do Google Earth, de janeiro de 2004.

Na Tabela 1 estão apresentados os atributos físico-químicos do solo das encostas em estudo. Os atributos foram determinados por meio da análise físico-química de uma amostra composta com base em três subamostras. As amostras referem-se às profundidades de 0 - 20 cm e de 20 - 40cm, tendo sido coletadas no período chuvoso (28 de abril de 2011).

Tabela 1 – Atributos químicos do solo sob as áreas de exclusão de animais (encosta em pousio - E_p) e de sobrepastejo (encosta desertificada - E_D) no sítio Cacimba Salgada no município de Irauçuba – CE, abril de 2011

Camada (m)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	$\frac{\text{H}^+}{\text{Al}^{3+}}$	Al^{3+}	S	T	V	m	PST	C/N	C	N	M O
	---	---	---	---	cmolc kg ⁻¹	---	---	---	---	%	---	---	g kg ⁻¹	---	
0,0 - 0,2	4,0	2,0	0,4	0,2	2,2	0,6	6,5	8,7	75	8	4	11	5,7	0,5	9,8
0,2 - 0,4	12,0	5,5	2,5	0,1	0,8	0,3	20,1	20,9	96	1	12	13	2,8	0,2	4,8
0,0 - 0,2	6,8	6,5	0,3	0,2	1,5	0,3	13,8	15,3	90	2	2	10	4,7	0,5	8,2
0,2 - 0,4	9,5	8,8	1,4	0,1	0,8	0,3	19,8	20,6	96	1	7	9	2,8	0,3	4,9

Fonte: (ALMEIDA, 2011).

Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Na – Sódio; K – Potássio; Al – Alumínio; H – Hidrogênio; S – Soma de base; T – Capacidade de Troca de Cátions; V – Saturação de base; m – Saturação por Alumínio; PST – Percentagem de Sódio Trocável; C/N – Relação Carbono/Nitrogênio; C – Carbono; N – Nitrogênio e M.O. – Matéria Orgânica.

Precipitação

As encostas foram monitoradas por um período de 16 meses (1º de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011). A pluviometria foi obtida por meio da instalação de três pluviômetros, dois Ville de Paris e um pluviômetro de báscula automático (Figura 2). Os pluviômetros Ville de Paris foram usados para determinar a lâmina precipitada diariamente (evento de 24h) em cada encosta. O pluviômetro de báscula automático registrou a intensidade a cada 5min para determinação da erosividade e do padrão hidrológico das chuvas. A erodibilidade da chuva foi obtida segundo a metodologia da Wischmeier (1959, apud por HAAN et al. 1993). O padrão hidrológico da chuva foi analisado segundo classificação de Horner e Jens (1942) em uma das três categorias: avançado,

intermediário ou atrasado. O padrão avançado ocorre quando a maior intensidade é registrada no terço inicial; o intermediário quando no terço médio; e o atrasado quando no terço final da chuva.

Escoamento superficial

O escoamento superficial foi obtido por meio da instalação de duas calhas Parshall e dois sistemas coletores de água e sedimento (Figura 2). As calhas Parshall foram instaladas na tentativa de registrar a vazão de pico em cada encosta. O sistema coletor do escoamento superficial é composto por um contentor de água e sedimento, feito em concreto, e por caixas d'água instaladas em série. As caixas são responsáveis pelo armazenamento da água e do sedimento.

Na encosta em pousio (E_p), o sistema coletor é composto por uma caixa de 1.000 L com oito saídas, uma das quais ligada a outra caixa de 1.000 L. Ao final, o sistema pode captar um volume representativo de 8.900 L (equação 1). Na encosta desertificada (E_D) o sistema é composto por uma caixa de 1.000 L com dez saídas, uma das quais ligada à segunda caixa de 250 L com oito saídas, com uma ligada à terceira caixa de 1.000 L; ao final, o sistema poderia captar um volume representativo de 27.200 L (equação 2). O escoamento superficial em cada encosta, em mm (H_i), foi obtido pela razão entre o volume total escoado em cada encosta, em L (V_i), e a área de cada encosta, em m² (A_i), conforme a equação 3.

$$V_{E_p} = V_{caixa1} + (8 \times V_{caixa2})$$

$$V_{E_D} = V_{caixa1} + (10 \times V_{caixa2}) + (18 \times V_{caixa3})$$

$$H_i = \frac{V_i}{A_i}$$



(a)

(b)

Figura 2 – Monitoramento das encostas de estudo: (a) encosta em pousio – E_p ; (b) encosta desertificada – E_D . Nas fotos, os números têm os seguintes significados: 1 – Calha Parshall; 2 – Contendor de água e sedimento; 3 – Caixas d’água coletoras do escoamento superficial; e 4 – Pluviômetro Ville de Paris

Fonte: (ALMEIDA, 2011).

Perda de solo

A concentração de sedimentos (Cs) foi determinada pelo método da secagem, obtendo a concentração dos sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), todos em mg L^{-1} (SILVA; OLIVEIRA, 2001). Maiores detalhes do método podem ser encontrados em Almeida (2011). Os sólidos totais (ST) correspondem à concentração total de sedimentos (C_s), enquanto SF e SV correspondem, respectivamente, à concentração das partes mineral e orgânica, que formam a massa total do sedimento. A massa total erodida (ME, em gramas) é calculada por meio das equações 4 e 5 para E_p e E_D , respectivamente. Nas referidas equações, Cs são as concentrações de sedimentos (ST, SF ou SV, conforme o caso).

$$ME_{E_p} = Cs_1 \times V_1 + Cs_2 \times V_2$$

$$ME_{E_D} = Cs_1 \times V_1 + Cs_2 \times V_2 + Cs_3 \times V_3$$

A perda de solo por unidade de área (P.S) em kg.ha^{-1} , para cada encosta, foi determinada pela razão entre a massa erodida (ME) e a área (A) correspondente a cada encosta em estudo, representada na equação 6.

$$P.S_i = \frac{M.E_i}{A_i}$$

Perda de nutrientes

Foram analisadas as quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e sódio (Na) transportados pelo escoamento superficial nas duas encostas. As análises foram realizadas em 11 dos 21 eventos registrados no período de estudo. Separaram-se 500ml da amostra coletada nas caixas coletoras em cada evento para a determinação da concentração dos nutrientes. O nitrogênio total foi determinado pelo método do Persulfato, seguido do método da redução de nitrato a nitrito em coluna de cádmio (4500-P. J) e o fósforo total foi determinado pelo método da digestão com Persulfato, seguido do método do ácido ascórbico (4500-A, B, E), ambos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF, 2005). Para a determinação de potássio, cálcio e sódio utilizou-se o método do fotômetro de chama (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997).

Resultados e Discussão

Precipitação

No período de estudo, foram observados 55 eventos de precipitação (Tabela 1). Desse total, 25 deles ocorreram no ano de 2010 e os demais em 2011. Houve quatro períodos de estiagem acima de 15 dias durante o período de chuvas na região. Dos quatro períodos, três deles ocorreram no ano de 2010, tendo um deles sido o mais longo, com 48 dias de duração (15 de fevereiro a 4 de abril de 2010).

Tabela 2 – Análise comparativa da precipitação da encosta em pousio e da encosta degradada e o nível de significância entre as chuvas registradas nas duas encostas, no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba – CE, de 1º de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Precipitação diária (mm)	Pousio (E_p)	Desertificada (E_D)
Total em 2010	264,1	263,4
Total em 2011*	450,5	440,7
Máxima	46,2	45,1
Mínima	0,3	0,2
Média por evento	12,8	12,6
Desvio padrão por evento	11,3	11,2
Teste F (α) para séries de todos os eventos em E_p e E_D	0,9485	

Fonte: (ALMEIDA, 2011).

* Período entre 1º de janeiro a 15 de abril de 2011

As chuvas registradas nos dois pluviômetros Ville de Paris – equidistantes 200m – indicam diferença significativa (com grau de significância de 5%) quanto à igualdade de suas precipitações, confirmando a alta variabilidade das precipitações em regiões semiáridas, conforme relatado por Le Houérou (1996), Cooper et al. (2008) e Batisani e Yarnal (2010) na África subsahariana; por Cánton et al. (2001) no semiárido espanhol; e por Silva (2004) no semiárido brasileiro.

Nos 55 eventos registrados, observou-se que o limite mínimo de precipitação capaz de promover escoamento foi de 8,6mm na E_p e de 7,2mm na E_D , com escoamento superficial de 0,14 e 0,17mm em E_p e E_D , respectivamente. Figueiredo (2011), estudando a bacia experimental de Aiuaba-CE, constatou que nenhuma precipitação inferior a 11,5mm foi capaz de produzir escoamento. Já Cánton et al. (2001), estudando microbacias em sistemas de badlands no sudeste semiárido da Espanha, observaram esse limite como sendo de 3,5mm. Srinivasan et al. (2003), ao estudarem duas microbacias desmatadas no semiárido paraibano (0,52 e 0,48 ha), observaram que esse limite foi de 5,0mm.

Todos os valores se mostram próximos ao valor medido neste estudo. A ocorrência de escoamento ou não para chuvas acima desses limites dependerá dos condicionantes geológicos (ARAÚJO; PIEDRA, 2009); das condições de campo, como umidade do solo e cobertura vegetal (SRINIVASAN et al., 2003; CÁNTON et al., 2001), além das características intrínsecas do evento; por exemplo, intensidade para duração igual ao tempo de concentração da bacia (FIGUEIREDO, 2011).

O limite superior de precipitação capaz de ensejar escoamento na E_p (8,6mm) demonstra que esta encosta possui maior abstração inicial, ou seja, maior capacidade de retenção de água. O incremento da abstração inicial em relação à encosta desertificada pode ter sido promovido pela interceptação vegetal da serrapilheira e pela camada superficial do solo, que se encontra em pousio há dez anos. Essa conjectura também é compartilhada por outros autores (CÁNTON et al., 2001; MORENO-DE LAS HERAS et al., 2009; SRINIVASAN et al., 2003), uma vez que a cobertura vegetal favorece o aumento da taxa de infiltração e a redução da velocidade de escoamento, contribuindo para que o escoamento só ocorra sob limite de precipitação superior ao da encosta desertificada.

A precipitação máxima incapaz de iniciar o escoamento foi de 17mm (nos dias 19 e 26 de janeiro de 2010) em ambas as encostas. A possível explicação para a igualdade desse limite entre as encostas é que o parâmetro de maior influência nesse processo é a estrutura do solo. Apesar das diferenças na superfície do solo e na cobertura vegetal entre as duas áreas, o tempo de pousio ainda não foi capaz de alterar significativamente a estrutura do solo, conforme avaliou Sousa (2009). Essa igualdade de resposta do escoamento superficial nas duas encostas está de acordo com as observações de Srinivasan et al. (2003). Os autores observaram que a influência da vegetação rasteira com cobertura morta é mínima em termos de escoamento, sendo sentidas somente nas menores chuvas, pois nas maiores as lâminas foram praticamente as mesmas da parcela desmatada. Segundo Cánton et al. (2001), a precipitação máxima incapaz de iniciar o escoamento de 14,2mm foi pouco inferior ao deste trabalho. Em contrapartida, Srinivasan et al. (2003) observaram que uma precipitação de até 30mm não gerava escoamento superficial nas mi-

crobacias com caatinga nativa. Figueiredo (2011) observou que a maior precipitação incapaz de produzir escoamento na Bacia Experimental de Aiuba foi de 43mm, valor muito superior aos demais, justificado, principalmente, pela geologia local.

Em razão de problemas no pluviômetro de báscula automático, apenas 18% dos eventos pluviométricos tiveram suas intensidades adequadamente registradas, o que impede de obter maiores conclusões sobre a erosividade e o padrão hidrológico das chuvas. A erosividade das chuvas foi, portanto, calculada somente para seis eventos, que se enquadram na definição de Wischmeier (1959) para chuvas erosivas (Tabela 2).

Tabela 3 – Erosividade, intensidades média e máximas nos intervalos de tempo de 5 e 30 minutos dos eventos registrados pelo pluviômetro de báscula automático, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – CE, no período de abril de 2010 a abril de 2011

Data	Duração (h)	P (mm)	Intensidade (mm h^{-1})			R*
			$I_{\text{média}}$	I_5	I_{30}	
1/5/10	2,9	17,14	4,1	38,4	20,8	64,1
2/5/10	1,0	37,43	26,2	76,8	47,6	450,3
5/5/10	2,0	37,14	13,0	45,6	19,2	160,5
10/1/11	0,3	7,43	22,3	58,3	14,9	27,2
19/1/11	4,5	21,14	4,7	41,1	15,4	60,3
2/2/11	0,3	24,28	72,9	96,0	48,6	345,8

Fonte: (ALMEIDA, 2011).

*R refere-se à erosividade da chuva, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$; I_5 refere-se à máxima intensidade em 5 minutos; e I_{30} refere-se à máxima intensidade em 30 minutos, valor esse usado no cálculo da erosividade de chuvas.

Apesar do pequeno número de dados disponíveis, nota-se (Tabela 2) a heterogeneidade do regime pluviométrico de regiões semiáridas, principal agente regulador do processo hidrológico. Por exemplo, os eventos dos dias 2 e 5 de maio de 2010 (com a mesma precipitação), registraram erosividades muito diferentes, com razão próxima a três. Caso mais notório: os eventos dos dias 19 de janeiro e 2 de fevereiro de 2011, apesar de possuírem praticamente a mesma lâmina precipitada, diferem em suas erosividades em quase seis vezes.

Quanto ao padrão hidrológico da chuva, observou-se que 70% dos eventos estão entre atrasado e intermediário (com 40% de comportamento atrasado). Esse resultado corrobora o padrão obtido por Araújo e Piedra (2009) que, ao compararem duas bacias tropicais (uma semiárida no Ceará e uma úmida em Cuba) usando o padrão de Huff, concluíram que a bacia cearense tinha padrão hidrológico atrasado, enquanto a bacia cubana tinha padrão avançado. Os dois trabalhos apontam que, no semiárido cearense, as chuvas têm seus picos de maior intensidade na parte final do evento. O padrão atrasado faz com que as chuvas na região tenham maior potencial erosivo, com relação a uma precipitação com mesmo volume e intensidade em outra região, no qual seu padrão hidrológico seja avançado ou intermediário.

Carvalho et al. (2005) estudaram a região de Seropédica (RJ) e concluíram, para condições de chuvas naturais, que as chuvas de padrão atrasado representaram 14% da precipitação total, mas foram responsáveis por 25% do escoamento gerado e por mais de 58% da perda total de solo. Já Eltz, Mehl e Repchert (2001) avaliaram, em Santa Maria (RS), que a erosividade média necessária para promover um milímetro de escoamento é de 13, 17 e 3 MJ mm⁻¹ h⁻¹ mm⁻¹ de acordo com os padrões de chuva avançado, intermediário e atrasado, respectivamente, ou seja, uma chuva com erosividade muito inferior é capaz de gerar escoamento (e, portanto, transportar sedimentos: ver (MEDEIROS et al., 2010) no padrão atrasado em relação aos demais padrões hidrológicos.

Escoamento superficial

Menos da metade dos eventos de precipitação (21 de 55; ou 38%) promoveu escoamento superficial nas encostas. Deste total, somente 15 eventos tiveram seus escoamentos medidos simultaneamente nas duas encostas. Nos demais casos, houve perdas na coleta de dados em, pelo menos, uma encosta, principalmente pela ruptura do sistema de coleta de água, sem que tenha havido tempo hábil para restabelecimento do sistema antes do próximo evento. As análises apontaram que todas as variáveis da Tabela 3 são estatisticamente diferentes (5%) entre as duas encostas, apresentando alto coeficiente de variação.

Tabela 4 – Parâmetros estatísticos do escoamento superficial (H), do coeficiente de escoamento superficial (Cr), da perda de solo (PS) e do potencial de arraste de sedimento (PAS) na encosta em pousio (EP) e na encosta desertificada (E_D) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – CE, 1º de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Parâmetros Estatísticos	H (mm)		Cr (%)		P.S (kg ha ⁻¹)	
	Pousio	Desertificada	Pousio	Desertificada	Pousio	Desertificada
Máximo	4,14	6,57	22,26	38,18	19,50	107,59
Mínimo	0,01	0,01	0,08	0,04	0,07	0,04
Média	0,54	1,32	2,7	6,8	3,07	17,85
¹ D.P	1,09	1,87	6	10	5,38	30,66
² C.V	201%	142%	209%	153%	175%	172%

Teste F (□) para séries de todos os eventos medidos em E_p e E_D	0,9731	0,99999
--	--------	---------

Fonte: (ALMEIDA, 2011).

¹D.P – desvio padrão; ²C.V – coeficiente de variação.

O escoamento superficial médio na E_D foi cerca de três vezes superior ao da E_p , ou seja, o pousio promoveu uma redução de 60% no escoamento superficial em relação à encosta desertificada (E_D). Gómez et al. (2004), em um solo vértico no sul da Espanha, onde a precipitação média é de 665mm anuais, observaram considerável redução no coeficiente de escoamento no sistema de produção de olivas, mantido com cobertura contínua de gramíneas, em relação ao sistema de plantio direto com capina química (89%) e em relação ao sistema convencional com quatro capinas (65%). Martins et al. (2003) compararam o escoamento superficial entre três tipos de solo sob a cobertura de mata nativa, eucalipto e solo descoberto; e observaram que a mata nativa reduziu em média 67% o coeficiente de escoamento superficial. Carvalho et al. (2009) avaliaram o cultivo de crotalária com 86% de cobertura do solo, o qual reduziu em 67% o escoamento em relação ao plantio de milho morro abaixo. Albuquerque et al. (2002) observaram que uma parcela com caatinga nativa reduziu em 99% o coeficiente de escoamento superficial em

relação a uma parcela com solo descoberto. Os valores encontrados na literatura ora referida corroboram os resultados desta pesquisa.

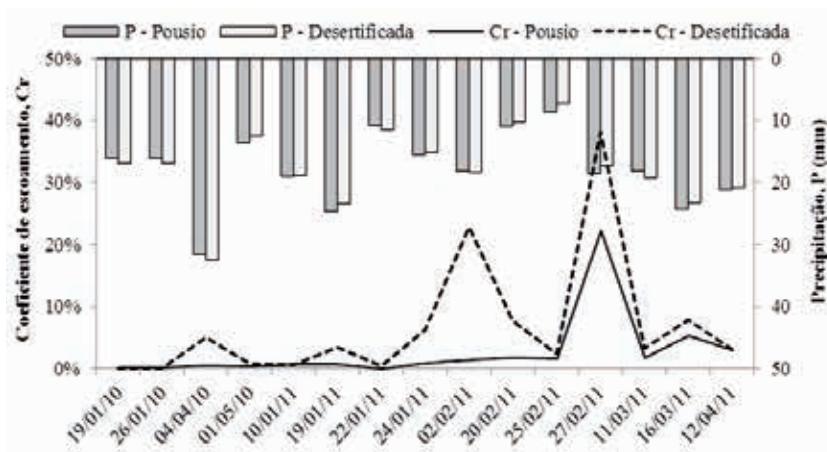


Figura 3 – Coeficiente de escoamento superficial de 15 dos 21 eventos registrados na encosta em pousio (E_p) e na encosta degradada (E_D) e sua precipitação, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – CE,
1º de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Fonte: (ALMEIDA, 2011).

O comportamento do escoamento superficial variou durante o período de estudo (Figura 3). Nota-se uma mudança na razão entre o coeficiente de escoamento superficial na E_D e na E_p , a partir do dia 20 de fevereiro de 2011. A análise de cada período está na Figura 4. O primeiro período, seco, caracteriza-se pela baixa umidade do solo, associada à ausência de cobertura vegetal, mesmo na E_p (aí havia cobertura morta/serrapilheira, mas não cobertura vegetal). Já o segundo período, úmido, caracteriza-se pela alta taxa de umidade no solo, em razão do regime regular de chuva no início do ano (170mm), associada à presença da cobertura vegetal nas duas encostas.

No período seco (Figura 4a), a relação do Cr nas duas encostas comportou-se de forma exponencial, comportamento também observado por Moreno-de Las Heras et al. (2009) e Freitas et al. (2008).

Os autores citados concluíram que o escoamento superficial diminuiu exponencialmente com o aumento da cobertura vegetal. A considerável redução do escoamento na E_p no período seco decorre, principalmente, da existência de serrapilheira em relação à E_D (SALES, 2003; SALES; OLIVEIRA, 2006; SOUSA, 2009). A contínua cobertura do solo contribui para a redução da densidade do solo, para o aumento da porosidade total (CASTELLANO; VALONE, 2006; HUANG; WANG; WU, 2007), para maior retenção inicial da umidade, para o aumento na profundidade da frente de umedecimento (MORENO-DE LAS HERAS et al., 2009; INÁCIO et al., 2005), para a proteção do solo ao impacto direto das gotas de chuva, que podem causar seu selamento superficial e seu encrostamento (INÁCIO et al., 2005; ONDA et al., 2007), para a redução da temperatura do solo, e para o aumento da umidade (BHATT; KHERA, 2006). Todos esses fatores devem ter contribuído, portanto, para a redução do escoamento superficial na E_p .

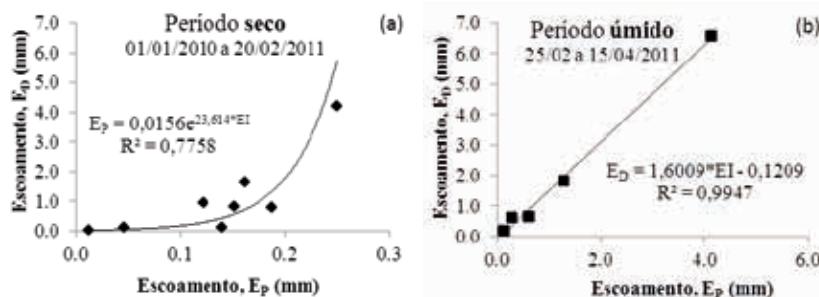


Figura 4 – Relação e correlação (R^2) entre o escoamento superficial na encosta em pousio (E_p) versus a encosta degradada (E_D): (a) primeiro período entre 1º de janeiro de 2010 e o dia 20 de fevereiro de 2011; e (b) segundo período, do dia 25 de fevereiro de 2011 ao dia 15 de abril de 2011.

Fonte: (ALMEIDA, 2011).

No período úmido, a relação do coeficiente de escoamento superficial (Cr) entre duas encostas se comportou de forma linear (Figura 4b). O valor de 1,6 (da equação da Figura 4b) indica que na E_D o Cr é aumentado em 60% em relação ao escoamento da E_p . O solo, ao

encontrar-se com alto teor de água nas duas encostas, reduz significativamente sua influência sobre a relação do escoamento superficial entre as encostas. O alto teor de água elimina o efeito da maior capacidade de armazenamento e do aumento da velocidade de infiltração inicial na E_p em relação à E_D . No estado de saturação, a velocidade básica de infiltração (VIB) possui valor próximo nas duas encostas ($VIB = 2,0\text{mm h}^{-1}$ e $1,5\text{mm h}^{-1}$ em E_p e E_D , respectivamente). Com o desenvolvimento da cobertura vegetal na E_D elimina-se a ação do impacto direto das gotas de chuva e reduzem-se os efeitos de fatores como a velocidade de escoamento sobre escoamento superficial na relação entre E_p e E_D . A mudança no regime de escoamento superficial, após o desenvolvimento da vegetação, foi mais acentuada na E_D , por esta não manter o solo protegido durante todo o ano. No caso da E_p , essa proteção é feita pela serrapilheira e pela cobertura vegetal. O maior estrato da cobertura do solo na E_p , com até três níveis (1º arbustivas; 2º herbáceas e cactáceas e 3º cobertura morta ou serrapilheira) aumenta a retenção inicial de água, contribuindo para a redução do escoamento quando há apenas o estrato herbáceo. Com efeito, os fatores com maior grau de diferenciação entre as encostas são a presença da cobertura morta e a presença do estrato da cobertura do solo na E_p . Zheng et al. (2008) afirmam que a estrutura da vegetação e as formas de vida vegetal são os principais fatores responsáveis pela redução do escoamento superficial e do transporte de sedimentos.

Portanto, com base na relação expressa na Figura 4b e no que foi exposto, pode-se apontar que a serrapilheira existente após dez anos de pousio – somada ao estrato da vegetação – ocasionam uma redução de 60% no escoamento de E_p em relação ao registrado na E_D . Esse resultado, embora baseado em medidas de campo, ainda não é conclusivo, porquanto a umidade não foi monitorada durante o período de estudo.

Perda de solo

A concentração média de sedimentos do escoamento superficial (C_s) registrada foi de 734mg L^{-1} na encosta em pousio e de 1.058mg L^{-1} na encosta desertificada, ou seja, a C_s na E_p foi cerca de 1/3 menor que

a Cs da E_D . A Figura 5 mostra o comportamento da Cs nos 14 eventos analisados com valor máximo de 1.613 e 2.554mg L⁻¹ e mínimo de 471 e 432mg L⁻¹ na E_p e E_D , respectivamente. Observe-se, ainda, na Figura 5, que nos dias 19 de janeiro de 2010 e 22 de janeiro de 2011 não houve escoamento na E_D e na E_p , respectivamente.

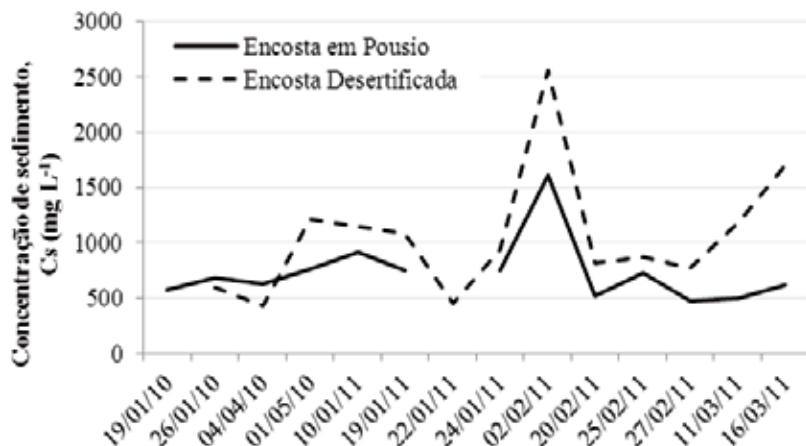


Figura 5 – Concentração de sedimento nos 14 eventos medidos dos 21 eventos registrados no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba, CE, no período de 1º de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Fonte: (ALMEIDA, 2011).

A cobertura do solo promovida, seja pelos resíduos vegetais, serrapilheira ou por cobertura vegetal, proporciona menor concentração (Cs) em relação à superfície desprotegida (SCHICK et al., 2000; FREITAS et al., 2008; INÁCIO et al., 2005). Carvalho et al. (2002) acrescentam que a pequena movimentação mecânica do solo minimiza o impacto das gotas, diminuindo a desagregação do solo e, consequentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada. Inácio et al. (2007) analisaram o efeito topográfico sobre a concentração de sedimento, mantidos com e sem cobertura vegetal formada por pastagem. Os autores citados observaram menor Cs nos menores declives, independentemente da cobertura do solo, sendo maior Cs para o solo descoberto.

Com base no valor de concentração (Cs) é possível determinar a perda de solo. A perda de solo (PS) total, obtida nos 14 eventos, foi de 40 e 232kg ha⁻¹ na E_p e E_D, respectivamente. O período de dez anos de pousio proporcionou uma redução de 83% da P.S. em relação à área degradada pelo sobrepastejo animal.

Zheng et al. (2008) estudaram a perda de solo entre diferentes tipos de vegetação e coberturas do solo, em cuja avaliação as áreas vegetadas reduziram a perda de solo entre 76 e 97% em relação à parcela-padrão com 15% de cobertura. Os autores concluíram que foram os fatores ecológicos os determinantes da magnitude da perda de solo, por meio do dossel da cobertura vegetal, da serrapilheira, das raízes e formas de vida da planta, das propriedades do solo e da estrutura da vegetação. Boer e Puigdefábregas (2005) concluíram que os fatores que mais afetaram o escoamento e as perdas de solo foram a cobertura do solo e a declividade.

Srinivasan et al. (2003) e Albuquerque et al. (2002) observaram que as parcelas com cobertura de caatinga nativa e em pousio há seis anos e com cobertura morta reduziram entre 99% e 74% a perda de solo em relação à parcela desmatada. Esses resultados corroboram com os valores obtidos neste estudo. Bhatt e Khera (2006), estudando dois tipos de preparo do solo (cultivo mínimo e convencional) com aplicação de mulch em diferentes proporções e formas, submetidas a chuvas simuladas, concluíram que a aplicação de mulch reduziu em 87% e 91% a perda de solo em relação à parcela com preparo mínimo e convencional, respectivamente, ambas com solo descoberto.

Esses resultados demonstram a importância da cobertura vegetal e a presença da serrapilheira na encosta em pousio, o que contribuiu significativamente para a redução da perda de solo. Além desses trabalhos, vários, outros se destacam em outras partes do mundo como de Onda et al. (2007), na Mongólia, Gómez et al. (2004), na Espanha, Freitas et al. (2008), Inácio et al. (2005, 2007), no Brasil.

Quanto à composição dos sedimentos em material orgânico (SV) e material mineral (SF), observou-se que a E_p apresentou maior porcentagem de matéria orgânica (média de 40%) nos sedimentos em relação à E_D (média de 32%). A maior proporção do material orgânico na E_p decorre da maior cobertura do solo nessa área, resultado de dez anos de pousio.

Perdas de nutrientes

Foram avaliadas as perdas de nutrientes em 11 dos 21 eventos registrados de escoamento superficial e perda de solo nas duas encostas. A encosta em pousio (E_p) reduziu em 75, 72, 46 e 34% a perda de nitrogênio, fósforo, sódio e potássio, respectivamente, em relação à E_D . O único nutriente em que a perda em E_D foi inferior à registrada na E_p foi o cálcio, 66% menor. A sequência da perda de nutrientes na encosta em pousio foi $Na > K > Ca > N > P$ e na encosta degradada $Na > K > N > P > Ca$. A sequência da perda de nutrientes entre as encostas foi modificada somente quanto ao elemento Ca.

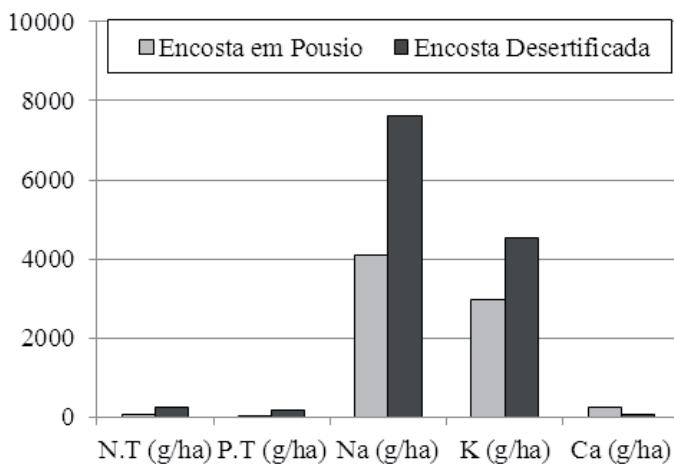


Figura 6 – Perda de nutrientes em 11 dos 21 eventos de perda de solo registrado na encosta em pousio e na encosta degradada no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba, CE, no período de 1º de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011
Fonte: (ALMEIDA, 2011).

A cobertura do solo é um dos principais responsáveis pela redução na perda de nutrientes em áreas protegidas em relação a áreas degradadas, como acentuam Franco et al. (2002), referindo-se a sistemas agroflorestais, Aguiar et al. (2006), referindo-se a reservas le-

gais, e Kothyari et al. (2004), referindo-se a áreas agrícolas. Os estudos realizados por Franco et al. (2002) em Latossolo, Aguiar et al. (2006) em Luvissolo e Kothyari et al. (2004) em diferentes tipos de solo indicaram que, entre os elementos analisados, o cálcio foi o mais carreado pelas águas superficiais. Já Garfur et al. (2003), em área agrícola, observaram que o nitrogênio e o cálcio foram os nutrientes mais carreados pela enxurrada. Esses resultados diferem dos obtidos neste trabalho (Figura 6), em que as maiores perdas foram de sódio e potássio. A maior perda de sódio era esperada por se tratar de um Planossolo Nátrico, enquanto a alta perda de potássio pode ser justificada em razão do material de origem. De fato, o solo da região possui baixo nível de intemperização, o que pode ter promovido a liberação de nutrientes, principalmente o potássio, para a solução do solo, constituindo-se em uma reserva mineral natural do solo.

Conclusão

As chuvas da região demonstraram grande variabilidade espacial, além de erosividade extremamente variável para a mesma lámina precipitada. O padrão hidrológico das chuvas no sítio experimental é atrasado, o que representa maior potencial erosivo das chuvas na região. Quanto ao escoamento superficial, os dez anos de prática de pousio promoveram redução de 68% em relação à área desertificada. A menor precipitação capaz de gerar escoamento superficial na encosta desertificada foi de 7mm. Já na encosta em pousio, esse valor foi quase 20% superior (9mm). A maior precipitação incapaz de gerar escoamento superficial foi a mesma para as duas encostas (17mm). Os dez anos da prática de pousio foram capazes de reduzir a perda de solo em 80%, quando comparada com a encosta desertificada. A encosta em pousio reduziu entre 34 e 75% a perda dos nutrientes N, P, K, Na em relação à encosta degradada. Em relação ao cálcio, na encosta desertificada, a perda foi menor do que na encosta em pousio.

Por fim, os estudos aqui conduzidos indicam que os dez anos de pousio foram capazes de melhorar as características hidrológicas e sedimentológicas da encosta semiárida. Essa melhoria pode ser medida

na quase totalidade dos parâmetros analisados. Portanto, o pousio pode ser adotado para recuperação de áreas de caatinga degradada. Sugere-se, entretanto, que se façam outras investigações nas quais se avaliem a associação do pousio com outras práticas com o intuito de intensificar o processo de recuperação, bem como em áreas com diferentes tipos de solo e declividades, a fim de avaliar os seus efeitos sobre a recuperação do ambiente.

Referências Bibliográficas

- ACCIOLY, L. J. O. et al. Avaliação de alvos em áreas sob desertificação no semi-árido paraibano com base nos sensores Hyperion e Landsat 7 ETM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: INPE, 2005. p. 347-353.
- AGUIAR, M. I. et al. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas agroflorestais no município de Sobral, CE. *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, n. 3, p. 270-278, 2006.
- ALMEIDA, C. L. *Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido*. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- ALBUQUERQUE, A. W. et al. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.
- APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21st ed. American Public Health Association, Washington, D. C., 2005.
- ARAÚJO, J. C.; PIEDRA, G. J. I. Comparative hydrology: semiarid and humid tropical watershed. *Hydrological Processes*, v. 23, p. 1169-1178, 2009.

BATISANI, N.; YARNAL, B. Rainfall variability and trends in semi-arid Botswana: implications for climate change adaptation policy. *Applied Geography*, v. 30, p. 483-489, 2010.

BHATT, R.; KHERA, K. L. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India. *Soil and Tillage Research*, v. 88, n. 1-2, p. 107-115, jul. 2006.

BOER, M.; PUIGDEFÁBREGAS, J. Effects of spatially structured vegetation patterns on hill-slope erosion in a semiarid mediterranean environment: a simulation study. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 30, p. 149-167, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAN-BRASIL*. Edição comemorativa dos 10 anos da Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – CCD. Brasília: MMA, 2004. 225 p.

CANTÓN, Y. et al. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of hydrology*, v. 252, p. 65-84, 2001.

CARVALHO, D. F. et al. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, D. F. et al. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de seropédica e Nova Friburgo, RJ. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14, jan./mar. 2005.

CARVALHO, D. F. et al. Perdas de solo e água em um argissolo vermelho amarelo submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.

CASTELLANO, M. J.; VALONE, T. J. Effects of livestock removal and perennial grass recovery on the lizards of a desertified arid grassland. *Journal of Arid Environments*, v. 66, n. 1, p. 87-95, 2006.

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

COOPER, P. J. M. et al. Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-saharan Africa: an essential first step in adapting to future climate change? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 126, p. 24-35, 2008.

CUNHA, T. J. F. et al. Uso atual e quantificação de áreas degradadas na margem do rio São Francisco no município Petrolina-PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: SBCS, 2009. 4 p.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um argissolo vermelho-amarelo submetido a quatro padrões de chuva. *Rev. Bras. de Ciências do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 485-493, abr./jun. 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997, 212 p.

ESWARAN, H.; LAL, R.; REICH, P. F. Land degradation: an overview. Responses to Land Degradation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION AND DESERTIFICATION, 2., New Delhi, Índia: Oxford Press, 2001.

FIGUEIREDO, J. V. *Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em caatinga preservada*. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

FRANCO, F. S. et al. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de Minas Gerais. Viçosa. *R. Árvore*, v. 26, n. 6, p. 751-760, 2002.

FREITAS, F. J. et al. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. Viçosa. *Rev. Bras. de Ciências do Solo*, v. 32, n. 4, p. 1743-1751, jul./ago. 2008.

GARCIA-ESTRINGANA, P. et al. Direct and indirect effects of mediterranean vegetation on runoff and soil loss. *European Journal of Soil Science*, v. 61, p. 174-185, apr. 2010.

GAFUR, A. et al. Runoff and losses of soil and nutrients from small watersheds under shifting cultivation (Jhum) in the chittagong hill tracts of Bangladesh. *Journal of Hydrology*, v. 274, n. 1-4, p. 30-46, apr. 2003.

GUEDES, D. S. et al. Ocorrência e qualidade do capim panasco (*Aristida adscensionis* L.) em áreas de caatinga no cariri paraibano. In: CONGRESSO ZOOTEC, 6., 2008, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: UFPB/ABZ, 2008. 4 p. Disponível em: <<http://www.abz.org.br/publicacoes-tecnicas/anais-zootec/artigos-cientificos/forragicultura-pastagens/23607-Ocorrnacia-qualidade-capim-Panasco-Aristida-adscensionis-reas-Caatinga-cariri-Paraibano1.html>>. Acesso em: 12 jul. 2011.

GÓMEZ, J. A. et al. Experimental assessment of runoff and soil erosion in an olive grove on a vertic soil in southern Spain as affected by soil management. *Soil Use and Management*, v. 20, p. 426-431, 2004.

HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. San Diego: Academic Press, 1993. 588 p.

HORNER, W. W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. *Transactions of the ASCE*, v. 107, p. 1039-1117, 1942.

HUANG, D.; WANG, K.; WU, W. L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in northern China. *Journal of Arid Environments*, v. 70, n. 1, p. 120-136, jul. 2007.

INÁCIO, E. S. B. et al. Erosão hídrica em agrofloresta na região sul da Bahia. *Revista Agrícola Bahia*, v. 7, n. 1, p. 75-78, set. 2005.

INÁCIO, E. S. B. et al. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na encosta do ribeirão salomea. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v. 11, n. 4, p. 355-360, 2007.

KOTHYARI, B. P. et al. Rainfall–runoff-soil and nutrient loss relationships for plot size areas of bhetagad watershed in central himalaya, India. *Journal of Hydrology*, v. 293, n. 1-4, p. 137-150, 2004.

LE HOUÉROU, H. N. Climate change. drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, v. 34, p. 133-185, 1996.

MARTINS, S. G. et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Rev. Bras. de Ciências do Solo*, v. 27, n. 3, p. 395-403, 2003.

MEDEIROS, P. H. A. et al. Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model. *Hydrological Sciences Journal*, v. 55, n. 4, p. 636-648, 2010.

MORENO-DE LAS HERAS, M. et al. Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate. *Catena*, v. 77, n. 1, p. 39-47, 2009.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models – Part I: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

OLDEMAN, L. R. The global extent of land degradation. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. *Land resilience and sustainable land use*. Wallingford: CABI, p. 99-118, 1994.

ONDA, Y. et al. Analysis of runoff generation and soil erosion processes by using environmental radionuclides in semiarid areas of Mongolia. *Journal of Hydrology*, v. 333, n. 1, p. 124-132, 2007.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. *Escoamento superficial*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004. 87 p.

SALES, M. C. L. *Estudos climáticos, morfo-pedológicos e fito-ecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba-Ceará*. 2003. 122 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Análise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. In: SILVA, J. B. et al. *Litoral e sertão*. Fortaleza: Expressão gráfica, p. 223-232, 2006.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Monitoramento da recuperação da vegetação e solos no núcleo de desertificação de Irauçuba, CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 2005. p. 5874-5884.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map of Brazil. *Catena*, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

SILVA, A. A. S. et al. Fatores abióticos. In: SILVA, J. M. C. et al. *Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco, parte 1, p. 15-37, 2003.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. *Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias*. Campina Grande: UFPG, 2001. 266 p.

SOUZA, F. P. *Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: o caso de Irauçuba*. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Rev. Bras. de Ciências do Solo*, v. 24, p. 437-447, 2000.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O. Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro: a experiência na bacia experimental de Sumé. *Rev. Bras. de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 57-73, abr./jun. 2003.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: EDUSP, 1993. 944 p.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings*, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959.

ZHENG, H. et al. Impacts of reforestation approaches on runoff control in the hilly red soil region of Southern China. *Journal of Hydrology*, v. 356, p. 174-184, 2008.

DIAGNÓSTICO DE ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DA MICROBACIA DO AÇUDE DO ARRIBITA – FORQUILHA - CE

Déborah de Andrade Aragão

Introdução

A escassez de chuvas condiciona entraves ao desenvolvimento econômico e, por consequência, limita o desenvolvimento social de locais onde ela está presente, em especial, por invariavelmente afetar a produção de alimentos da área, pois a maior parte da água para a agricultura provém das chuvas. Um pouco mais de 60% da produção global de alimentos é atribuído à chuva, e quase 40% à agricultura irrigada (SELBORNE, 2001).

Nessa realidade, criam-se conflitos políticos, culturais e econômicos em torno de água que acabam por infligir uma reflexão sobre a primazia dos usos e suas lógicas, observando sua interposição com o desenvolvimento, a degradação e a promoção da qualidade de vida (RIBEIRO; GALIZONI, 2003).

Historicamente, os processos produtivos nordestinos estão, invariavelmente, atrelados à prática do desmatamento, em que a pastagem, o consumo de recursos madeireiros, o cultivo agrícola ou a construção de obras de engenharia – estradas, edifícios e barragens – são algumas das principais causas que levam à degradação, que pode ser acelerada, dependendo das tecnologias empregadas, da intensidade de exploração e do nível social da comunidade (LIMA; SIDERSKY, 2002).

Uma avaliação que aborde a qualidade e a disponibilidade das águas em uma bacia é fundamental para que se possa conhecer em que condição se encontra o comprometimento dos recursos hídricos, quais as variáveis que atuam como impulsionadoras deste comprometimento, qual a relação entre eles e o uso da terra e da água nestas bacias (RÖRIG, 2005).

A área da microbacia do açude do Arribita caracteriza-se pelos elementos formadores da dinâmica política, social e ambiental do semiárido brasileiro, tendo sua realidade ligada a uma cultura de subsistência, com produção de alimentos para o consumo próprio, sem excedente econômico e sem opções de fontes de renda, reduzindo o grau de integração nos mercados e, consequentemente, caracterizando a vulnerabilidade destas populações e de suas atividades aos fenômenos da seca (NASCIMENTO, 2007).

Aspectos da pequena açudagem na gestão de microbacias hidrográficas

As primeiras tentativas de mitigar a falta de água, o principal efeito da seca, através do seu armazenamento em açudes, foram permeadas por decisões políticas e contaminadas pelo jogo de interesses dos poderes locais que se utilizam do fenômeno climático da estiagem como ferramenta de barganha e fortalecimento dos “currais políticos”. Com isso, as construções dos açudes eram realizadas com base em motivações distintas das que ansiavam atender as comunidades mais necessitadas, desconsiderando o caráter econômico e social, estando voltadas para atender as vontades dos governantes de maior prestígio (CAMPOS; STUART, 2001).

As comunidades nordestinas adaptaram-se de maneiramediamente satisfatória à sazonalidade climática, habituando-se a conviver com a ausência de precipitações durante um período anual de até oito meses, utilizando a água armazenada em cisternas, cacimbas, barreiros, poços, açudes e barragens (ANDRADE, 1998). Deve-se considerar, porém, o fato de que nem sempre houve benefícios econômicos esperados com a implementação dos reservatórios artificiais. Apenas 20% dos açudes são usados na distribuição de água, de forma que contribuem de maneira pouco significativa para o combate à seca, em decorrência da baixa capacidade técnica e da deficiência no uso social da água, especialmente no que diz respeito à produção de alimentos pela pesca e pela aquicultura (VELLOSO, 2000).

Com efeito, não se pode duvidar da importância da pequena açudagem do Ceará, do ponto de vista social e econômico, bem como da sua influência na dinâmica ambiental de suas bacias (CAMPOS; STUART, 2001). Durante a colonização do interior do País, a açudagem foi uma das estratégias utilizadas pelos sertanejos para minimizar os efeitos das secas e resolver o problema do abastecimento d'água que atingia os colonizadores e seus rebanhos (CAVALCANTE, 2007).

A pequena açudagem, por atender de maneira mais direta a comunidade nordestina, participa, de modo primordial, nos processos econômicos, e sua relação com o homem do local já se expressa profundamente estabelecida no contexto cultural. Por isso, deve ser um dos principais aspectos influenciadores das propostas de planejamento e gestão das bacias hidrográficas semiáridas (CAMPOS, 1999).

Portanto, ao se tratar da elaboração de planos de gestão para os recursos hídricos do semiárido, não se pode desconsiderar a fundamental importância da açudagem, mais especificamente os reservatórios de pequeno porte, disseminados em todo o território, participando e influenciando as dinâmicas sociais e ambientais, inseridos na complexa e delicada rede de relações estabelecidas nesse ambiente naturalmente fragilizado (LANNA, 1996).

Caracterização da área de estudo

A área de estudo se localiza no município de Forquilha, situado na Região Noroeste do Ceará, a 218 quilômetros de Fortaleza, na porção centro-sul da cidade (Figura 1), entre as coordenadas -40°32'64" e -40° 20'53" de latitude e -4°60'56" e -3°30'60" de longitude, onde o riacho Sabonete atua como uma das linhas de divisão político-administrativa com a cidade de Sobral - CE. O açude do Arribita, construído em 1992, é considerado de pequeno porte, por sua capacidade não passar dos 19.600.000m³.

De acordo com o mapa geológico Brasil (1979), a área está localizada no Complexo Geológico Nordestino, de origem pré-cambriana inferior a médio, formado por migmatitos, biotita-hornbleda-gnaises, granada-gnaisses, anfibolitos, calcários cristalinos, termos calci-silicatados e rochas graníticas a dioríticas.

A microbacia do açude do Arribita está inserida na unidade geomorfológica da Depressão Sertaneja (BRASIL, 1979), tendo a significante influência da Planície Fluvial, apesar de ocupar área menor. De acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recurso Hídricos (2009), as temperaturas apresentam valores elevados durante praticamente todo o ano, com médias em torno de 27 a 30 °C, com pluviometria média de 800mm com duas estações bem definidas: seca e chuva (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999). Nos compartimentos elevados do maciço residual da serra da Barriga, há um decréscimo pouco importante da temperatura, para os valores médios compreendidos entre 23 a 25 °C.

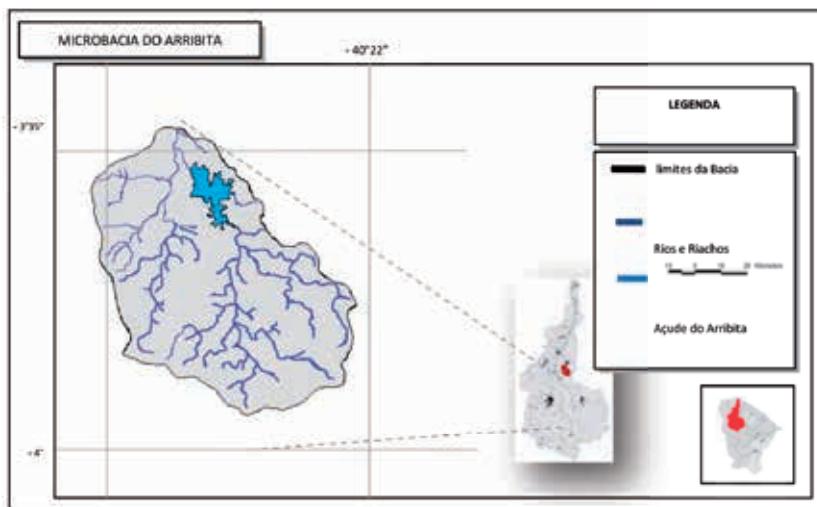


Figura 1 – Localização da Microbacia do Açude do Arribita
Fonte: (ARAGÃO, 2011).

Ainda de acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (1995), as amplitudes anuais, em geral, não ultrapassam 5 °C, correspondendo os meses mais quentes ao final da estação seca, entre novembro e dezembro.

De acordo com Jacomine (1986), os solos da área classificados como Argissolos com horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade alta, além de uma faixa de Luvissolos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural e alta atividade de argila e saturação por bases, têm relevo suave ondulado e ondulado (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006).

A cobertura vegetacional da área de estudo é caracterizada como caatinga arbórea aberta, mas há ocorrência de carnaúba (*Copernicia prunifera*), sendo a vegetação espaçada e caducifólia, configurando sua paisagem como instável e vulnerável à degradação (BRASIL, 1981). A região do Arribita (Figura 2) foi um dos primeiros núcleos de povoamento da área do município de Forquilha, originando outros povoamentos pioneiros que formaram as comunidades do Trapiá, Andreza, Campo Novo e Várzea da Cobra. O povoamento da área do Arribita se restringe a antigos moradores e seus familiares que detiveram a posse das terras por meio de herança.

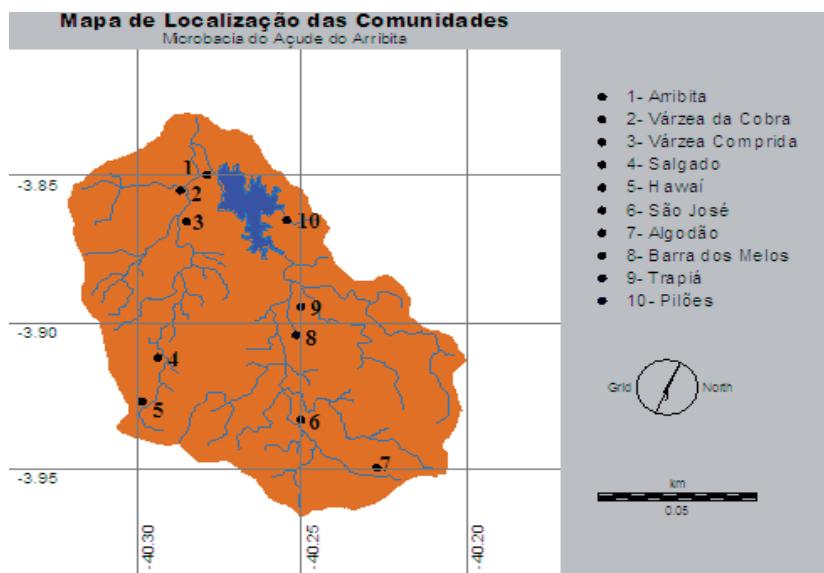


Figura 2 – Localização das Comunidades da Microbacia do Açude do Arribita
Fonte: (ARAGÃO, 2011).

Base Metodológica

No desenvolvimento deste trabalho, foi adaptada a metodologia de Dill (2007) para determinar a deterioração da área da microbacia do açude do Arribita. A proposta metodológica do autor leva em consideração 21 (vinte e um) parâmetros, constando de 86 (oitenta e seis) subdivisões na análise da deterioração das bacias hidrográficas.

Na metodologia de Dill (2007), cada parâmetro foi subdividido de acordo com suas características e a cada subdivisão foi atribuído um valor ponderado (peso), variando de 1 (um), menor deterioração, a 10 (dez), maior deterioração, conforme o número de classes estabelecidas por parâmetros. Sendo assim, à classe de maior valor ponderado (peso) corresponde maior deterioração ambiental da bacia hidrográfica.

Para a reta de deterioração o autor utilizou-se de cálculo em que considera os valores ponderados máximo e mínimo determinados para cada aspecto. No caso da metodologia original, foram avaliados 86 tópicos em que o menor valor possível atribuído é 1 e o maior é 10, ficando os valores máximo em 860 e mínimo em 86, que foram aplicados na seguinte equação:

$$Y = a + bx \quad (1)$$

Considerando-se os valores mínimos e máximos de Dill (2007), tem se:

$$a + bx = 0, \text{ onde } x = \text{ somatório dos valores mínimos (86)} \quad (2)$$

$$a + bx = 100, \text{ onde } x = \text{ somatório dos valores máximos (860)} \quad (3)$$

Subtraindo-se a equação (2) da equação (3) são computados para a e b os valores:

$$a = -11,111 \quad b = 0,129$$

Substituindo-se na equação (1) os valores encontrados para a e b, tem-se a equação da reta:

$y = 0,129 x - 11,111$, com os valores de y em percentagem (%).

No trabalho de Dill (2007) foram determinadas, a partir do cálculo dos valores ponderados, classes de deterioração que foram divididas em 4 (quatro) subparâmetros (C1, C2, C3, C4), sendo o valor ponderado encontrado para cada um deles multiplicado pela sua contribuição, chegando ao valor da interação. O autor determinou que as amplitudes e intervalos utilizam-se dos valores encontrados para estabelecer as classes de deterioração, demonstrado de acordo com o modelo:

$$\begin{array}{ll} \text{Maior valor da interação: } 11 & \text{Menor valor da interação: } 1 \\ \text{Amplitude } 11 - 1 = 10 & \text{Intervalo: } 10/4 = 2,5 \end{array}$$

Classes Intervalo – Orientações

C1 1,0.....2,5.....3,5 Pequenas orientações

C2 3,6.....2,5.....6,1 Pequenas permanentes

C3 6,2.....2,5.....8,7 Orientação permanente

C4 8,8.....2,5.....11,0 Pior situação – Persistentes orientações

Adaptação metodológica

A área de estudo possui características bastante peculiares, apresentando ausência de alguns aspectos levantados na metodologia de Dill (2007) em razão, principalmente, da homogeneidade de sua conformação e por estar inserida em área rural. Isso acarreta a nulidade de determinadas características, tornando o levantamento de alguns aspectos sem fundamento ou inapropriado.

Em razão disto, além de procurar atender as necessidades e as condições da pesquisa, optou-se pela adaptação da metodologia, modificando alguns parâmetros, considerando sua relevância para a caracterização da área, sendo: Solos, Flora, Fauna, Recurso Hídrico Superficial, Aspectos Sociais, Aspectos Econômicos, Uso e Ocupação do Solo, Diagnóstico Ambiental, Situação de Risco, Saúde Pública, Aspectos Legais e Institucionais e Estrutura Urbana. Estes 12 parâmetros estão listados no Quadro 1 com suas 50 (cinquenta) subdivisões.

Quadro 1 – Parâmetros e subdivisões utilizados na pesquisa. Adaptado de Dill (2007)

PARAMETRO	SUBDIVISÕES
SOLOS (S)	S1 – Erosões
	S2 – Técnicas conservacionistas nas propriedades agrícolas
FLORA (F)	F1 – Cobertura florestal
	F2 – Desmatamentos
	F3 – Floresta exótica
FAUNA (Fa)	Fa1 – Caça e pesca predatória
	Fa2 – Fauna exótica
RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL (RH)	RH1 – Qualidade
	RH2 – Quantidade
	RH3 – Disponibilidade/demanda agropecuária/indústria/consumo humano
	RH4 – Captação de água superficial
	RH5 – Vulnerabilidade do aquífero à poluição (indústria, lavoura com aplicação de agrotóxicos, cidades, lixão)
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (U)	U1 – Ocupação humana (áreas construídas) na bacia hidrográfica
	U2 – Conflitos ambientais
	U3 – Área a reflorestar
	U4 – Monocultura
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL (Da)	Da1 – Áreas de deposição inadequada de resíduos
	Da2 – Destino dos resíduos sólidos urbanos
	Da3 – Destino dos resíduos agropecuários (suínos, aves, bovinos entre outros)
	Da4 – Tratamento de esgoto
	Da5 – Aplicação de agrotóxicos
	Da6 – Cemitério acima das áreas de captação de água para abastecimento público
SITUAÇÕES DE RISCO (R)	R1 – Inundações (enchentes)
	R2 – Queimadas
	R3 – Deslizamentos de encostas
ASPECTOS SOCIAIS (As)	As1 – Taxa de analfabetismo
	As2 – Tipo de habitação
	As3 – Qualidade de vida segundo a comunidade
ASPECTOS ECONÔMICOS (Ae)	Ae1 – Nível de renda das famílias
	Ae2 – Taxa de desemprego da população
	Ae3 – Satisfação econômica segundo a comunidade
ESTRUTURA URBANA (Eu)	Eu1 – Energia elétrica nas residências
	Eu2 – Sistema de abastecimento d'água (% casa com água tratada)
	Eu3 – Escolas
	Eu4 – Áreas de lazer
	Eu5 – Segurança pública
	Eu6 – Telefonia
	Eu7 – Coleta de resíduos sólidos
	Eu8 – Iluminação pública
	Eu9 – Bens tombados
	Eu10 – Arborização urbana/rural
SAÚDE PÚBLICA (Sp)	Sp1 – Doenças vinculadas à água na região
	Sp2 – Atendimento médico
	Sp3 – Postos de saúde/hospitais
	Sp4 – Envenenamentos devido ao uso inadequado de agrotóxicos nos últimos dois anos
ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS (Li)	Li1 – Aplicação da legislação ambiental
	Li2 – Unidades de Conservação
	Li3 – Instrumentos fiscais
	Li4 – Instrumentos financeiros
	Li5 – Apoio aos agricultores

Fonte: (ARAGÃO, 2011).

Estes 12 parâmetros com suas 50 subdivisões, para as quais se atribuiu valores mínimo de 1 (um) e máximo de 10 (dez), resultando para somatório dos mínimos e dos máximos os valores de 50 (cinquenta) e 500 (quinhentos), respectivamente, valores estes empregados no presente estudo para computação da equação da reta de deterioração, como segue:

$$y = a + bx \quad (4)$$

Considerando-se os valores mínimos e máximos para o presente estudo, tem-se:

$$a + bx = 0, \text{ onde } x = \text{somatório dos valores mínimos (50)} \quad (5)$$

$$a + bx = 100, \text{ onde } x = \text{somatório dos valores máximos (500)} \quad (6)$$

Subtraindo-se a equação (5) da equação (6), são computados para a e b os valores:

$$a = -11,111 \quad \text{e} \quad b = 0,222$$

Substituindo-se na equação (4) os valores encontrados para a e b, tem-se a equação da reta de degradação:

$$y = 0,222x - 11,111, \text{ com os valores de } y \text{ em percentagem (%).}$$

Nesta pesquisa, em função da homogeneidade dos ambientes e pelo tamanho reduzido da área, optou-se por não se utilizar das classes de deterioração, em razão de não apresentarem variação significativa de uma região para outra.

Para coleta de informações secundárias, no que tange às pesquisas bibliográficas, foi feito levantamento em revistas indexadas de temas correlatos ao escopo da pesquisa, como o semiárido, degradação ambiental, uso e ocupação do solo e recursos hídricos, monografias e dissertações, livros para catalogação e fichamentos de informações pertinentes ao trabalho.

Cada parâmetro foi analisado de maneira específica, tendo para suas subdivisões critérios individuais de obtenção dos valores ponderados, em que os intervalos de valores não foram alterados e, para os parâmetros acrescentados, utilizou-se a mesma linha de pensamento da metodologia de Dill (2007).

Para a determinação dos valores ponderados para cada subdivisão também se optou por utilizar uma adaptação da metodologia original de maneira a atender as perspectivas da pesquisa, utilizando-se dos mesmos padrões para as subdivisões que foram acrescidas no trabalho, ficando de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros para a determinação dos valores ponderados

DETERMINAÇÃO DE VALORES PONDERADOS			
PARÂMETRO	SUBDIVISÕES	CLASSE	VALOR PONDERADO
SOLOS (S)	S1 – Erosões	Sem erosões	1
		Laminar	3
		Sulcos	5
		Voçorocas	10
	S2 – Técnicas conservacionistas nas propriedades agrícolas	100%	1
		90 – 99	2
		80 – 89	3
		70 – 79	4
		60 – 69	5
		50 – 59	6
		40 – 49	7
		30 – 39	8
		20 – 29	9
		< 20% das propriedades com técnicas conservacionistas	10
FLORA (F)	F1 – Cobertura florestal	0 – 5	10
		5,1 – 10	9
		10,1 – 15	8
		15,1 – 20	7
		20,1 – 25	6
		25,1 – 30	5
		30,1 – 35	4
		35,1 – 40	3
		40,1 – 45	2
		> 45,1	1
	F2 – Desmatamentos (perda de biodiversidade)	Não ocorrem desmatamentos	1
		Ocorrem desmatamentos/mata nativa	10
	F3 – Floresta exótica	Não ocorre floresta exótica	1
		Ocorre floresta exótica	10

FAUNA (Fa)	Fa1 – Caça e pesca predatória	Não ocorre caça e pesca predatória	1
		Ocorre caça e pesca predatória	10
	Fa2 – Fauna exótica	Não existe criação de fauna exótica	1
RECURSOS HIDRÍDICOS SUPERFICIAIS (RH)	RH1 – Qualidade (De acordo com a Lei 9433/97)	Ocorrem criações de fauna exótica	10
		Adequada	1
		Parcialmente adequado (≥ 2 parâmetros)	3
		Parcialmente inadequado ($\geq 3 \leq 5$ parâmetros)	5
	RH2 – Quantidade	Completamente inadequado (≤ 6 parâmetros)	10
		Recurso hídrico não seca durante todo o ano	1
		Recurso hídrico seca em épocas do ano	10
	RH3 – Disponibilidade/ demanda agropecuária/ indústria/consumo humano	Sem conflito	1
		Com conflito	10
RECURSOS HIDRÍDICOS SUPERFICIAIS (RH)	RH4 – Captação de água superficial	100% das propriedades	1
		90 - 99	2
		80 - 89	3
		70 - 79	4
		60 - 69	5
		50 - 59	6
		40 - 49	7
		30 - 39	8
		20 - 29	9
		< 20%	10
	RH5 – Vulnerabilidade do aquífero à poluição (indústria, lavoura, com aplicação de agrotóxicos, cidades, lixão)	0% da área com possibilidade de poluição.	1
		10%	2
		10,1 - 20%	3
		20,1 - 30%	4
		30,1 - 40%	5
		40,1 - 50%	6
		50,1 - 60%	7
		60,1 - 70%	8
ASPECTOS SOCIAIS (As)	As1 – Taxa de analfabetismo (adultos maiores de 18 anos)	70,1 - 80%	9
		80,1 - 90%	10
		0%	1
		0,1 - 5%	2
		5,1 - 10%	3
		10,1 - 15%	4
		15,1 - 20%	5
		20,1 - 25%	6
		25,1 - 30%	7
		30,1 - 35%	8
	As2 – Tipo de habitação	35,1 - 40%	9
		> 40%	10
		Casa de alvenaria boa	1
		Casa de alvenaria ruim	3
	As3 – Qualidade de vida segundo a comunidade	Casa de alvenaria e taipa	5
		Casa de taipa boa	7
		Casa de taipa ruim	10
	As3 – Qualidade de vida segundo a comunidade	Boa	1
		Média	5
		Ruim	10

ASPECTOS ECONÔMICOS (Ae)	Ae1 – Nível de renda das famílias	< 1 salário	10
		1,1 - 3	9
		3,1 - 6	8
		6,1 - 9	7
		9,1 - 12	6
		12,1 - 15	5
		15,1 - 18	4
		18,1 - 21	3
		21,1 - 24	2
		> 24	1
ASPECTOS ECONÔMICOS (Ae)	Ae2 – Taxa de desemprego da população	0	1
		Até 10%	2
		10,1 - 20%	3
		20,1 - 30%	4
		30,1 - 40%	5
		40,1 - 50%	6
		50,1 - 60%	7
		60,1 - 70%	8
		70,1 - 80%	9
		Acima de 80%	10
ASPECTOS ECONÔMICOS (Ae)	Ae3 – Satisfação econômica segundo a comunidade	Alta	1
		Média	5
		Baixa	10
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (U)	U1 – Ocupação humana (áreas construídas) na bacia hidrográfica	0 – 10	1
		10,1 – 20	2
		20,1 – 30	3
		30,1 – 40	4
		40,1 – 50	5
		50,1 – 60	6
		60,1 – 70	7
		70,1 – 80	8
		80,1 – 90	9
		90,1 – 100	10
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (U)	U2 – Conflitos ambientais	Não ocorrem	1
		Ocorrem	10
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (U)	U3 – Área a reflorestar	0%	1
		Até 10%	2
		10,1 - 20%	3
		20,1 - 30%	4
		30,1 - 40%	5
		40,11 - 50%	6
		50,1 - 60%	7
		60,1 - 70%	8
		70,1 - 80%	9
		Acima de 80%	10
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (U)	U4 – Monocultura	0% das propriedades rurais	1
		Até 10%	2
		10,1 - 20%	3
		20,1 - 30%	4
		30,1 - 40%	5
		40,11 - 50%	6
		50,1 - 60%	7
		60,1 - 70%	8
		70,1 - 80%	9
		Acima de 80%	10

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL (Da)	Da1 – Áreas de deposição inadequada de resíduos	Nenhuma área de deposição inadequada encontrada	1
		1	3
		2	5
		3	7
		≥ 4	10
	Da2 – Destino dos resíduos sólidos urbanos	Usina de seleção e tratamento de lixo / Aterro sanitário	1
		Lixão	10
	Da3 – Destino dos resíduos agropecuários (suínos, aves, bovinos entre outros)	Adubação (compostagem), energia	1
		Não utiliza sustentavelmente na propriedade	10
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL (Da)	Da4 – Tratamento de esgoto	ETE ou STEC*	1
		Poço negro ou fossa	5
		Eliminação livre	10
	a6 – Aplicação de agrotóxicos	0% das propriedades	1
		Até 10%	2
		10,1 - 20%	3
		20,1 - 30%	4
		30,1 - 40%	5
		40,11 - 50%	6
		50,1 - 60%	7
		60,1 - 70%	8
		70,1 - 80%	9
		Acima de 80%	10
ESTRUTURA URBANA (Eu)	Eu1 – Energia elétrica nas residências	Não ocorre	1
		Ocorre	10
		< 20%	10
		20 - 29	9
		30 - 39	8
		40 - 49	7
		50 - 59	6
		60 - 69	5
		70 - 79	4
		80 - 89	3
ESTRUTURA URBANA (Eu)	Eu2 – Sistema de abastecimento d'água (% casa com água tratada)	90 - 99	2
		100%	1
		< 20%	10
		20 – 29	9
		30 – 39	8
		40 – 49	7
		50 – 59	6
		60 – 69	5
		70 – 79	4
		80 – 89	3
ESTRUTURA URBANA (Eu)	Eu 3 – Escolas	90 – 99	2
		100%	1
		Suficiente	1
		Insuficiente	10

ESTRUTURA URBANA (Eu)	Eu 4 – Áreas de lazer	Suficiente	1
		Insuficiente	10
	Eu 5 – Segurança pública	Satisfatório	1
		Insatisfatório	10
	Eu 6 – Telefonia	< 20% das propriedades	10
		20 - 29	9
		30 - 39	8
		40 - 49	7
		50 - 59	6
		60 - 69	5
		70 - 79	4
		80 - 89	3
		90 - 99	2
		100%	1
ESTRUTURA URBANA (Eu)	Eu 7 – Coleta de resíduos sólidos	Todos os dias úteis	1
		3 vezes semana	3
		2 vezes semana	5
		1 vez semana	7
		Não ocorre	10
	Eu 8 – Iluminação pública	< 20% das ruas com iluminação pública	10
		20 - 29	9
		30 - 39	8
		40 - 49	7
		50 - 59	6
		60 - 69	5
		70 - 79	4
		80 - 89	3
		90 - 99	2
		100%	1
ESTRUTURA URBANA (Eu)	Eu 9 – Bens tombados	Existem	1
		Não existem	10
	Eu10 – Arborização urbana/ rural	< 20% das ruas/estradas com arborização	10
		20 - 29	9
		30 - 39	8
		40 - 49	7
		50 - 59	6
		60 - 69	5
		70 - 79	4
		80 - 89	3
		90 - 99	2
		100%	1
SITUAÇÕES DE RISCO (R)	R1 – Inundações (enchentes)	Não ocorrem	1
		Ocorrem	10
	R2 – Queimadas	> 80% das propriedades fazem queimadas	10
		70,1% - 80%	9
		60,1% - 70%	8
		50,1% - 60%	7
		40,1% - 50%	6
		30,1% - 40%	5
		20,1% - 30%	4
		10,1% - 20%	3
		< 10 %	2
	R3 – Deslizamentos de encostas	Sem queimadas	1
		Não ocorrem	1
		Ocorreram nos últimos dez anos	10

SAÚDE PÚBLICA	Sp1 – Doenças vinculadas à água na região	Alta incidência	10
		Média incidência	5
		Baixa incidência	1
	Sp2 – Atendimento médico/ odontológico	Satisfatório	1
		Insatisfatório	10
		Satisfatório	1
		Insatisfatório	10
	Sp3 – Postos de saúde/ hospitais	Mais de cinco casos	10
		1 - 5	5
		Nenhum caso	1
ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS (Li)	Li1 – Aplicação da legislação ambiental	Ocorre	1
		Não ocorre	10
	Li2 – Unidades de Conservação	Existem	1
		Não existem	10
	Li3 – Instrumentos financeiros	Projetos de desenvolvimento sustentável	1
		Sem projetos de desenvolvimento sustentável	10
	Li4 – Instrumentos fiscais	Ocorre fiscalização dos órgãos ambientais	1
		Não ocorre fiscalização dos órgãos ambientais	10
	Li5 – Apoio aos agricultores	Ocorre assistência técnica	1
		Não ocorre assistência técnica	10

Fonte: (ARAGÃO, 2011).

Levantamento de aspectos ambientais

O levantamento ambiental buscou caracterizar os recursos naturais da área de estudo, tomando por base trabalhos como Nolêto (2007), Brasil (1979), Andrade (2006) e Nascimento (2003). Com suporte nos dados desses trabalhos foram feitos mapas das características ambientais da área, confeccionados com as mesmas bases cartográficas do mapa de localização para a classificação automática da imagem de satélite Landsat, bandas 2, 3, 5 e 7, usando os programas Idrisi, versão 3.22 (EASTMAN; IDRISI, 2002) e CartaLinx 1.0 (HAGAN; EASTMAN, 2002).

Em adição às características sociais, ambientais e econômicas da área, optou-se por dar especial atenção à qualidade da água, bem como aos seus usos e à contribuição do reservatório na melhoria da qualidade de vida dos moradores do local. Optou-se por averiguar as alterações ocorridas na dinâmica socioeconômica da comunidade, bem como a qualidade ambiental do local após a construção do açude do Arribita.

Procedeu-se também ao cálculo da Reta de Deterioração específica para tais parâmetros, onde se obteve que:

$$y = a + bx \quad (7)$$

Considerando-se os valores mínimos e máximos para o presente estudo, tem-se:

$$a + bx = 0, \text{ onde } x = \text{somatório dos valores mínimos} \quad (8)$$

$$a + bx = 100, \text{ onde } x = \text{somatório dos valores máximos} \quad (250) \quad (9)$$

Subtraindo-se a equação (8) da equação (7) são computados para a e b os valores:

$$a = -11,111 \quad b = 0,444$$

Substituindo-se na equação (9) os valores encontrados para a e b, tem-se a equação da reta de degradação:

$$y = 0,444x - 11,111, \text{ com os valores de } y \text{ em percentagem (%).}$$

Levantamento de aspectos socioeconômicos

O levantamento de aspectos socioeconômicos apanhou características da população e das atividades econômicas desenvolvidas na área, utilizando-se de referências bibliográficas e de dados quantitativos levantados por meio de questionários que, posteriormente, foram codificados e tratados no programa SPSS. Tais dados serviram de fundamento para esclarecer, também, algumas questões relacionadas à ocorrência de degradação decorrentes da ação humana no local, ressaltando que não foi utilizada amostragem, visto que os questionários foram aplicados em mais de 80% das famílias presentes na região do entorno do açude, totalizando cerca de 170 residências.

Os aspectos observados buscaram identificar a qualidade de vida da comunidade, fundamentada na perspectiva dos próprios moradores, associada ao levantamento dos equipamentos de infraestrutura, segurança e saúde disponíveis da região.

Para estes parâmetros, também se optou pelo cálculo e uso da Reta de Deterioração Específica, para dedução da qual tem-se:

$$y = a + bx \quad (10)$$

Considerando-se os valores mínimos e máximos para o presente estudo, tem-se:

$$a + bx = 0, \text{ onde } x = \text{somatório dos valores mínimos} \quad (25) \quad (11)$$

$$a + bx = 100, \text{ onde } x = \text{somatório dos valores máximos} \quad (250) \quad (12)$$

Subtraindo-se a equação (11) da equação (10) são computados para a e b os valores:

$$a = -11,111 \quad b = 0,444$$

Substituindo-se na equação (12) os valores encontrados para a e b, tem-se a equação da reta de degradação:

$$y = 0,444x - 11,111, \text{ com os valores de } y \text{ em percentagem (%).}$$

Para coleta das informações sobre a ocupação, foram utilizados os dados dos questionários e entrevistas. Em virtude da deficiência de dados oficiais que mostrem corretamente o histórico de ocupação da área, as informações obtidas serviram como complementação fundamental aos dados fornecidos pelos órgãos municipais e deram base à pesquisa de campo.

Resultados e Discussões

Levantamento De Aspectos Ambientais

(S) Solos

Erosões (S1)

Nas visitas em campo, baseadas no levantamento bibliográfico realizado a respeito dos solos, relevo e geomorfologia da área, constatou-se a presença de erosão do tipo laminar, bastante característica do tipo de solos presentes na área, com base nos atributos e características dos solos relacionadas ao Grupo de Resistência à Erosão (BERTOLINI; LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1993), nas características físicas e hídricas dos podzólicos, nas descrições morfológicas dos perfis dos solos e nos demais dados do meio físico da bacia hidrográfica que possuem textura arenosa/média e média/média e baixa resistência à erosão. Tal tipologia erosiva indica, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado 3.

Técnicas conservacionistas nas propriedades agrícolas (S2)

As técnicas de plantio degradadoras foram alvo de poucas alterações com a construção do açude. No caso da coivara, essa prática foi reduzida de 71,1% para 65,3% e o uso de agrotóxicos teve queda de 6,1% para 4,1%. Cerca de 63,3% dos entrevistados, no entanto, afirmaram que a produtividade melhorou. Este resultado indicou, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado de 10, pois menos que 20% das propriedades registraram o uso de alguma dessas técnicas.

(F) Flora

Cobertura vegetal (F1)

De acordo com o NDVI calculado para a área, percebe-se que a cobertura vegetal apresenta-se em baixa incidência em uma extensão

preocupante, sendo cerca de 5527,4 hectares a extensão com os índices de 0,2 a 0,4. Sendo assim, considera-se, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado 10.

Desmatamentos (F2)

Seguindo as características da maioria das propriedades rurais nordestinas, na área da microbacia do Arribita, ocorre um alto percentual de prática de queimadas efetuadas por seus moradores. De acordo com a pesquisa, cerca de 90% praticam coivara e 30% utilizam-se de madeira retirada da região para uso doméstico, atribuindo-se, de acordo com o Quadro 2, um valor ponderado 10 para esse item.

Floresta exótica (F3)

Na área, constatou-se a presença de espécies exóticas, principalmente para serem utilizadas com fins de sombreamento, como *Azadirachta indica* (Nim Indiano) e, com menor frequência, de *Ficus benjamina* (ficus, sempre verde), mas que a quantidade e dispersão não chegam a caracterizar como floresta exótica. Portanto, o valor ponderado para este subparâmetro, de acordo com o Quadro 2, foi de 1.

(Fa) Fauna

Caça e pesca predatória (Fa 1)

Com relação à pesca, somente 8,3% dos moradores afirmam pescar no reservatório e que retiram apenas o necessário para sua alimentação, não tendo propósitos comerciais. Percebe-se a prática da pesca de lazer realizada por visitantes, principalmente nas margens próximas à parede do açude do Arribita, mas não se configurando como pesca predatória tanto pela quantidade de espécies retiradas como pelos instrumentos utilizados (vara e linha), sendo, portanto, estabelecido, de acordo com o Quadro 2, o valor ponderado de 1 para esse item.

Fauna exótica (Fa2)

Embora na área estudada a ocorrência de criação de animais exóticos ao ecossistema da caatinga seja quase insignificante, tendo apenas três (3) residências com pombos comuns (*Columba livia*) e papagaios (*Amazona aestiva*), considerou-se, de acordo com o Quadro 2, o valor ponderado de 10, em razão da possibilidade de estas espécies causarem desequilíbrio ambiental e ameaça à biodiversidade local, caso sejam liberadas na área.

(RH) Recurso hídrico superficial

Qualidade da água (RH1)

Em razão de ser a água de consumo humano um dos mais importantes veículos de transmissão de enfermidades de natureza infecciosa, o que torna de suma importância a promoção da saúde das pessoas das comunidades, optou-se por efetuar uma secção específica sobre este tema. De acordo com os resultados encontrados nas análises de água feitas na área, considera-se, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado 5.

Quantidade de água (RH2)

O rio Sabonete, recurso represado para a construção do açude do Arribita, se enquadra nas características dos rios da Região Nordeste, secando durante a época de estiagem. Para fins da pesquisa, porém, o recurso avaliado é o açude que, segundo foi averiguado, não secou neste a época de sua construção, em 1992, e que, embora tenha chegado a baixos níveis de água, nunca chegou a deixar de fornecer o suficiente para as atividades básicas da comunidade. Isso permite a atribuição, de acordo com o Quadro 2, do valor ponderado 1 para esse critério.

Disponibilidade/Demanda agropecuária/indústria/consumo humano (RH3)

Na área de estudo, com relação ao uso da água do açude, observou-se que é praticamente limitado às atividades domésticas, já que seria dispendioso o uso nas atividades produtivas em razão da taxação e cobrança pela água. Além disso, as restrições de uso e acesso ao reservatório ditadas pela COGERH reduzem a utilização direta das águas, sendo que apenas 6,1% dos entrevistados afirmaram buscar e/ou usar água do reservatório e apenas 4,1% afirmaram que seus animais de criação bebiam diretamente do açude. Portanto, a região não apresenta conflitos com relação ao uso deste recurso, o que confere a este subparâmetro, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado de 1.

Acesso ao abastecimento de água (RH4)

Na área estudada, a captação de água superficial do reservatório do açude do Arribita tem como finalidade básica o abastecimento de água para a população locada em sua circunvizinhança. De acordo com dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (2009) e indicadores obtidos em campo, cerca de 98% das residências locadas na microbacia possuem abastecimento de água fornecido pelo açude. O item recebe, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado de 2.

Vulnerabilidade do aquífero à poluição (RH5)

Considerou-se a vulnerabilidade do aquífero, determinada com base da identificação da qualidade da água, obtida a partir das análises feitas em diferentes pontos da microbacia, associada ao levantamento das atividades consideradas poluidoras que se estabelecem da região. De acordo com os resultados obtidos, o valor ponderado, como mostra o Quadro 2, foi de 4.

(U) Uso e ocupação do solo

Ocupação humana (U1)

No caso das áreas próximas ao reservatório do Arribita, a COGERH impõe restrições no uso da terra, que se refletem também nas áreas utilizadas para o plantio, pois apenas 6,1% das pessoas pesquisadas afirmaram realizar o plantio de vazante, sendo que este é feito longe da parede de barramento do açude. Cerca de 49%, contudo, afirmam realizar plantio na jusante do reservatório, aproveitando a umidade da terra promovida pelo açude. A ocupação humana na área é reduzida, portanto se indica, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado 1.

Conflitos ambientais (U2)

Na área de estudo, estes conflitos inexistem, seja pela conformação social e política na qual se inserem atores com atividades dissociadas e não conflitantes, seja por não haver nenhum recurso ambiental ambicionado ou não distribuído. A própria estruturação da comunidade e a maneira como ocorreram a ocupação e uso do solo podem explicar a ausência desses conflitos, já que a maioria dos moradores são donos das terras que ocupam e praticam atividades que se harmonizam com os interesses coletivos. Neste caso o valor atribuído ao item, de acordo com o Quadro 2, é de 1.

Área a reflorestar (U3)

As árvores são um elemento vital para a economia de subsistência das populações rurais menos favorecidas. O cultivo de florestas nas propriedades rurais permite que o produtor rural possa acrescentar uma nova fonte de renda e trabalho em longo prazo, possibilitando o estabelecimento de uma agricultura sustentável na região, pois esta é constituída, na sua maioria, por pequenas propriedades (ALTMANN, 2002). Conforme Postel e Heise (1989), a principal finalidade da maioria das operações de reflorestamento realizadas nas últimas décadas foi a

de abastecer as cidades com produtos como madeira e lenha, todos de comprovado valor comercial. Segundo o NDVI, indica-se o valor ponderado, de acordo com o Quadro 2, de 9, para este aspecto.

Monocultura (U4)

A monocultura nas pequenas propriedades nordestinas está longe de se associar aos grandes empreendimentos de monocultura extensiva realizadas por propriedades de agricultura familiar das Regiões Sul e Sudeste. No caso da área de estudo, as pequenas propriedades, cerca de 28,6% realizam plantio de gêneros alimentícios, principalmente de milho e feijão que, em maioria, são para consumo próprio e que são a base alimentar das famílias. Cerca de 68% das famílias realizam monocultura em alguma área específica, não se utilizando da rotação de cultura como prática frequente. Embora a prática da monocultura não seja extensiva, mas por estar associada a outras práticas danosas ao meio ambiente e ausência de técnicas conservacionistas na maioria das propriedades, considerou-se atribuir ao item, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado 8.

(Da) Diagnóstico ambiental

Áreas de deposição inadequada de resíduos (Da1)

Na área da microbacia do açude do Arribita, constatou-se que não há sistema de coleta de resíduos sólidos, pois, segundo a Prefeitura Municipal de Forquilha, isto obriga os moradores locais a despejarem seu lixo em áreas próximas às suas propriedades e, com menor frequência, alguns resíduos também são depositados às margens dos córregos e do açude, embora haja fiscalização da COGERH e de proprietários circunvizinhos.

Segundo os moradores, são resíduos produzidos por pessoas que possuem propriedades na área, mas que a utilizam como casa de veraneio, não tendo o hábito de queimá-los. Para esse item, de acordo com o Quadro 2, o valor ponderado é de 3.

Destino dos resíduos sólidos urbanos (Da2)

Em 1991, 31,6% do total de lixo produzido na zona rural foram enterrados ou queimados. Esse percentual subiu para 52,5%, em 2000, evidenciando a magnitude do problema da eliminação do lixo nas propriedades rurais (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006).

A maioria dos morados da microbacia do Arribita, cerca de 98% realiza, frequentemente, a prática danosa da queima deste material. Portanto, atribui-se, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado de 10.

Destino de resíduos agropecuários (Da3)

Por meio dos questionários, pode-se identificar o fato de que a maioria dos produtores rurais utiliza o esterco bovino para adubação em suas plantações. Embora em alguns casos o manejo não seja adequado, essa prática evita que os dejetos se acumulem em locais inadequados. Para esse subparâmetro, de acordo com o Quadro 2, atribui-se valor ponderado de 1.

Tratamento de esgoto (Da4)

As melhorias estruturais e sanitárias trazidas pela construção do reservatório se limitaram à construção de banheiros e ao fornecimento de água encanada que, neste caso, atende a 98% dos moradores da área. Do ponto de vista do escoamento dos efluentes, a melhora foi significativa, pois antes da construção do açude apenas 4,2% possuíam fossa; hoje esse número subiu para 97%, embora ainda haja 2,1% com fossa rudimentar. Portanto, para esse item, estabeleceu-se, de acordo com o Quadro 2, o valor ponderado de 5.

Aplicação de agrotóxicos (Da6)

A área exibe uma produção voltada para o consumo próprio, não havendo grandes propriedades nem agricultura extensiva. Além disso, os custos do uso dos agrotóxicos não são compensados pelo pequeno aumento da produtividade e, portanto, não podem ser arcados pelos produtores do Arribita. Somente 2% afirmaram utilizar-se desses produtos, o que equivale, de acordo com o Quadro 2, ao valor ponderado 2.

Cemitério acima das áreas de captação de água para abastecimento público (Da7)

O cemitério, presente na área da microbacia, localiza-se, coincidentemente, afastado do reservatório e de outros recursos hídricos, não sendo provável a contaminação dessas águas pelos produtos da decomposição de corpos. Para esse item, o valor ponderado, de acordo com o Quadro 2, é de 1.

(R) Situações de risco

As situações de risco ambiental são deveras complexas por causarem interferência no panorama de mobidade e mortalidade das populações. Isso incute a necessidade de trabalhos, intervenções e planejamento integrados, envolvendo concretos mecanismos de ação de diversas instituições envolvidas nesta questão, tais como o Sistema Único de Saúde e os Ministérios, como os da Saúde, Meio Ambiente, Seguridade Social e Trabalho.

Fundamentado nisto, foram levantados dados sobre os aspectos de risco presentes na microbacia, observando-se elementos como as queimadas, inundações e deslizamento de encostas, para atribuir-se os valores ponderados respectivos, de acordo com o demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Aspectos de Situações de Risco e valores ponderados atribuídos, de acordo com o Quadro 2, Microbacia de Açude do Arribita. Adaptado de Dill (2007)

PARÂMETRO	SITUAÇÃO NA ÁREA	VALOR PONDERADO
R1 – Inundações/Enchentes	Segundo relatos da população, nos anos de 2008 e 2009 ocorreram pequenas inundações na área. Não houve grandes danos físicos, mas houve pequenas perdas na agricultura.	10
R2 – Queimadas	De acordo com os resultados obtidos por meio dos questionários, mais de 80% das propriedades da microbacia realizam queimadas.	10
R3 – Deslizamentos de encostas	Pelas características físicas da área, bem como seu relevo pouco acidentado, deslizamentos seriam ocorrências raras de se observar na área, tendo a confirmação, por parte da população, de que não ocorrem.	1

Fonte: (ARAGÃO, 2011).

A maioria das questões observadas, bem como os valores ponderados obtidos, dizem respeito às relações estabelecidas da comunidade com o uso e ocupação do solo e da ausência de políticas públicas que permitam alternativas no modo de produção, com vistas a alcançar práticas sustentáveis, como demonstra a compilação de valores do Quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros e subdivisões e valores ponderados.

A – Aspectos ambientais

PARÂMETRO	SUBDIVISÕES	NOTAS
SOLOS (S)	S1 – Erosões	3
	S2 – Técnicas conservacionistas nas propriedades agrícolas	10
FLORA (F)	F1 – Cobertura florestal	10
	F2 – Desmatamentos	10
	F3 – Floresta exótica	1
FAUNA (Fa)	Fa1 – Caça e pesca predatória	1
	Fa2 – Fauna exótica	10
RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL (RH)	RH1 – Qualidade	
	RH2 – Quantidade	1
	RH3 – Disponibilidade/demandas agropecuária/indústria/consumo humano	1
	RH4 – Captação de água superficial	2
	RH5 – Vulnerabilidade do aquífero à poluição (indústria, lavoura, com aplicação de agrotóxicos, cidades, lixão)	4
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (U)	U1 – Ocupação humana (áreas construídas) na bacia hidrográfica	1
	U2 – Conflitos ambientais	1
	U3 – Área a reflorestar	9
	U4 – Monocultura	8
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL (Da)	Da1 – Áreas de deposição inadequada de resíduos	3
	Da2 – Destino dos resíduos sólidos urbanos	10
	Da3 – Destino dos resíduos agropecuários (suínos, aves, bovinos entre outros)	1
	Da4 – Tratamento de esgoto	5
	Da6 – Aplicação de agrotóxicos	2
	Da7 – Cemitério acima das áreas de captação de água para abastecimento público	1
SITUAÇÕES DE RISCO (R)	R1 – Inundações (enchentes)	10
	R2 – Queimadas	10
	R3 – Deslizamentos de encostas	1
SOMATÓRIO DAS NOTAS (Valor de x para a Reta de Deterioração)		115
Nível de deterioração de acordo com a Reta de Deterioração => $y = 0,444 x - 11,1$		39,96%

Fonte: (ARAGÃO, 2011).

Levantamento de Aspectos Socioeconômicos

(AS) Aspectos sociais

Taxa de analfabetismo em maiores de 18 anos (As1)

Na área da microbacia do Arribita, a faixa etária majoritária está acima de 41 anos, sinalizando descompasso com a cidade de Forquilha, onde a maioria dos seus habitantes é de jovens na faixa abaixo dos 30 anos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006). Associado a isso, inexistem programas de EJA nessa região que atendem alunos idosos com problemas de alfabetização, o que acarreta índice elevado de analfabetismo adulto na região, atingindo uma faixa acima dos 30% dos adultos maiores de 18 anos. Nesse caso, de acordo com o Quadro 2, o valor ponderado para o item é 7.

Tipo de habitação (As2)

A maior parte das famílias residentes da microbacia do Arribita tem um tempo de residência na área acima de 20 anos, tendo famílias que são residentes na área há mais de 30 anos. Desses imóveis, cerca de 99% são próprios, sendo os demais alugados ou consignados, ocupados por trabalhadores dos sítios e fazendas. Essas moradias apresentam-se, invariavelmente, com características de rusticidade e pequena extensão. Embora sejam imóveis simples, cerca de 80% são feitos de alvenaria e em torno de 96% possuem banheiros construídos com ajuda do governo ou por iniciativa própria.

Na avaliação do trabalho em campo, a maioria das residências da área está em bom estado de conservação, mas como ainda são casas feitas de taipa, isto resulta em risco à saúde e segurança dos moradores; o valor ponderado atribuído, de acordo com o Quadro 2, foi de 5.

Qualidade de vida, segundo a comunidade (AS3)

No caso da pesquisa realizada na área da microbacia do Arribita, a qualidade de vida foi inferida de maneira direta nos questionários; em resposta aos quais 87% dos entrevistados consideram possuir uma boa

qualidade de vida. Assim, de acordo com o Quadro 2, o valor ponderado atribuído é 1.

(Ae) Aspectos econômicos

Nível de renda das famílias (Ae3)

A pesquisa constatou que a renda familiar da maioria das famílias versa em torno de um a três salários mínimos, em que foram incluídas atividades remuneradas, atividades comerciais, auxílio do governo e aposentadoria. No ponto de vista econômico, o açude também imprimiu uma realidade um tanto diferente na vida da comunidade. Embora a água seja encanada e cobrada pela Cagece, sua presença na região melhorou, segundo os entrevistados, as condições de emprego e renda na área. Para 52,5% dos questionados, ocorreu aumento na renda familiar após a construção do açude. O valor ponderado atribuído, de acordo com o Quadro 2, é 9.

Taxa de desemprego da população (Ae2)

Na área, a maioria dos economicamente ativos é de pequenos proprietários produtores rurais, geralmente com mão de obra familiar, tendo produção gerada na propriedade destinada ao abastecimento da própria família, com o excedente comercializado no mercado local; a taxa de desemprego está em torno de 6%, razão pela qual o valor ponderado é 2.

Satisfação econômica (Ae3)

No caso da área de estudo, a melhora no desempenho econômico do País, refletida também na economia do Estado, acarreta número de 80% de pessoas que se dizem satisfeitas economicamente. Constatou-se que cerca de 54,48% dos entrevistados considera sua renda mensal suficiente para o sustento da família. Assim, de acordo com o Quadro 2, o valor ponderado para o caso é 5.

(Eu) Estrutura urbana

A construção do açude foi o ponto de partida para a determinação de melhorias na infraestrutura e alterações no espaço rural, pois trouxe benefícios para a comunidade do entorno.

No Quadro 5 são mostrados os resumos dos dados levantados para esse parâmetro e os valores ponderados atribuídos para cada item, em que é percebido que ainda há carência significativa para algumas condições básicas de vida.

Quadro 5 – Aspectos de infraestrutura urbana e valores ponderados de acordo com o Quadro 2

PARÂMETRO	SITUAÇÃO NA ÁREA	VALOR PONDERADO
Eu1 – Energia elétrica nas residências	99% das residências possuem energia elétrica.	2
Eu2 – Sistema de abastecimento d'água (%) casa com água tratada	98% das residências com água tratada	2
Eu3 – Escolas	Número de escolas não é suficiente para atender a demanda da comunidade para Ensino Fundamental. Não há escolas de Ensino Médio que atendam com eficiência a demanda, portanto considerou-se INSUFICIENTE.	10
Eu 4 – Áreas de lazer	Há clube recreativo, campo de futebol e praça que atende, de maneira eficaz, a demanda da comunidade.	1
Eu 5 – Segurança pública	Este parâmetro foi avaliado de acordo com a opinião da comunidade que, embora haja apenas um posto policial na sede do município, considerou a segurança pública satisfatória.	1
Eu 6 – Telefonia	Praticamente não há demanda para a telefonia fixa na área, portanto esse serviço é atendido pela telefonia móvel que está presente em cerca de 79% das propriedades	4
Eu 7 – Coleta de resíduos sólidos	Não ocorre	10
Eu 8 – Iluminação pública	A área apresenta poucas ruas, mas, destas, cerca de 90% possuem iluminação pública.	2
Eu 9 – Bens tombados	Embora a região possua estruturas arquitetônicas de grande valor cultural, não existe tombamento ou processo de tombamento para a área.	10
Eu10 – Arborização Urbana/ rural	As poucas ruas existentes não possuem arborização, acima de 20%, sendo a maior parte formada por vegetação nativa, não sendo considerada arborização urbanística.	10

Fonte: (ARAGÃO, 2011).

(SP) Saúde pública

Doenças vinculadas à água na região (Sp1)

De acordo com dados da Secretaria de Saúde do Município de Forquilha, as doenças de veiculação hídrica encontram-se entre as de ocorrências mais frequentes nos pacientes oriundos das áreas rurais. Para cada dez atendimentos realizados nos postos de saúde, cerca de três são casos em que pode haver influência na má qualidade da água. Destas, as mais frequentes são as diarreicas e dermatites, que acometem, principalmente, idosos e crianças.

Porém, em comparação com as médias de outros municípios nordestinos, a ocorrência dessas doenças é considerada de média a baixa. Isso pode ser justificado pelos recentes investimentos em saneamento básico ocorridos no município. O valor ponderado para o caso, de acordo com o Quadro 2, é 5.

Atendimento médico (Sp2)

Apesar da alta demanda de atendimento, em função da presença de apenas um posto de saúde para uma região abrangente como a da Bacia, a população considera satisfatória. No entanto, a ausência de hospitais, havendo apenas em Sobral, que não consegue suprir as necessidades de uma área tão extensa, fez com que esse parâmetro fosse considerado insatisfatório e o valor ponderado a ele atribuído, de acordo com o Quadro 2, fosse de 10.

Postos de saúde (Sp3)

No caso da microbacia do Arribita, recentes mudanças na política de acesso à saúde modificaram o quadro grave que era percebido nessa área. Segundo a Secretaria de Saúde de Forquilha, foi realizada reforma do posto de saúde já existente. A população residente na área aponta várias problemáticas referentes ao atendimento e às demais funções de responsabilidade do Posto de Saúde da Família - PSF. Apesar dessas reclamações, os moradores da microbacia consideram o atendimento satisfatório, atribuindo-se, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado de 1.

Envenenamento por uso de agrotóxico nos últimos dois anos (Sp4)

Na área de estudo, de acordo com os moradores, essa prática não é recorrente, pois, em virtude de sua produção ser apenas para consumo direto, eles evitam o uso de qualquer tipo de produto químico. Essa informação é confirmada pelos dados da Secretaria de Saúde que afirma não ter recebido nenhum caso de envenenamento por agrotóxico nos últimos dois anos, sendo, por esta razão, atribuído ao item, de acordo com o Quadro 2, valor ponderado de 1.

(Li) Aspectos legais e institucionais

Em razão da diversidade e abrangência de instrumentos reguladores relativos ao meio ambiente, optou-se por selecionar os principais e mais relevantes aspectos para o uso da propriedade no meio rural e sua aplicação na área de estudo: Código Florestal de 1965: Lei nº 4.771/1965, Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, Lei nº 11.411, de 28 de dezembro de 1987 (DOE - 04.10.88), Lei nº 12.488, de 13 de setembro 1995 e Decreto nº 24.221, de 12 de setembro de 1996 (DOE - 17.09.1996) que regulamenta a Lei nº 12.488, de 13 de setembro de 1995.

Aplicação da legislação ambiental (Li1)

Analisando a aplicação da legislação referente, em especial aos aspectos florestais e de uso do solo, pode-se considerar que estas ferramentas legais são obedecidas, embora haja pequenos casos de descumprimento. Daí o valor ponderado, de acordo com o Quadro 2, de 1.

Unidades de conservação (Li2)

No caso de presença de unidades de conservação, estas são inexistentes na área; logo se atribuiu valor ponderado, de acordo com o Quadro 2, de 10.

Instrumentos fiscais ambientais (Li3)

A Prefeitura Municipal de Forquilha não possui órgão fiscalizador ambiental e não há uma secretaria ou coordenação que trate especificamente do meio ambiente. As ações nesse sentido são pulverizadas, agregadas a outras atividades e, quase sempre, não são completadas. O órgão ambiental do Estado, a Superintendência Estadual de Meio Ambiente – Semace, não alcança comunidades tão pequenas e afastadas dos grandes centros urbanos. Para esse subparâmetro, o valor ponderado atribuído, de acordo com o Quadro 2, foi de 10.

Instrumentos financeiros – projetos sustentáveis (Li4)

A exemplo do Pronaf, os apoios financeiros recebidos pelos produtores rurais, e mesmo para as demais atividades realizadas na área, tratam-se de financiamentos puramente voltados para o fomento de capital de giro, não tendo preocupação em certificar de que maneira esses recursos estão sendo aplicados. Nesse caso, o valor ponderado, de acordo com o Quadro 2, é de 10.

Apoio aos agricultores (Li5)

A área da microbacia é atendida pelo Projeto de Agente Rural e também um programa de capacitação fornecido pela Prefeitura. Embora os moradores considerem que os projetos não atendem a demanda da região, bem como têm falhas em execução, considerou-se que a iniciativa do governo pode vir a melhorar a produtividade local. Portanto para valor ponderado, de acordo com o Quadro 2, de 1.

Considerações Finais

A questão da pequena açudagem deve ser refletiva, levando-se em consideração diversos aspectos, já que a história do semiárido nordestino e os seus habitantes incorpora claramente os reservatórios artificiais ao *habitat* natural e ao cotidiano de suas comunidades.

Ainda há uma carência significativa de infraestrutura e equipamentos urbanos, mas a instalação do reservatório trouxe inúmeras benesses à comunidade que, com base nessa realidade, estreitou sua relação com o açude, proporcionando uma melhoria nas condições de vida das pessoas (Quadro 6).

Quadro 6 – Parâmetros, subdivisões e valores ponderados da pesquisa.

A – Aspectos socioeconômicos

PARÂMETRO	SUBDIVISÕES	NOTAS
ASPECTOS SOCIAIS (As)	As1 – Taxa de analfabetismo	7
	As2 – Tipo de habitação	5
	As3 – Qualidade de vida segundo a comunidade	1
ASPECTOS ECONÔMICOS (Ae)	Ae1 – Nível de renda das famílias	9
	Ae2 – Taxa de desemprego da população	2
	Ae3 – Satisfação econômica segundo a comunidade	5
ESTRUTURA URBANA (Eu)	Eu1 – Energia elétrica nas residências	2
	Eu2 – Sistema de abastecimento d'água (% casa com água tratada)	2
	Eu 3 – Escolas	10
	Eu 4 – Áreas de lazer	1
	Eu 5 – Segurança pública	1
	Eu 6 – Telefonia	4
	Eu 7 – Coleta de resíduos sólidos	10
	Eu 8 – Iluminação pública	2
	Eu 9 – Bens tombados	10
	Eu10 – Arborização Urbana/rural	10
SAÚDE PÚBLICA (Sp)	Sp1 – Doenças vinculadas à água na região	5
	Sp2 – Atendimento médico	1
	Sp3 – Postos de saúde/hospitais	10
	Sp4 – Envenenamentos devido ao uso inadequado de agrotóxicos nos últimos dois anos	1
ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS (Li)	Li1 – Aplicação da Legislação Ambiental	1
	Li2 – Unidades de Conservação	10
	Li3 – Instrumentos fiscais	10
	Li4 – Instrumentos financeiros	10
	Li5 – Apoio aos agricultores	1
SOMATÓRIO DAS NOTAS (Valor de X para a Reta de Deterioração)		130
Nível de deterioração de acordo com a Reta de Deterioração => $y = 0,444x - 11,111$		46,62%

Fonte: (ARAGÃO, 2011).

Embora a mudança tenha sido pequena, conferiu importância ao reservatório no cotidiano e nas atividades produtivas do local, tanto que cerca de 96,6% dos entrevistados consideram o açude muito importante para a região, inclusive aqueles que precisaram ser deslocados para sua construção.

Considerando-se as análises dos aspectos ambientais e socioeconômicos e os somatórios das notas a eles atribuídos em conjunto, tem-se:

SOMATÓRIO DAS NOTAS (Valor de X para a Reta de Deterioração):

Aspectos ambientais:	115
Aspectos socioeconômicos:	130
Total:	245

Nível de deterioração de acordo com a Reta de Deterioração
=> $y = 0,222 x - 11,1 = 43,29 \%$

A implementação da política de açudagem ocasiona mudanças dos ecossistemas em que estes estão inseridos, seja com o aumento no número de árvores e da presença do verde, no aumento da enorme diversidade de pássaros que vivem no seu entorno, na vida aquática que passa a se estabelecer nos açudes, ou mesmo pela supressão de ecossistemas nativos para sua construção, além de interferir na dinâmica hídrica das bacias onde estão inseridas, tanto pela vazão de água quanto pelos aspectos sedimentológicos.

Portanto, a gestão dos recursos hídricos deve considerar as peculiaridades e os aspectos específicos locais, já que os sistemas econômicos e sociais diferem de uma região para outra. Cada região necessita avaliar as implicações concretas de suas políticas, enfocando, no entanto, objetivos comuns, como a qualidade de vida e de ambiente. Portanto, a necessidade da implementação de políticas localizadas que estimulem mais fortemente a instituição desses mecanismos é fundamental e indispensável para o dinamismo próprio à gestão do meio ambiente.

Referências Bibliográficas

- ALTMANN, Rubens et al. *Perspectivas para a agricultura familiar: horizonte 2010*. Florianópolis: Instituto CEPA, 2002. 114 p.
- ANDRADE, M. C. *A terra e o homem no Nordeste*. 6. ed. Recife: UFPE, 1998.
- ANDRADE, E. M. et al. Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, n. 3, p. 279-286, 2006.
- ARAGÃO, D. A. *Diagnóstico de aspectos socioambientais da microbacia do açude do Arribita – Forquilha - Ce*. 2011. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Prodema, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RadamBrasil. *Folha SC.24*. Rio de Janeiro: Juruena, 1979
- BRASIL. *Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979*. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/109399/lei-6662-79>>. Acesso: 26 fev. 2010.
- BRASIL. *Decreto nº 89.496, de 29 de março de 1984*. Regulamenta a Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979, que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislação/114571/decreto-89496-84>>. Acesso: 26 fev. 2010.
- BRASIL. *Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inc. XIX do art. 21 da Constituição Federal, e alerta o art. 1º da Lei 8001, de 13.03.1990, que modificou a Lei nº 7990, de 28.12.1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L693.org.htm>. Acesso em: 9 maio 2010.

BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. *Programa estadual de microbacias hidrográficas*. Campinas: CATI, 1993. 16 p.

CAMPOS, J. N. B. Administração e cobrança de água bruta: o passado e o presente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABRH, 1999.

CAMPOS, J. N. B.; STUART, T. M. C. Secas no nordeste Brasil: origens, causas e soluções. In: DIALOGO INTERAMERICANO DE GERENCIAMENTO DE ÁGUAS, 4., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: ABRH, 2001.

CAVALCANTE, A. M. B. Ilhas artificiais lacustres do semi-árido brasileiro: novos espaços para estudos ecológicos. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Minas Gerais. *Anais...* Minas Gerais, 2007.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. *Monitoramento indicativo do nível de salinidade dos principais açudes do estado do Ceará*. Programa de Monitoramento da Qualidade da Água. Fortaleza, 2009. (Boletim Informativo).

DILL, P. R. J. *Gestão ambiental em bacias hidrográficas*. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FUNDAÇÃO CEARENCE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HIDRÍCOS. 1995. Disponível em: <<http://www.funceme.br/DEPAM/previna/explicacao.htm>>. Acesso em: 19 ago. 2009.

EASTMAN, J. R. IDRISI 3.2. Worcester, Mass: Clark University, USA, 2002.

HAGAN, E. J.; EASTMAN, J. R. *CartaLinx*. Worcester, Mass: Clark University, USA, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo demográfico de 2006*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27 ago. 2010.

JACOMINE, P. K. T. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, v. 1-2, n. 36, 1986.

LANNA, A. E. *Introdução à gestão ambiental e à análise econômica do ambiente*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1996.

LIMA, S. L. S. Organização socioeconômica e o papel do estado na configuração territorial do sertão nordestino. *Revista de Geografia Agrária*, v. 4, n. 7, p. 140-166, fev. 2009.

LIMA, M.; SIDERSKY, P. O papel das plantas nativas nos sistemas agrícolas familiares do agreste da Paraíba. 2002. In: AGRICULTURA FAMILIAR E AGROECOLOGIA NO SEMI-ÁRIDO. *Avanços a partir do Agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro: AS-PT, 2002.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. *Uso da irrigação no Brasil*. 1999. Disponível em: <http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/irrigacao_000f17vsajf02wyiv80ispccrr5frxoq4.pdf>. Acesso: 26 fev. 2010.

MEIRELES, A. C. M. et al. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no semi-árido cearense. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 1, p. 25-31, 2007.

NASCIMENTO, F. R. Enfoque geoambiental para o tratamento da degradação/desertificação no município de Sobral – Nordeste do Brasil/Ceará. *Revista Ateliê Geográfico*, v. 1, n. 2, 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/atelie/article/viewFile/3015/3055>>. Acesso em: 9 abr. 2008.

_____. *Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável: manejo geoambiental na sub-bacia do baixo Pacoti – Ceará*. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2003.

NOLÊTO, T. M. S. J. *Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral-Ceará à desertificação*. 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Prodema, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

POSTEL, S.; HEISE, L. A ameaça do desmatamento. *O correio da Unesco*, Rio de Janeiro, v. 17, p. 13-23, 1989.

RIBEIRO, E. M.; GALIZONI, F. M. Água, população rural e políticas de gestão: o caso do vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. *Ambiente & Sociedade*, v. 5, n. 2, p. 219, 2003.

RÖRIG, L. R. *Usos múltiplos e qualidade das águas na bacia do alto Itajaí-Açu-SC: elementos para um gerenciamento integrado*. 2005. 295 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2005.

SELBORNE, Lord. *A ética do uso da água doce: um levantamento*. Brasília: UNESCO, 2001. 80 p.

VELLOSO, T. R. *A gestão de recursos hídricos em um contexto regional: a trajetória do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS)*. 2000. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2000.

ATIVIDADE BIOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO DE ESTIRPES RIZOBIANAS DE FEIJÃO-CAUPI ISOLADAS DE SOLO DO MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA - CE

Ewerton Matos Costa

Introdução

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma planta rica em proteínas, ferro e zinco e constitui-se uma das principais fontes de alimentação básica das populações mais carentes. O feijão-caupi também é de grande importância para o desenvolvimento agrícola das Regiões Nordeste e Norte do Brasil, tanto no aspecto econômico como nutricional. Além de ser utilizado na alimentação básica das populações mais pobres, suas folhas e ramos são também utilizados para a alimentação animal. É uma opção como fonte de matéria orgânica na recuperação de solos pobres em fertilidade ou esgotados pelo uso intensivo de práticas não conservacionistas, o que a torna uma cultura importante para a revegetação de áreas degradadas ou em processo de degradação, pois ela proporciona melhores condições para que outras espécies vegetais possam se desenvolver nesses ambientes. Isto só é possível em razão da capacidade do feijão-caupi de estabelecer relação simbiótica mutualística com bactérias do gênero *Rhizobium*, as quais são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico (N_2) e, após a mineralização, disponibilizar o N na solução do solo sob forma de amônio (NH_4^+).

É uma leguminosa comestível com alto teor proteico e que possui ciclo curto e, malgrado trazer tais vantagens, sua produtividade média no Brasil ainda é muito baixa, em função do baixo nível tecnológico utilizado no cultivo e das doenças causadas por agentes patogênicos. Nos últimos anos, contudo, esse quadro vem evoluindo em termos de maior expressão econômica, devido, basicamente, à busca da população por alimentos saudáveis e ampliação da área de produção, que hoje corresponde a 2/3 da produção de feijão do Nordeste e a 1/3 da produção nacional.

No ano de 2011, foram colhidos, no Brasil, aproximadamente 1,6 milhões de hectares, com produção de 822 mil toneladas, e média de 525kg/ha. A maior produção concentra-se no Nordeste, com 84% da área plantada e 68% da produção nacional. Deve-se levar em consideração, também, o fato de que a cultura do feijão-caupi mantém a cada ano 1,2 milhão de empregos diretos (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2012).

Apesar de o feijão-caupi ainda ser considerado uma cultura de subsistência (agricultura familiar), os grandes produtores, que detêm maior poder aquisitivo e acesso a modernas tecnologias, observam que essa cultura pode se tornar mais rentável, o que deverá contribuir para a expansão das fronteiras agrícolas das Regiões Norte e Nordeste, seus principais produtores, e para a Região Centro-Oeste.

Esse aumento das áreas cultiváveis para a cultura do feijão está correlacionado com a associação dessa leguminosa com rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares, o que reduz consideravelmente os gastos dos produtores com adubação nitrogenada e aplicação de fósforo. Portanto, os pesquisadores na área de Microbiologia do Solo buscam sempre mais técnicas biotecnológicas alternativas para o uso desses microrganismos na produção agrícola, permitindo maior oferta de inoculantes comerciais mais eficientes para as nossas condições edafoclimáticas. Esses inoculantes irão favorecer a obtenção de água e nutrientes pelas plantas, melhorando tanto a produtividade de áreas já produtivas como também possibilitando a utilização de áreas vulneráveis ao processo de degradação.

As interferências humanas com as práticas da agricultura extensiva e também com atividades pecuárias não orientadas para a vulnerabilidade do ambiente representam os fatores mais impactantes no processo de degradação do solo no município de Irauçuba - CE. É, pois, preciso ficarmos alerta para que esse processo de gradação não leve à desertificação. De acordo com Araújo Filho (2003), os processos de desertificação começam muito antes

da diminuição drástica da atividade biológica do solo e a formação de dunas, ou seja, a formação de desertos começa com as mudanças na composição florística da comunidade vegetal, passa pelo desaparecimento da vegetação original, intensifica-se com a destruição gradual da camada florística, com a consequente redução do aporte de matéria orgânica, e só então se manifesta no solo, mediante a erosão e perda de sua estrutura e fertilidade. Como tentativa de entender a reabilitação dos solos degradados nessas áreas têm-se isolado áreas ao acesso de animais para avaliar, inicialmente, o processo de regeneração da atividade biológica do solo e da vegetação de forma natural.

Porém as informações sobre diversidade de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico em Irauçuba - CE são escassas, o que torna a compreensão da reabilitação de áreas degradadas nessa região mais difícil. Dessa maneira, haja vista esse contexto, objetivamos com esse trabalho, avaliar, simultaneamente, a atividade biológica edáfica de uma área preservada (área de exclusão) e de uma área de sobrepasto próximo, assim como também isolar-se e estimar-se a densidade populacional de rizóbios eficientes na fixação simbiótica do N₂ em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) nessas áreas.

Revisão de Literatura

Informações gerais sobre o município de Irauçuba/CE

Irauçuba está localizada ao norte do Ceará (03°43'45" S, 39°46'54" O), apresentando uma área de 1.450,707km², uma população de 22.334 habitantes, com uma densidade demográfica de 15,39 hab./ km² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

O nome Irauçuba vem da combinação das palavras tupi *ira* (a abelha), *ussu* (grande) e *ba* ou *pe* (caminho), ou seja, caminho das abelhas. Sua denominação original era Cacimba do Meio (até 1899), posteriormente passou a ser chamada de Santa Cruz do Norte e, só a partir de 11 de março de 1905, através de um ato estadual, foi criado o Distrito de Irauçuba.

O município tem clima tropical quente semiárido, com a predominância de solos rasos pouco profundos e pobres em nutrientes. São solos favoráveis aos processos erosivos em razão de suas características físicas e químicas típicas de Planossolos Solódicos, Argissolo Vermelho-Amarelo, Solos Litólicos e Vertissolo (FUNDAÇÃO CEARENSE DE

METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 2011; INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2011).

Irauçuba tem uma média pluviométrica anual de 539,5mm, sendo que a concentração dessa pluviosidade ocorre de janeiro a abril, combinada a uma média de temperatura em torno de 26 a 28 °C (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2011). Seu relevo apresenta acidentes geográficos como a Serra do Missi, Manoel Dias e Santa Luzia.

As atividades econômicas predominantes em Irauçuba são a agricultura de subsistência, a pecuária com criação de gado, ovinos, caprinos, suínos e apicultura, além do artesanato local, especialmente a confecção de redes e bordados (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).



Figura 1 – Município de Irauçuba/CE

Fonte: (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2013).

Pelo fato de Irauçuba ser um município suscetível à desertificação, vários estudos são realizados na região com vistas a buscar opções para amenizar esses processos provocados pela natureza e intensificados pelas ações do homem, como, por exemplo, Sousa (2009), que estudou amostras de solos de áreas de exclusão e sobrepastojo, avaliando como se comportavam estas amostras em relação aos seus atributos físicos e químicos, e Cunha Filha (2011), que avaliou os efeitos da aplicação de torta de pinhão manso e mamona como adubos orgânicos na cultura de feijão sobre as propriedades químicas e biológicas de um solo degradado do município.

Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma *Dicotiledonea* pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolineae*, gênero *Vigna* (SINGH et al., 1997). É uma planta que tem como centro de origem a África e foi trazida para o Brasil no século XVI pelos colonizadores portugueses, sendo inicialmente introduzida no estado da Bahia e, posteriormente, disseminada em outros estados. De acordo com (FREIRE FILHO; CARDOSO; ARAÚJO, 1983), o feijão-caupi tem vários nomes vulgares como, por exemplo, feijão-macássar, feijão-fradinho (na Bahia) ou feijão-de-corda na Região Nordeste, feijão-da-praia ou feijão-de-estrada, na Região Norte e, ainda, feijão miúdo.

O feijão-caupi, apesar de ser considerado uma cultura de subsistência, atualmente tem uma boa expressão econômica em virtude da implantação de uma maior tecnologia em seus plantios, fazendo com que a cultura viesse a ser produzida não só por pequenos, mas também por médios e grandes produtores.

Atualmente, o Brasil ocupa a terceira posição de maior produtor de feijão-caupi, perdendo apenas para a Nigéria, primeiro lugar como produtor, e o Níger, na segunda posição. É interessante ressaltar que, mesmo ocupando a terceira posição na produção mundial, o Brasil chega a importar feijão-caupi, quando a demanda pelo produto supera a produção.

O mercado brasileiro compreende a produção de grãos secos para consumo interno e para exportação de sementes, e de grãos e vagens verdes. Atualmente, a predominância do mercado do feijão-caupi ainda é bastante direcionada para o consumo interno, porém, nos últimos três anos, cada vez mais as exportações cresceram, em razão dos médios e grandes produtores terem aumentado as áreas destinadas a seu cultivo (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2012).

Segundo estudos realizados pela Conab, a produção estimada para a safra 2011/2012 de feijão do estado do Ceará era estimada para 307,8 mil toneladas de grãos, numa área plantada de 616,1 mil hectares, com uma produtividade média de 449kg/ha. Com isso, pode-se dizer que ocorreu, no estado, um aumento de 16,5% na produção, que a área plantada aumentou de 2,6% e a produtividade cresceu 13,4%, se comparados estes resultados aos da safra do ano anterior.

Outro fator também importante sobre a produção do feijão-caupi no estado do Ceará, é que ela também é influenciada pela quadra chuvosa. Segundo a Conab, em um estudo realizado de 1994 a 2011, nos anos em que a quadra chuvosa foi irregular, a produção foi muito prejudicada. Com base nesse comportamento, foi possível estimar a produção para 2012, cujos valores podem ser observados no Gráfico 1.

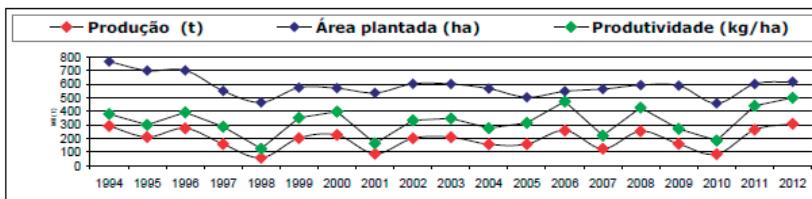


Gráfico 1 – Estudo da produção de feijão no período de 1994 a 2011 e estimativa para 2012
Fonte: (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2012).

Aplicabilidade e Importância da Respirometria Basal do Solo (RBS)

O solo, por abrigar uma ampla diversidade de organismo (bactérias, plantas, fungos, actinomicetos, protozoários, algas, partículas de vírus, invertebrados macro e microscópicos e também alguns vertebrados), é responsável por uma liberação considerável de CO₂ para a atmosfera, contribuindo, assim, para o efeito estufa (MENDONÇA; MATOS, 2005).

As frequentes mudanças climáticas (aumento de temperaturas ou chuvas com maior frequência) e também as ações antrópicas por meio dos diferentes tratos culturais, como, por exemplo, queimadas e métodos de plantio não conservacionistas influenciam no aumento ou na diminuição da emissão de CO₂ liberado na atmosfera (PANOSSO et al., 2007).

Considerando estes aspectos, uma maneira de avaliar a atividade biológica edáfica é pela determinação da respiração basal do solo (RBS), que representa atualmente uma das principais técnicas para a avaliação da qualidade do solo.

A quantificação da atividade respirométrica pode ser realizada tanto pelo consumo de oxigênio (O₂) como pela produção de dióxido de carbono (CO₂). A quantificação do CO₂ é mais interessante para o solo, pois esta inclui tanto o dióxido de carbono, resultante da respiração aeróbica, como aquele produzido pela respiração anaeróbica, tornando-se mais abrangente e produzindo resultados mais próximos da complexa realidade biológica do solo, explicando, assim, alguns dos vários processos ocorridos no solo, tornando-a uma técnica importante para a interpretação de qualidade do solo em áreas em que ocorram processos de recuperação de degradação (BAKKE et al., 2001).

Os resultados obtidos permitem comparar, por exemplo, efeitos de ações antrópicas sobre a atividade dos organismos edáficos de forma simples, rápida e segura.

A respirometria basal do solo constitui uma das principais técnicas utilizadas pelos microbiologistas do solo na estimativa da atividade microbiana edáfica, sendo recomendada pelo International Biological Programme como padrão. Essa determinação pode ser realizada no campo ou em laboratório, porém, quando no campo, avalia

a composição da biota do solo diferenciada, pois inclui a respiração da meso e macrofauna do solo. Quando realizada em laboratório, pode-se trabalhar tanto com amostras de solo deformadas como indeformadas (MENDONÇA; MATOS, 2005).

Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

A maior parte do nitrogênio da Terra está presente na crosta terrestre, cerca de 93,8%. É um dos nutrientes mais exigidos pelas culturas, principalmente as leguminosas produtoras de grãos, em razão do curto ciclo e da grande realocação deste elemento para a maturação dos grãos (SIQUEIRA; MOREIRA, 2002).

Os solos brasileiros possuem bastante limitação com a disponibilidade de nitrogênio em razão das nossas condições climáticas, com altas temperaturas e umidade, decomponem rapidamente a matéria orgânica, liberando o nitrogênio, que pode ser lixiviado ao longo do perfil e na sua forma gasosa, a qual pode ser liberada pela desnitrificação, ou seja, de um modo geral, os solos tropicais são pobres em nitrogênio, seu teor chegando a não passar de 0,3% e podendo ser facilmente esgotado em poucos ciclos de cultivo (BIOARTS, 2012).

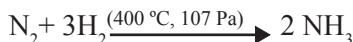
Na natureza, a maior parte do nitrogênio está na forma de N₂ atmosférico (80%), porém este nitrogênio não é acessível a todos os organismos eucariotos e também a maioria dos procariotos; somente uma pequena parcela de procariotos são capazes de utilizar N₂ atmosférico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Estes organismos possuem uma enzima capaz de reduzir o N₂ para uma forma inorgânica combinada, denominada amônia (NH₃), disponível às plantas e a outros organismos.

O processo que mede a Fixação Biológica do N₂ (FBN) é expresso pela seguinte equação (SIQUEIRA; MOREIRA, 2002) :



Este processo de fixação de N₂ em NH₃ pode ser realizado também por meio de processos industriais; por exemplo, o processo de Harber – Bosch, que chega a produzir boa parte dos fertilizantes

nitrogenados. Porém, para que ele ocorra, são necessários altíssimos gastos energéticos, pois, como a molécula de N₂ tem uma ligação tripla, torna-se necessário o emprego de altas temperaturas (mais de 400 °C) e, também, de altíssima pressão (mais de 10⁷ Pascal). Este processo pode ser expresso pela seguinte equação:



A energia utilizada na Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é proveniente do ATP que, por sua vez, é proveniente da transformação da energia solar em energia química através da fotossíntese. Esta eficiência na fixação do azoto atmosférico só é possível também por causa de uma enzima específica denominada nitrogenase.

A nitrogenase é uma enzima versátil que, além do N₂, catalisa a redução de outros substratos. Ela é formada por duas unidades básicas, em que uma é o ferro-proteína, que tem a função de coletar a força redutora e a energia, e a outra unidade é o ferro-molibdênio, que tem a função de coletar e reduzir o substrato (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Para que esta nitrogenase, porém, venha desempenhar sua função de maneira perfeita, torna-se necessário um ambiente anaeróbio e, para que este sítio venha funcionar sem nenhum problema, os microrganismos desenvolverão vários mecanismos de “defesa” para a nitrogenase. Dentre estes mecanismos, o que mais se destaca é a nodulação radicular, que ocorre através de interações bioquímicas, tanto das bactérias específicas presentes no solo (gêneros *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Phylorhizobium* e *Azorhizobium*) como nas leguminosas específicas que fazem simbiose com estas bactérias comumente conhecidas como rizóbios (SANTOS; REIS, 2008).

Os sinalizadores exsudados pelas plantas hospedeiras são em sua maioria flavonoides, pois estas moléculas são capazes de expressar os genes responsáveis pelos processos de nodulação (*nod*, *nol* e *noe*) (BROUGHTON et al., 2006).

Estas sinalizações fazem com que ocorra uma relação simbiótica entre a leguminosa e os rizóbios fixadores, uma intrínseca rede de sinais trocados entre eles. Apesar de muitos destes aspectos de troca de

informações entre simbionte e hospedeiro ainda não serem bem explicados, o papel do “quorum-sensing” evidencia que o mesmo é chave para que ocorram os processos de simbiose e, consequentemente, ocorra a fixação biológica de nitrogênio (MARKENTON et al., 2003).

Localização e procedimentos de coleta das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas no município de Irauçuba/CE, na localidade denominada Sítio Aroeira, de onde foram retiradas aproximadamente 10kg de solo, a uma profundidade de 0 a 20cm. No mesmo dia da coleta, as amostras foram destorroadas e peneiradas no próprio campo, em peneira de 2mm, para obtenção da TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), quando foram então devidamente acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas até o processamento. Posteriormente, as amostras foram analisadas quanto às suas características químicas no Laboratório de Análises de Solo e Água do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

A sistemática de coleta de amostras de solo adotada baseou-se na escolha de três pontos aleatórios para cada área de amostragem: três na área de exclusão e três na área adjacente externa à área de exclusão.



Figura 2 – Localização da Área de Exclusão (a) e Sobrepastejo

(b) para coleta das amostras

Fonte: Cedida pelo Prof. José Gerardo Beserra de Oliveira.

Instalação e condução do experimento

O ensaio experimental foi instalado e conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências do Solo (UFC), localizada no Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará, Brasil, com clima do tipo Aw⁷, de acordo com a classificação de Köppen, e situando-se nas latitude 3°44' S e longitude 38°33' W.

Determinação da Respiração Basal do Solo

A produção do C-CO₂ ou C mineralizável foi determinada pela metodologia de Alef (1995), que se baseia na absorção do CO₂ liberado no solo pela atividade da microbiota, em que este CO₂ é capturado por uma solução de NaOH 0,5 mol⁻¹, e na determinação de sua quantidade por titulação com uma solução de HCL 0,5N.

Inicialmente, foram pesadas porções de 10g de solo das amostras interna e externa e porções que foram colocadas em estufa a 105 °C por 24 horas para que fosse determinada a sua capacidade de retenção de água, com o objetivo de que cada uma recebesse a mesma quantidade de água no momento em que estas fossem incubadas nos seus respectivos frascos.

Tendo sido determinada a capacidade de retenção de água, pesou-se 50g de solo (TSFA) de cada uma das amostras (interna e externa), em triplicata, ajustando a sua umidade para cerca de 60 a 70% da sua capacidade de campo para que a microbiota pudesse estabilizar seus processos metabólicos. Essa umidade foi ajustada com as amostras já presentes nos frascos herméticos, em que foram incubadas por uma semana ao abrigo da luz.

Após a incubação, foram colocados em cada frasco (tanto nos frascos com as amostras de solo como nos que não continham solo, ou seja, os brancos) dois cadiinhos: um contendo 20ml de água destilada para manutenção da umidade constante e outro com NaOH 0,5 mol⁻¹, para a captura do CO₂ liberado das amostras. Esses frascos foram fechados hermeticamente e incubados ao abrigo da luz a uma temperatura ambiente em torno de 27 °C.

A cada 24 horas de incubação, foi realizada uma leitura, quando foram pipetados 10ml do NaOH 0,5 mol⁻¹ contido no cadiño e transferido para um becker de 50ml, adicionando-se, por meio de um dispensador, mais 10ml de solução de BaCl₂ e três gotas da solução indicadora de fenolftaleína 1% e, em seguida, titulamos com a solução de HCl 0,5N.

No momento da titulação, todos os frascos foram deixados por 20 minutos abertos para que ocorresse o equilíbrio gasoso no interior dos mesmos.

Finalizada a titulação, os fracos foram reabastecidos com um novo cadiño, contendo solução de NaOH 0,5 mol⁻¹, para que procedêssemos à leitura do dia seguinte.

Esse procedimento foi repetido ao longo de dez dias, período em que se calculou a quantidade de CO₂ diária e acumulada liberada por grama de solo (em mg de C-CO₂ dia⁻¹.100 cm⁻³ de solo).

Avaliação da densidade de estirpes nativas de rizóbio de feijão-caupi

Para a estimativa da densidade populacional dos rizóbios nativos nas áreas amostradas, foram preparadas diluições decimais das amostras (10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴ e 10⁻⁵), a partir de dez gramas de solo diluído em solução com NaCl a 0,85% esterilizada (HUNGRIA; ARAÚJO, 1994).

As diluições assim preparadas foram adicionadas a copos plásticos de 500ml, contendo 400g de solo estéril e, em seguida, semeados com sementes esterilizadas (inicialmente imersas em álcool etílico 75% durante três minutos para quebra da tensão superficial, e posteriormente esterilizadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 10% por dez minutos). Para remover o excesso de hipoclorito de sódio, as sementes foram lavadas cinco vezes com água destilada e esterilizada (HUNGRIA; ARAÚJO, 1994).

Todas as diluições utilizadas tiveram quatro repetições e, após 35 dias da semeadura, as plantas foram coletadas e analisadas quanto à presença (positivo) e ausência (negativo) de nódulos radiculares. A estimativa da densidade de células de rizóbios por ponto amostrado foi realizada com emprego da técnica do número mais provável (NMP), descrita por Alexander (1965), para contagens de rizóbios no solo.

Isolamento das estirpes nativas de rizóbio de feijão-caupi

O isolamento das estirpes nativas rizobianas foi realizado em casa de vegetação, no qual foram utilizados copos plásticos de 500ml, contendo solo das áreas amostradas (preservadas e de sobrepastojo), usando-se como planta-isca o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.), variedade “Sempre Verde” CE25 safra 2010, cujas sementes foram provenientes do Laboratório de Sementes do Departamento de Fitotecnia/CCA/UFC. As sementes utilizadas no plantio foram, também, esterilizadas superficialmente, conforme descrito anteriormente.

Para irrigação diária das plantas, foi usada água destilada e esterilizada por autoclavagem a 121 °C e 1 atm de pressão por duas horas. Semanalmente, foi realizada uma aplicação de 150ml da solução nutritiva de Hoagland; Amon (1950), com omissão de N, de forma fracionada (três vezes na semana), para que não ocorresse a perda de nutrientes por lixiviação e a planta pudesse aproveitar plenamente os nutrientes disponibilizados na solução do solo.

As plantas de feijão-caupi foram coletadas 35 dias após sua semeadura, ocasião em que foi observada a região radicular, a fim de coleta e caracterização da nodulação e o aspecto geral da parte aérea.

Os nódulos coletados foram tratados superficialmente com uma solução de hipoclorito de sódio a 10% por dez minutos, para desinfecção superficial, e, em seguida, lavados, por cinco vezes, em água estéril, para retirada do excesso de hipoclorito de sódio, adaptado de (BARRETT; PARKER, 2006). Os nódulos esterilizados foram, então, abertos sob condições assépticas e em fluxo laminar com o auxílio de um bisturi cirúrgico, esmagados com um bastão de vidro em uma placa Petri e concentrados em uma gota de água estéril. O conteúdo da gota contendo o concentrado do nódulo foi repicado para uma outra placa de Petri contendo o meio “79” de Allen (1957), acrescido o corante vermelho congo a 1% em solução aquosa, com a finalidade inicial de evidenciar alguma contaminação. As placas foram incubadas na ausência de luz em estufa bacteriológica regulada a 28 °C até a formação de colônias visíveis mais claras pela não absorção do vermelho congo, indicação de que possivelmente se tratava de uma colônia de rizóbio e não de uma contaminação eventual.

As colônias que, após 12 dias de formadas, se apresentaram claras, foram repicadas para uma nova placa de Petri contendo meio “79” de Allen sólido, acrescido com o indicador azul de bromotimol e incubadas novamente sob as mesmas condições. Em seguida, essas colônias foram caracterizadas de acordo com Vincent (1970), em que foram observadas as seguintes características: tamanho, forma, cor, elevação, presença de muco e reação à técnica de Gram, pH, além do seu tempo de crescimento.

As colônias rizobianas, assim caracterizadas, foram repicadas para tubos de cultura contendo meio “79” de Allen sólido acrescido com o indicador azul de bromotimol e novamente incubadas e reavaliadas quanto às suas características culturais.

Autenticação dos isolados rizobianos nativos

Esse procedimento é de fundamental importância para determinar se o isolado obtido é de fato uma cultura de rizóbio, uma vez que será avaliada a capacidade da estirpe em induzir a formação, sob condições controladas, de nódulos eficientes ou não na planta.

Para realizar a autenticação das estirpes selecionadas, elas foram inoculadas novamente em feijão, utilizando-se como substrato areia lavada (para remoção dos sais) e autoclavada por duas horas, a 1 atm de pressão e temperatura de 121 °C. Após um período de uma semana de descanso para evitar problemas de fitotoxicidade no solo, 400g do solo foram colocados em copos plásticos de 500ml e semeados com sementes de feijão-caupi esterilizadas, com quatro repetições.

Os isolados inoculados às sementes foram multiplicados em erlenmeyers de 125ml, contendo 50ml de meio de cultura “79” de Allen líquido, acrescido de azul de bromotimol, e mantidos sob agitação até atingirem uma concentração de 10^9 células por ml de caldo. A seguir, foram aplicados assepticamente 3ml desse caldo rizobiano às sementes por ocasião do plantio e, após cinco dias da germinação das sementes, foi realizada uma aplicação de reforço (3ml) no colo de cada plântula recém-emergida.

Após a formação dos nódulos nas raízes das plantas de feijão, as estirpes provenientes dessa autenticação foram novamente isoladas para posterior utilização em ensaios de avaliação da eficiência fixadora.

Avaliação da eficiência fixadora das estirpes isoladas para feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

No teste da eficiência de fixação simbiótica do nitrogênio pelas estirpes nativas isoladas e autenticadas de rizóbios nativos, foi conduzido um experimento com a mesma espécie de leguminosa (feijão-caupi).

O substrato utilizado foi areia lavada e autoclavada, conforme descrito anteriormente. Copos plásticos de 500ml contendo 400g de solo estéril foram utilizados como unidades experimentais nos quais foram plantadas três sementes previamente esterilizadas da mesma maneira já descrita.

Os isolados autenticados foram multiplicados, sob condições assépticas, em erlenmeyers de 125ml, contendo 50ml de meio de cultura “79” de Allen líquido, acrescido de azul de bromotimol, e mantidos sob agitação até atingirem uma concentração de 10^9 células por ml de caldo. Em seguida, 3ml do caldo rizobiano foram aplicados às sementes por ocasião do plantio e mais 3ml aplicados como reforço no colo das plântulas após cinco dias da emergência.

As parcelas foram irrigadas diariamente com água destilada e esterilizada e, semanalmente, foram adicionados 150ml da solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950), de forma fracionada (três vezes na semana) e com omissão de N nos vasos inoculados e não inoculados com os rizóbios (tratamento controle absoluto) e com nitrogênio para o outro tratamento-controle sem inoculação.

3.7.1 Coleta das plantas para análise laboratorial

As plantas de feijão-caupi foram coletadas 35 dias após a germinação das sementes e separadas em duas partes para avaliação: parte aérea e raízes.

Para a avaliação dos tratamentos adotados foram empregados os seguintes parâmetros:

Massa da matéria seca da parte aérea

Para a determinação da massa da matéria seca da parte aérea, as plantas foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados e levados para a estufa, com uma temperatura de 65 °C, até que atingissem massa constante. Após a secagem, as plantas foram pesadas em balança de precisão.

3.7.1.2 Massa da matéria seca dos nódulos

Os nódulos coletados foram colocados em estufa com uma temperatura de 65 °C, até que atingissem massa constante. Após a secagem, os nódulos foram pesados em balança de precisão.

Teor de nitrogênio na parte aérea das plantas de feijão

Após a secagem e a moagem da parte aérea, foi determinado o teor de nitrogênio total pelo método semimicro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006).

Eficiência relativa dos isolados de rizóbio

A eficiência relativa de cada isolado foi calculada segundo a expressão:

$$\text{Efr} = \frac{\text{MSPA}}{\text{MSPA do controle com N mineral}} \times 100$$

Onde:

Efr – Eficiência relativa;

MSPA – Massa seca da parte aérea;

Análise dos dados do ensaio sobre eficiência dos isolados selecionados de rizóbio

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com nove tratamentos e quatro repetições, sendo um controle com adição de N mineral e ausência de inoculação e um controle absoluto com omissão de N mineral e ausência de inoculação, além dos sete tratamentos com os isolados rizobianos.

As análises estatísticas foram realizadas com uso do programa computacional Assistat, versão 7.6 beta (2013). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5% ($p < 0,05$) de probabilidade.

Resultados e Discussão

As análises químicas das amostras de solo coletadas encontram-se na Tabela 1. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Água e Solo do Departamento de Ciências do Solo/CCA/UFC, de acordo com a metodologia preconizada pela Embrapa para esse tipo de análise (SILVA et al., 1998).

Podemos observar que o pH da solução do solo e a condutividade elétrica (CE) variaram ao longo dos pontos amostrados. Os pontos amostrados na área de sobrepastejo apresentaram os menores valores de pH (maior acidez), enquanto que os pontos amostrados na área de exclusão apresentaram pH mais próximos da neutralidade. Em relação à CE dos pontos amostrados observamos que, nos três primeiros pontos da área de exclusão (pontos 1 a 3), ocorreu uma diminuição de 0,65 para 0,24 dS/m. É interessante ressaltar que, nos três últimos pontos (4 a 6), área de sobrepastejo, observou-se que, à medida que o pH diminuiu (de 5,0 para 4,7) a condutividade elétrica (CE) aumentou, ocorrendo o inverso do que foi constatado para os três primeiros pontos, variando de 0,07 a 0,65dS/m, à medida que o pH diminuiu. Uma vez que na área de sobrepastejo as interferências antrópicas ocorreram de modo mais intenso e variado, é possível que esse fato tenha contribuído para essas diferenças.

Tabela 1 – Análises químicas dos solos amostrados
do Sítio Aroeira no município de Irauçuba/CE

	Análise química do solo						
	pH		Complexo Sortivo (cmolc/kg)				
	Água	CE (dS/m)	C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	MO (g/kg)	P Assi. (mg/kg)
Ponto* 1	7,90	0,65	6,42	0,61	11,00	11,07	655,00
Ponto* 2	6,00	0,41	7,92	0,85	9,00	13,65	26,00
Ponto* 3	5,40	0,24	8,28	0,79	10,00	14,27	21,00
Ponto* 4	5,00	0,07	5,88	0,61	10,00	10,14	5,00
Ponto* 5	4,80	0,11	5,94	0,56	11,00	10,24	7,00
Ponto* 6	4,70	0,65	4,32	0,46	9,00	7,45	16,00

Fonte: Costa (2013).

*Pontos 1 a 3: área de exclusão; pontos 4 a 6: área de sobrepastejo.

A quantidade de matéria orgânica nos pontos amostrados (em g/kg) é maior nos pontos amostrados na área de exclusão (1 a 3) do que nos pontos amostrados na área de sobrepastejo (4 a 6), demonstrando, assim, a importância da vegetação preservada dessas áreas degradadas no acúmulo de matéria orgânica no solo, condição essencial para a recuperação dos processos biológicos edáficos.

É igualmente interessante ressaltar que as maiores quantidades de P assimilável foram encontradas nos pontos amostrados na área de exclusão. Da mesma maneira, variações nos valores de P assimilável como os obtidos para o primeiro ponto amostrado na área de exclusão podem estar relacionadas a interferências humanas não controláveis realizadas próximo ao ponto amostrado.

Ainda em relação à matéria orgânica, a quantidade de carbono influenciou na atividade microbiana no solo, conforme demonstrado no Gráfico 2. A área de exclusão, de um modo geral, exibiu os maiores valores de produção de C-CO₂, evidenciando maior atividade da microbiota do solo em função de uma maior disponibilidade de C mineralizável em relação à área de sobrepastejo. Esse comportamento é clássico e demonstra o potencial de mineralização do C-orgânico imobilizado na

biomassa microbiana do solo, que cresceu estimulada pela disponibilidade inicial de C. O mesmo comportamento pode ser observado para a área de sobrepasto, embora, como já observado anteriormente, em um patamar inferior. Devido este ensaio ter sido realizado em laboratório, utilizando-se um sistema fechado de incubação do solo, as produções foram sempre decrescentes, enquanto os picos de produção de C-CO₂ foram cada vez menores.

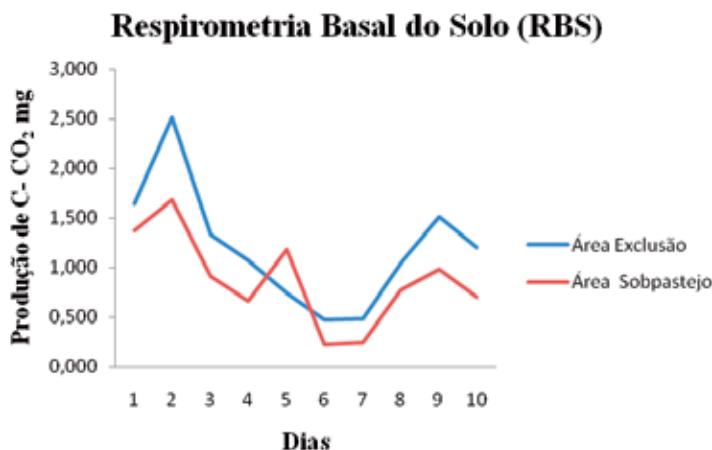


Gráfico 2 – Respiração basal diária do solo no Sítio Aroeira no Município de Irauçuba/CE (RBS) nas áreas de exclusão e de sobrepasto

Fonte: Costa (2013).

Podemos observar, no Gráfico 3, a influência desses maiores valores diários de produção de C-CO₂ no comportamento da resposta da RBS acumulada no período de dez dias de incubação para as amostras das áreas de exclusão e de sobrepasto, em que se nota que a área de exclusão acumulou os maiores valores de produção de C-CO₂ (10,02mg de C-CO₂) quando comparada à área de sobrepasto (8,5mg de C-CO₂). É evidente que esse resultado destaca a importância do tipo de manejo imposto ao solo sobre sua atividade biológica, permitindo inferir sobre alterações promissoras na qualidade do solo determinadas pela interferência humana nos processos de degradação.

A densidade populacional de rizóbios que se associam a feijão-caupi também apresentou variações ao longo dos pontos de coleta nas duas áreas amostradas, fato justificado pelas diferenças já apontadas em termos de heterogeneidade de manejo e do próprio solo. Essa densidade (Tabela 2), contudo, foi maior na área de exclusão (média de 13,3 cél./g_{solo}) do que na área de sobrepastejo (1,3 cél./g_{solo}), demonstrando que a preservação do solo da área de exclusão e o restabelecimento inicial da flora nativa influenciaram esses maiores valores de densidade populacional. É importante salientar que outros fatores podem, também, estar correlacionados com as baixas densidades populacionais de rizóbios que se associam ao feijão-caupi encontradas na área de sobrepastejo. Tais fatores estariam relacionados ao próprio pH mais fortemente ácido da solução do solo, bem como uma maior compactação desse solo em função de intenso tráfego de animais e equipamentos pesados, como também em razão dos processos erosivos presentes.

Respirometria Basal do Solo (RBS)

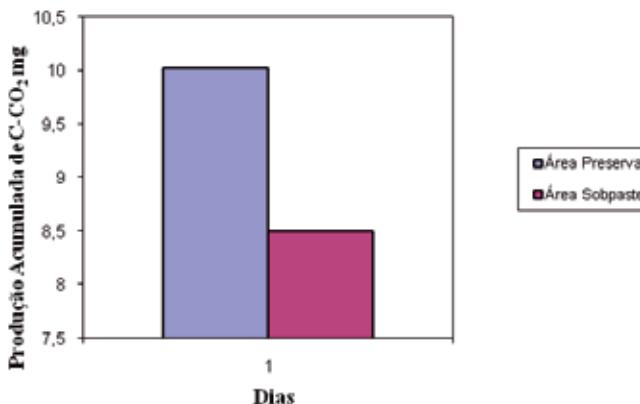


Gráfico 3 - Respiração basal acumulada do solo (RBS) do Sítio Aroeira no Município de Irauçuba/CE nas áreas de exclusão e de sobrepastejo
Fonte: Costa (2013).

Tabela 2 – Número mais provável (NMP) de células viáveis rizobianas das áreas de exclusão e de sobrepastejo do Sítio Aroeira no município de Irauçuba/CE

Número mais provável de células viáveis rizobianas	
Área exclusão	Área sobrepastejo
Ponto 1	25 cél./g _{solo}
Ponto 2	4 cél./g _{solo}
Ponto 3	11 cél./g _{solo}
Média: 13,3 cél./g _{solo}	Média: 1,3 cél./g _{solo}

Fonte: Costa (2013).

Foram obtidos 21 isolados de rizóbios nativos provenientes das áreas de exclusão e de sobrepastejo, porém apenas sete desses isolados foram autenticados como estirpes rizobianas bem caracterizadas (Tabela 3). Desses, cinco isolados foram provenientes da área de exclusão e dois da área de sobrepastejo.

O maior número de isolados de rizóbios autenticados que se associam a feijão, espécie leguminosa não muito seletiva a essas bactérias, obtidos da área de exclusão, pode estar relacionado com o manejo em pousio há mais de dez anos, com uma vegetação predominante de espécies de leguminosas nativas.

O menor número de isolados rizobianos autenticados obtidos pode estar relacionado ao avanço da degradação do solo da área de sobrepastejo. Sene et al. (2012), ao estudarem a abundância de rizóbios em amostras de solo coletadas em área degradada e em sistemas florestais no semiárido de Senegal, observaram que, na área de floresta, ocorreu um aumento de células rizobianas, de acordo com o número mais provável, diferentemente da área desmatada, a qual apresentava valores bem menores. Os resultados encontrados por esses autores corroboraram os obtidos nas áreas de exclusão e sobrepastejo do município de Irauçuba - CE, também uma região de clima semiárido, comprovando que a degradação do solo pode afetar negativamente a densidade/diversidade das estirpes rizobianas nativas.

As características culturais desses isolados autenticados, selecionados para utilização no ensaio de avaliação da eficiência simbiótica, estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização cultural dos isolados autenticados de rizóbio que se associam a feijão-caupi das áreas de exclusão e sobrepastojo do Sítio de Aroeira, município de Irauçuba/CE

Caracterização das colônias de isolados de rizóbio que se associam a feijão-caupi							
Área de origem	Idade de observação	Forma	Borda	Elevação	Cor	Transparência	Muco: quantidade
							elasticidade
Isol. 1 Exclusão	12 dias	Irregular	Inteira	Achatada	Branco	Branco leitoso	Abundante
Isol. 2 Exclusão	12 dias	Irregular	Inteira	Achatada	Branco	Branco leitoso	Pouca
Isol. 3 Exclusão	12 dias	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante
Isol. 4 Exclusão	12 dias	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante
Isol. 5 Exclusão	12 dias	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante
Isol. 6 Sobrepastojo	12 dias	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante
Isol. 7 Sobrepastojo	12 dias	Irregular	Inteira	Achatada	Hialino	Branco leitoso	Abundante

Fonte: Costa (2013).

Observamos que todas as colônias dos isolados rizobianos apresentaram-se bastante homogêneas quanto às suas características morfológicas; eram Gram-negativas e acidificaram o meio de cultura. Essa última característica cultural é própria das estirpes rizobianas de crescimento rápido (*Bradyrhizobium*), importante estratégia adaptativa em solos semiáridos.

Medeiros et al. (2009) ressaltam que os rizóbios de crescimento rápido são mais comuns nas regiões mais áridas, em razão da maior necessidade de uma rápida multiplicação.

Xavier et al. (1998) observaram, porém, que o tempo de crescimento não está relacionado necessariamente à resistência às altas temperaturas e outros estresses abióticos. Também é válido notar-se a transparência hialina da maioria das colônias dos isolados, característica já observada em alguns isolados de solos mais secos.

Na Tabela 4, estão relacionados os resultados relativos ao ensaio de avaliação da eficiência simbiótica fixadora do nitrogênio atmosférico dos sete isolados de rizóbios associados a feijão-caupi.

Tabela 4 – Eficiência da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico em feijão-caupi inoculado com sete isolados de rizóbio cultivado em areia estéril (média de quatro repetições)

Tratamento	MSPA (g)	Efr(%)	NPA (mg/Kg)	MSN (g)
C (+N -R)	3, 3 a	-	228,1 a	-
C (-N -R)	1, 2 c	-	54,3 c	-
Isolado 1	1, 6 bc	50	120,1 b	0,17 c
Isolado 2	2, 1 b	64	129,0 b	0, 20 bc
Isolado 3	1, 9 b	61	49,9 c	0, 23 ab
Isolado 4	2, 1 b	65	49,2 c	0, 27 a
Isolado 5	2, 0 b	62	47,7 c	0, 22 b
Isolado 6	1, 3 c	40	26,3 c	0, 08 d
Isolado 7	2, 0 b	60	33,8 c	0, 19 bc
CV (%)	17,4%	-	47,8%	19,6%

Fonte: Costa (2013).

*Valores seguidos por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Duan ($p \leq 0,05$). Legenda: C (+N -R) = controle sem inoculação e com adição de nitrogênio; C (-N -R) = controle sem inoculação e omissão de nitrogênio; NPA = teor de nitrogênio na parte aérea; MSPA = massa seca da parte aérea; Efr (%) = eficiência relativa ao controle adubado com N mineral; MSN = massa da matéria seca dos nódulos.

A adubação nitrogenada mineral produziu os maiores valores de massa da matéria seca da parte aérea das plantas, como era de se esperar. Todos os isolados rizobianos induziram a formação de nódulos nas raízes das plantas inoculadas. Os tratamentos-controle não inoculados não mostraram nodulação radicular.

Os sete isolados rizobianos autenticados inoculados nas plantas de feijão-caupi por ocasião da semeadura contribuíram de forma variável para a produção de matéria seca da parte aérea com uma eficiência relativa variando de 40% a 65% em relação ao controle adubado com N mineral (100%). Nascimento et al. (2010) observaram isolados de rizóbios nativos que eram capazes de promover crescimento em feijão-caupi equivalente àquele apresentado por plantas que recebiam adubação com N mineral ou mesmo inoculação com estirpes recomendadas.

Os isolados 2, 3, 4, 5 e 7 foram os que mais contribuíram para a produção de matéria seca da parte aérea das plantas, enquanto os isolados 1 e 6 foram os que menos contribuíram, não mostrando diferença estatística significativa em relação ao controle absoluto não adubado e não inoculado com rizóbio. Mesmo com uma contribuição menor, esses dois isolados ainda foram responsáveis por uma contribuição da fixação de N₂ para a produção de cerca de 50% de matéria seca da parte aérea das plantas avaliadas em relação ao controle. De acordo com (LIMA; PEREIRA; MOREIRA, 2005), as populações nativas de rizóbios são constituídas por estirpes com eficiência variável, das quais algumas podem ser recomendadas para testes de eficiência agronômica.

O isolado rizobiano 6, entretanto, induziu também a menor produção de massa da matéria seca de nódulos, diferindo estatisticamente dos demais isolados e tendo se destacado como o menos eficiente na fixação do N₂ pelas plantas de feijão-caupi. Cardoso et al. (1992) relatam que, quando ocorre uma menor nodulação, consequentemente acontece, também, uma menor eficiência fixadora de nitrogênio nas plantas associadas com rizóbios.

O isolado rizobiano 4, entretanto, se destacou entre os demais pela maior eficiência relativa, massa da matéria seca da parte aérea e de nódulos radiculares (Tabela 4). Os isolados rizobianos 1 e 2, por outro lado, foram os que mais acumularam N na parte aérea das plantas avaliadas.

Outro aspecto importante na avaliação da eficiência dos isolados rizobianos está relacionado à posição dos nódulos formados nas raízes das plantas. Essa distribuição ao longo da raiz principal reforça a razão de os isolados 1 e 2 efetuarem um maior acúmulo de nitrogênio na parte aérea, uma vez que exibiram uma distribuição nodular na raiz mais caracterizada para uma maior eficiência fixadora do N₂. Essa disposição dos nódulos está ligada a fatores genéticos que determinam uma maior ou menor fixação de N para a planta.

Conclusões

- A revegetação e a preservação da área degradada do Sítio Aroeira, Irauçuba/CE, estimulou a atividade microbiana e aumentou a quantidade de matéria orgânica do solo.
- O manejo inadequado do solo externo à área de exclusão diminui a densidade de rizóbios nativos capazes de nodular e fixar N₂ em feijão-caupi.
- As estirpes de rizóbios nativas isoladas e testadas quanto à capacidade de estabelecer simbiose com o feijão-caupi demonstraram eficiência fixadora do N₂ razoável e podem ser utilizadas em ensaios de competição futuros com vistas à inoculação em solos de áreas de baixa densidade rizobiana.
- Ficou evidente a necessidade de que mais estudos devem ser realizados com relação à atividade biológica do solo de Irauçuba/CE, para que se possam buscar opções para a redução dos efeitos deletérios do processo de desertificação que já se observa, possibilitando a integração mais racional do homem com as dificuldades de seu ambiente.

Referências Bibliográficas

- ALLEN, O. N. *Experiments in soil bacteriology*. 3. ed. Minneapolis: Burgess Publishing, 1957.
- ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, p. 234-245, 1995.

ALEXANDDER, M. Most probable number method for microbial populations. In: BLACK, C. A. *Methods of soil analysis - chemical and microbiological properties*, Madison, v. 2, p. 1467-1472, 1965.

ARAÚJO FILHO, J. A. *A desertificação nossa de cada dia*. 2003. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/50558/49362>>. Acesso em: 28 dez. 2012.

BARRETT, C. F.; PARKER, M. A. Coexistence of burkholderia, cupriavidus, and rhizobium sp. nodule bacteria on two *mimosa* sp. in Costa Rica. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 72, p. 1198-1206, 2006.

BAKKE, I. A. et al. Cinética da respiração edáfica em dois ambientes distintos no semi-árido da Paraíba. In: ENCONTRO NORDESTINO DE BIOGEOGRAFIA, 2., 2001, Maceió. *Anais...* Maceió: UFAL, 2001. p. 225-231.

BIOARTS INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE BIOTECNOLOGIA. 2012. Disponível em: <http://www.bioarts.com.br/pdf/FIXACAO_BIOLOGICA_NITROGENIO.pdf>. Acesso em: 11 out. 2012.

BROUGHTON, W. J.; et al. Flavonoid-inducible modifications to rhamnan o antigens are necessary for rhizobium sp. strain NGR234-legume symbioses. *Journal of Bacteriology*, v. 188, p. 3654-3663, 2006.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2012. *Conjuntura sobre a produção de feijão no Ceará safra 2011/2012*. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conab-superintendenciasregionais-interna.php?uf=CE>>. Acesso em: 22 set. 2012.

CUNHA FILHA, L. S. da. *Efeitos da aplicação de tortas de pinhão manso e mamona no crescimento do feijão caupi e nas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado de Irauçuba-CE*. 2011. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

GALVANI, F.; GAERTNER, E. *Adequação da metodologia kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta*. Corumbá: Embrapa Pantanal, v. 63, maio, 2006. (Circular Técnica).

FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. G. Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 18, n. 12, p.1369-1372, dez. 1983.

FUNDAÇÃO CEARENCE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. 2011. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/meio-ambiente/solos/102>>. Acesso em: 24 set. 2012.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. *The water culture method of growing plants without soil*. Berkeley: University of California, 1950. 32 p.

HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. *Manual de métodos empregados estudos de microbiologia agrícola*. Brasília: EMBRAPA. 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. *Município de Irauçuba*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 23 set. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. *Perfil básico do município de Irauçuba*. 2011. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2011/Iraucuba.pdf>. Acesso em: 24 set. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. *Mapas municipais*. 2013. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br/categoria5/municipais/mapas-municipais/>>. Acesso em: 14 fev. 2013.

LIMA, A. S.; PEREIRA, J. P. A. R.; MOREIRA, F. M. S. Diversidade fenotípica e eficiência de estirpes de bradyrhizobium spp. de solos da Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasilia, v. 40, n. 11, p.1095-1104, 2005.

MARKENTON, M. M. et al. Quorum sensing controls exopolysaccharide production in Sinorhizobium meliloti. *Journal of Bacteriology*, v. 185, p. 325-331, 2003.

MEDEIROS, E. V. et al. Diversidade morfológica de rizóbios isolados de caipi cultivado em solos do estado do Rio Grande do Norte. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 31, n. 3, 2009.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa: UFV. 2005. 107 p

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica do nitrogênio. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. ed. Lavras, Universidade Federal Lavras, p. 501-529. 2006.

NASCIMENTO, L. R. S. et. al. Eficiência de isolados de rizóbios nativos do agreste paraibano em caipi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 5, n. 1, p. 36-42, 2010.

PANOSSO, A. R. et al. Uso de krigagem ordinária e co-krigagem para estimar a emissão de CO₂ do solo após molhamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. *Anais...* Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

SANTOS, L. A.; REIS, V. M. *A formação do nódulo em leguminosas*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, p. 9-21, jun. 2008. (Documentos, 251).

SENE, G. et al. The abundance and diversity of legume-nodulating rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungal communities in soil samples from deforested and man-made forest systems in a semiarid Sahel region in Senegal. *European Journal of Soil Biology*, Senegal, v. 52, p. 30-40, 2012.

SILVA, F. C. et al. *Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo*. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, out. 1998. (Documentos, 3).

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fixação biológica do nitrogênio atmosférico. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal Lavras, p. 90-121, 2002.

SINGH, B. B. et al. *Advances in cowpea research*. Japan: JIRCAS, 1997.

SOUZA, F. P. de. *Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: o caso Irauçuba, Ceará.* 2009. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

VINCENT, J. M. *A manual for the practical study of root-nodule bacteria.* Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1970. 164 p. (International Biological Programme Handbook, 15).

XAVIER, G. R. et al. Edaphic factors as determinants for the distribution of intrinsic antibiotic resistance in a cowpea rhizobia population. *Biology and Fertility of Soils*, v. 27, n. 4, p. 386-392, 1998.

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) PARA ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DOS CAVALOS, CRATEÚS - CE

*Ewerton Torres Melo
Marta Celina Linhares Sales*

Introdução

A microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos, localizada a oeste do município de Crateús - CE, apresenta boas condições de umidade e solos propícios à agricultura, quando comparada à região na qual está inserida. Essas condições são características dos chamados pés-de-serra que, de acordo com Andrade (2005), correspondem aos lugares onde fluem os materiais transportados das encostas pelas enxurradas e contêm, quase sempre, um manto de solo mais espesso, o que permite a conservação, por um espaço de tempo maior, da umidade fornecida na estação chuvosa.

Para Souza (2006), os “brejos” ou “pés-de-serra” concentram elevados contingentes demográficos. Em decorrência, o uso da terra é intenso, implicando forte pressão sobre os recursos naturais renováveis. Por essa mesma razão, a microbacia do riacho dos Cavalos foi intensamente povoadas e, consequentemente, explorada de forma demasiada com técnicas tradicionais e rudimentares que culminaram em um alarmante processo de degradação ambiental, levando, inclusive, à desertificação.

De acordo com Sales (1997), o cultivo intensivo, o superpastoreio e a retirada de madeira, assim como o uso de tecnologias inadequadas (principalmente na irrigação de terras), são citados como principais causas da desertificação nas regiões áridas, semiáridas e subsumidas secas. Associado a isto, há o problema da existência de uma estrutura fundiária extremamente rígida em que se desenvolvem atividades agropecuárias de baixo nível tecnológico, que inevitavelmente leva a práticas agrícolas predatórias e, consequentemente, à degradação ambiental (SALES, 2002).

À vista dessa realidade, a cobertura vegetal mostra-se como um fator por demais importante na manutenção dos recursos naturais renováveis. Além de exercer papel essencial na manutenção do ciclo da água, protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, aumentando a porosidade e a permeabilidade do solo mediante a ação das raízes, reduzindo o escoamento superficial, mantendo a umidade e a fertilidade do solo pela presença de matéria orgânica (BELTRAME, 1994).

A vegetação funciona como um manto protetor dos recursos naturais e, por essa razão, sua distribuição e densidade definem o estado de conservação do ambiente. Compreende-se, portanto, a ideia de que analisar a densidade da cobertura vegetal, assim como sua espacialidade, torna-se um importante mecanismo para estudos voltados à análise da degradação ambiental, gestão e planejamento dos recursos naturais, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico do dinamismo no espaço agrário e, entre outras finalidades, principalmente quando se utiliza a microbacia hidrográfica como unidade espacial de análise (MELO, 2008).

Sob esta perspectiva, o presente ensaio contém uma análise comparativa da cobertura vegetal da microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos entre os anos de 1979 e 2006. Para isso, utilizou-se de ferramentas de geoprocessamento, especialmente na geração de imagens de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ou índice de vegetação por diferença normalizada. Assim, o produto final se tornou uma ferramenta indispensável para o entendimento da degradação ambiental da microbacia e, acima de tudo, uma contribuição valiosa para os trabalhos de planejamento ambiental.

Características gerais da área de estudo

A microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos está localizada na porção oeste do município de Crateús - CE. Possui aproximadamente

457km² e faz parte da bacia de drenagem do rio Poti que, por sua vez, integra a grande bacia hidrográfica do Parnaíba (Figura 1). Esta microbacia possui ainda características marcantes no que diz respeito às condições geocáracterísticas, pois está inserida entre dois domínios geológicos: a Depressão Sertaneja (Embasamento Cristalino Pré-Cambriano) e o Planalto Sedimentar da Ibiapaba (Formação Serra Grande, período Siluro-Devoniano). Estas características foram determinantes para os padrões de ocupação e uso do território, assim como suas implicações com relação à degradação dos recursos naturais no contexto da microbacia hidrográfica (MELO, 2008).

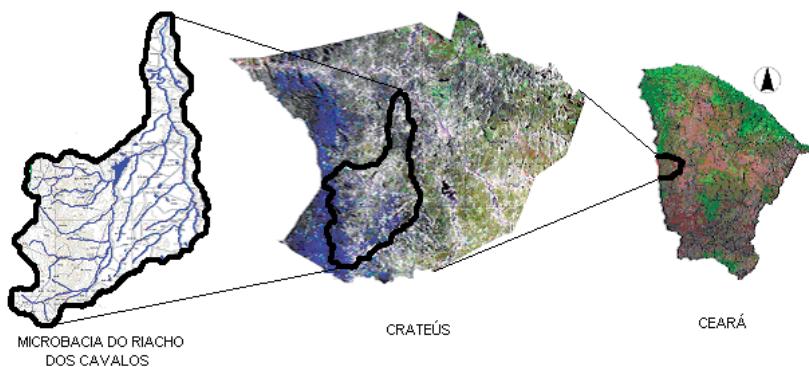


Figura 1 – Localização geográfica da microbacia do riacho dos Cavalos
Fonte: Melo (2008).

O clima local é caracterizado como tropical quente semiárido brando e tropical quente semiárido, com temperatura média de 26 °C a 28 °C e pluviosidade média de 730 mm. Os solos da microbacia do riacho dos Cavalos são representados, segundo a nova classificação da (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006), por Neossolo Quartzarênico, Luvissolo Crômico, Latossolo Amarelo, Planossolo Háplico e Argissolo Vermelho Amarelo. A vegetação é constituída pela caatinga arbustiva aberta, carrasco, floresta caducifólia espinhosa e florestas subcaducifólia tropical pluvial (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2007).

As principais atividades econômicas residem na agricultura de subsistência de feijão, milho e mandioca, além de monoculturas de algodão, cana-de-açúcar, castanha de caju e frutas diversas. Na pecuária extensiva, destaca-se a criação de bovinos, ovinos, caprinos e suínos. O extrativismo vegetal baseia-se na fabricação de carvão vegetal, extração de madeiras diversas para lenha e construção de cercas, além de extração de óleo da oiticica e cera da carnaúba.

Procedimentos metodológicos

Obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores satelitários. De acordo com Moreira e Shimabukuro (2004), na literatura são encontrados cerca de 50 índices de vegetação, sendo quase todos obtidos de medidas da reflectância nas faixas especiais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

Embora muitos índices vegetativos existam, o mais usado e conhecido é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que permite o monitoramento da densidade e do estado (vigor) da vegetação verde sobre a superfície terrestre. Esse índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar tanto sua distribuição espacial, como também sua evolução no decorrer do tempo (MOREIRA; SHIMABUKURO, 2004).

Com base no NDVI, é possível determinar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área (quanto maior este índice de vegetação, mais densa é a fitomassa verde). De acordo com Novo (1989), à medida que aumenta a quantidade de vegetação verde, aumenta a reflexão na banda do infravermelho próximo e diminui a reflexão na banda do vermelho, fazendo com que o aumento da razão seja potencializado, realçando, assim, a vegetação.

Para o cálculo do NDVI, Jensen (1996) propôs a seguinte equação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Em que:

NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho próximo (0,76 a 0,90 µm);

R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69µm).

A vegetação é caracterizada, assim, por uma intensa absorção em virtude da clorofila na região do vermelho (0,63 – 0,69 µm) e por uma intensa energia refletida na região do infravermelho próximo (0,76 – 0,90 µm) causada pela estrutura celular das folhas. Se o objetivo central é gerar o NDVI da imagem selecionada, só é necessário utilizar as bandas 3 e 4 da imagem, as quais atuam no comprimento de onda correspondente à região do visível-vermelho e ao infravermelho próximo.

O utilitário Vegindex do software IDRISI 3.2 (EASTMAN, 2001) dispõe de 19 diferentes tipos de cálculo do índice de vegetação e, por meio dele, calculou-se o NDVI pelo processamento das bandas 3 e 4. Os valores do NDVI oscilam de -1 a +1. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, ela apresenta-se em seu estádio denso, úmida e bem desenvolvida. A água tem reflectância na banda 3 maior do que na banda 4, apresentando valores negativos, próximos a -1, no NDVI. As nuvens refletem de forma semelhante no visível e no infravermelho próximo; portanto, espera-se que o valor do pixel seja bem próximo de zero. O solo nu sem vegetação, ou com vegetação rala e esparsa, apresenta valores positivos, mas não muito elevados. A Figura 2 expõe a escala de valores e suas cores correspondentes ao NDVI.



Figura 2 – valores da razão entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo
Fonte: (MOREIRA; SHIMABUKURO, 2004).

Índice de Cobertura Vegetal da Microbacia do Riacho dos Cavalos

Neste estudo, convencionou-se denominar as classes de vegetação da microbacia do riacho dos Cavalos identificadas pelo NDVI de Índice de Cobertura Vegetal. Este índice foi determinado em dois anos distintos, dando prioridade à imagem de satélite mais antiga e uma mais recente, na expectativa de verificar as mudanças ocorridas, em termos de cobertura vegetal, no período analisado. Ante as dificuldades de encontrar imagens sem cobertura de nuvens na escala proposta, foram selecionadas somente imagens de 1979 e 2006, ou seja, uma diferença de 27 anos, o que é bastante significativo para análise das mudanças na cobertura vegetal.

Além disso, é preciso prudência na escolha dos períodos das imagens de satélites utilizadas na geração do NDVI, visto que durante o período de déficit hídrico os valores dos índices de vegetação na caatinga são baixos, enquanto nos meses chuvosos os valores são os mais altos, em virtude da resposta da vegetação. Diversos trabalhos (BAPTISTA et al., 2005; NETO et al., 2005; GAO; HUETE, 2003; BRAGA; SANSIGOLLO; TANTRAVAHINI, 2000) mostraram o comportamento sazonal da caatinga em que os valores dos índices de vegetação mostraram ter grandes amplitudes anuais.

Assim, para este estudo, foram obtidas, junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), imagens geradas pelo sensor *Multi-Spectral Scanner Imagens* (MSS), acoplado ao satélite Landsat 2, na órbita 234 e ponto 064, datada em 19/8/1979, e imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) acoplado ao satélite Landsat 5, na órbita 218 e ponto 064, datada em 6/8/2006. Em seguida, foram selecionadas as bandas 3 e 4, correspondentes aos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo para gerar as imagens NDVI por meio do Vegindex do software IDRISI 3.2 (EASTMAN, 2001).

Para melhor representação dos índices de vegetação, as imagens NDVI dos anos de 1979 e 2006 foram reclassificadas com uso do recurso computacional Reclass do IDRISI 3.2 (EASTMAN, 2001). Foram então criadas cinco categorias, em que todos os valores negativos foram convertidos para o nível [1] e todos os valores positivos

condensados até ao nível máximo de [5]. Com isso, as imagens ficaram representadas por níveis que variam de 1 para as piores condições do índice de cobertura vegetal e 5 para as melhores condições encontradas na área de estudo. Este processo resultou na elaboração dos mapas de Índice de Cobertura Vegetal da Microbacia para os anos de 1979 e 2006, apresentados na Figura 3.

Com o auxílio do mapa de 2006, foi possível verificar, em campo, quais os tipos de vegetação representavam cada índice configurado nos mapas. Dessa forma, constatou-se que o índice “Alto” corresponde às áreas cobertas pela floresta subcaducifólia tropical pluvial (ou mata seca). O índice “Moderadamente Alto” está representado pela floresta caducifólia espinhosa (caatinga arbórea). O “Médio” apresenta uma caatinga arbustiva aberta; já o “Moderadamente Baixo” foi identificado como lavouras e pastagens, enquanto que o índice “Baixo” apresentou-se como áreas desprovidas de vegetação (solo nu). Os fragmentos de cor azul, que aparecem, principalmente, no mapa de 2006, correspondem aos corpos hídricos superficiais, identificados em campo como reservatórios.

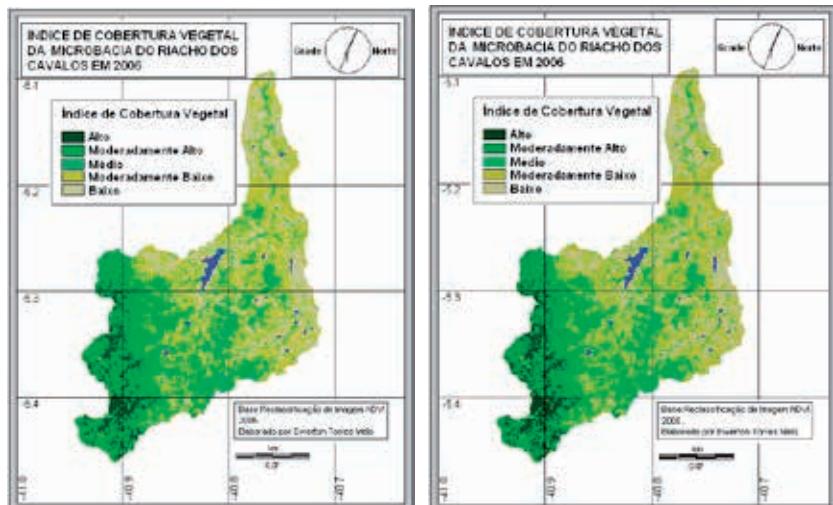


Figura 3 – Mapas de cobertura vegetal para os anos de 1979 e 2006
Fonte: Organizada pelos autores.

Resultados e Discussões

Os mapas elaborados com base no NDVI mostram, claramente, considerável variação da cobertura vegetal e, sem dúvida, dos padrões de uso da terra entre os anos de 1979 e 2006. É rapidamente perceptível, na análise dos mapas, a constatação de uma enorme perda de floresta subcaducifólia tropical pluvial e floresta caducifólia espinhosa. Estas são unidades vegetacionais com altos níveis de proteção dos solos, ou seja, possuem índice Alto e Moderadamente Alto de cobertura vegetal na microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos. Significa dizer, portanto, que houve significativas reduções de áreas conservadas em detrimento da expansão das atividades agropecuárias, evidentemente representadas pelo aumento substancial de áreas desmatadas, como mostram os gráficos abaixo (Figura 4).

Índice de Cobertura Vegetal da Microbacia do Riacho dos Cavalos

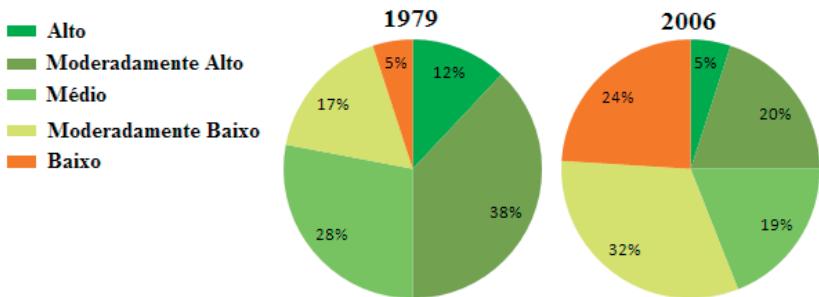


Figura 4 – Representação percentual das áreas classificadas pelo índice de cobertura vegetal
Fonte: Organizada pelos autores.

Em 1979, a área que corresponde ao índice de cobertura vegetal “Baixo” era de aproximadamente 22km², ou 5% da área da microbacia; já no ano de 2006, essa área expandiu para 108km², denotando, assim, a maior variação ocorrida dentre os índices analisados. Da mesma forma, nota-se uma larga expansão das áreas identificadas pelo índice “Moderadamente Baixo”, cuja análise de campo descreveu como áreas agrícolas e pastos.

Essa expansão ocorreu, principalmente, nas direções centro e nordeste da microbacia, áreas devidamente próximas à Sede Municipal de Crateús. As áreas próximas aos açudes, contudo, sofreram maior impacto com a supressão da cobertura vegetal, uma vez que os açudes contribuem para o adensamento populacional e exploração dos recursos naturais, seja por meio da agricultura irrigada ou da pecuária. Foi verificado em campo o fato de que grande parte dessas áreas mostram sérios problemas de erosão dos solos, principalmente nas áreas irrigadas, favorecendo o surgimento de sulcos de erosão avançados, como as voçorocas visualizadas na imagem de satélite à esquerda e com detalhes da foto ao lado, mostrando o severo processo de erosão (Figura 5).



Figura 5 – Imagem de uma área de irrigação totalmente degradada.
Imagen de satélite à esquerda e foto com detalhes dela ao lado.

Local: Distrito de Realejo

Fonte: Imagem do Google Earth 2004 e foto dos autores.

Por outro lado, nota-se que as florestas remanescentes, cujos índices de cobertura vegetal são altos ou moderadamente altos, estão concentradas na porção oeste da microbacia, na região do planalto sedimentar da Ibiapaba. Nessa região, as condições do relevo contribuíram para preservar

a floresta que está situada no topo e nas encostas do planalto, pois a inclinação do terreno, a falta de recursos hídricos superficiais e a dificuldade de acesso aos lugares de maior altitude serviram de obstáculos ao desenvolvimento das atividades agropecuárias neste setor. Infelizmente, se não houver um trabalho de proteção dessas áreas, o destino será o mesmo de todo o restante da área da microbacia, visto que a degradação das terras que as transformaram em improdutivas promove a busca de novas áreas para explorar com os mesmos padrões de ocupação e uso.

Considerações Finais

O uso de ferramentas para o processamento de imagens de satélite, especificamente o NDVI, mostrou-se bastante eficiente e preciso para a identificação da cobertura vegetal da microbacia do riacho dos Cavalos. Dessa maneira, foi possível elaborar um material indispensável para análise ambiental da área estudada, em que os índices de cobertura vegetal representam as reais condições de conservação e de degradação ambiental dessa área.

Finalmente, espera-se que este trabalho sirva de subsídio para o estabelecimento de medidas de preservação, conservação e recuperação das áreas degradadas, assim como subsídio indispensável ao planejamento ambiental da microbacia do riacho dos Cavalos, apregoada nos preceitos da sustentabilidade.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, M. C de. *A terra e homem no Nordeste*: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2005. 334 p.

BAPTISTA, G. M. de Melo. et al. Comportamento sazonal da vegetação de caatinga na região de Lucrécia, RN, em 2003 e 2004, por meio de dados do sensor CCD do CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: INPE, 2005. p. 797-804.

BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Florianópolis: UFSC, 1994.

BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; TANTRAVAHY, V. R. R. Padrões de variabilidades espaciais e temporais de NDVI na região nordeste do Brasil usando análise fatorial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2000. p. 709-717. 1 CD-ROM.

EASTMAN, J. R. *Idrisi32 Production*. Clark University, Worcester, MA, USA, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

GAO, X.; HUETE, A. R.; DIDAN, K. Multisensor comparisons and validation of MODIS vegetation indices at the semiarid Jornada experimental range. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 4, n. 10, out. 2003.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. *Perfil básico municipal*: Crateús. Fortaleza: IPLANCE, 2007.

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 318 p.

MELO, E. T. *Diagnóstico físico conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos – Crateús/CE*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Fortaleza, 2008.

MOREIRA, M. A.; SHIMABUKURO, Y. E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. In: APLICAÇÕES AMBIENTAIS BRASILEIRAS DOS SATÉLITES NOAA E TIROS-N. São Paulo, Oficina de Textos, cap. 4, p. 79-101, 2004.

NOVO, E. L. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São

Paulo: Edgar Blucher, p. 1-8, 1989.

SALES, M. C. L. *Estudo da degradação ambiental em Gilbués – PI: reavaliando o núcleo de desertificação*. 1997. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

_____. Evolução dos estudos de desertificação no nordeste brasileiro. *Geousp*, São Paulo: Espaço e Tempo, n. 11, p. 115-126, 2002.

SOUZA, M. J. N. Contexto geoambiental do semi-árido do Ceará: problemas e perspectivas. In: SOBRINHO, J. F.; FALCÃO, C. L. C. (Org.). *Semi-árido: diversidades, fragilidades e potencialidades*. Sobral: Sobral Gráfica, 2006. 213 p.

AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSCETIBILIDADE GEOAMBIENTAL NATURAL (ISGND) E SUSCETIBILIDADE GEOAMBIENTAL NATURAL ANTRÓPICA À DEGRADAÇÃO (ISGNAD) EM MUNICÍPIOS DO MÉDIO/BAIXO VALES DO RIO JAGUARIBE - CE

*Ana Cristina Fernandes Muniz
José Gerardo Beserra Oliveira*

Introdução

Estudos de Soares et al. (1995) referentes ao panorama de degradação/desertificação no estado do Ceará, analisando os níveis avançados de degradação, relacionando-os com índices preocupantes da baixa qualidade dos recursos hídricos e salinização dos solos, indicaram para os trechos Médio e Baixo do vale do rio Jaguaribe um alto grau de suscetibilidade à desertificação. Muniz (2009) identificou os condicionantes naturais e socioeconômicos do processo de desertificação nesta área através de sua caracterização geoambiental, observando suas principais potencialidades naturais e socioeconômicas. Nesse contexto, verificaram-se os níveis e tipos de degradação física e antrópica que nela ocorrem, detalhando a avaliação realizada através dos Índices de Suscetibilidade Geoambiental à Degradação (ISGND) e do Índice de Suscetibilidade Geoambiental Natural Antrópica à Degradação (ISGNAD) para os municípios estudados.

Os municípios estudados na presente pesquisa encontram-se situados no vale do médio-baixo curso do rio Jaguaribe e são eles: Alto Santo, Iracema, Jaguaribe, Jaguaribara, Jaguaretama, Solonópole e São João do Jaguaribe, perfazendo uma área de 8.282,976km². Todos fazem parte da zona de influência do açude Castanhão. Figura 1.

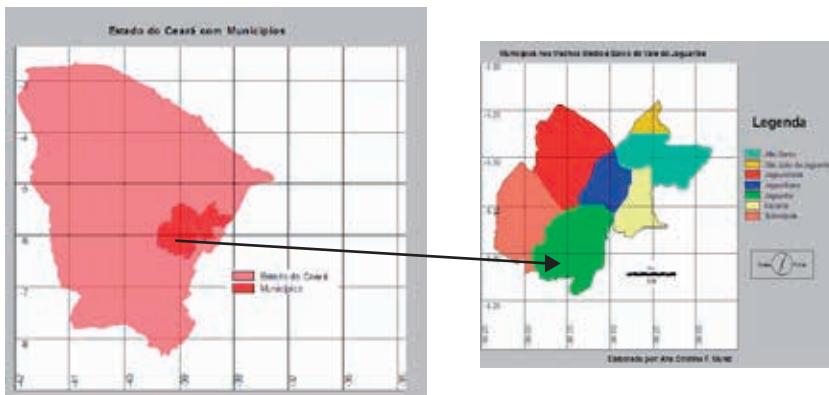


Figura 1 – Área de estudo

Fonte: Organizada por Muniz (2009).

De acordo com Brasil (1981), a área de estudo mostra:

a. Geologia que se apresenta sob a forma de três compartimentos em que a maioria é composta por formações que remontam ao pré-cambriano, com solos rasos e relevo plano. São áreas compostas de sedimentos consolidados e não consolidados originados a partir do intemperismo e da erosão das rochas já existentes. Os terrenos cristalinos são representados por rochas cristalinas e ocupam a maior parte do território. Geologicamente, são representados pelas estruturas da Chapada do Apodi, Planície Fluvial, Depressão Sertaneja e Serra do Pereiro.

b. Pluviocidade Média Anual que varia entre 700mm e 800mm, com Temperatura Média Anual entre 26 °C e 27 °C com Evapotranspiração Total Anual (ETA) variando entre 1100 e 1700mm. O Índice Efetivo de Umidade (Im) fica entre -16,6 e -49,9, variando em meses secos entre 6 e 9.

c. Vegetação constituída por é uma caatinga caducifoliada, que aparece com variações fisionômicas entre as quais se destacam uma caatinga arbórea, com árvores de maior porte e uma caatinga arbustiva caracterizada por árvores de menor porte, em solos que oscilam entre rasos e profundos, com textura média ou arenoso-argilosa com fertilidade natural que vai de média a alta e moderadamente ou imperfeitamente mal drenados.

d. Solos Litólicos Eutróficos (Neossolos Litólicos), Planossolos Solódicos (Planossolos), Bruno não Cálcicos (Luvissolos), Podizólicos Vermelhos Amarelos Eutróficos (Argissolos) os Neossolos Litólicos e Afloramentos Rochosos (áreas erodidas), solos rasos e com textura argilosa com fertilidade natural média e bastante suscetível à erosão, afloramentos rochosos e chão pedregoso. Esses solos geralmente são pedregosos e revestidos por caatinga hiperxerófila e suscetíveis à erosão (BRASIL, 1981).

Avaliação do Índice de Suscetibilidade Geoambiental Natural à Degradação (ISGND) e do Índice de Suscetibilidade Geoambiental Natural Antrópica à Degradação (ISGNAD)

Para a avaliação dos índices, optou-se por utilizar a metodologia de parâmetros tais como: Índice Climático (IC), Precipitação (P), Evapotranspiração (ETP) com a computação do balanço hídrico da área, computado de acordo com Oliveira e Sales (1995), bem como a Erosividade (R), Erodibilidade (K), Classes de Relevo e, por último, a análise do padrão de conservação da Cobertura Vegetal (ICV), através da comparação de imagens de satélite referente aos anos de 1986/89 e 2007 e as bandas 3 e 4 do satélite Landsat 5 MSS (Multi-Spectral Scanner Imagens) órbitas 216 e 217, pontos 063 e 064, datada de 25/9/86, 9/8/89 e 18/8/2007.

Índice Climático (IC)

O método mais apropriado e essencial para se estabelecer o parâmetro Índice Climático (IC) da área foi através da relação entre o índice efetivo de umidade (Im) e o número de meses secos (MS).

Com a computação do balanço hídrico da área, obtivemos o Índice Climático, cuja função foi estipular a severidade do clima na equação que define o risco de degradação física da área de estudo. Dessa forma,

para determinar o IC dos municípios estudados, efetuou-se inicialmente o traçado de isolinhas com valores de Im e MS, plotado no mapa da área com o uso de técnicas cartográficas.

Para se identificar as zonas climáticas da United Nations Environment Programme (1991) da área de pesquisa, primeiramente foram coletados os dados de precipitação dos quais foram utilizadas informações dos dados pluviométricos da área, coletadas na Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (1990) num período de 1920 a 1970 e 1935 a 1985 para 23 postos pluviométricos da área e em seu entorno. As falhas existentes nesse posto foram corrigidas através do método de ponderação regional, (TUCCI, 1993) com a retificação dos dados incompletos.

Os valores dos índices de aridez foram analisados através da computação dos postos pluviométricos para área em um mapa com escala de 1:500.000 de acordo com as respectivas coordenadas geográficas para cada posto. A variação no clima em conjunto com a instabilidade das precipitações favoreceu as variações existentes no Índice Efetivo de Umidade (IM) de cada município estudado. Constatamos que o menor valor médio encontrado foi de -66,6 para o posto de Coroatá e o maior -42,2 para o posto de Feiticeiro. Os climas delimitados: Semi-Árido e Subúmido Seco.

Com os dados de precipitações e temperaturas médias mensais se estimou a Evapotranspiração Potencial através do uso das equações de regressão múltipla que foi proposta para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, que pode ser observada abaixo:

$$Y = a^0 + ax^1 + bx^2 + cx^3 + a^1x^{21} + b^1x^{22} + c^1x^{23} + a^2x^1x^3 + b^2x^1x^3 + c^2x^2x^3 \quad (1)$$

Onde:

Y é o valor da temperatura;

x^1 é a longitude em graus;

x^2 é a latitude em graus;

x^3 é a altitude em metros;

$a^0, a, b, c, a^1, b^1, c^1, a^2, b^2, c^2$ são parâmetros estimados pelo método dos mínimos quadrados.

O cálculo foi realizado através do programa computacional desenvolvido por Oliveira e Sales (1995), cuja utilização é feita

para o cálculo do Balanço Hídrico Sequencial, levando em conta as instruções para a avaliação da Evapotranspiração Potencial (THORNTHWAITE; MATHER, 1957).

A ETP foi calculada com base na equação de Sellers (1965):

$$(ETP_0)M = 16(10Tm/I) a \quad (2)$$

Onde:

(ETP^0) é a evapotranspiração potencial não ajustada para o mês m, em mm/mês,

Tm é a temperatura média mensal do mês m, em graus Celsius,
I é o índice anual de calor por:

$$Im = (Tm/5) 1,514 \quad (3)$$

e

$$a = 90,6751^3 - 77,11^2 + 17,9201 + 492,390 \cdot 106 \quad (4)$$

Os ajustes desta equação foram realizados pela multiplicação dos valores de evapotranspiração potencial não ajustada por fatores de correção, computados a partir da equação de regressão deduzida para cada mês, pela latitude (X) em conjunto com o hemisfério onde se encontra localizada a área (THORNTHWAITE, 1948). Os cálculos obtidos foram realizados através da fórmula:

Hemisfério Sul

$$FC\ Jan. = 30,6652 + 0,18727$$

$$FC\ Fev. = 28,0063 + 0,99745 X$$

$$FC\ Mar. = 31,1305 + 0,022074 X$$

$$FC\ Abr. = 30,3722 - 0,64534 X$$

$$FC\ Mai. = 31,6531 - 0,148163 X$$

$$FC\ Jun. = 30,9025 - 0,19186664 X$$

$$\text{FC Jul.} = 31,7352 - 0,168679 \text{ X}$$

$$\text{FC Ag.} = 31,4070 - 0,092280 \text{ X}$$

$$\text{FC Set.} = 30,1362 - 6,62443\text{E}03 \text{ X}$$

$$\text{FC Out.} = 30,8618 + 9,000001\text{E}02 \text{ X}$$

$$\text{FC Nov.} = 29,7407 + 0,160724 \text{ X}$$

$$\text{FC Dez.} = 30,6189 + 0,205674 \text{ X}$$

As fórmulas são utilizadas para valores de latitude X entre zero e 50°, pois para as latitudes acima desse valor, recomenda-se usar o valor de -50° para X. A estimativa do Índice de Arídez para os 23 postos utilizados na área foi computada através da razão entre Precipitação Anual e Evapotranspiração Potencial (P/ETP), calculado segundo (THORNTHWAITE, 1948).

$$\text{IA} = \mathbf{P} / \mathbf{ETP} \quad (5)$$

Onde:

P é a precipitação média anual, em mm;

ETP é a evapotranspiração potencial anual, em mm.

Através do *software* Cartalinx (HAGAN; EASTMAN, 2002), as isolinhas foram vetorizadas e exportadas para o IDRISI 3.22 (EASTMAN, 2002), onde os arquivos foram convertidos em imagens *rasters*. Por meio da manipulação do Gis Analysis – IDRISI 3.22 (EASTMAN, 2002), efetuou-se a sobreposição dessas imagens com base na álgebra dos mapas. Sendo assim, as imagens dos mapas de Im e Ms foram cruzadas e resultaram numa única imagem, definida como “índice de severidade do clima”. A classificação desses índices na referida imagem está de acordo com os intervalos encontrados na área devido à influência dos postos pluviométricos. A Figura 2 apresenta o índice de severidade do clima apresentado para a área com os dados de P/ETP.

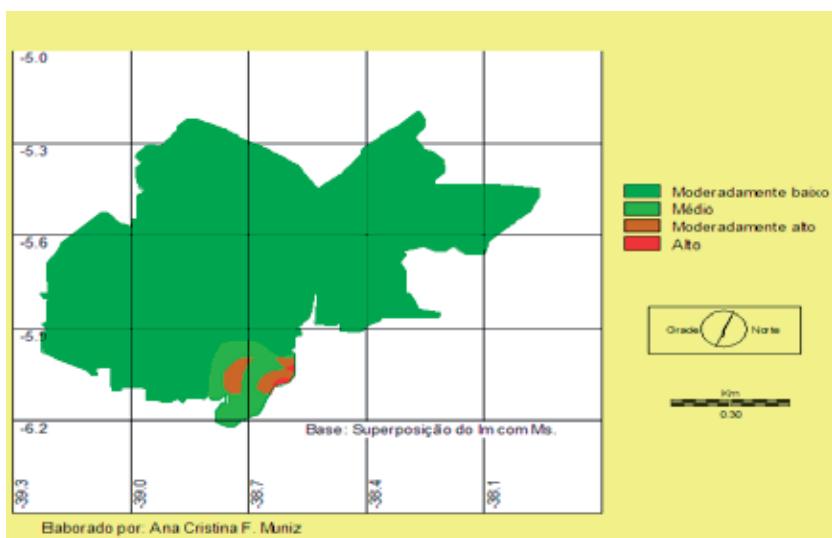


Figura 2 – Índice de Severidade do Clima

Fonte: Muniz (2009).

Erosividade (*R*)

A Erosividade (*R*) é a capacidade potencial que a chuva tem de causar erosão e ocorre em função das características físicas da chuva, que afetam a energia cinética, fazendo com que ela promova a desagregação e o transporte das partículas do solo (LAL, 1994).

De acordo com Renard et al., (1997), o fator (*R*) Erosividade da chuva, foi proposto por Wischmeier e Smith (1958) e, dentre os métodos existentes para determiná-la, destaca-se o índice E_{30} de Wischmeier e Smith (1958), baseado na intensidade da chuva com 30 minutos de duração (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Segundo Wischmeier e Smith (1958), a perda de terra é diretamente proporcional a um parâmetro da chuva identificado como EI_{30} , que é o produto de duas características da chuva: a sua energia cinética

e sua intensidade máxima em 30 minutos. Este parâmetro é expresso pela equação abaixo (Sistema Internacional):

$$EI_{30} = (0, 119 + 0, 073 \log_{10} I) I_3 \quad (6)$$

Vários foram os autores que estudaram a Erosividade das chuvas: Fournier (1956), Wischmeier (1959), Lombardi Neto (1977), Silva (2000).

Wischmeier (1959) propõe séries superiores a 20 anos, no sentido de incluir variações cíclicas comuns aos parâmetros climáticos, as quais se refletem na grande variabilidade de sua Erosividade.

Lombardi Neto (1977) foi o primeiro pesquisador no Brasil a estudar a correlação entre o índice de Erosividade EI₃₀ médio mensal, calculando em registros pluviográficos, e as precipitações mensais e anuais de Campinas (SP), num período de 22 anos de observações. Modificando o coeficiente de chuva ($p^2 P^1$), em que p é a precipitação média mensal no mês mais úmido do ano, e P a precipitação média anual, proposto por Fournier (1960). Esse autor determinou um coeficiente de correlação igual a 0,99 na equação $EI_{30} = 6, 872 (p^2 P^{-1})^{0, 850}$.

Silva (2000) utilizou para Fortaleza os valores das precipitações mensais e anuais do período de 1962 a 1981 e fez uso da equação proposta por Lombardi Neto (1977), para calcular o coeficiente de chuva do município de Fortaleza.

Para a determinação do fator R na área, foram utilizados dados de 22 postos pluviométricos da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (1990) localizados dentro e no entorno da área, utilizando dados do período de 1920 a 1970, optando pela correção de alguns postos, quando não se tinham dados suficientes para compor a sequência de precipitações mensais e anuais.

Através do método da triangulação com o traçado de isolinhas, foram estabelecidos valores com intervalos de classes de igual amplitude, considerando-se o valor mínimo e máximo para a Erosividade da Chuva (R) de cada posto.

Melo (2008), para estimar a Erosividade da chuva (R) para a microbacia do riacho dos Cavalos, Crateús - CE, considerou, para calcular o índice de erosividade, a equação proposta por Lombardi Neto

e Moldenhauer (1992) e Bertoni e Lombardi Neto (1990) como melhor opção, devido a este método requerer apenas dados de precipitação média mensal e anual. Essa equação foi utilizada na referida pesquisa e pode ser visualizada abaixo.

$$EI = 67,355 (R^2/P)^{0,85} \quad (6)$$

Onde:

EI é a média mensal do índice de erosão, em Mjmm/há. h.ano;

R a precipitação média mensal, em mm;

P precipitação média anual, em mm.

Através da observação, nos 22 postos, das precipitações pluviométricas contabilizadas para a área de estudo, podemos verificar os seguintes resultados: classes de Erosividade Baixa, 14.4%; Moderadamente Baixo, 36.6%; Média, com 27.6%. Há uma predominância de índices superiores nos meses de março e abril, pois são os meses de maior volume de precipitações. O posto de Pereiro merece destaque, pois tem o maior índice pluviométrico dos selecionados e se encontra no índice de erosividade moderadamente alta, totalizando um percentual de 3% da área. Todos os valores estabelecidos foram plotados na base cartográfica da área em conjunto com a localização dos postos pluviométricos, para os quais foram traçadas isolinhas (linhas que unem pontos de igual valor de erosividade) através da utilização de técnicas de triangulação e interpolação. Tabela 1.

Tabela 1 – Intervalos de R com respectivas classes e índices utilizados na fórmula descritiva

Intervalos de R (Mj. mm/ há. h.ano)	Classes	Índice da Fórmula Descritiva
$R \leq R \leq 5.000$	Baixo	R1
$5.000 \leq R \leq 5.500$	Moderadamente Baixo	R2
$5.500 \leq R \leq 6.000$	Médio	R3
$6.000 \leq R \leq 6.500$	Moderadamente Médio	R4
$6.500 \leq R \leq 7.000$	Moderadamente Alto	R5
$7.000 \leq R \leq 7.500$	Alto	R6
≥ 7.500	Alto	R7

Fonte: Elaborada pela autora.

Erodibilidade (K)

A Erodibilidade identifica a suscetibilidade do solo à erosão hídrica em função de suas propriedades relacionadas à capacidade de infiltração e a sua resistência à desagregação e ao transporte pelo impacto da chuva e das enxurradas. Representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas (LAL, 1994). São três maneiras de se determinar a erodibilidade do solo:

- a. Envolvendo a determinação do fator K em condições de campo, sob a chuva natural;
- b. Quantificação do fator K em razão das perdas de solo e do fator erosividade sob condições de chuva simulada, refletindo esses dois padrões na erodibilidade do solo como é preconizada pela EUPS (WISCHMEIER; SMITH, 1958);
- c. Baseado em regressões múltiplas que contenham variáveis independentes, atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo ou relações destes com fatores K obtidos pelos métodos padrões.

Aquino (2002), Nolêto (2005) e Melo (2008) utilizaram a equação abaixo para determinar, respectivamente, o índice K das Terras Secas do estado do Piauí; da microrregião de Sobral e da microbacia do riacho dos Cavalos em Crateús - Ceará.

$$K = 7.594 \{0, 0034 + 0, 0405 \exp [-0, 5 (\log (Dg) + 1.659/0, 7101)^2] \} \quad (7)$$

Onde,

Dg é a média geométrica do diâmetro das partículas primárias, calculada de acordo com Shirazi e Boersma (1984).

Os autores, ao considerar essa equação, fizeram algumas observações relevantes para a sua utilização. Dentre elas estão:

1. a exigência de um pequeno número de variáveis para seu emprego;
2. a facilidade de aquisição dos dados prontamente encontrados nos levantamentos dos solos;

3. os resultados de Silva (1994), que considerou, para os solos do estado do Ceará, o método K mais adequado.

Neste trabalho foi utilizado o mapa da associação de solos, elaborado por Jacomine (1973) para o estado do Ceará. Para a determinação dos valores de erodibilidade baseou-se na Equação de ROMKENS; PRASAD; POESEN, 1987.

Para a determinação dos índices de erodibilidade (K) na área, foram estabelecidos três intervalos de classes de igual amplitude, do qual foram considerados os valores mínimos e máximos de (K), atribuindo a cada intervalo a ponderação e denominação de classes, fazendo a relação dos valores de K das 19 associações e seus respectivos índices. Os resultados foram estimados pelo método de (ROMKENS et al., 1997). Tabela 2, Figuras 3 e 4.

Tabela 2 – Erodibilidade das associações de solos da área de estudo

Intervalos de K	Classes de Erodibilidade	Índice	Ocorrência
$\leq 0,05853$	Baixa	K ¹	52,8
$0,05853 \leq 0,10242$	Média	K ²	46,6
$0,10242 \leq 0,14630$	Alta	K ³	0,6

Fonte: Elaborada pela autora.

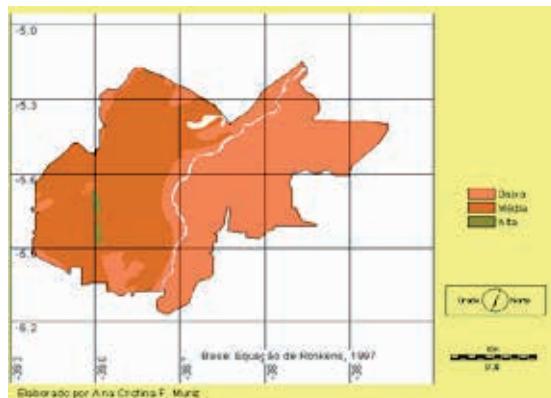


Figura 3 – Erosividade área

Fonte: Muniz (2009).

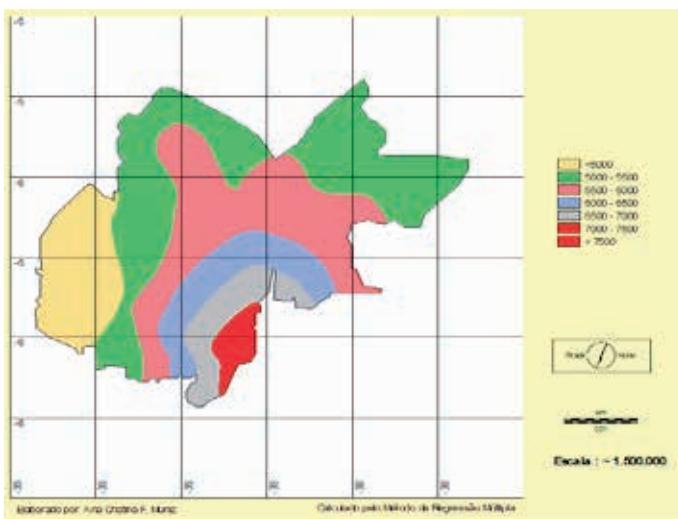


Figura 4 – Erodibilidade área

Fonte: Muniz (2009).

Classes de Relevo (CR)

Os resultados para as Classes de Relevo foram estimados através do método desenvolvido por Lepsch et al. (1991). Para se verificar a hipsometria da área e determinar o padrão de declividade, utilizamos o software IDRISI 3.22 (EASTMAN, 2002), no qual foi gerado um mapa de classes de relevo a partir do Modelo Digital da área de estudo. Esse mapa foi reclassificado através do utilitário *Reclass* e foram atribuídos a cada classe de relevo os intervalos de declividade correspondentes.

Foi calculada com o IDRISI 3.22 (EASTMAN, 2002) a ocorrência em percentuais de cada tipo de relevo e o resultado foi o seguinte: Suave Ondulado (51%, 415,5 km²), Plano (21,3%, 173,8 km²); Ondulado (21,1%, 172,4 km²); Muito Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado foram observados com uma predominância bem menor na área. Tabela 3, Figura 5.

Tabela 3 – Classes de relevo com declividades correspondentes

Classe de Declividade (%)	Tipo de Relevo	Valor Numérico na Fórmula Descritiva
< 2	Plano	1
2 a 5	Suave Ondulado	2
5 a 10	Ondulado	3
10 a 15	Muito Ondulado	4
15 a 45	Forte Ondulado	5
45 a 70	Montanhoso	6
> 70	Escarpado	7

Fonte: Adaptada de Lemos e Santos (1984) e Lepsch et al. (1991).

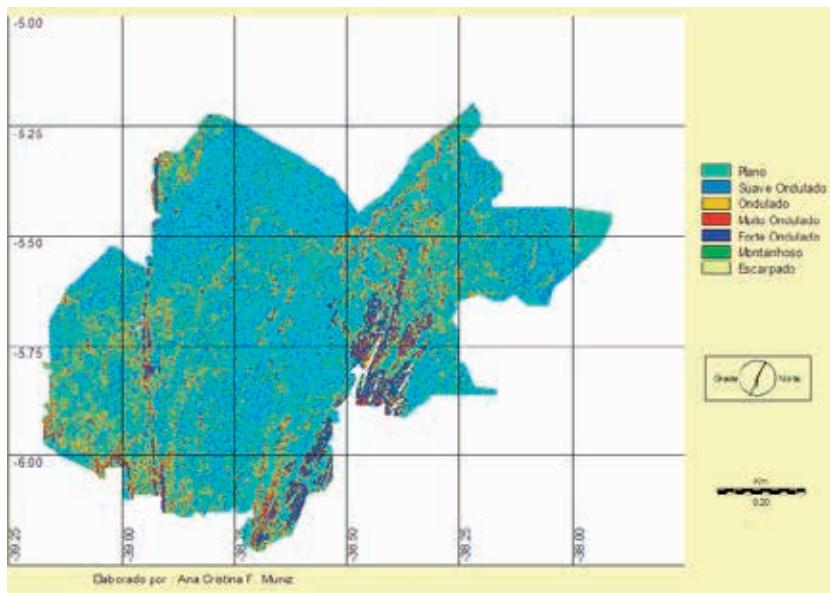


Figura 5 – Classes de relevo área de estudo
Fonte: Muniz (2009).

Avaliação do Índice de Suscetibilidade Geoambiental Natural à Degradação (ISGND)

Conforme a United Nations Environmental Programme (1991), a degradação do meio ambiente implica redução de potencial da disponibilidade de ativos produtivos por uma combinação de processos que atuam sobre os recursos naturais. Estes processos incluem, principalmente, a erosão provocada pela água ou pelo vento e a redução, em longo prazo, da diversidade biológica da vegetação e da fauna natural, assim como a salinização e sodificação dos solos (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 1991).

No presente estudo, foi utilizado o termo “Degradação” para se fazer uma análise das condições ambientais da área de estudo. Para tanto, fez-se uso de parâmetros cujo objetivo foi avaliar o Índice de Suscetibilidade Geoambiental à Degradação (ISGD), indicados sob dois aspectos:

a) Índice de Suscetibilidade Geoambiental Natural à Degradação (ISGND) expressa pela seguinte combinação:

$$\mathbf{ISGND = IC + K + R + CR} \quad (8)$$

Onde:

IC = Índice Climático, obtido como produto entre o Índice Efetivo de Umidade (I_m) e o total de Meses Secos computados no Balanço Hídrico.

K = Erodibilidade do solo;

R = Erosividade da Chuva;

CR = Classes de Relevo.

b) Índice de Suscetibilidade Geoambiental Antrópica à Degradação (ISGAD), expresso pela combinação:

$$\mathbf{ISGAD = ISGND + ICV} \quad (9)$$

Computado para o início e final do período experimental, em que ISGAD é definido como anteriormente,

ICV = Índice de Cobertura Vegetal, que corresponde ao NDVI estimado para o início e final do período experimental.

Cálculo dos índices de Suscetibilidade Geoambiental à Degradação (ISGD)

2.2.1 Cálculo do ISGND da área de estudo

Para se calcular o ISGND da área de estudo, foi utilizada uma fórmula para ponderação dos índices de Erosividade, Erodibilidade, Índice Climático e Classes de Relevo.

Para a tabulação dos dados, foi utilizado o software IDRISI 3.22 (EASTMAN, 2002), através do ícone *Database Query* no módulo *Área*; tabularam-se os dados da área em km². Em seguida, os mesmos foram importados para o Programa *Prompt de Comando*. Com isso, obtivemos o cálculo da média e o somatório dos índices do risco degradação física dos municípios estudados.

Para demonstrar esses resultados em valores, fez-se uso da equação da reta, utilizada para a forma descritiva e adaptada à área de pesquisa, em que o valor mínimo a ser obtido é 4 (soma de todos os índices iguais a 1), expressando o melhor estado de conservação dos recursos naturais da área. O valor máximo a ser obtido é 21 (soma de todos os índices com valores mínimos) representando a maior porcentagem de degradação, no qual os resultados mostram o risco de degradação física obtido na área. A equação utilizada foi a seguinte:

$$Y = a + bx \quad (10) \qquad 4b + a = 0 \quad (11)$$

Se: $y = 0$	Se: $y = 100$	$21b + a = 100$
$x = 4$	$x = 21$	$a = 5,88$
$4b + a = 0$	$21b + a = 100$	então $b = 23,52$

Assim, a equação da reta obtida foi: $y = 5,88x - 23,52$

Através dos dados colhidos na pesquisa, podemos observar que os índices mais altos de Erosividade foram localizados nos municípios de Jaguaribe e Jaguariúba, respectivamente, com 3.896 e 3.271. Os resultados também evidenciaram um índice de degradação por unidade de área maior também nesses dois municípios: Jaguaribe com 31.47% e Jaguariúba com 21.47%. Os resultados comentados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Cálculo dos índices utilizados na área

Municípios	Índices				Total	Ocorrência Área (%)
	Erosividade	Erodibilidade	Classes de Relevo	Índice Climático		
Alto Santo	2.165	1.000	1.946	1.000	6.111	12.41
Iracema	1.992	1.000	2.846	1.000	6.838	16.68
Jaguaretama	2.381	1.847	7.770	1.000	6.991	17.58
Jaguariúba	3.271	1.053	2.328	1.000	7.652	21.47
Jaguaribe	3.896	1.398	2.272	1.816	9.382	31.47
S.J. do Jaguaribe	1.000	1.000	1.884	1.000	4.884	5.19
Solonópole	1.280	1.985	2.274	1.000	6.539	14.92

Fonte: Elaborada pela autora.

Origem dos dados: Calculado pelo Método de Análise Regressão Múltipla.

Cálculo do ISGAD para Área de Estudo

O valor de \mathbf{X} ($X_{a86/89}$) e (X_{a2007}) para cálculo do ISGAD na equação $y = 5,88 X_a - 23,52$ foi obtido como a soma dos valores de (y) computados para cálculo do ISGND com os valores ICV, que são os valores X_p do NDVI ponderados obtidos das imagens Landsat 5 do início (1986/89) ($X_{p86/89}$) e do final (2007) (X_{p2007}) do período experimental. Os valores do ISGAD para os períodos 1986/89 e 2007 estão indicados na Tabela 16.

O valor obtido para os referidos períodos mostrou um paralelo entre os municípios analisados. Com relação ao aumento do nível

de degradação, podemos observar que em 1986/89, com exceção de Jaguaribe, todos os outros municípios tinham um valor percentual alto de ISGAD. Para 2007, a tendência de todos esses municípios foi diminuir o ISGAD, enquanto que Jaguaribe aumentou.

Se formos avaliar os dados obtidos na pesquisa, podemos observar que esse resultado, com relação ao município de Jaguaribe, comprova pesquisas realizadas pela Funceme desde 2002, a qual salienta, na sua pesquisa, que Jaguaribe, dos municípios mapeados no Sertão do Médio Jaguaribe, é o local com maior alteração no que se refere à conservação. Esses resultados são atribuídos à forma de uso e ocupação da terra, que privilegia economicamente a pecuária extensiva. Tabela 5.

Tabela 5 – Cálculo do ISGAD para área de estudo

Município	y	X _{p86/89}	X _{a_{86/89}}	ISGAD 86/89	X _{p2007}	X _{a₂₀₀₇}	ISGAD 2007
Alto Santo	6.111	4,931	11,042	41,41	4,081	10,192	36,41
Iracema	6.838	4,937	11,811	45,93	4,446	9.419	31,86
Jaguaretama	6.991	9,952	16,943	76,11	4,257	11,248	42,62
Jaguaribara	7.652	4,944	12,956	52,66	4,180	11,832	46,05
Jaguaribe	9.382	4,973	11,811	45,93	4,212	13,594	56,41
S.J. do Jaguaribe	4.884	4,846	9,730	33,69	4,036	8,882	28,71
Solonópole	6.539	4,957	11,496	44,08	4,118	10,657	39,14

Fonte: Elaborada pela autora.

Origem dos dados: Calculado pelo Método de Análise Regressão Múltiplo.

Índice de Cobertura Vegetal (ICV)

De acordo com Beltrame (1994), a cobertura vegetal e sua distribuição no espaço são fortemente influenciadas por um conjunto de fatores ambientais que incluem condições climáticas, topográficas, solos e suas propriedades, tornado-se um indicador importante das condições ambientais que predomina em determinada região (BELTRAME, 1994).

A vegetação tem uma assinatura espectral específica, quando comparada com a maioria dos alvos terrestres; assim, vários estudos relacionados à sua identificação e mapeamento tem se baseado nesse aspecto entre a combinação da refletância da vegetação por diferença normatizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI). (GURGEL; FERREIRA; LUIZ, 2003).

O NDVI tem sido largamente utilizado na agricultura, bem como no monitoramento de desmatamentos, queimadas e a variação na dinâmica da cobertura vegetal. Segundo Moreira (2003), são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação, sendo que quase todos são obtidos de medidas de refletância espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. O valor do NDVI é adimensional e varia no intervalo (-1, 1), cuja variação é refletida na condição da vegetação. Valores próximos a 1 indicam vegetação em ótima condição e valores menores indicam a presença de alguma anomalia à condição natural da vegetação (SILVA et al., 2006).

As imagens foram escolhidas de acordo com as precauções estabelecidas quanto ao critério de trabalho com relação à passagem de imagens de satélites. Esses critérios são necessários devido ao padrão de mudanças ocorrido com a vegetação nos intervalos dos anos a serem analisados. Com base nisso, foram utilizadas, na presente pesquisa, imagens que correspondessem ao final da estação chuvosa no estado do Ceará. Consideraram-se os anos de 1986/89 e 2007 e as bandas 3 e 4 do satélite Landsat 5 MSS (Multi-Spectral Scanner Imagens) órbitas 216 e 217, pontos 063 e 064, datada de 25/9/86, 09/08/89 e 18/8/2007. Ambas apresentam valores próximos de refletância nos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho.

Através do utilitário *Vegindez* do software IDRISI 3.22 (EASTMAN, 2002). Calculou-se o NDVI com o processamento das imagens já citadas. A imagem que foi gerada pelo NDVI apresenta variações de (-1) até (+1) em que as superfícies sem a proteção da cobertura vegetal, como solos expostos, áreas agricultáveis ou zonas urbanas apresentam valores aproximados a (-1) e as áreas com cobertura vegetal densa, como florestas de grande porte, apresentam valores (+1). É nessa perspectiva que os valores de NDVI entre (-1) e (+1) são colocados como a transição entre não florestais e florestais (EASTMAN, 2001).

Para a análise do ICV da área, foram utilizadas imagens que correspondessem ao final da estação chuvosa no estado do Ceará, considerando os anos de 1986/89 e 2007, com as bandas 3 e 4 do satélite Landsat 5 MSS (Multi-Spectral Scanner Imagens), órbitas 216 e 217, pontos 063 e 064, datadas de 25/9/86, 9/8/89 e 18/8/2007, através do utilitário *Vegindez* do software IDRISI 3.22 (EASTMAN, 2002). As imagens foram convertidas em NDVI, da qual se obteve os seguintes resultados: para os períodos analisados referentes ao ICV¹, pode-se verificar que aumentou entre os períodos de 1986/89 e 2007. Isso se refletiu também em relação ao ISGAD de todos os municípios que diminuiu em relação ao 1986/89, porém, em relação ao ISGND, estes índices revelaram o aumento considerável da degradação antrópica na área. Tabelas 6 e 7. Figuras 6 e 7.

Tabela 6 – índices de ICV¹ E ICV² / ISGND² E ISGAD³

Local / Município	Área Km ²	ICV ¹		ISGND ²	ISGAD ³	
		Anos de 8689	Ano de 2007		Anos de 8689	Ano de 2007
Área Total	8.228,9	1,78	20,78	29,34	39,21	38,92
Alto Santo	1.245,6	1,73	22,98	12,41	28,81	24,75
Iracema	715,4	0,68	22,10	16,68	32,46	21,97
Jaguaretama	1.888,1	1,20	18,58	17,58	33,9	29,78
Jaguaribara	748,4	1,40	20,55	21,47	36,20	32,56
Jaguaribe	1.779,6	3,13	19,70	31,64	44,02	40,95
S. J. do Jaguaribe	243,3	3,85	24,10	5,19	22,56	18,52
Solonópole	1.608,4	1,08	22,05	14,92	30,96	26,97

Fonte: Elaborada pela autora.

¹ Índice de Cobertura Vegetal;² Índices de Suscetibilidade Geoambiental Natural à Degradação;³ Índices de Suscetibilidade Geoambiental Antrópica à Degradação.

Comparando os números encontrados nas Tabelas 6 e 7 (Anexo A) com relação às áreas ocupadas com diferentes culturas e rebanhos.

Os valores encontrados nos primeiros níveis de NDVI (> 0 A $0,2$) seriam devidos à diminuição significativa da cultura do algodão na área. Dados do IBGE 1995/96 e 2005 mostram que dos sete municípios estudados, apenas Solonópole cultiva em pequena escala essa cultura. Na segunda, de NDVI ($0,2$ A $0,6$), pode ser justificado com o crescimento sustentado de áreas cultivadas com culturas tradicionais e extensivas como milho e mamona e declínio do feijão e do algodão herbáceo e arroz de cerqueiro, principalmente após 2004, com o final da construção do açude Castanhão e as políticas de gerenciamento das secas pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) e pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH). O comportamento na terceira faixa de NDVI ($0,6$ A $1,0$) pode ser atribuído ao aumento dos rebanhos.

Esses dados mostram uma realidade vivida em função da implementação das políticas governamentais de sustentação das atividades rurais no estado, de apoio à produção e à articulação com a produção voltada para o mercado externo, assim como também na pecuária extensiva, com o aumento significativo do número de rebanho na área de pesquisa. No entanto, com a pecuária extensiva, o aumento do desmatamento da caatinga arbórea é auxiliado pela substituição do extrato herbáceo para a forragem necessária ao rebanho. Estudos de Soares et al. (1992, 1995) mostraram que são destaque nesse ramo agropecuário os municípios de Jaguaribe e Jaguaretama. A Tabela 7 mostra os valores obtidos na faixa de NDVI, assim como suas respectivas representações em valores numéricos referentes aos municípios estudados representados nas faixas espectrais nas Figuras 6 e 7.

Tabela 7 – Faixa de NDVI área

Faixa de NDVI	Níveis	Área (km ²) 1986/89	Área (km ²) 2007
0,8 a 1,0 (Alto)	5	7	1
0,6 a 0,8 (Medianamente Alta)	4	52	23
0,4 a 0,6 (Moderadamente Baixo)	3	59	280
0,2 a 0,4 (Baixo)	2	257	5625
> 0 a $0,2$ (Muito Baixo)	1	7452	1604

Fonte: (MUNIZ, 2009).

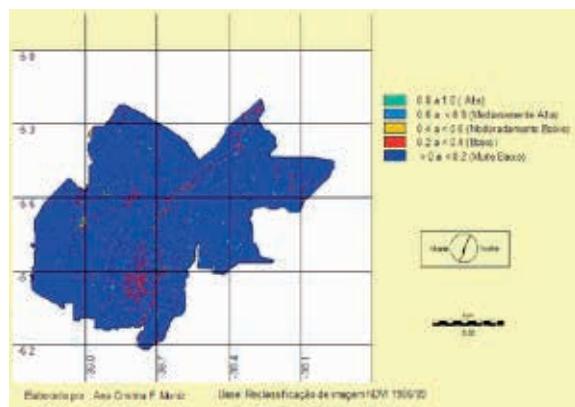


Figura 6 – Faixa de NDVI 1986/89

Fonte: Muniz (2009).

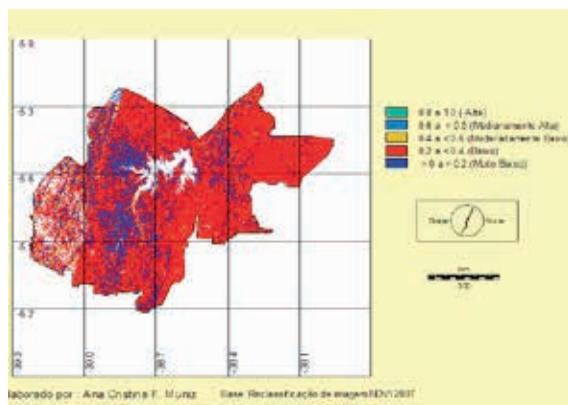


Figura 7 – Faixa de NDVI 2007

Fonte: Muniz (2009).

Considerações Finais

Através da análise dos resultados da presente pesquisa, podemos fazer algumas considerações:

I – O nível de proteção de ICV para a área de estudo aumentou entre os intervalos de 1986/89 e 2007, fazendo com que o ISGND mais alto dentre os sete municípios ficasse com Jaguaribe (31,64%);

II – Com relação ao ISGAD, podemos verificar que os resultados analisados em relação à ação antrópica mostraram que, para os intervalos entre 1986/89, os índices de degradação em média foi alto para todos os municípios, porém as áreas com maiores cultivos e maior número de rebanhos permaneceram com índices altos, respectivamente se destacando nesse contexto Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe e Solonópole;

III – Os valores dos Índices de Cobertura Vegetal, obtidos através da fórmula descritiva para cada município, mostraram que o nível de proteção da cobertura vegetal aumentou no intervalo entre 1986/89 e 2007, evoluindo de forma significativa em todos os municípios, mas, mesmo assim, ainda podemos citar que o padrão de utilização da terra, na área de estudo, de acordo com os dados obtidos em campo, ainda deixa muito a desejar, não contribuindo para a conservação da vegetação, dos recursos hídricos e do solo.

IV – Esses resultados são atribuídos aos seguintes fatores: a) diminuição do estrato arbóreo e arbustivo verificados nas primeiras faixas de NDVI (7 para 1) e a quase extinção da cultura do algodão herbáceo em mais de 90% da área; b) crescimento ocorrido no intervalo dos anos supracitados na segunda faixa de NDVI (59 para 280 e 257 para 5625), que se deve, provavelmente, ao aumento das áreas cultivadas com culturas tradicionais e extensivas como o milho e o feijão; c) redução ocorrida na terceira faixa de NDVI (7.452 para 1.604) ocorre, possivelmente, em consequência da eliminação da cobertura vegetal natural arbustiva/arbórea e sua substituição pelo extrato herbáceo para produção de forrageiras, que surge em decorrência do aumento das atividades agropecuárias e seu aumento na demanda por alimento para os rebanhos;

V – A eliminação da cobertura vegetal natural arbustivo-arbórea e sua substituição pelo extrato herbáceo, se acompanhada por Superpastoreio pode conduzir, a médio e longo prazo, à eliminação da cobertura vegetal e levar a processos de degradação/desertificação e, também, a uma perda da capacidade de suporte.

Referências Bibliográficas

- AQUINO, C. M. S. de. *Suscetibilidade geoambiental das terras secas do estado do Piauí à desertificação*. 2002. 169 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Prodema, Universidade Federal do Ceará, 2002.
- BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p. il.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. *Folhas AS.24/25 – Jaguaribe/Natal*. Brasil: MME. 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).
- EASTMAN, J. R. *IDRISI 3.22*. Worcester, Mass: Clark University, USA, 2002.
- FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. *Association Hydrologic Int. Public*, v. 38, 1956.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. *Áreas degradadas suscetíveis a processos de desertificação*. Fortaleza: Funceme, 2002.
- GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.7, n. 1, p. 85-90, 2003.
- HAGAN, E. J.; EASTMAN, J. R. *Cartalinx*. Worcester, Mass: Clark University, USA, 2002.
- IPLANCE. *Atlas do Ceará*. Fortaleza: Edições IPLANCE, 1989.
- JACOMINE, P. K. T. et al. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado do Ceará*. Recife: SUDENE/DRN, v. 2, 1973. (Boletim de Pesquisa, 28).

LAL, R. *Soil erosion: research methods.* 2. ed. Ohio: Ohio State of University Columbus. 1994. 340 p.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo.* Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1996.

LEPSCH, I. F. et al. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.* 4^a aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

LOMBARDI NETO, F. *Rainfall erosivity: the distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil.* 1977. 53 f. Tese (Mestrado) - West Lafayette, Purdue University, USA, 1977.

LOMBARDI NETO, F. MOLDENHAUER, W. C. *Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas.* *Bragantia*, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MELO, E. T. *Diagnóstico físico conservacionista da microbacia do riacho dos cavalos – Crateús – Ceará.* 2008. Dissertações (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, 2008.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologia de aplicação.* 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 307. 2003.

MUNIZ, A. C. F. *Condicionantes naturais e sócioeconômicos da desertificação nos trechos médio e baixo do vale do Rio Jaguaribe no estado do Ceará.* 2009. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

NOLÊTO, T. M. S. J. *Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral/Ceará à desertificação.* 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, 2005.

OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. *Programa para calculo do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite*. Fortaleza, 1995. (Comunicação Pessoal).

RENARD, K. G. et al. (Coord.). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Washington: Department of Agriculture, 1997. (Agriculture Handbook, 703).

ROMKENS, M. J. M.; PRASAD, S. N.; POESEN, J. W. A. Soil erodibility properties. In: CONGRESS OF THE ISSS, 8., 1987, Hamburg. *Anais...* Hamburg, 1987. p. 492-503

ROMKENS, M. J. M. et al. Soil Erodibility factor (K) (Eq. 3-5). In: RENARD, K. G. et al. (Coord.). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Washington: Department of Agriculture, 1997. (Agriculture Handbook, 703).

SELLERS, W. D. *Physical climatology*. Chicago: University of Chicago Press, 1965. 272 p.

SHIRAZI, M. A.; BOERSMA, L. A. Unifing quantitative analyses of soil texture. *Soil Science Society of America Proceedings*, Las Vegas, v. 48, n. 1, p. 142 – 147, 1984.

SILVA, J. B. da. CAVALCANTI, T. C. *Atlas escolar – Ceará*. João Pessoa: Grafset, 2000.

SILVA, J. R. C. *Erodibilidade dos solos do Ceará: distribuição espacial e avaliação de métodos de determinação*. 1994. 60 f. Tese (Professor Titular) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1994.

_____. Erosão e produtividade do solo no semi-árido. In: OLIVEIRA, T. S. et al. (Org.). *Agricultura, sustentabilidade e o semiárido*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFC, 2000. 406 p.

SOARES, A. M. et al. *Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Ceará*. Fortaleza: ICID/Brasil, 1992.

_____. Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Ceará. In: GOMES, G. M.; SOUZA, H. R.; MAGALHÃES, A. R. *Desenvolvimento Sustentável no Nordeste*. Brasília: IPEA, 1995.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. *Dados pluviométricos mensais do Nordeste*: estado do Ceará. Recife, 1990.

THORNTHWAITE, C. W. The water a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. *Publications in Climatology*, New Jersey, v. 8, 1955. 84 p.

_____, _____. Instructions and tables for commutating potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, New Jersey, v. 10, n 3, 1957.

TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH/EDUSP, v. 4. p. 182-19, 1993. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Status of desertification and implementation of the united nations plan of action to combat desertification*. Nairobi, kenya: Unerp, 1991.

WISCHMEIER, W. H. A Rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, Madson, v. 23, n. 30, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, Madson, v. 39, n. 2, p. 285-291, apr. 1958.

ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO/ DESERTIFICAÇÃO NA BACIA DO RIACHO FEITICEIRO, NO MUNICÍPIO DE JAGUARIBE - CE

*Renata Aline Bezerra Pinheiro
José Gerardo Beserra de Oliveira
Marta Celina Linhares Sales*

Introdução

Desde os primórdios da existência humana a relação do homem com a natureza resulta na transformação do espaço geográfico, ocasionando alterações que crescem com o decorrer do tempo. Essas alterações nos ambientes naturais ocorrem sob diferentes aspectos, podendo ser fruto da utilização dos recursos naturais de forma incorreta. O emprego inadequado desses recursos acarreta uma série de impactos ambientais, como a perda da capacidade produtiva do ambiente e a ameaça à conservação da biodiversidade e à sobrevivência do homem.

As bacias hidrográficas são os ambientes mais afetados pela exploração dos recursos naturais, pois nelas se concentram e se desenvolvem os principais centros urbanos. Também nos sertões do semiárido a ocupação se deu nos principais vales da região, buscando-se o acesso à água para a população, com aproveitamento dos solos para a agricultura de subsistência e da vegetação para o gado. Toda essa exploração exaustiva do ambiente, em geral com técnicas rudimentares, acarreta problemas de degradação ambiental que podem culminar com o processo de desertificação.

A desertificação é definida pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (CCD), como:

... um processo de degradação da terra que ocorre nas zonas áridas, semiáridas e subsumidas secas, como resultado da ação de fatores diversos, com destaque para as variações climáticas e as atividades humanas (BRASIL, 2004, p. 4).

O conceito usado pela CCD faz uso da expressão “degradação da terra”, que representa algo um tanto complexo, pois é a resultante da degradação dos solos, da vegetação, dos recursos hídricos e da redução da qualidade de vida da população, isto é, consiste na perda da produtividade biológica e econômica das terras agrícolas, das pastagens e das áreas de vegetação em decorrência das variabilidades climáticas e das atividades humanas.

Nesse contexto de degradação/desertificação está inserida a bacia do riacho Feiticeiro (Figura 1), situado na região do médio curso do rio Jaguaribe e entrecorta todo o município de Jaguaribe na sua porção noroeste, entre as coordenadas de 5°44'50"47 a 6°08'42"19 de latitude sul e 38°40'52"08 a 38°54'39"02 de longitude oeste. Com uma grande expressividade espacial, a bacia drena cerca de 52km no perfil longitudinal e totaliza uma área de aproximadamente 236km². O presente trabalho centra a discussão sobre o processo de degradação/desertificação da bacia do riacho Feiticeiro, tendo como objetivo determinar o potencial de degradação/desertificação, fundamentada na análise dos níveis indicados pela variação temporal dos seus componentes físico-naturais e em função do padrão de uso da terra.

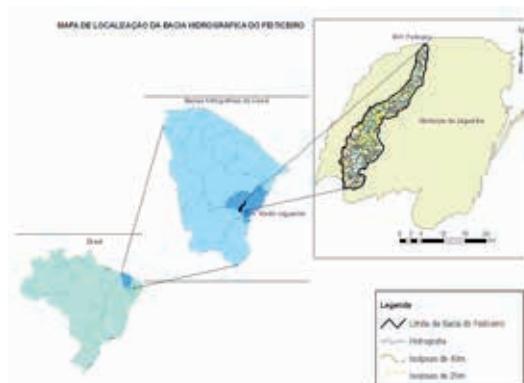


Figura 1 – Localização da Área de Estudo
Fonte: Pinheiro (2010).

A degradação/desertificação da área foi analisada com suporte nos parâmetros do Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) e das atividades de uso do solo por intermédio de imagens orbitais e dados secundários de produção agropecuária da área onde está inserida a bacia do riacho Feiticeiro.

O Diagnóstico Físico-Conservacionista analisa parâmetros ligados a fatores naturais de proteção ou degradação dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica, sendo eles: clima, relevo, solos e vegetação. Eles foram escolhidos em consequência da competência intrínseca que cada um tem de contribuir e/ou refletir na degradação dos recursos naturais renováveis de uma bacia hidrográfica (BELTRAME, 1994).

Na bacia do riacho Feiticeiro, na aplicação do Diagnóstico Físico-Conservacionista, realizou-se a setorização da Bacia, dividindo-a em setores menores, a fim de definir o setor mais conservado e/ou degradado. Então foi realizado o DFC com base nos seguintes parâmetros: Índice Climático (IC); Classes de Relevo (CR); Erosividade da Chuva (R); Erodibilidade dos Solos (K), Densidade de Drenagem (Dd); Índice de Cobertura Vegetal (ICV).

De acordo com Beltrame (1994), os parâmetros analisados são expressos de forma quantitativa, por meio da fórmula descritiva, resultando em um índice de risco de degradação física da bacia hidrográfica. Cada parâmetro é mediante um índice que indica a melhor e as piores condições de proteção ou de degradação física dos recursos naturais. Assim, a aplicação desses índices na fórmula descritiva final implica uma análise qualitativa dos recursos naturais da bacia hidrográfica.

Na aplicação do DFC na bacia do riacho Feiticeiro realizaram-se adaptações dos parâmetros referentes aos fatores naturais do clima e da vegetação. No parâmetro do índice climático, além de se utilizar o balanço hídrico, optou-se pela representação das informações dos índices climáticos que mostram importância em um ambiente semiárido, considerando, dessa forma, o índice efetivo de umidade (Im) e números de meses secos (Ms), sendo que o produto da relação entre o Im e Ms resultou no índice climático utilizado na fórmula descritiva final nos parâmetros referentes à vegetação, substituindo-se o tipo de cobertura vegetal pelo NDVI a ele correspondente nos anos de 1984 e 2008.

Considerando-se que os parâmetros IC, R, K, CR e Dd são constantes ao longo do período e o parâmetro ICV está mais sujeito à degradação antrópica, foi elaborada uma fórmula descritiva para cada ano com todos os parâmetros para calcular o estado físico-conservacionista da bacia do riacho Feiticeiro. Também, diagnosticou-se o estado de Degradação da Vegetação (EDV) através do cálculo do parâmetro ICV dos anos de 1984 e 2008.

$$\text{FDF (1984)} = (\text{IC}) + (\text{R}) + (\text{K}) + (\text{CR}) + (\text{Dd}) + (\text{ICV1984})$$

e

$$\text{FDF (2008)} = (\text{IC}) + (\text{R}) + (\text{K}) + (\text{CR}) + (\text{Dd}) + (\text{ICV2008})$$

$$\text{EDV} = \text{ICV 1984}$$

$$\text{EDV} = \text{ICV 2008}$$

Para todos os parâmetros foi estabelecido como índice mínimo o valor um (1), enquanto o índice de maior valor encontrado na bacia é considerado o parâmetro mais alto, concluindo-se que, quanto maior a soma desses índices, maior o risco de degradação/desertificação da área.

Na bacia do riacho Feiticeiro a Fórmula Descritiva Final (FDF) foi obtida para a área total da bacia e para cada setor nos anos de 1984 e 2008. A avaliação das mudanças ocorridas no período analisado deu-se com o resultado final da fórmula em função do parâmetro Índice de Cobertura Vegetal (ICV), único que teve variações entre esses anos, sendo que os demais permaneceram constantes nos índices analisados.

O estudo dos padrões de uso e ocupação do solo na bacia em estudo foi realizado mediante o processamento de imagens LANDASAT 5 TM (*Thematic Mapper*) na composição 345 com passagens referentes às datas 26-7-1984 e 13-8-2008, em que foram identificados os padrões de cobertura vegetal de caatinga, atividades agropecuárias, corpos d'água e solo exposto. Com isso, o presente estudo apresenta uma generalização relativa à cobertura vegetal, visando diagnosticar, no momento, a proteção dos solos da bacia, mas diferenciando as atividades agropecuárias para se analisar sua regressão ou progressão nos anos de 1984 e 2008.

No diagnóstico socioeconômico da área em questão, utilizaram-se dados municipais por não existirem dados secundários que retratassem as condições socioeconômicas nas delimitações de bacias hidrográficas e pela inviabilidade de o presente trabalho conseguir esses dados com base em pesquisas de campo. Então, ante a homogeneidade das características socioeconômicas do município de Jaguaribe - Ceará, tendo como base o trabalho de Guerra (2009), empregaram-se os dados socioeconômicos do município para análise do uso da terra e de seus recursos naturais na bacia do riacho Feiticeiro.

Resultados e Discussão

Diagnóstico Físico-Conservacionista na Bacia do Riacho Feiticeiro

De acordo com os resultados do DFC, o estado físico conservacionista da bacia do riacho Feiticeiro ao longo do período considerado é o seguinte (Figura 2).

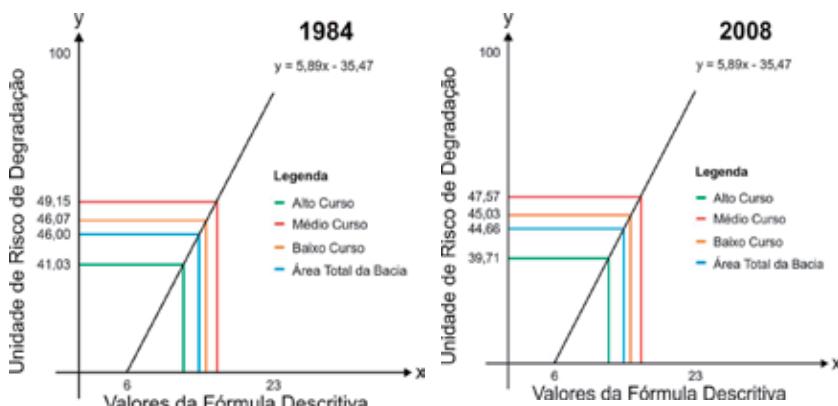


Figura 2 – Unidades de Risco de Degradação Física da bacia do riacho Feiticeiro nos anos de 1984 e 2008

Fonte: Pinheiro (2010).

- O alto curso é o setor com menor risco físico-conservacionista, seguindo-se do baixo e médio cursos.
- Considerando a bacia como um todo, conclui-se que o risco de degradação física decresceu.

Na análise do Risco de Degradação da Vegetação encontrou-se a seguinte situação (Figura 3).

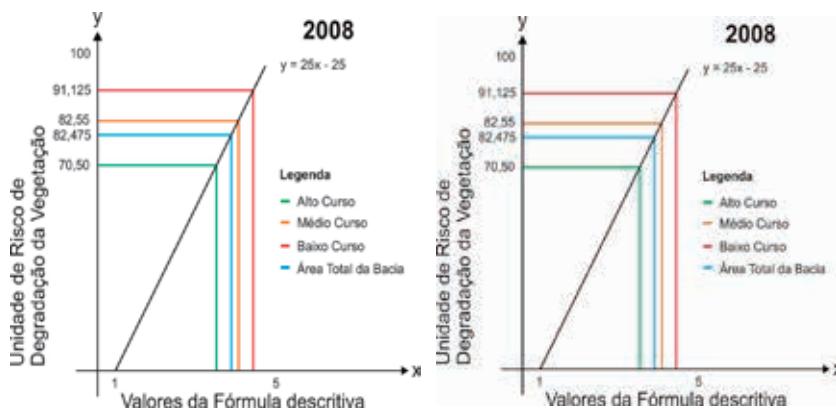


Figura 3 – Unidades de Risco de Degradação da Vegetação da bacia do riacho Feiticeiro nos anos de 1984 e 2008

Fonte: Pinheiro (2010).

- A degradação nos três setores é bem significativa nos dois anos analisados, crescendo do alto para o médio e baixo cursos;
- Considerando a área de estudo como um todo, conclui-se que a degradação da vegetação diminuiu.

Os reflexos de todos os componentes ambientais, inclusive dos parâmetros analisados no Diagnóstico Físico-Conservacionista, refletem diretamente na vegetação, sendo que essa também é a defesa natural dos solos contra o processo erosivo. Então, com a baixa capacidade de proteção da vegetação na área total da bacia, o setor mais comprometido é o baixo curso nos dois anos analisados, sendo que também mostra um aumento de acordo com o NDVI de 1984 para 2008, mas ainda com as condições que comprometem o principal fator de proteção do solo.

Uso e ocupação do solo na bacia do riacho Feiticeiro nos anos de 1984 e 2008

Com base no mapeamento e informações constatadas em campo na área da bacia do riacho Feiticeiro, nos anos de 1984 e 2008, aconteceram mudanças no uso e ocupação do solo, com o aumento da cobertura vegetal e diminuição da atividade agropecuária, conforme indicado nos mapas das Figuras 4 e 5 e por meio da Tabela 1.

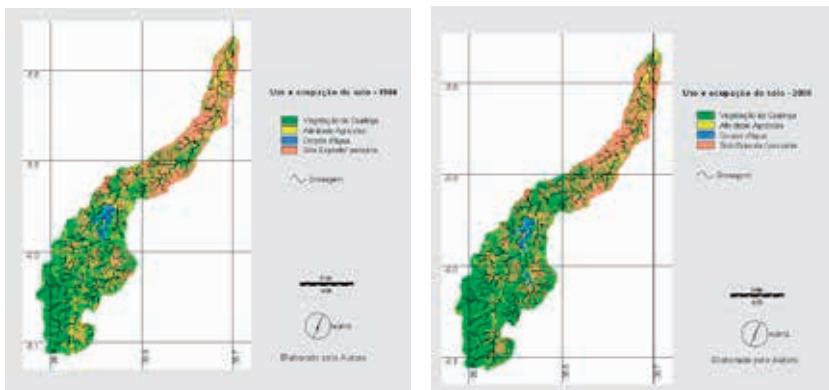


Figura 4 – Uso e Ocupação do Solo em 1984 e Figura 5: Uso e Ocupação do Solo em 2008
Fonte: Pinheiro (2010).

Tabela 1 – Uso e ocupação do solo e respectivas áreas da bacia do riacho Feiticeiro, nos anos de 1984 e 2008

Uso da Terra	1984		2008	
	Classes	Km ²	%	Km ²
Cobertura Vegetal	110,15	46,7	121,99	51,7
Atividades Agropecuárias	34,09	14,4	23,03	9,7
Corpos d'água	7,94	3,4	7,99	3,4
Solo Exposto/Pecuária	83,84	35,5	83,01	35,2

Fonte: Pinheiro (2010).

De acordo com as imagens geradas e com base na Tabela 1, a bacia em estudo apresentava cerca de 46,7% e 51,7%, respectivamente, em 1984 e 2008, com cobertura vegetal representada, em especial no setor do alto curso do riacho. As atividades agropecuárias encontradas nas margens do riacho Feiticeiro e de seus afluentes (planícies fluviais) apresentaram 14,4%, em 1984, e 9,4%, em 2008. Os corpos d'água, representados principalmente pelos barramentos de médio e pequeno portes ao longo do curso do riacho, têm, aproximadamente, 3,4% da bacia nos dois anos analisados. As áreas de solo exposto correspondiam em torno de 35,5% da bacia em 1984, e 35,2% em 2008, com maior expressão no setor do baixo curso da bacia riacho Feiticeiro, correspondendo áreas de solos rasos e pedregosos como as associações dos Neossolos Litólicos e os Luvissolos.

Constata-se que houve expansão da área com cobertura vegetal. Contudo, com base no NDVI, verifica-se que o nível de proteção dada pela vegetação, embora com pequeno acréscimo entre 1984 e 2008, continua com níveis de proteção de baixo a muito baixo.

Há predominância de uma vegetação aberta e esparsa de porte arbustivo e que não traz grande proteção ao solo. Em relação às áreas que correspondem às atividades agropecuárias, mostra-se, em 2008, com menor expressão, se comparada ao ano de 1984, o que indica ter existido uma mudança no padrão de uso do solo, ou seja, áreas que eram destinadas às atividades de agropecuárias como lavouras e áreas de pastagens, foram “abandonadas”, fazendo com que surgisse uma vegetação secundária que, no geral, não traz grande proteção para os solos. Os corpos d'água da bacia não apresentaram alterações entre 1984 e 2008. Em relação ao solo exposto da bacia, não aconteceu grandes alterações, todavia destaca-se que houve maior expressão de áreas com solo exposto nas extensões das planícies fluviais, principalmente nas áreas do baixo curso do riacho Feiticeiro onde se localizam os solos aluviais que possuem uma melhor situação para a agricultura.

Análise socioeconômica do município de Jaguaribe

Com o uso de dados secundários de levantamentos estatísticos, buscou-se a interpretação nas mudanças ocorridas do uso da terra da área em estudo. O município de Jaguaribe - Ceará, onde está inserida a bacia do riacho Feiticeiro, traz como principal característica de ocupação a implan-

tação dos primeiros latifúndios cearenses, desde as doações de sesmarias, e tendo a pecuária como principal atividade econômica. Atualmente, a pecuária ainda se destaca como atividade econômica mais representativa do município, com 56,9%, porém ele também apresenta como base de sua economia a agricultura ligada, principalmente, ao plantio de lavouras temporárias, com 41,7%, sendo os demais usos da terra sem grande expressão na economia local (GUERRA, 2009; CEARÁ, 2010).

De acordo com dados do IBGE, analisando-se os anos de 1990 e 2008, o uso da terra nas lavouras temporárias e permanentes em Jaguaribe demonstra uma tendência à redução em relação às áreas plantadas. A redução entre os anos de 1990 e 2008 foram 67,2% para lavouras temporárias e 21,9% para lavouras permanentes, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Síntese das variações entre os anos de 1990 e 2008 das áreas plantadas (culturas temporárias e permanentes) no município de Jaguaribe

Culturas	Área Plantada (ha)		Variação entre 1990 e 2008
	1990	2008	
Temporárias	17.765	5.828	Redução 67,2%
Permanente	501	391	Redução 21,9%

Fonte: Pinheiro (2010).

A produção pecuária entre os dois anos analisados, de 1990 e 2008, também denota uma redução do rebanho de cerca de 13,6%, evidenciando, dessa forma, um declínio dessa atividade, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Síntese das variações entre os anos de 1990 e 2008 dos rebanhos no município de Jaguaribe

Variáveis	Rebanho – Variação entre 1990 e 2008									
	Bovinos (B)		Caprinos (C)		Ovinos (O)		Suínos (S)		Totais +C+O+S)	
	1990	2008	1990	2008	1990	2008	1990	2008	1990	2008
Efetivo dos Rebanhos	51.215	49.624	23.292	14.191	50.076	44.078	10.831	9.139	135.414	117.032

Fonte: Pinheiro (2010).

Mesmo com o declínio da atividade pecuária, a criação bovina é predominante na atividade pecuarista do município, assim como a de menor taxa de declínio em relação aos demais efetivos de rebanhos. Desse modo, os dados permitem dizer que a base de sustentação econômica do município de Jaguaribe está historicamente vinculada à pecuária. Dessa atividade destaca-se o gado bovino como predominante nos dois anos analisados (PINHEIRO, 2010). Mas, considerando-se que as atividades agropecuárias dependem de variáveis climatológicas para a sua produção, principalmente das chuvas que, em geral, variam de ano para ano na área de estudo, de clima semiárido, avaliou-se uma sequência anual na produção agrícola (Tabela 4) e nos efetivos dos rebanhos (Tabela 5).

Tabela 4 – Produção de lavouras temporárias e permanentes em diferentes anos em Jaguaribe – Ceará

Anos	Área Plantada e área colhida (ha)	
	Culturas Temporárias	Culturas Permanentess
1990	17.765	501
1991	10.693	851
1992	10.832	818
1993	2.348	503
1994	12.768	460
1995	7.856	475
1996	7.856	464
1997	8.223	437
1998	5.063	435
1999	7.289	435
2000	8.216	400
2001	6.834	400
2002	8.117	400
2003	8.531	427
2004	7.065	457
2005	4.648	429
2006	5.878	406
2007	5.377	391
2008	5.828	391

Fonte: Pinheiro (2010).

Tabela 5 – Efetivos bovinos, ovinos, caprinos e suínos do município de Jaguaribe – CE nos anos 1990 a 2008

Anos	Rebanho			
	Bovino	Caprino	Ovino	Suíno
1990	51.215	23.292	50.076	10.831
1991	52.239	23.758	51.078	11.101
1992	53.284	24.471	52.610	10.898
1993	30.284	14.683	29.462	4.933
1994	33.312	15.856	31.819	5.229
1995	36.310	16.649	34.364	5.438
1996	55.827	10.400	35.600	7.038
1997	56.385	10.483	36.490	7.213
1998	42.288	9.434	32.841	6.510
1999	38.059	9.575	33.497	6.629
2000	39.961	10.053	34.836	6.884
2001	41.150	10.505	35.160	7.081
2002	42.178	10.872	36.039	7.293
2003	42.811	11.209	36.760	7.482
2004	44.523	11.960	38.414	7.861
2005	45.858	12.678	39.950	8.220
2006	47.233	13.312	41.548	8.585
2007	48.414	13.778	42.794	8.879
2008	49.624	14.191	44.078	9.139

Fonte: Pinheiro (2010).

Os dados nas Tabelas 4 e 5 confirmam o diagnóstico realizado com base nos anos de 1990 a 2008, com uma tendência de queda na produção, apesar de não se mostrar como uma constante, pois em alguns anos ocorre melhor produção, mas percebe-se uma redução na produção das principais atividades econômicas do município de Jaguaribe.

Problemática da degradação ambiental/desertificação na bacia do riacho Feiticeiro

A desertificação é marcada pelo desaparecimento irreversível de algumas espécies vegetais, aumento dos processos erosivos, assoreamento dos recursos hídricos superficiais e resulta na intensificação dos processos morfogenéticos que passam a prevalecer sobre as ações pedogenéticas. O antropismo, caracterizado pelas atividades agropecuárias com técnicas rudimentares, o extrativismo e a ocupação desordenada, culminam com a degradação da vegetação, resultando na degradação dos solos com redução da matéria orgânica, modificação de suas propriedades físicas e intensificação dos processos erosivos (CEARÁ, 2010).

As causas e consequências da desertificação estão interligadas, pois as consequências podem retroalimentar as causas originais. A desertificação mostra um quadro complexo que parece progredir, promovendo, em sequência, a degradação do solo, a redução da capacidade produtiva da agropecuária e, por fim, a deterioração das condições socioeconômicas da população da área. Esses eventos, porém, nem sempre coexistem, o que complica a análise do processo da desertificação (SAMPAIO; SAMPAIO, 2002).

Os indicadores sociais são os mais complexos de se analisar, pois áreas não desertificadas podem ter problemas sociais bem mais complexos do que regiões que apresentam sinais evidentes de desertificação. Então, o diagnóstico da degradação ambiental/desertificação na bacia do riacho Feiticeiro é constatado neste estudo a partir do diagnóstico físico-conservacionista, com análise do risco de degradação ambiental, expressa na análise dos parâmetros do clima e da vegetação com o uso do NDVI de imagens indicadores do uso e ocupação do solo associadas a uma análise das atividades econômicas predominantes na área do estudo.

Na análise de risco de degradação ambiental da bacia com o uso do DFC, analisando-se os anos de 1984 e 2008, este risco diminuiu de 46% para 44,66% na área total da bacia. O diagnóstico da degradação da vegetação na área total da bacia, conduzida pelo uso do NDVI, indicou que ela decresceu de 88,15%, em 1984, para 82,47%, em 2008.

No mapa de uso e cobertura do solo, os dados relativos à produção agropecuária permitem afirmar que vem ocorrendo uma mudança no padrão do uso da terra, ou seja, vem acontecendo uma redução das áreas destinadas ao uso agropecuário, o que é indicado nos dados na produção agropecuária no município de Jaguaribe e que pode resultar em uma série de fatores, entre eles: desgaste e empobrecimento do solo, o que influencia negativamente no rendimento da produção; processo migratório do homem do campo para a cidade, assim como aumento dos programas assistenciais que, na maioria das vezes, objetivam compensar a população de baixa renda.

A redução das áreas destinadas à agropecuária ocorre simultaneamente com o aumento na cobertura vegetal, com predominância de uma vegetação do tipo arbustiva esparsa e herbácea, com presença de cactáceas, com rara ocorrência de uma vegetação de maior porte, o que, mesmo assim, evidencia uma melhoria na qualidade ambiental da bacia do riacho Feiticeiro, condizendo com a variação entre diferentes níveis de degradação ambiental/desertificação.

Considerações Finais

O semiárido nordestino é uma das maiores áreas do mundo suscetível à desertificação e com particularidades em relação às demais áreas semiáridas do globo terrestre, primeiro por ser a única localizada no interior da Zona Equatorial, assim como é a área semiárida mais povoada do mundo. Desde o período colonial, quando se iniciaram a ocupação e a formação territorial do semiárido nordestino, o uso dos recursos naturais vêm sendo conduzido de maneira indiscriminada, buscando adaptar o ambiente ao homem ao invés de ser ao contrário, havendo, assim, uma tendência para que aconteçam os desequilíbrios ambientais. Com efeito, o quadro de exploração e degradação da área ocorre em um ritmo muito mais acelerado do que a sua capacidade de resiliência.

Diante disso, os níveis de degradação por todo o semiárido nordestino são elevados, podendo culminar na desertificação, pois, em geral, esses ambientes suscetíveis a esse processo são fortemente

instáveis em função dos impactos produzidos pelo uso e ocupação dessas áreas, o que, no geral, compromete a capacidade produtiva dos recursos naturais e das reservas paisagísticas; são áreas favoráveis à morfogênese, em que podem ser frequentes as rupturas do equilíbrio ecodinâmico e a manutenção do solo é comprometida.

Na bacia do riacho Feiticeiro, os problemas da degradação ambiental/desertificação são perceptíveis através de imagens de satélite e com trabalhos realizados em campo, sendo observada a devastação da cobertura vegetal e a ação dos fenômenos erosivos.

Considera-se, então, que, embora se evidencie um aumento nos índices de cobertura vegetal, nos anos estudados, os níveis de proteção conferida ao solo ainda são baixos. Vale ressaltar que esse aumento ocorreu nas áreas onde aconteceu um possível “abandono” por parte da agricultura e da pecuária. Desse modo, sucedeu uma mudança no padrão de uso e ocupação da área, mas ainda é alto o índice de solo exposto (Figura 6 A e B) com riscos de degradação ambiental/desertificação.



Figura 6 – Áreas de Solo Exposto. A: Área de solos pedregosos e desmatados com marcas nítidas de erosão e a rocha matriz aflorando; B: Área desmatada com grande parte do solo desprotegido e suscetível à erosão

Fonte: Pinheiro (2010).

Conclui-se que grande parte da área da bacia do riacho Feiticeiro teve seus recursos naturais degradados pelo sistema de produção. São notórios os sinais dessa degradação em diversos pontos da bacia, onde se encontram grandes manchas de solo exposto. A vegetação das caatingas, com evidentes efeitos de devastação dos solos, em geral rasos e pedregosos, com sinais evidentes de processos erosivos e nas planícies fluviais, levando-se em conta as boas condições de solo, percebe-se o desmatamento discriminado da vegetação de mata ciliar.

Esse problema não ocorre uniformemente em toda a área de estudo, quando ela é analisada nos seus diferentes setores. Como exemplo, tem-se que os mais altos níveis de risco de degradação ambiental ocorrem no setor do médio curso, enquanto o pior estado de conservação da vegetação sucede no setor baixo curso. Sendo assim, é preciso que seja dispensada atenção especial em estudos e ações de recuperação dessas áreas pelos órgãos ambientais e pela própria comunidade inserida na bacia, para ações de recuperação e conservação da área, principalmente com adoção de formas de uso com técnicas conservacionistas adequadas para as características físico-naturais da bacia do riacho Feiticeiro.

Com base na análise socioeconômica da área verificou-se uma diminuição na capacidade produtiva das atividades primárias, o que pode ter contribuído positivamente para reduzir o processo de degradação. Todavia, esse declínio pode ter relação direta com a redução da produtividade dos solos e da capacidade de suporte do ambiente.

Referências Bibliográficas

- BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Florianópolis: UFSC, 1994.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAN-BRASIL*. Edição comemorativa dos 10 anos da Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – CCD. Brasília: MMA, 2004. 225 p.

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

GUERRA, M. D. F. *A problemática da desertificação nos sertões do médio Jaguaribe, Ceará: o contexto do município de Jaguaribe*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2009.

PINHEIRO, R. A; B. *Processo de degradação/desertificação na bacia do riacho Feiticeiro, Município de Jaguaribe – Ceará*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento do Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento em Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. *Desertificação: conceitos, causas, consequências e mensuração*. Documento I: Avaliação de tecnologias atuais e alternativas em áreas em processo de desertificação no semi-árido nordestino brasileiro. Recife: FINAP/UFRPE/UFPE, 2002.

SOUZA, M. J. N. de. Panorama da degradação ambiental, desertificação e entraves ao desenvolvimento sustentável do Ceará. In: PINHEIRO, Daniel R. de C. (Org.). *Desenvolvimento sustentável: desafios e discussões*. Fortaleza: ABC Editora, 2006, p. 33-55.

ÁREAS DE INTERESSE PRIORITÁRIO NO ESTADO DO PIAUÍ PARA CONDUÇÃO DE ESTUDOS DE DESERTIFICAÇÃO

*Cláudia Maria Sabóia de Aquino
José Gerardo Beserra de Oliveira*

Panorama da Desertificação

A desertificação, segundo a Convenção de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – CCD, pode ser definida como a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas. A Agenda 21, em seu capítulo 12, considera degradação da terra a redução ou a perda da produtividade biológica ou econômica das terras agrícolas de sequeiro, de cultivo irrigado, pastos, florestas e bosques.

No Brasil, as áreas susceptíveis à desertificação localizam-se, principalmente, na região semiárida do Nordeste (Figura 1), numa área de aproximadamente 900 mil km², onde vivem cerca de 18 milhões de pessoas, 42% da população nordestina e 11% do contingente demográfico do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2003).

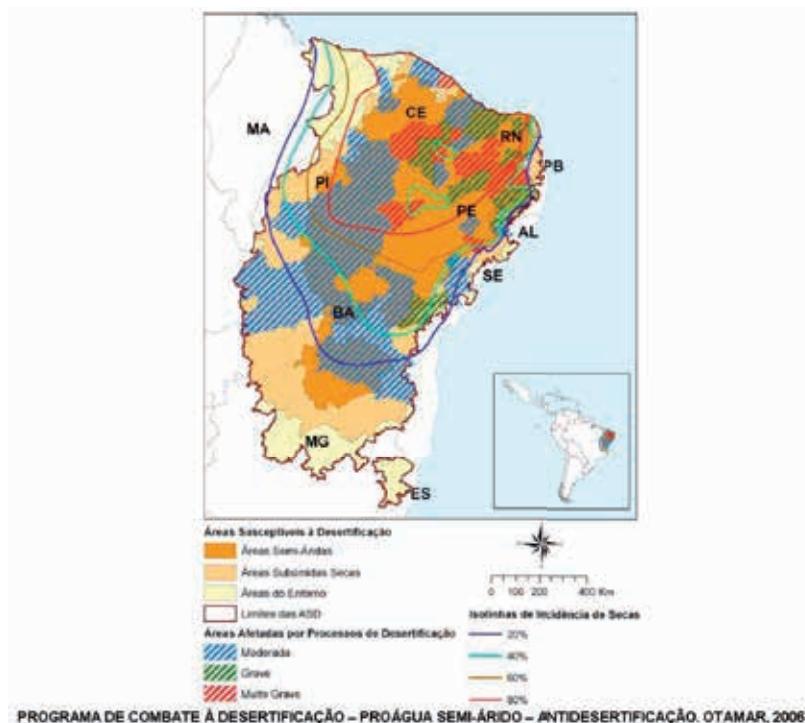


Figura 1 – Áreas do Brasil susceptíveis à desertificação
Fonte: Brasil (2004).

Levantamento das condições geoambientais revela tratar-se de uma região caracterizada por irregular distribuição espacotemporal das precipitações, altas taxas de evapotranspiração e ocorrência de significativo número de meses secos. Os aspectos climáticos combinados à litologia, em parte composta por substrato cristalino, coadunam-se com o estabelecimento de tipologias de solos de pouca profundidade e reduzida capacidade de retenção de água, o que limita, consequentemente, seu potencial produtivo. Todos esses elementos conjugados evidenciam um ecossistema muito frágil, o que se agrava, principalmente, em virtude da degradação da cobertura vegetal e do uso incorreto das terras, pautado em técnicas rudimentares e predatórias (desmatamentos e queimadas).

A degradação ambiental nos espaços sujeitos à aridez e à semi-aridez, quando submetidos a práticas agrícolas incorretas e rudimentares,

alcança o seu limite com o estabelecimento de processos de desertificação (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2012).

O ecólogo pernambucano João Vasconcelos Sobrinho foi o pioneiro nos estudos formais acerca dos processos de desertificação no semiárido brasileiro (VASCONCELOS SOBRINHO, 1981). Este pesquisador, com suporte no emprego de uma série de parâmetros, indicou no Nordeste núcleos de desertificação (Figura 2).

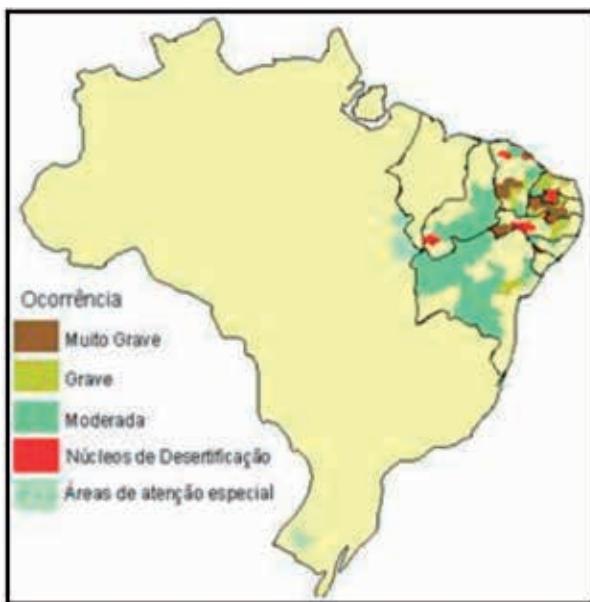


Figura 2 – Núcleos e severidade da desertificação no território brasileiro
Fonte: Brasil (2004).

Para ele, nestes núcleos estariam a surgir grandes desertos com todas as características ecológicas que conduziram à formação dos grandes desertos hoje existentes em outras regiões do globo. Os desertos que ali vinham se formando seriam “desertos atípicos”, diferenciados do típico deserto saariano, pela incidência de precipitações e natureza do solo, mas com as mesmas implicações de inabitabilidade.

Sá et al. (2010) apresentam as características relacionadas no Quadro 1 para os Núcleos de Desertificação do nordeste brasileiro propostos por Vasconcelos Sobrinho:

Quadro 1 – Características dos Núcleos de Desertificação do nordeste brasileiro

Núcleos de desertificação				
Área afetada	Seridó (RN/PB)	Irauçuba (CE)	Gilbués (PI)	Cabrobó (PE)
	2.341 km ² ;	4.000 km ²	6.131 km ²	4.960 km ² ;
Total de Habitantes	244 mil.	34 mil	20 mil	
Principais causas	Desmatamento da caatinga para extração de lenha e argila, uso intensivo dos recursos naturais e sobrepastojo (superpopulação de animais numa área muito restrita).	Intensos desmatamentos, prática de queimadas e ocupação desordenada do solo.	Mineração e pecuária extensiva.	Sobrepastojo, desmatamento e manejo inadequado dos solos.
Municípios incluídos	Currais Novos, Cruzeta, Equador, Carnaúba dos Dantas, Acaraiá, Parelhas, Caicó, Jardim do Seridó, Ouro Branco, Santana do Seridó e São José do Sabugi.	Irauçuba, Sobral, Tejuçuoca, Itapagé, Canindé e Miraíma.	Gilbués, Monte Alegre do Piauí, Barreiras do Piauí, São Gonçalo do Gurgueia, Santa Filomena, Alto Parnaíba.	Cabrobó, Orocó, Santa Maria da Boa Vista, Belém do São Francisco e Floresta.
Características	Solos rasos e pedregosos, com baixa capacidade de retenção de água. Em muitos locais, o desgaste da terra provocou o afloramento das rochas, tornando impossível o cultivo agrícola. Para alimentar os fornos das mais de 80 fábricas de cerâmicas que se espalham pela região, a vegetação nativa é desmatada.	Solos rasos e pedregosos. A erosão culmina com o afloramento das rochas. Muitas dessas áreas estão localizadas em terrenos altos e inclinados, o que aumenta o processo de degradação. Nas décadas de 1950 e 1960, a monocultura do algodão contribuiu para o desgaste do solo, que também sofreu com os desmatamentos ocorridos nos anos 1970, quando a madeira foi usada, indiscriminadamente, para a produção de energia.	Solos arenosos, com formação de grandes dunas e voçorocas, que avançam em direção à parte urbana da cidade. O grau de erosão de Gilbués é um dos mais graves do mundo. O problema é agravado tanto no inverno (quando as chuvas arrastam grandes quantidades de terra), quanto na seca, época em que os solos ficam esturricados e a ação do vento acentua o processo erosivo. Os brejos e leitos dos rios estão sendo soterrados pelos solos erodidos.	A erosão abriu grandes crateras na terra. É grave o processo de salinização do solo, em consequência, principalmente, da implantação pouco cuidadosa de projetos de irrigação. O Núcleo de Cabrobó foi o primeiro a ser identificado, na década de 1970, pelo ecólogo Vasconcelos Sobrinho (RODRIGUES, 1997).

Fonte: Sá et al. (2010).

A indicação do Núcleo de Desertificação de Gilbués, no estado do Piauí, orientou e continua a orientar uma série de trabalhos realizados na área, dentre os quais merecem destaque o de Sales (1998) e Melo (2010). Vale ressaltar que, embora esta área mostre sérios problemas de degradação ambiental (Figura 3), em decorrência do não enquadramento dela nas tipologias climáticas árida, semiárida e subúmida seca, sugerido pela United Nations Environment Programme (1991), com o emprego do índice de aridez, recomenda-se o não uso do termo para a área em questão.



Figura 3 – Áreas de solos expostos em avançado estágio de degradação em Gilbués - Piauí
Fonte: (SALES, 1998).

Não subestimando a situação de gravidade da degradação em Gilbués, acredita-se na relevância do emprego do parâmetro Índice de Aridez como critério balisador para a indicação de áreas suscetíveis à desertificação no mundo.

A extensão territorial do estado do Piauí (251.576,644km²), aliada a variações geoambientais (litologia, unidades geomorfológicas, solos, clima e formações vegetais), exige que sejam indicadas para o estado do Piauí as áreas suscetíveis à desertificação, conforme Índice de Aridez, sugerido por United Nations Environment Programme (1991), bem como que sejam avaliados com origem no emprego de indicadores biofísicos os diferentes níveis de comprometimento/severidade desta suscetibilidade, objetivos a que se propõe este trabalho.

O estado do Piauí está assentado sobre duas grandes unidades geológicas: a Bacia Sedimentar do Maranhão - Piauí e o Embasamento Cristalino. A Bacia Sedimentar do Maranhão - Piauí (MA/PI) ocupa aproximadamente 80% do estado, sendo formada por terrenos sedimentares datados do Paleozoico. Os 20% restantes integram o Embasamento

Cristalino, pertencente ao núcleo nordestino de Escudos Brasileiros, datado do Pré-Cambriano, que ocupa estreita faixa na porção oriental a sudeste e sul do Piauí.

A geomorfologia reflete, segundo Aquino, Oliveira e Sales (2002), evidências da relação relevo-estrutura geológica, submetidos a interferências climáticas Plio-pleistocênicas que, combinados, permitiram a identificação das seguintes unidades de relevo: Chapadas Sedimentares, Pediplano Dissecado, Patamares Estruturais, Superfície Litorânea e Sublitorânea, Depressão Periférica e Interplanáltica (AQUINO; OLIVEIRA; SALES, 2002).

A localização geográfica e as características geoambientais aliadas à atuação de diferentes sistemas de perturbação atmosférica, tais como as linhas de instabilidade, a zona de convergência intertropical e ainda os vestígios de frente fria, aliados aos complexos convectivos de mesoescala, conferem ao estado do Piauí diferentes regimes e tipologias climáticas, em parte responsáveis pelas existência de variadas associações de solos e formações vegetais.

Procedimentos técnicos e metodológicos

Procedimento para identificação das terras suscetíveis à desertificação no estado do Piauí.

As áreas susceptíveis à desertificação no estado foram indicadas com fundamento no emprego do índice de aridez do (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1991). Este índice é definido como a razão entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial. As áreas suscetíveis são aquelas de clima árido, semiárido e subúmido seco, como indicado no Quadro 1.

Quadro 2 – Tipos de clima e amplitude do Índice de Aridez segundo United Nations Environment Programme (1991)

Tipos de Clima	Amplitude do Índice de Aridez (P/ETP)
Hiperárido	< 0,03
Árido	0,03 - 0,20
Semiárido	0,21 - 0,50
Subúmido seco	0,51 - 0,65
Subúmido úmido	> 0,65

Fonte: United Nations Environment Programme (1991).

Procedimento para avaliação da suscetibilidade antrópica à desertificação no estado do Piauí, pelo uso de indicadores biofísicos.

Dada a característica multidisciplinar e a complexidade da desertificação, os trabalhos sobre o tema normalmente utilizam um conjunto variado de indicadores. Rodrigues (1997), num levantamento da literatura produzida no Brasil sobre o tema até meados da década de 1990, evidenciou o fato de que, entre os indicadores utilizados para avaliar a desertificação, a erosão dos solos é o que tem sido utilizado com maior frequência.

Considerando o conjunto de condições geoambientais diferenciadas para o estado do Piauí e fundamentados na concepção de Roxo e Mourão (1998) e ainda em Rodrigues (1997), a severidade à desertificação das terras suscetíveis a este processo no Piauí foi avaliada pela combinação dos seguintes indicadores: Índice de Aridez (IA), Erosividade das chuvas (R), Erodibilidade dos solos (K), Tipologias de relevo regional e local (R) e Cobertura vegetal antropizada (CV). À exceção do primeiro indicador (IA) os demais constituem fatores da Equação Universal de Perdas de Solo. A seguir são expostos os métodos empregados para estimativa dos indicadores usados no estudo.

Índice de Aridez (IA)

O Índice de Aridez (IA) é determinante na identificação das áreas do globo suscetíveis à desertificação. Para Sales (2003), a determinação desse índice permite conhecer *a priori* as limitações impostas pelo clima para a realização de atividades biológicas primárias e, consequentemente, da produtividade agrícola indispensável ao desenvolvimento das sociedades humanas. Este índice proposto pelo United Nations Environment Programme (1991) é o quociente entre a precipitação total média anual e a evapotranspiração potencial total anual (P/ETP).

Erosividade da chuva (R)

A erosividade expressa a capacidade da chuva de erodir o solo. A erosividade da chuva foi estimada a partir da equação proposta por (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI = 67,355(r_i^2 / P)^{0.85} \quad (1)$$

Em que:

EI é a média mensal do índice de erosão, em MJmm/ha.h.ano;

r é a precipitação média mensal, em mm;

P é a precipitação média anual, em mm.

Os 12 valores mensais de EI são somados para obtenção da erosividade anual da chuva.

Erodibilidade dos Solos (K)

A erodibilidade representa a suscetibilidade que cada solo possui em relação ao potencial erosivo das chuvas. A erodibilidade dos solos da área de estudo foi estimada a partir da equação proposta por Römkens et al. (1987, 1997), adaptada para gerar valores em unidades internacionais, como segue:

$$K = 0,0034 + 0,0405 \exp((-1/2) ((\log(Dg) + 1,659) / 0,7101)^2) \quad (2)$$

Em que:

K é a erodibilidade do solo, em ton.ha.h/ haMJmm;

log é o logaritmo decimal;

Dg é a média geométrica do diâmetro das partículas primárias, em mm, calculada de acordo com Shirazi e Boersma (1984) e expressa como:

Em que:

f_i é a percentagem das frações granulométricas das partículas de areia, silte e argila;

In é o logaritmo natural;

M, é a média aritmética dos dois limites do diâmetro das partículas.

Declividade (D).

Para estimativa do fator declividade foi adotado o procedimento de OLIVEIRA et al., (1987, 1991a e 1991b), considerando os tipos de relevo indicados nas descrições de solos de Jacomine (1986).

Cobertura Vegetal

Para estimativa do fator cobertura vegetal (C) neste estudo, foi adotada a metodologia de Crepani et al. (2000), considerando a vegetação potencial conforme aparece nos mapas fitoecológicos do Brasil (1973 a, b e c) na escala de 1:1.000.000.

Para a combinação dos indicadores citados anteriormente, foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas IDRISI 3.2. (EASTMAN, 2002).

Resultados

Terras Secas do Piauí segundo o Índice de Aridez do United Nations Environment Programme (1991).

O Índice de Aridez (IA) foi obtido para os 171 postos pluviométricos do estado, distribuídos em seus 221 municípios, e permitiu a identificação e delimitação das terras secas do estado do Piauí suscetíveis à desertificação, conforme indicado na Figura 5.

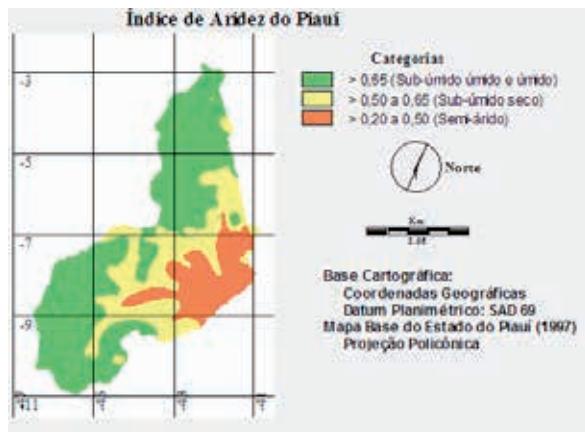


Figura 4 – Terras Secas suscetíveis à desertificação no estado do Piauí
Fonte: Aquino (2002).

Pela análise da Figura 6 verifica-se que aproximadamente 45,3% da área total do estado têm climas subúmido seco e semiárido, área que, na proposição do (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1991), é suscetível a processos de desertificação.

Com relação aos valores obtidos para o IA, têm-se que, dos 171 postos pluviométricos estudados, 82 deles, representando 48% do número total de postos, apresentam Índice de Aridez entre 0,20 e 0,65 (semiárido e subúmido seco), condição que os caracteriza como localizados em áreas suscetíveis a processos de desertificação. O menor valor de Índice de Aridez obtido foi de 0,29, verificado no posto de Serra Vermelha, no município de Paulistana, e o maior valor, da ordem de 0,65, ocorre no posto de Bom Jesus, no município de mesmo nome.

Os termos do balanço hídrico, calculados conforme método de Thornthwaite e Mather (1957), para a área de estudo, permitem inferir que:

a) a precipitação total média anual mostra-se muito variável entre os postos pluviométricos inseridos nas terras secas, com valores que oscilam entre 464mm, no posto de Serra Vermelha, em Paulistana, na porção semiárida da área de estudo, e 1050mm no posto Deserto, em Piracuruca, localizado na porção subsumida seca. Em 40 postos pluviométricos, representando 49% do número total de postos, a precipitação total média anual está entre 464 e 800mm. De maneira geral, evidencia-se o incremento da precipitação no sentido leste/oeste, onde o clima passa de semiárido para subúmido seco;

b) as temperaturas médias anuais variam de 22,2 a 27,1 °C, respectivamente, para os posto de São Luís do Piauí, no município do mesmo nome, e Salinas, no município de São João do Piauí. De um modo geral, as temperaturas aumentam nas terras secas de sudeste para noroeste;

c) os valores médios anuais de evapotranspiração potencial (ETP) são sempre superiores a 1000mm, variando de 1062mm, no posto de São Luís do Piauí, no município do mesmo nome, a 1650mm, nos postos de Floriano e São João da Serra, nos municípios de mesmos nomes. De um modo geral, a ETP apresenta, nas terras secas, um gradiente crescente de sudeste para noroeste;

d) os valores médios anuais de evapotranspiração real (ETR) variam de 464mm, no posto de Serra Vermelha, no município de Paulistana, a 1012mm, no posto de Gado Bravo, no município de Guadalupe;

e) o déficit hídrico oscila entre 429mm, no posto de Bom Jardim, em São Raimundo Nonato, e 1133mm, no posto de Serra Vermelha, em Paulistana;

f) os valores de excedente hídrico da área como um todo são pequenos, variando entre um (1)mm, nos postos de Bom Jesus do Itaueira, Croatá e Veredão, nos municípios de Itaueira, Oeiras e São João do Piauí, respectivamente, e 76mm, no posto de Barreiros, localizado no município de Parnaguá. Num total de 38 postos, representando 46% do total de postos, não há qualquer excedente hídrico;

g) quanto ao número de meses secos, um total de 54 postos pluviométricos, representando 66% do número total de postos, apresentam entre 8 e 10 meses secos, sendo que em dois deles, Serra Vermelha, em Paulistana, e Formosa, em Simplício Mendes, ocorre o valor extremo de 12 meses secos;

A análise do clima mostra que as terras secas do estado do Piauí suscetíveis à desertificação, de maneira geral, são caracterizadas por uma condição climática marcada, dentre outros fatores, por baixos índices pluviométricos, elevadas temperaturas e evapotranspiração potencial, baixo e até mesmo nulo, excedente e elevado déficit hídrico, com existência de uma condição de aridez que se impõe em significativa parte do ano. O rigor das condições climáticas (particularmente em termos de precipitação anual) segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO, como constatado para a área de estudo, constitui-se fator responsável pela maior severidade da desertificação.

Suscetibilidade à desertificação no estado do Piauí, com o emprego de indicadores biofísicos

O mapa de síntese indica as áreas de maior severidade à desertificação no estado do Piauí e, portanto, áreas prioritárias para investigações mais detalhadas acerca deste fenômeno. O mapa de síntese foi obtido a partir da combinação dos mapas constantes na Figura 6.

A suscetibilidade à desertificação das terras secas do estado do Piauí é indicada na Figura 7. A metodologia empregada permitiu identificar dois núcleos: um localizado na porção centro norte do estado, representado pelos municípios de Castelo do Piauí, Lagoa do Sítio, Pimenteiras, São João da Canabrava, São João da Serra, São Miguel do Tapuio e Juazeiro do Piauí; e outro na porção sul do estado, agregando os municípios de São Raimundo Nonato, Coronel José Dias, São Lourenço, Dirceu Arcoverde e Bonfim do Piauí. A análise da Figura 7 permite inferir que 73,1%, 26,5% e 0,4% da área de estudo apresentam, respectivamente, severidade à desertificação nos níveis de baixo, médio e alto, com predomínio do nível baixo de desertificação para o estado.

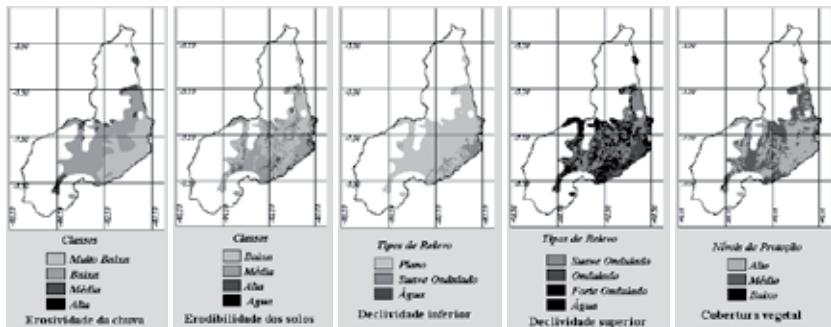


Figura 5 – Representação cartográfica dos indicadores empregados na determinação da suscetibilidade das terras secas do Piauí à desertificação
Fonte: Aquino (2002).

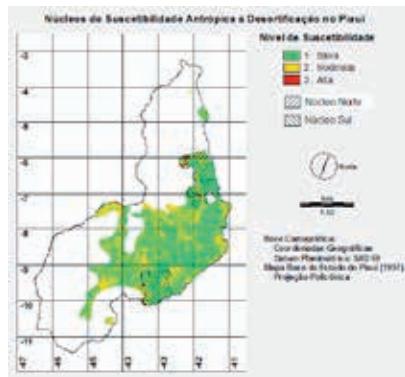


Figura 6 – Núcleos de desertificação no estado do Piauí
Fonte: Aquino (2002).

Conclusões

Os resultados deste trabalho permitem concluir que:

- I. o estado Piauí tem 45,3% de seu território enquadrados, nos termos da definição da United Nations Environment Programme (1991), no que são consideradas áreas suscetíveis a processos de desertificação;
- II. da heterogeneidade física (geologia, geomorfologia, clima, solo e vegetação) das Terras Secas suscetíveis à desertificação deduziu-se que 73,1%, 26,5% e 0,4% apresentam, respectivamente, severidade baixa, média e alta à desertificação;
- III. comparações futuras dos resultados aqui obtidos (valores numéricos/percentagens e mapeamento) com trabalhos já realizados para o estado revelarão discrepâncias, posto diferenças na escala de trabalho, no número, no tipo de indicadores e nos critérios de classificação empregados;
- IV. a metodologia empregada revelou-se eficiente, devendo-se ressaltar o caráter pioneiro no emprego de fatores da EUPS para estudo da desertificação no estado do Piauí;
- V. além de questões políticas e/ou acadêmicas, acredita-se que as áreas indicadas neste estudo sejam merecedoras de atenção especial, devendo ser consideradas áreas prioritárias de investigação mais detalhada, contemplando, dentre outros, aspectos socioeconômicos, bem como tendências de ocupação humana, pois a ação antrópica, quando desenvolvida de forma desordenada, funciona como elemento potencializador da degradação;
- VI. a degradação ambiental/desertificação, especialmente nas regiões de climas semiáridos, onde a seca (fenômeno natural) constitui-se fenômeno típico e sazonal;
- VII. a seca, aliada a formas inapropriadas de uso e manejo da cobertura vegetal e uso do solo/terra, exige avaliação e monitoramento espacial e temporal da dinâmica das formas de uso e ocupação das terras, com o emprego do sensoriamento remoto e das técnicas de geoprocessamento, largamente utilizadas na atualidade, especialmente no território brasileiro em face de sua grande extensão territorial.

Referências Bibliográficas

- AQUINO, C. M. S. *Suscetibilidade geoambiental das terras do estado do Piauí à desertificação*. 2002. 169 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.
- AQUINO, C. M. S. de; OLIVEIRA, J. G. B. de; SALES, M. C. L. *Áreas no estado do Piauí suscetíveis a processos de desertificação, de acordo com o índice de aridez do UNEP (1991) e sua caracterização climática*. Carta CEPRO 1996. Teresina-PI, v. 21, n. 1, p. 61-78, 2002.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p. il.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAN-BRASIL*. Edição comemorativa dos 10 anos da Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – CCD. Brasília: MMA, 2004. 225 p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. PROJETO RADAMBRASIL. *Partes das folhas SC.23 Rio São Francisco e SC.24 Aracaju*: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da Terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973a. (Levantamento de Recursos Naturais, 1).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. *Partes das folhas SB.23 Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe*: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da Terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973b. (Levantamento de Recursos Naturais, 2).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. *Partes das folhas SA.23 São Luís e parte da folha SA.24 Fortaleza*: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da Terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973c. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).

CREPANI, E. et al. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológicos-econômicos e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE, 2000.

CREPANI, E. O núcleo de desertificação de Gilbués observado pelo sensoriamento remoto e pelo geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais...* Natal: INPE, 2009. p. 5185-5192.

EASTMAN, J. R. *IDRISI 3.2*. Worcester, Mass.: Clark University, USA, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo demográfico de 2000: características da população e dos domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

JACOMINE, P. K. T. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Piauí*. Recife: SUDENE/DRN, v. 2, 1986. (Boletim de Pesquisa, 26).

JACOMINE, P. T. K. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará*. Recife: SUDENE/DRN, v. 1-2, 1973. (Boletim Técnico, 28).

MELO, L. F. S. *Caracterização dos níveis de degradação de solos da microbacia do Sucuruiú no núcleo de desertificação de Gilbués*. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa Regional de Pós-Graduação, Teresina, 2010.

OLIVEIRA JUNIOR, I. et al. *Mapeamento de áreas degradadas e com risco à desertificação no sudoeste Baiano*. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos.../044.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2011.

OLIVEIRA, J. G. B. et al. *Zoneamento geoambiental da região de Canindé*. Produção Científica do PDCT/NE no Ceará. Fortaleza, n. 1, p. 525-550, 1991a.

_____. *Zoneamento geoambiental de áreas do sertão central do Ceará*. Produção Científica do PDCT/NE no Ceará. Fortaleza, n. 2, p. 536-551, 1991b.

OLIVEIRA, J. G. B. et al. Zoneamento geoambiental da região de Canindé, Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1987, Natal. *Anais...* Natal: INPE, 1987. p. 41-48.

PIMENTA, M. T.; SANTOS, M. J.; RODRIGUES, R. A suscetibilidade à desertificação. Definição a partir de índices. *Revista Florestal*, Lisboa, v. 9, n. 1, p. 27-29, 1998.

RODRIGUES, V. *Pesquisa dos estudos e dados existentes sobre desertificação no Brasil*: projeto Brasil 93/036/D/13/99. Elaboração de Estratégias e do Plano Nacional de Combate à Desertificação. Recife: Instituto Desert, 1997.

ROMKENS, M. J. M. et al. Soil Erodibility factor (K) (Eq. 3-5). In: RENARD, K. G. et al. (Coord.). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Washington: Department of Agriculture, 1997. (Agriculture Handbook, 703).

ROMKENS, M. J. M.; PRASAD, S. N.; POESEN, J. W. A. Soil erodibility properties. In: CONGRESS OF THE ISSS, 8., 1987, Hamburg. *Anais...* Hamburg, 1987. p. 492-503.

ROXO, M. J.; MOURÃO, J. M. Um passo contra o deserto: a percepção pública do fenômeno. *Revista Florestal*, Lisboa, v. 11, n. 1, p. 30-34, 1998.

SÁ, I. B. et al. Desertificação no semiárido brasileiro. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CLIMA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS - ICID+18, 2. Fortaleza, 2010.

SALES, M. C. L. *Estudo da degradação ambiental em Gilbués – PI: reavaliando o núcleo de desertificação*. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

_____. *Estudos climáticos, morfopedológicos e fitoecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba-Ceará*. 2003. 122 f. Tese

(Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SHIRAZI, M. A.; BOERSMA, L. A. A unifying quantitative analyses of soil texture. *Soil Science Society of America Proceedings*, Las Vegas, v. 48, n. 1, p. 142-147, 1984.

SILVA, M. T. et al. Análise dinâmica do processo de desertificação na região de Gilbués-PI, utilizando imagens do TM/Landsat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Recife. *Anais...* Recife: INPE, 2009. p. 6265-6272.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the Water Balance, *Publications in Climatology*, New Jersey, v. 10, n. 3, 1957.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review*, New York, n. 38, p. 55-94, 1948.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Status of desertification and implementation of the united nations plan of action to combat desertification*. Nairobi, Kenya: UNEP, 1991.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. *Metodologia para identificação de processos de desertificação: manual de indicadores*. Recife: SUDENE, 1978.

OS AUTORES

José Gerardo Beserra de Oliveira

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará (1956), mestrado em Botânica – University of Arizona (1968) e doutorado em Manejo de Pastagens – University of Arizona (1979). Atualmente é participante do PROPAP da Universidade Federal do Ceará. Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Exploração Racional de Recursos Naturais, atuando principalmente nos seguintes temas: caatinga, Ceará, zoneamento ecológico, estação ecológica de Aiuaba, desertificação, Piauí e Irauçuba.

Marta Celina Linhares Sales

Possui graduação em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (1985), mestrado (1997) e doutorado (2003) em Geografia Física pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professora Associada do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará. É professora permanente do PRODEMA/UFC e do Programa de Pós-Graduação de Geografia da UFC. Coordena o Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos-LCGRH. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Climatologia Geográfica, atuando principalmente nos seguintes temas: análise ambiental, desertificação, climatologia regional e urbana.



Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará - UFC
Av. da Universidade, 2932 - fundos, Benfica
Fone: (85) 3366.7485 / 7486
CEP: 60020-181 - Fortaleza - Ceará

imprensa.ufc@pradm.ufc.br

A Universidade Federal do Ceará vem contribuindo de modo decisivo para a educação e para a ciência em nosso país. Como um dos seus avanços acadêmicos, merece destaque o crescimento da pós-graduação, que desempenha papel fundamental na formação de recursos humanos.

A pós-graduação brasileira tem sido avaliada de forma sistemática nas últimas décadas. Nesse processo, o livro passou a ser incluído como parte importante da produção intelectual acadêmica, principalmente na área das Ciências Sociais e Humanas, divulgando os esforços dos pesquisadores que veiculam parte de sua produção nesse formato.

A Coleção de Estudos da Pós-Graduação foi criada visando apoiar os programas de pós-graduação *stricto sensu* da UFC a partir de uma política acadêmico-científica, viabilizando a publicação da produção intelectual em forma de livro.

Em 2014, segundo ano de sua criação, a Coleção de Estudos da Pós-graduação apoiou a edição de 13 livros, envolvendo diversos cursos de mestrado e doutorado de diferentes áreas do conhecimento.

