

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR**

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE**

Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares

**Medida do ^{137}Cs no solo na estimativa da erosão e avaliação da
desertificação no Núcleo de Cabrobó**

ANTÔNIO LUIZ GONÇALVES FERREIRA JÚNIOR

Orientador: Prof. Dr. Everardo V. S. B. Sampaio

Recife, PE

JUNHO DE 2017

ANTÔNIO LUIZ GONÇALVES FERREIRA JÚNIOR

**Medida do ^{137}Cs no solo na estimativa da erosão e avaliação da
desertificação no Núcleo de Cabrobó**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação
em Tecnologias Energéticas e Nucleares para
obtenção do título de Doutor em Ciências, Área
de Concentração: Aplicações de Radioisótopos
na Agricultura e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Everardo V. S. B. Sampaio

**Recife, PE
JUNHO DE 2017**

Catálogo na fonte
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

F383m Ferreira Júnior, Antônio Luiz Gonçalves.
Medida do ^{137}Cs no solo na estimativa da erosão e avaliação da desertificação no Núcleo de Cabrobó. / Antônio Luiz Gonçalves Ferreira Júnior. - Recife: O Autor, 2017.
108 f. : il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2017.
Inclui referências bibliográficas.

1. Semiárido. 2. Índice de desertificação. 3. Degradação ambiental. 4. ^{137}Cs . I. Sampaio, Everardo Valadares de Sá Barretto, orientador. II. Título.

CDD 621.48 (21. ed.)

UFPE
BDEN/2017-21

Medida do ^{137}Cs no Solo na Estimativa da Erosão e Avaliação da Desertificação no Núcleo de Cabrobó

Antônio Luiz Gonçalves Ferreira Júnior

APROVADA EM: 07.06.2017

ORIENTADOR: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio – DEN/UFPE

Profa. Dra. Izabel Cristina de Luna Galindo – DEPA/UFRPE

Profa. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo – Depto. Geografia/UFPE

Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas – DEPA/UFRPE

Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes – DEN/UFPE

Visto e permitida a impressão

Coordenador(a) do PROTEN/DEN/UFPE

AGRADECIMENTOS

- Ao meu orientador, Professor Everardo Sampaio, que sempre se mostrou disponível para apoiar as atividades de leitura e de campo a qualquer tempo, por sua compreensão e tolerância com minhas dificuldades de compatibilizar o trabalho com as atividades acadêmicas. Foi um professor que me marcou por unir capacidade científica e simplicidade.
- Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, que consentiu o uso da Estação Experimental de São Bento do Una como base para a realização da pesquisa, e aos colaboradores da Estação que prestaram as informações solicitadas.
- Ao professor Rômulo Menezes, que cedeu parte de seu tempo para dar algumas opiniões sobre possíveis áreas de pesquisa e com quem tive o prazer de cursar duas disciplinas que muito me acrescentaram profissionalmente; ao longo do curso, sempre demonstrava interesse em saber se as atividades de laboratório estavam dentro da normalidade esperada.
- À professora Socorro Araújo, que sempre se dispôs a contribuir para o melhor desenvolvimento deste trabalho. Suas observações, sempre pertinentes, contribuíram muito para a evolução da pesquisa.
- Ao pesquisador Dário Primo, figura humana da mais alta qualidade, com quem tive momentos de muita reflexão sobre a vida nos laboratórios e fora deles. Sua serenidade e a disponibilidade de dividir o conhecimento fazem dele uma pessoa muito nobre. A capacidade de trabalho é uma característica marcante nessa figura que não media esforços para apoiar os colegas quando estavam necessitando de ajuda.
- Ao professor José Araújo, que contribuiu bastante para que eu pudesse conduzir as leituras das amostras de solo por espectrometria gama. Sempre pude contar com sua colaboração para desfazer minhas dúvidas, e ele compartilha seu conhecimento com os colegas de forma didática, com bastante espontaneidade e sapiência.
- Ao colega Patrik Diogo, que muito contribuiu no início das minhas atividades de campo, realizando as coletas de solo e transmitindo seu conhecimento acumulado na realização das leituras das atividades de ^{137}Cs no dectetor gama.
- A Claudenice, que, de forma eficiente e prestativa, não deixava faltar os reagentes necessários para a realização das análises de laboratório.
- A Nilvânia, pela presteza e atenção que sempre demonstrou na solução dos problemas administrativos na Secretaria do PROTEN, e a Kalydja, pela atenção na reta final da defesa da tese.

- Aos colegas de ITEP Ana Mônica, Flávio, Luiz, Diego e Aramis, que se prontificaram a suprir minhas deficiências na área das geociências e afins. A contribuição de cada um foi muito relevante.
- Às fieis escudeiras Maria e Viviane, que em algumas horas críticas seguraram a casa e os nossos pequenos para que eu pudesse fazer as atividades de campo no tempo necessário.
- Ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, por ter possibilitado a realização deste doutorado e pelo clima amistoso e de cooperação existente entre os diferentes Grupos de Pesquisa.
- Um agradecimento especial aos meus pais (*in memoriam*), que já não estavam mais em nossa companhia para acompanhar a finalização da tese. Eles foram figuras muito importantes para minha formação como pai e cidadão.
- Por fim, um agradecimento especial à minha esposa Lívia, que me deu total apoio na caminhada e foi muito companheira em algumas decisões que tivemos que tomar ao longo do curso; aos meus filhos Mateus, Vitória e Caio, que sempre perguntavam se eu estava na minha escola. Pelo menos essa etapa está concluída.

RESUMO

Este trabalho trata do processo de desertificação, assunto que vem sendo discutido nos âmbitos governamental e acadêmico pelo menos desde os anos 1970. O tema envolve, aspectos ambientais, sociais e econômicos, com desdobramentos no longo prazo. Frente à complexidade da desertificação, tornou-se necessário elaborar sistemas de avaliação do fenômeno, procurando traçar indicadores de mensuração ou de estimativa que sejam compostos por dados de fácil obtenção e sistematização, resultando em sistemas mais operacionais. No caso da degradação ambiental, o indicador de maior relevância é a erosão do solo, podendo ser irreversível e tornar improdutiva a área de ocorrência. As metodologias para estimar a erosão são de dois tipos: por medição direta em campo ou por medição indireta. Para medição indireta, uma das opções é a técnica do ^{137}Cs , consistindo em estimar perdas e ganhos de solo por erosão hídrica, conforme sua movimentação na área pesquisada. Tem como vantagem a obtenção de resultados em período de tempo mais curto. Considerando a relação existente entre desertificação e erosão, a presente pesquisa teve como primeiro objetivo avaliar a possibilidade de empregar a técnica do ^{137}Cs na estimativa de erosão enquanto indicador do subíndice de degradação ambiental para mensuração de desertificação. Para tanto, foi aplicada a técnica numa área semiárida, suscetível à desertificação, especificamente o município de São Bento do Una, situado no Agreste de Pernambuco, região Nordeste do Brasil. O propósito foi estimar perdas e ganhos de solo por erosão a partir da avaliação dos estoques do radionuclídeo. O segundo objetivo foi verificar a aplicabilidade da metodologia proposta por Sampaio et al. (2003) para obtenção de índices de propensão à desertificação e de ocorrência da desertificação no Núcleo de Desertificação (Vasconcelos Sobrinho, 1983), formado pelos municípios de Afrânio, Araripina, Belém do São Francisco, Cabrobó, Itacuruba, Ouricuri, Parnamirim, Petrolina e Salgueiro, em Pernambuco. Tínhamos como hipóteses que a técnica do ^{137}Cs seria um instrumento válido de estimativa da erosão no Agreste de Pernambuco e que a metodologia de Sampaio et al. (2003) seria pertinente para avaliação do processo de desertificação. A partir da análise dos dados, chegamos a conclusões de duas ordens. Em relação à aplicação da técnica do ^{137}Cs , não foi possível estimar as perdas de solo por erosão, pois os estoques obtidos nos transectos não corresponderam ao comportamento do radionuclídeo verificado em outras pesquisas. Isso nos levou a perceber a necessidade de melhor padronização nos procedimentos de coleta de amostras de solo, bem como de realização de novos estudos para geração de dados mais abrangentes no Brasil. Quanto à metodologia proposta por Sampaio et al. (2003), de um lado, verificamos importante fator limitante, que foi a defasagem temporal de dados secundários entre as fontes consultadas, o que exigiria atualização mais constante das bases de dados. Por outro, constatou-se a consistência da metodologia, pois atende a alguns requisitos básicos necessários, como facilidade de coleta e sistematização dos dados, consideração das dimensões social, ambiental e econômica, definição de níveis de classificação (baixo-1; moderado-2 e alto-3), tanto para a propensão, quanto para a ocorrência da desertificação.

Palavras-chave: Semiárido. Índice de desertificação. Degradação ambiental. ^{137}Cs

ABSTRACT

This paper deals with the desertification process, a topic that has been discussed in the governmental and academic spheres at least since the 1970s. The theme involves environmental, social and economic aspects, with long-term consequences. Faced with the complexity of desertification, it became necessary to develop systems for assessing the phenomenon, seeking to draw indicators of measurement or estimation that are composed of data that are easily obtained and systematized, resulting in more operational systems. In the case of environmental degradation, the most relevant indicator is soil erosion, which may be irreversible and render the area of occurrence unproductive. The methodologies for estimating erosion are of two types: by direct field measurement or by indirect measurement. For indirect measurement, one of the options is the ^{137}Cs technique, consisting of estimating soil losses and gains due to water erosion, according to its movement in the surveyed area. It has the advantage of obtaining results in a shorter period of time. Considering the relationship between desertification and erosion, the present study had as its first objective to evaluate the possibility of using the ^{137}Cs technique in the erosion estimation as an indicator of the subindex of environmental degradation to measure desertification. For this purpose, the technique was applied in a semi-arid area, susceptible to desertification, specifically the São Bento do Una municipality, located in the Agreste of Pernambuco, Northeastern region of Brazil. The purpose was to estimate soil losses and erosion gains from the assessment of radionuclide stocks. The second objective was to verify the applicability of the methodology proposed by Sampaio et al. (2003) to obtain desertification propensity indexes and desertification occurrence in the Desertification Nucleus (Vasconcelos Sobrinho, 1983), formed by the municipalities of Salgueiro, in Pernambuco. We hypothesized that the ^{137}Cs technique would be a valid tool for estimating erosion in the Agreste of Pernambuco and that the methodology of Sampaio et al. (2003) would be relevant for assessing the desertification process. From the analysis of the data, we arrive at conclusions of two orders. Regarding the application of the ^{137}Cs technique, it was not possible to estimate soil losses due to erosion, since the transects obtained did not correspond to the radionuclide behavior verified in other studies. This led us to understand the need for better standardization of soil sampling procedures, as well as new studies for the generation of more comprehensive data in Brazil. As for the methodology proposed by Sampaio et al. (2003), on the one hand, we found an important limiting factor, which was the temporal lag of secondary data between the sources consulted, which would require a more constant updating of the databases. On the other hand, it was verified the consistency of the methodology, as it meets some basic requirements, such as ease of collection and systematization of data, consideration of social, environmental and economic dimensions, definition of classification levels (low-1; And high-3), both for propensity and for the occurrence of desertification.

Keywords: Semiarid. Desertification index. Ambiental degradation. ^{137}Cs

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Declividade dos transectos I, II e III	41
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Sistematização dos subíndices e indicadores para o índice de propensão à desertificação	45
Quadro 2 – Sistematização dos subíndices e indicadores para o índice de ocorrência da desertificação	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento da atividade de do ^{137}Cs (Bq m ⁻²) em várias partes do mundo	29
Tabela 2 – Características físicas e classe textural das camadas de solo da Área I	51
Tabela 3 – Características físicas e classe textural das camadas de solo do transecto I	52
Tabela 4 – Características físicas e classe textural das camadas de solo do transecto II	52
Tabela 5 – Características físicas e classe textural das camadas de solo do transecto III	52
Tabela 6 – Características químicas das amostras de solo da Área I	53
Tabela 7 – Características químicas das amostras de solo do transecto I	53
Tabela 8 – Características químicas das amostras de solo do transecto II	53
Tabela 9 – Características químicas das amostras de solo do transecto III	54
Tabela 10 – Características químicas das amostras de solo do transecto III	56
Tabela 11 – Correlação entre ^{137}Cs , carbono orgânico e fósforo no Transecto I	57
Tabela 12 – Correlação entre ^{137}Cs , carbono orgânico e fósforo no Transecto II	58
Tabela 13 – Correlação entre ^{137}Cs , carbono orgânico e fósforo no Transecto III	59
Tabela 14 – Estoque de ^{137}Cs (Bq m ⁻²) por camada e posição nos transectos	60
Tabela 15 – Área de cobertura vegetal com total de rebanho e capacidade de suporte – ano 1995	63
Tabela 16 – Área de cobertura vegetal com total de rebanho e capacidade de suporte – ano 2006	64
Tabela 17 – Distribuição de reservatórios nos municípios do Núcleo de Desertificação	68
Tabela 18 – Classificação da condição ambiental	69
Tabela 19 – Vacas ordenhadas e produção de leite (em mil litros) nos anos 1990, 1995, 2000	70
Tabela 20 – Vacas ordenhadas e produção de leite (em mil litros) nos anos 2006, 2009, 2011 e 2014	71
Tabela 21 – Produção de feijão (em t ha ⁻¹) nos anos 1990, 1995 e 2000	72
Tabela 22 – Produção de feijão (em t ha ⁻¹) nos anos 2006, 2009, 2011 e 2014	73
Tabela 23 – Produção de mandioca (em t ha ⁻¹) nos anos 1990, 1995 e 2000	74
Tabela 24 – Produção de mandioca (em t ha ⁻¹) nos anos 2006, 2009, 2011 e 2014	75
Tabela 25 – Produção de milho (em t ha ⁻¹) nos anos 1990, 1995 e 2000	76
Tabela 26 – Produção de milho (em t ha ⁻¹) nos anos 2006, 2009, 2011 e 2014	77
Tabela 27 – Rendimento médio nominal em 2000 e 2010	79
Tabela 28 – Participação percentual das rendas provenientes de transferências governamentais na renda total do município	80
Tabela 29 – Participação dos municípios no PIB a preços constantes – Anos 1970, 1996 e 2010	81
Tabela 30 – Participação dos municípios no PIB a preços constantes – Anos 1970, 1996 e 2010 – cont.	82
Tabela 31 – Resumo do subíndice economia	83
Tabela 32 – Índice de Desenvolvimento Humano por Município – IDHM	85

Tabela 33 – Situação da mortalidade infantil entre os anos de 1970-2000 (por mil nascidos vivos) ...	85
Tabela 34 – Probabilidade de vida até os 60 anos	86
Tabela 35 – Distribuição da população entre as áreas urbana e rural – Ano 2010	87
Tabela 36 – Sistematização do Índice de Propensão à Desertificação	87
Tabela 37 – Sistematização do Índice de Ocorrência da Desertificação	88
Tabela 38 – Índice de Propensão à Desertificação para Afrânio	89
Tabela 39 – Índice de Propensão à Desertificação para Araripina	90
Tabela 40 – Índice de Propensão à Desertificação para Belém do São Francisco	91
Tabela 41 - Índice de Propensão à Desertificação para Cabrobó	93
Tabela 42 – Índice de Propensão à Desertificação para Itacuruba	94
Tabela 43 – Índice de Propensão à Desertificação para Ouricuri	95
Tabela 44 – Índice de Propensão à Desertificação para Parnamirim	97
Tabela 45 – Índice de Propensão à Desertificação para Petrolina	98
Tabela 46 – Índice de Propensão à Desertificação para Salgueiro	99

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 A erosão do solo e os riscos de degradação	19
2.2 Metodologias para mensurar as perdas de solo por erosão	22
2.2.1 Equação Universal de Perda de Solo	22
2.2.2 O uso do ^{137}Cs na mensuração de perda de solo	24
2.3 A desertificação e as metodologias de mensuração	30
2.3.1 Breve histórico da temática da desertificação	30
2.3.2 Indicadores para mensuração da desertificação	35
3 MATERIAL E MÉTODO	40
3.1 Determinação da Atividade do ^{137}Cs na região do Agreste de Pernambuco	40
3.1.1 Descrição da área e da coleta de solo	40
3.1.2 Análises das características físicas e químicas das amostras de solo	42
3.1.3 Determinação da atividade do ^{137}Cs	43
3.2 Metodologia para definição de índices de propensão e de ocorrência de desertificação	44
3.2.1 Definição do subíndice de cobertura vegetal	46
3.2.2 Definição do subíndice de degradação ambiental	47
3.2.3 Definição do subíndice de agricultura	48
3.2.4 Definição do subíndice de economia	49

3.2.5 Definição do subíndice social	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Resultados da determinação da atividade do ¹³⁷Cs	51
4.1.1 Comportamento do ¹³⁷ Cs nos pontos de amostragem da Área I	55
4.1.2 Comportamento do ¹³⁷ Cs no transecto I	56
4.1.3 Comportamento do ¹³⁷ Cs no transecto II	58
4.1.4 Comportamento do ¹³⁷ Cs no transecto III	58
4.2 Resultados dos índices de propensão e de ocorrência da desertificação	61
4.2.1 Índice de propensão à desertificação	61
4.2.1.1 <i>Subíndice de cobertura vegetal</i>	61
4.2.1.2 <i>Subíndice de propensão à degradação ambiental</i>	65
4.2.1.3 <i>Subíndice de agricultura</i>	69
4.2.1.4 <i>Subíndice econômico</i>	78
4.2.1.5 <i>Subíndice social</i>	84
4.2.2 Índice de ocorrência à desertificação	87
4.3 Resultado do índice de propensão para os municípios	89
4.3.1 Índice de Propensão à Desertificação para Afrânio	89
4.3.2 Índice de Propensão à Desertificação para Araripina	90
4.3.3 Índice de Propensão à Desertificação para Belém do São Francisco	91
4.3.4 Índice de Propensão à Desertificação para Cabrobó	93
4.3.5 Índice de Propensão à Desertificação para Itacuruba	94
4.3.6 Índice de Propensão à Desertificação para Ouricuri	95

4.3.7 Índice de Propensão à Desertificação para Parnamirim	97
4.3.8 Índice de Propensão à Desertificação para Petrolina	98
4.3.9 Índice de Propensão à Desertificação para Salgueiro	99
5 CONCLUSÕES	101
5.1 Conclusões sobre a determinação da atividade do ^{137}Cs	101
5.2 Conclusões sobre os índices de propensão e de ocorrência da desertificação	102
REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO

O processo de desertificação das regiões áridas e semiáridas vem sendo discutido no âmbito de fóruns internacionais, seja nas instâncias políticas conduzidas pela Organização das Nações Unidas – ONU e suas representações, seja no ambiente acadêmico, desde os anos 1960-1970 (CONTI, 2008).

O tema é bastante abrangente e de difícil interação entre as áreas do conhecimento envolvidas, uma vez que à desertificação estão associados aspectos ambientais, sociais e econômicos. Para compreender e estudar a desertificação, cada campo do saber utiliza corte metodológico próprio, assim como emprega suas ferramentas de análise para obter as respostas científicas para determinados problemas identificados como relevantes para o processo de desertificação. Apesar da discussão acumulada para identificar quais indicadores são ideais para integrar uma metodologia de mensuração da desertificação, não foi estabelecido consenso sobre qual é a melhor alternativa (MATALLO JR., 2001).

Mesmo não tendo uma metodologia de mensuração definida e validada, os estudos desenvolvidos vêm demonstrando que a desertificação é consequência da associação entre as características naturais das regiões áridas e semiáridas, e a degradação dos recursos naturais. As consequências são amplas e podem resultar em redução da atividade econômica, pois a capacidade produtiva tende a diminuir ao longo dos anos, e na agudização dos problemas sociais, principalmente para o segmento da população que vive nas zonas afetadas (IBAMA, 2007).

Das dimensões citadas, a ambiental é a de maior significado, pois os impactos resultantes são mais evidentes e mais duradouros e, em algumas situações, tornam-se irreversíveis, como é o caso da erosão. No aspecto ambiental, a erosão é o principal agente de degradação do solo e, dependendo do grau e da extensão erodida anualmente, ela pode comprometer a área afetada de forma permanente (ANDRADE et al., 2010).

As metodologias sugeridas para a mensuração do processo de desertificação não apresentaram resultados satisfatórios em decorrência de diversos aspectos. Dentre eles, está o número excessivo de indicadores e sua forma de obtenção, que traz dificuldade de sistematização dos resultados. Também temos como limitação o fato de se colocarem no mesmo patamar de relevância fatores que não têm forte impacto na desertificação (MATALLO JR., 2001).

Dentre os indicadores relacionados à degradação ambiental, a erosão é o de maior relevância, pois atinge diretamente a capacidade produtiva das áreas afetadas. As metodologias empregadas para mensurar as perdas de solo são bastante variadas e apresentam como fator limitante a reduzida capacidade de extrapolação dos resultados fora da área avaliada, além de demandar uma complexa infraestrutura operacional.

Os indicadores devem ser uma ferramenta para traduzir, ou pelo menos, tentar se aproximar ao máximo da realidade das áreas que estão sendo avaliadas. Em diversas propostas de mensuração da desertificação, os indicadores abordam temas bastante amplos e de difícil mensuração, e que, em determinadas situações, não são comuns a todas as áreas suscetíveis ou de ocorrência da desertificação, como, por exemplo, as atividades de mineração. Nesse sentido, a dificuldade de integrar diferentes conjuntos de indicadores torna mais difícil o estabelecimento de um sistema de avaliação que seja capaz de contemplar a gama de indicadores utilizados (SAMPAIO et al., 2003).

Visando a tornar a mensuração da desertificação mais objetiva, sem desconsiderar a complexidade que o tema envolve, Sampaio et al. (2003) propuseram a construção de índices como alternativa de mensuração da desertificação. Esses índices envolvem as dimensões econômica, ambiental e social. Dentre os indicadores de degradação ambiental, está o de erosão do solo, um dos principais processos de perda da capacidade produtiva das terras agricultáveis.

Grande parte dos estudos realizados para estimar as perdas de solo por erosão utiliza a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), proposta por Wischmeier & Smith (1978). Uma outra metodologia, a técnica do ^{137}Cs , é aplicada com a mesma finalidade. A segunda tem a vantagem de exigir menor infraestrutura de apoio e de poder ser obtida a partir de coletas de amostras de solo retiradas diretamente do campo, além de não exigir condições especiais para aplicação. A técnica do ^{137}Cs foi utilizada por diversos pesquisadores em diferentes países (TAMURA, 1964, SAKAI, 1977; WALLING & HE, 1997; ZAPATTA & AGUDO, 2000; BACCHI et al., 2000; FRAGA e SALCEDO, 2001; CORRECHEL, 2003; ANDRELLO et al., 2003; SANTOS, 2004; NAKAMARU et al., 2007; ANTUNES et al., 2010).

A erosão é um dos principais fatores de degradação ambiental, pois, dependendo da sua intensidade e abrangência, pode se tornar irreversível. Como foi mencionado acima, as metodologias para estimar as perdas de solo são variadas. No presente trabalho, foi utilizada a técnica do ^{137}Cs , com o objetivo de avaliar a possibilidade de empregá-la na estimativa de erosão do subíndice de degradação ambiental para mensuração de desertificação.

Quanto aos objetivos específicos, propusemo-nos a:

- a) definir os estoques de ^{137}Cs em área situada na bacia hidrográfica do Rio Una para estimar as taxas de perda ou ganho de solo por erosão;
- b) avaliar a utilização dos valores de erosão definidos com o uso do ^{137}Cs como indicador de degradação do solo para construção de índices de propensão e de ocorrência da desertificação;
- c) estabelecer a correlação entre parâmetros químicos do solo e a atividade do ^{137}Cs como indicador de propensão à desertificação na bacia do rio Una;
- d) demonstrar a viabilidade da aplicação de metodologia de mensuração de desertificação no semiárido nordestino.

Partimos das seguintes hipóteses: 1. A proposta de metodologia de estabelecimento de índices de propensão e de ocorrência da desertificação apresentada por Sampaio et al. (2003) pode ser utilizada para mensuração da desertificação; 2. A técnica do ^{137}Cs pode ser utilizada para avaliar as taxas de perda e ganho de solo pela erosão.

Esta pesquisa está dividida em duas partes: na primeira, tratamos da aplicação da técnica do ^{137}Cs como alternativa para avaliar as perdas de solo por erosão e, na segunda, descrevemos a aplicação da metodologia de mensuração da desertificação, utilizando indicadores de propensão à desertificação e indicadores de desertificação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A erosão do solo e os riscos de degradação

A erosão do solo configura-se como um dos problemas de maior gravidade enfrentado pela sociedade, com repercussão acentuada tanto no aspecto ambiental, quanto no social e econômico. De acordo com a Convenção de Desertificação das Nações Unidas (BRASIL, s/d), a erosão é um dos aspectos que mais contribuem para o processo de degradação das terras e, conseqüentemente, para a desertificação. Esta deve ser compreendida como processo gradual de perda da capacidade produtiva das terras, associado ao paulatino esvaziamento econômico das zonas afetadas. Pela própria natureza, a vulnerabilidade das áreas suscetíveis à desertificação pode variar de região para região, dado que seus impactos estão condicionados tanto ao tipo de uso dos recursos naturais, quanto aos aspectos climáticos.

A validação de metodologia para a mensuração da desertificação é uma das principais demandas para os estudiosos do tema e para os tomadores de decisão. Nesse sentido, a definição de variáveis que sejam de fácil aplicação e obtenção, e que retratem o quadro das áreas avaliadas o mais próximo da realidade será um grande avanço para melhor compreender a desertificação (SAMPAIO et al., 2003). Pela importância da erosão no contexto da desertificação, estabelecer mecanismos mais precisos para sua mensuração seria uma das iniciativas a contribuir com essa metodologia.

De modo geral, as terras submetidas à atividade agrícola estão vulneráveis ao processo erosivo, relacionando-se com a topografia, a chuva, o tipo de solo, a cobertura e o manejo do solo e, por fim, com a presença ou não de práticas conservacionistas. Nas zonas onde a atividade agrícola é mais intensa e o manejo adotado requer maior mobilização do solo, a possibilidade de ocorrência da erosão é aumentada (LIMA et al., 2013).

As perdas resultantes do processo erosivo são lentas e continuadas, afetando a longo prazo a capacidade de infiltração do solo, sua estrutura e, principalmente, a disponibilidade de nutrientes. A soma desses efeitos tem repercussão direta na redução da sua capacidade produtiva e, conseqüentemente, na área socioeconômica.

A erosão do solo afeta diferentes países e está associada, além das características físicas, ao tipo de uso e às práticas agrícolas adotadas. A perda contínua da camada superficial leva à redução da capacidade produtiva, sobretudo dos solos rasos do semiárido nordestino (SAMPAIO et al., 2009).

A condição de manejo do solo depende da finalidade da atividade agrícola desenvolvida e da intensidade de uso. Com a aplicação de recursos técnicos disponíveis, é possível tornar o solo favorável às condições necessárias para alcançar os níveis de produtividade acima daqueles que seriam atingidos em condições normais. Associadas às técnicas aplicadas, são necessárias, também, medidas que contribuam para a conservação dos solos, evitando as perdas por erosão (SILVA e DE MARIA, 2011).

O início do processo erosivo ocorre com a desagregação das partículas da camada superior do solo, onde estão em maior concentração os principais nutrientes para as plantas. A partir da remoção dessa camada, há a exposição do subsolo, que tem uma baixa capacidade de infiltração da água, criando-se, assim, uma condição favorável para o escoamento superficial e a perda de solo. A estabilidade da estrutura dos agregados do solo é de grande importância para sua manutenção tanto na superfície, onde a vulnerabilidade ao impacto da chuva é maior, quanto nas camadas do subsolo, que contribuem de modo significativo para favorecer a infiltração da água com a manutenção dos poros abertos (GREENLAND, 1975).

Para Bertoni & Lombardi Neto (1995), as propriedades do solo que exercem algum tipo de influência na erodibilidade são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água. Bezerra e Cantalice (2006) ressaltaram que os solos bem manejados, com boa presença de matéria orgânica e cobertura vegetal, têm reduzidos riscos de erosão, uma vez que as partículas do solo são parcialmente preservadas, evitando-se a perda de solo em grande proporção pelo escoamento superficial.

Em pesquisa desenvolvida no semiárido, Fraga e Salcedo (2004) avaliaram a perda de solo em três situações: área de floresta antropizada, cultivo com práticas conservacionistas e área de cultivo tradicional. Os valores obtidos pelos autores foram, respectivamente, $9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os números ilustram os riscos a que os solos do semiárido estão sujeitos, principalmente se levada em consideração a baixa ou nenhuma adoção de prática conservacionista nas unidades produtivas.

O monitoramento do processo erosivo é uma importante iniciativa para determinar os níveis de perda de solo de uma área em determinado período de tempo. Esse acompanhamento torna-se relevante por duas razões: a primeira, conhecer mais detidamente o fenômeno de acordo com as características do solo, do clima e do manejo empregado; a segunda, a partir da consolidação de uma base de dados, subsidiar as estratégias de controle para minimizar a erosão.

As práticas agrícolas adotadas no semiárido nordestino ao longo dos séculos deixaram a região bastante vulnerável ao processo de degradação ambiental, principalmente no tocante

à erosão. Esse quadro, associado ao tipo de manejo do solo, com baixo nível de conservação, e à forte pressão antrópica sobre as áreas do semiárido, incluindo a exploração mineral e o sobrepastoreio, contribui de modo efetivo para a ocorrência da desertificação (GALINDO, 2008).

As perdas de solo por erosão continuadas ao longo dos anos, como foi mencionado acima, constituem um problema de dimensões ambientais e econômicas de grandes proporções. A erosão em estágio avançado compromete, severamente, não só o potencial produtivo das áreas afetadas, como, também, a oferta de recursos hídricos, por intermédio do assoreamento dos cursos e reservatórios de água (ANDRELLO, 2003).

Diante dos impactos decorrentes do cultivo tradicional nas perdas de solo por erosão, resultado da intensa movimentação de solo, esse modelo vem sendo substituído pelo plantio direto. Este se caracteriza pela movimentação leve do solo, porém, no caso, usa-se a cobertura com resíduos vegetais como alternativa de incremento da matéria orgânica, rotação de culturas e adubação verde. Com essa mudança, há maior preservação das camadas superficiais do solo, manutenção da agregação das partículas do solo e elevação de C orgânico total (SALES et al., 2016).

Por ser um processo irreversível, quando em estágio avançado, a erosão é alvo de inúmeras pesquisas que procuram investigar metodologias para quantificar as perdas de solo, identificar variáveis adequadas para o emprego de modelos matemáticos, além caracterizar as áreas com grau de risco à erosão.

As técnicas para estimar as perdas de solo por erosão são diversas e podem ser apoiadas por modelos matemáticos (FRANCO et al., 2012), por simulação em campo (BAGATINI et al., 2011) e uso do isótopo ^{137}Cs (GUIMARÃES, 1988) no estudo da erosão e da sedimentação do solo.

O emprego dessas técnicas tem por finalidade encontrar metodologias que possibilitem a obtenção de estimativas de perdas de solo por erosão mais precisas, além de contribuir para produção de dados para séries históricas e minimizar as dificuldades operacionais nas atividades de campo.

2.2 Metodologias para mensurar as perdas de solo por erosão

2.2.1 Equação Universal de Perda de Solo

As perdas ocasionadas pela erosão repercutem nas dimensões social, econômica e ambiental. As duas primeiras estão ligadas mais diretamente à redução da produtividade e à consequente diminuição da renda obtida a longo prazo. Quanto à ambiental, os danos maiores estão ligados à perda das melhores camadas de solo e aos riscos de assoreamento dos reservatórios superficiais e mananciais, com impactos ambientais na capacidade de oferta de água (COGO et al., 2003).

A ocorrência da erosão afeta de modo mais efetivo as camadas superficiais do solo, estando condicionada, também, às características físicas, ao tipo de manejo adotado para o cultivo e ao nível de cobertura vegetal (BAGATINI et al., 2011).

A disponibilidade de dados de erosão acumulados obtidos *in loco* é bastante reduzida, sobretudo para as regiões semiáridas. Para Santos et al. (2011), esse fato é decorrente do elevado custo e das dificuldades na efetivação das mensurações.

Segundo Hudson (1975), o processo erosivo é determinado por quatro fatores que estão integrados entre si:

- a) erosividade: está diretamente relacionada à intensidade da chuva e seu cálculo é realizado com base na energia cinética;
- b) erodibilidade: é a suscetibilidade do solo à erosão e varia de acordo com o tipo de solo, cobertura existente e práticas de manejo;
- c) manejo do solo: o emprego de técnicas adequadas tem por finalidade preservar a estrutura do solo e controlar o escoamento superficial da chuva e, conseqüentemente, minimizar o carreamento de partículas do solo; e
- d) forma de uso do solo: está relacionada, sobretudo, com a prática agrícola nas áreas de declive; o risco de ocorrência de erosão é diretamente proporcional à topografia e à declividade do terreno.

A Equação Universal para Perdas de Solo (EUPS), proposta por Wischmeier & Smith (1978), é um dos métodos mais utilizados para estimar as perdas de solo por erosão. O modelo indicado é composto por cinco variáveis consideradas como fatores preponderantes para predizer as perdas de solo, destacando o escoamento superficial, a cobertura do solo e o manejo adotado.

A composição da equação é a seguinte:

$$A = RKLSCP$$

Onde:

A = resultado da perda de solo por unidade de área por unidade de tempo

R = fator erosividade da chuva

K = fator erodibilidade do solo

LS = fator combinado do comprimento da encosta e da declividade

C = fator uso e manejo do solo

P = fator práticas conservacionistas

Das cinco variáveis que compõem o modelo mencionado, duas são inerentes a aspectos físicos (R, LS) e não podem ser alteradas ou corrigidas diretamente por ação do homem, e três são passíveis de qualquer alteração ao longo do tempo, de acordo com o uso do solo e a adoção ou não de práticas conservacionistas.

Römkens et al. (2001) avaliaram os instrumentos de predição de erosão existentes (USLE¹, RUSLE² e WEPP³) como bons exemplos de ferramentas para estimar a erosão, porém apontaram três limitações para expandir o emprego desses modelos para outras áreas: foram desenvolvidos para as condições dos Estados Unidos; descrevem os processos de erosão sob determinada escala espacial-temporal e avaliam aspectos de processos erosivos. Isso implica a necessidade de realização de pesquisas para adequar tais instrumentos às condições das regiões onde serão aplicados, assim como a construção de uma base de dados que forneça informações realistas para que os modelos sejam aplicados com segurança e, ao mesmo tempo, possam subsidiar as ações de controle.

No caso da erodibilidade (K), a alteração possível está relacionada com as mudanças proporcionadas em C e P, uma vez o fator K está associado às propriedades do solo nos aspectos químicos, físicos e biológicos.

De acordo com Cogo et al. (2003), o manejo adequado do solo e a adoção de práticas conservacionistas são estratégias que contribuem para minimizar os riscos de perda de solo por erosão, porém os autores ressaltaram que a eficiência dessa proteção está condicionada ao

¹ Sigla em inglês: Universal Soil Loss Equation.

² Sigla em inglês: Revised Universal Soil Loss Equation.

³ Sigla em inglês: Water Erosion Prediction Project.

nível de incorporação dos resíduos empregados na cobertura, ao método de preparo e à manutenção das técnicas adotadas.

A erosão possui variados e complexos mecanismos de atuação que levam à redução da capacidade produtiva dos solos. Silva (2000) define, esquematicamente, os mecanismos de erosão em quatro grupos: perdas de solo e água; perdas de nutrientes; degradação da estrutura do solo; e irregularidade na área de cultivo.

O emprego de técnicas de manejo de solo, tais como plantio direto, manutenção da cobertura vegetal para evitar a exposição do solo e plantio em nível e barreiras de contenção, é uma iniciativa que produz impactos bastante positivos, sobretudo no semiárido, pois reduz a vulnerabilidade do solo à erosão. Estudos realizados no semiárido apontaram que a proteção do solo, via cobertura, traz resultados significativos no controle e redução da erosão (ALBUQUERQUE et al., 2002; ALBUQUERQUE et al., 2005, LIMA et al., 2013).

Silva et al. (1999) constataram que as perdas de solo são menores quando não há movimentação e quando resíduos vegetais são incorporados durante a fase de preparo do solo. Para os autores, as perdas podem ser 74% superiores nos solos com maior mobilização quando comparados com aqueles de menor movimentação.

Segundo Albuquerque et al. (2002), em solos cobertos com caatinga pouco antropizada, as perdas por erosão ficaram situadas abaixo de $0,1 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, enquanto nas áreas onde a vegetação nativa é suprimida, as perdas podem alcançar $30 \text{ Mg. ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no ano de corte, reduzindo-se nos anos subsequentes à medida que ocorre a rebrota.

2.2.2 O uso do ^{137}Cs na mensuração de perda de solo

O ^{137}Cs é um radionuclídeo artificial, produto da fissão nuclear, introduzido na natureza a partir dos testes nucleares realizados durante os anos 1950 e 1960. É emissor gama com energia de 661,6 KeV e sua meia-vida é de 30,02 anos. Os primeiros estudos empregando o ^{137}Cs como traçador para mensuração de erosão ou da deposição de solo surgiram no início dos anos 1960 (TAMURA, 1964), estimulados pela facilidade de obtenção dos resultados em curto período de tempo quando comparados com os métodos tradicionais. Tanto os métodos tradicionais quanto a técnica do ^{137}Cs requerem infraestrutura de equipamentos para viabilizar sua aplicação. Em certa medida, as técnicas tradicionais requerem mais recursos materiais e maior tempo de resposta (ZAPATTA & AGUDO, 2000).

Dentre as vantagens da aplicação da técnica, Poręba (2006) ressaltou o fato de não haver restrição para sua aplicação; ela pode ser utilizada em qualquer região, desde que tenha

disponibilidade de locais não perturbados que possam servir de áreas de referência e que os níveis de atividade do ^{137}Cs sejam detectáveis. Em geral, em áreas em que há perdas de solo por erosão, os níveis de ^{137}Cs são menores do que aqueles encontrados na área de referência e, no caso de deposição ou ganho de solo, os níveis de ^{137}Cs são maiores. A técnica pode ser associada a Modelos de Elevação Digital (DEM) e Sistemas de Informações Geográficas, que avaliam a distribuição espacial da erosão do solo e a sedimentação (ZAPATTA & AGUDO, 2000).

Em comparação com as outras técnicas de estimativa de perdas de solo por erosão, a do ^{137}Cs apresenta algumas vantagens no tocante à facilidade de execução dos trabalhos de campo, pois não há necessidade de implantar infraestrutura e deslocar equipamentos para viabilizar a implantação das unidades experimentais. Por outro lado, a técnica do ^{137}Cs não dispõe de protocolo para sua aplicação, ficando a critério do pesquisador a definição do número de amostras e a abrangência da área de pesquisa. A exigência básica a ser seguida é em relação à necessidade de dispor de uma área de referência. Esta deverá ser de reduzido impacto antrópico, pois o estoque de ^{137}Cs obtido na referência será usado para comparar com as demais áreas, avaliando se houve perdas e ganhos de solo (ZAPATTA & AGUDO, 2000).

A técnica não apresenta recomendação específica quanto à espessura das camadas e das profundidades utilizadas para a obtenção das amostras, uma vez que estas variam de acordo com os objetivos de cada pesquisa desenvolvida. Bacchi et al. (2000), Correchel (2003), Andrello et al. (2003), Fraga e Salcedo (2001), Antunes et al. (2010) aplicaram a técnica do ^{137}Cs coletando amostras de solo em diferentes profundidades. A coleta em camadas de maior espessura não permite identificar o nível de profundidade em que a atividade do ^{137}Cs cessa ou alcança níveis insignificantes. Pelas características do radionuclídeo, há uma tendência de deslocamento conforme a movimentação de solo para zonas de deposição, juntamente com as partículas de argila, como resultado dos processos erosivos decorrentes do carreamento provocado pelas chuvas.

A técnica do ^{137}Cs também vem sendo aplicada de modo abrangente para estimar a sedimentação em reservatórios e as perdas de solo por erosão. Algumas dessas pesquisas têm como finalidade estabelecer comparações entre os resultados obtidos a partir da aplicação de métodos tradicionais de avaliação de perdas de solo, do uso da técnica do ^{137}Cs e de estimativas ou simulação em técnicas computacionais (OWENS et al., 1996; WALLING & HE, 1997; BOUHLASSA & AIACHI, 2000; THEOCHAROPOULOS et al., 2000), como o WEPP (Water Erosion Prediction Project), o Proportional Model (PM) e o Simplified Mass Balance Model (SMBM).

Bacchi et al. (2000) realizaram estudo com aplicação simultânea dos modelos USLE e WEPP e a técnica do ^{137}Cs na avaliação da deposição de sedimentos em diversos reservatórios de água. Encontraram valores médios da ordem de 16, 23 e 39 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, em três microbacias, e concluíram que as práticas inadequadas estavam levando a perdas significativas de solo e podiam explicar os assoreamentos ocorridos.

Outro trabalho que procurou associar a técnica do ^{137}Cs a modelos de mensuração de erosão foi elaborado por Correchel (2003). Nesse estudo, foram avaliados oito métodos de estimativa do fator K da USLE, tendo como base as estimativas de erosão tomadas a partir da técnica do ^{137}Cs , em parcelas padrão e em transeções demarcadas em diferentes solos. Nas parcelas padrão, os valores de K corresponderam, tanto pelas taxas de erosão estimadas pela USLE, quanto pelo método do ^{137}Cs . Porém, o mesmo não ocorreu para as avaliações realizadas nas transeções, havendo discrepância entre os resultados.

A autora avaliou que a aplicação da técnica do ^{137}Cs requer um número grande de pontos de amostragem para estimar adequadamente o estoque do radionuclídeo, visando a uma predição válida da taxa de erosão. Além disso, as medições de erosão obtidas em áreas cultivadas com o uso de modelos apresentam valores globais, incluindo tanto a erosão proveniente das áreas ocupadas com cultivos agrícolas, quanto da hídrica, decorrente do escoamento superficial de toda a área. Como não é possível a separação entre as duas, o valor final gera uma taxa que não corresponde à taxa real.

Zhang et al. (2003) reportaram perdas de solo por erosão de 7,6 a 98,54 $\text{t ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, em áreas cultivadas sob diferentes declives e em áreas de terraços, aplicando a técnica do ^{137}Cs . Para os autores, o grau de erosão hídrica foi bastante reduzido nas zonas de terraço, enquanto nas áreas de declive a severidade da erosão do solo foi mais forte, estando relacionada, também, com a textura do solo. Yang et al. (2006) utilizaram a técnica do ^{137}Cs para investigar a taxa e o padrão de redistribuição espacial do solo em uma pequena bacia hidrográfica na China. A atividade média do ^{137}Cs na área de referência foi de 2266 Bq m^{-2} e a estimativa de perda de solo variou de 25 a 200 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, de acordo com a posição dos pontos na área de coleta.

Além das pesquisas para avaliar os níveis de perdas de solo por erosão, o emprego do ^{137}Cs como marcador de solo tem estimulado o desenvolvimento de estudos visando a verificar a ocorrência de correlação entre as atividades do ^{137}Cs e os valores de algumas propriedades químicas do solo (MABIT & BERNARD., 1998; NAKAMARU et al., 2007; DU & WALLING, 2011).

Em estudo que buscou avaliar as relações existentes entre ^{137}Cs e o carbono no solo, Ritchie & McCarty (2003) determinaram as atividades do ^{137}Cs e as concentrações de C em duas áreas: topo e área sob o sistema de vegetação ripária. Os valores de carbono na camada de 0-20 cm da área de topo foram de 2,66 kg.m⁻² e de 3,20 kg.m⁻² na camada até 30 cm. Em relação à mata ripária (mata ciliar), o teor de carbono orgânico na camada de 0-20 cm foi de 10,1 kg m⁻² e, na de 0-30 cm, chegou a 15,0 kg m⁻². Os autores encontraram forte correlação entre a atividade do ^{137}Cs e o teor de carbono no solo, sugerindo que ambos apresentam movimentos similares no solo, inclusive quanto aos mecanismos físicos ocorrentes nas áreas erodidas e nas de deposição.

Na mesma linha de pesquisa, Verity & Anderson (1990) estimaram perdas de solo entre 30 e 50 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e constataram reduções não só da atividade de ^{137}Cs , mas também das concentrações de C orgânico, P, S e N do solo. A concentração de C orgânico reduziu-se de 48,3 g C kg⁻¹, no solo não perturbado, para 9,9 g C kg⁻¹, no solo cultivado, com perda de C orgânico de até 0,32 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, e pode estar relacionada com o processo de erosão identificado na área.

Ainda nessa mesma linha de pesquisa, buscando analisar a relação entre o ^{137}Cs e as propriedades químicas do solo, Ni & Zhang (2007) investigaram a correlação entre a presença do ^{137}Cs e os teores de P, K e CaCO₃ no solo, em áreas em declive e em terraços. Encontraram forte correlação entre o ^{137}Cs e o K extraível, tanto ao longo do declive quanto nos terraços. Em relação ao P extraível, as correlações foram significativas ao longo do declive, mas não nas áreas de terraço, possivelmente pela presença do CaCO₃ nos terraços.

No caso do Brasil, embora os estudos empregando a técnica do ^{137}Cs ainda sejam incipientes, a aplicação está mais direcionada para estimar perdas de solo por erosão. A rota metodológica adotada pelos pesquisadores brasileiros segue a mesma linha dos estudos realizados em outros países. Um dos passos iniciais para sua aplicação é conhecer a concentração total de ^{137}Cs na área pesquisada na ocasião do *fallout* ou, então, na falta dessa informação, estabelecer o inventário de referência para a região ou para a área de estudo (GUIMARÃES, 1998; ANDRELLO et al., 2003; ANTUNES et al., 2010).

A segunda alternativa é a mais usual, haja vista que as informações científicas que tratam da concentração inicial do ^{137}Cs , sobretudo no hemisfério sul, são bastante limitadas. Os valores de referência servem como base de comparação para os demais valores obtidos na área investigada. As diferenças entre a atividade do ^{137}Cs obtida na área de referência e aquelas obtidas nas demais áreas indicam se houve ou não perdas de solo na zona pesquisada

(ZAPATTA & AGUDO, 2000; ZHANG et al., 2000; ANDRELLO et al., 2003; POREBA, 2006).

Um dos estudos pioneiros no Brasil com emprego da técnica do ^{137}Cs foi realizado por Sakai (1977), na Bahia. A atividade encontrada pela autora foi maior nas áreas úmidas, 103 Bq m^{-2} , e menores nas regiões mais secas, 74 Bq m^{-2} . Ainda nessa pesquisa, a autora apontou a existência de alguma influência da matéria orgânica na concentração do ^{137}Cs no solo.

No semiárido da Paraíba, onde a latitude é menor que na Bahia, Fraga e Salcedo (2004) reportaram estoques de 63 Bq m^{-2} a 118 Bq m^{-2} e, a partir deles, estimaram perdas de solo de cerca de $14 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, ao longo de 35 anos.

Estoques baixos também foram encontrados em áreas de mata e de pastagem ($33,1$ e 58 Bq m^{-2} , respectivamente) e em áreas de várzea, ($52,4 \text{ Bq m}^{-2}$ a $107,9 \text{ Bq m}^{-2}$), no agreste da Paraíba (SANTOS, 2004). A estimativa de perdas de solo foi de $73 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na área de topo e de $89 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na de meia encosta e deposição nas áreas de várzea. Estoques de ^{137}Cs na mesma ordem de grandeza foram estimados por Antunes et al. (2010), em transecto leste-oeste em Pernambuco: $71,6 \text{ Bq m}^{-2}$, no extremo leste; $95,5 \text{ Bq m}^{-2}$, na zona central; e 64 Bq m^{-2} , no extremo oeste do estado.

Valores de atividade para o ^{137}Cs bem mais altos que os da Paraíba, Pernambuco e Bahia, mesmo os da região mais úmida da Bahia, foram relatados por Guimarães (1988), em São Paulo: 280 Bq m^{-2} a 391 Bq m^{-2} . Usando esses valores, a autora encontrou tanto perdas de solo em culturas anuais (19 a $48 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), quanto ganhos de solo em áreas de reflorestamento (até $46 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). No Paraná, Andrello et al. (2003) verificaram atividades em mata nativa (tomada como referência) de 292 Bq m^{-2} e perdas de solo em área de pastagem de $13,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em áreas de culturas anuais de $15,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e ganhos médios de solo de $5,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em área ocupada com plantio de café.

Embora o uso da técnica do ^{137}Cs apresente resultados que validam sua aplicação, Chappell (1999) ressalta a dificuldade de atender aos pressupostos da técnica do ^{137}Cs para definição do fluxo líquido de solo e, ao mesmo tempo, indaga se, em caso de preencher esses requisitos, os mesmos podem ser contemplados nas áreas de semiárido. Além disso, a falta de informações sobre as deposições de ^{137}Cs e a dificuldade de identificar áreas com cobertura vegetal que atendam aos pressupostos para a realização do inventário são limitações salientadas pelo autor na aplicação da técnica.

Bacchi et al. (2000) identificaram estoques de ^{137}Cs na região de Piracicaba-SP na ordem de 422 Bq m^{-2} . Em Bacchi (2005), o autor sistematizou dados da atividade do ^{137}Cs em algumas localidades do mundo. Os valores evidenciam que as áreas situadas no hemisfério

norte foram mais expostas ao *fallout* do ^{137}Cs que as do hemisfério sul. A tabela 1, adaptada de Bacchi (2005), apresenta valores de várias regiões de outros países acrescidos de dados obtidos no Brasil.

Tabela 1 – Levantamento da atividade do ^{137}Cs (Bq m⁻²) em várias partes do mundo

Localidade	Atividade do ^{137}Cs (Bq m ⁻²)	Fonte
North Mississipi – USA	5729	Ritchie et al. (1974)
Georgia – USA	1813	Ritchie & McHenry (1977)
Mississipi – USA	5439	Ritchie & McHenry (1977)
Saskatoon – Canada	2490	Villar (1981)
Saskatoon – Canada	2368	De Jong et al. (1982)
Shawano – USA	3876	McHenry & Bubenzer (1985)
New Brunswick – Canada	3400	De Jong et al. (1986)
West Saskatchewan - Canada	2877	Kiss et al. (1986)
Phoenix (USA)	736	Lance et al. (1986)
Clayton – USA	4820	Lance et al. (1986)
Corea	3541	Menzel et al. (1987)
South Ontario – Canada	2700	Kachanoski (1987)
Brisbane – Australia	854	Longmore et al. (1983)
Bahia – Brasil	92	Sakai (1977)
Piracicaba-SP – Brasil	306	Guimarães (1988)
Piracicaba-SP – Brasil	422	Bacchi et al. (2000)
Paraná – Brasil	292	Andrello et al. (2003)
Paraíba – Brasil	118	Fraga & Salcedo (2004)
Paraíba – Brasil	107	Santos (2004)
Pernambuco	95	Antunes et al. (2010)

*Adaptado de Bacchi (2005)

Para Parsons & Foster (2011), as premissas que orientam o emprego da técnica do ^{137}Cs não são suficientes para validar a metodologia como ferramenta de mensuração da erosão do solo. Os autores ressaltam que a deposição do ^{137}Cs pelo *fallout* não é uniforme em uma mesma região, que a transferência não ocorre uniformemente no solo e que a intensidade da adsorção do radionuclídeo às partículas de solo, especialmente às de argila, é variável conforme o mineral que as compõe.

Os mesmos autores salientam, ainda, que outra limitação da técnica está na impossibilidade, apenas com a determinação do ^{137}Cs , de distinguir a origem e a natureza do deslocamento do solo e, conseqüentemente, do radionuclídeo. Pelo que pode ser depreendido nesta revisão, não é seguro que toda a movimentação do radionuclídeo seja resultante apenas do uso agrícola do solo. O deslocamento do ^{137}Cs pode ocorrer, também, como consequência da construção de terraços ou outras intervenções na área. Nesse sentido, o uso da técnica do ^{137}Cs termina por validar um valor global.

Mesmo com o amplo número de pesquisas realizadas, o uso da metodologia ainda requer aperfeiçoamento na sua aplicação para as áreas do hemisfério sul. Um dos pontos diz respeito à ampliação das pesquisas para avaliar a forma de dispersão do radionuclídeo na extensão do país. Além disso, há necessidade de superar alguns fatores limitantes que estão relacionados ao número adequado de amostras para o inventário do estoque de ^{137}Cs e ao de amostras na área de pesquisa.

Esses ajustes visam a permitir que as comparações entre áreas sejam realizadas com mais consistência e, ao mesmo tempo, assegurar maior precisão nos cálculos de perdas e ganhos de solo por erosão, tanto para mensuração em áreas sob atividade agrícola, quanto para avaliação do processo de desertificação.

2.3 A desertificação e as metodologias de mensuração

2.3.1 Breve histórico da temática sobre a desertificação

O tema desertificação passou a ter evidência a partir dos anos 1960-1970, quando do grande drama vivido pelas populações do continente africano vitimadas por prolongadas secas. Paralelamente aos problemas decorrentes das secas, nesse mesmo período, foram evidenciados sinais de intenso processo de degradação ambiental e de crescente movimento migratório na região ao sul do Saara, conhecida como Sahel. Associados ao fluxo migratório estavam, também, elevados graus de pobreza e fome, e o uso, em níveis excessivos, dos recursos naturais disponíveis (água, vegetação e solo). Tal situação não se limitava apenas ao continente africano, mas, do mesmo modo, atingia outros continentes, sobretudo aqueles países que contavam com regiões de clima árido e semiárido (CONTI, 2008).

De acordo com esse último autor, no auge desses acontecimentos, foi convocada a primeira Conferência sobre Meio Ambiente, realizada em 1972, em Estocolmo, Suécia. Na ocasião foi elaborado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e ficou acertada a convocação de uma conferência específica para tratar do tema desertificação, denominada Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, que veio a ser realizada em Nairóbi, Quênia, em 1977.

A UNCCD é um documento político que, por sua natureza, deve harmonizar os interesses dos países signatários. Os conceitos e definições de desertificação, deserto e seca são bastante abrangentes e trazem consigo um conjunto de incertezas no campo teórico e metodológico que dificulta, em parte, sua assimilação pelos formuladores de políticas públicas e pela sociedade de modo geral.

Em estudo pioneiro, Vasconcelos Sobrinho (1978) apresentou um roteiro para identificar os processos de desertificação no Nordeste. O autor definiu um conjunto de indicadores que abrangia as dimensões física, biológico-agrícola e social. Essa foi uma das primeiras iniciativas no Brasil que buscou definir metodologia de monitoramento da desertificação baseada em indicadores.

Dregne (1986) fez importante abordagem sobre a desertificação em um período em que as informações a respeito do tema ainda eram incipientes. Nesse trabalho, o autor abordou o conceito de desertificação, e a diferença entre seca e desertificação; também apontou níveis de classificação para a ocorrência da desertificação e fez levantamento das principais áreas de risco em várias regiões e países.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA – adotou o índice de aridez para classificar as áreas de acordo com suas características climáticas, tomando como base a razão entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial. A partir desse critério foram identificadas quatro gradações: $> 0,65$ – zonas com ausência de aridez; $0,51-0,65$ – zonas subúmidas; $0,21-0,50$ – zonas semiáridas; $0,05-0,20$ – zonas áridas; $< 0,05$ – zonas hiperáridas. As áreas que apresentam maior vulnerabilidade à desertificação são aquelas inseridas nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, que apresentam razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial na faixa de $0,05-0,65$.

As zonas subúmidas secas, semiáridas e áridas são aquelas mais vulneráveis à ocorrência da desertificação. A propensão torna-se mais evidente em razão de a desertificação ser um processo contínuo de transformação do ambiente no curso de décadas. Ela é consequência das características climáticas predominantes nas zonas áridas e semiáridas, associadas à pressão antrópica sobre os recursos naturais, alcançando um nível de degradação no ambiente que pode comprometer a produtividade biológica ou econômica das áreas afetadas ao longo do tempo.

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação – CCD – é o documento oficial que, em linhas gerais, conceitua a desertificação e estabelece as diretrizes para o enfrentamento dos problemas sociais, econômicos e ambientais dela advindos. A Convenção define a desertificação como *a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas* (BRASIL, s/d).

É importante ressaltar que a CCD é um documento político e procura inserir o tema desertificação de forma transversal, de modo a relacioná-lo a aspectos relevantes da sociedade, não o reduzindo a uma questão meramente ambiental. Os impactos da

desertificação ou suas medidas mitigadoras têm repercussões nas várias dimensões: científica, tecnológica, econômica, ambiental e social.

Matallo Jr. (2001) apontou dificuldades teóricas e metodológicas nos documentos e estudos acerca do tema, bem como fragilidades do conceito de “desertificação”. Alguns aspectos que contribuem para essa fluidez estão no campo conceitual e outros na falta de meios que permitam dar mais concretude ao processo, tais como:

- a) amplitude conceitual;
- b) ausência de métodos universalmente aceitos;
- c) ausência de métodos confiáveis na identificação de processos de desertificação; e
- d) falta de uma metodologia de avaliação econômica da desertificação.

No tocante à amplitude conceitual, o autor salientou a dificuldade de superação dos limites impostos pelos objetos de estudo das áreas de conhecimento envolvidas no tema, uma vez que se usam variáveis das dimensões ambientais, sociais e econômicas. O grau de complexidade em relação ao conjunto de informações necessárias para compor uma metodologia de mensuração de ocorrência é ampliado na medida em que a desertificação é compreendida como um processo contínuo e dinâmico, cuja abordagem deve ser feita na dimensão social, nas escalas temporal e espacial, e na busca de parâmetros que apontem o grau de impacto sobretudo no solo (CARVALHO, 2001; CAVALCANTI et al., 2006; MARTINS et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2009; TRAVASSOS e SOUZA, 2011; PEREZ-MARIN et al., 2012).

Assim, a desertificação deve ser compreendida como um processo gradual de perda da capacidade produtiva das terras, associado ao paulatino esvaziamento econômico das zonas afetadas. Pela própria natureza, a vulnerabilidade das áreas suscetíveis à desertificação pode variar de região para região, dado que seus impactos estão condicionados tanto ao tipo de uso dos recursos naturais quanto aos aspectos climáticos. Pela própria estrutura social predominante, a população rural mais pobre tende a ser mais afetada em maior proporção pelo processo de desertificação do que a população urbana (MORALES, 2005).

Nesse sentido, é importante estabelecer as diferenças conceituais entre desertificação e seca. Em relação à seca, a Convenção parte da premissa de que o fenômeno ocorre quando os valores da precipitação registrada são significativamente inferiores aos valores normais, resultando em desequilíbrio hídrico de tal magnitude, que afeta negativamente os sistemas produtivos que dependem dos componentes água e solo. O regime de chuvas predominante no semiárido é marcado pela sazonalidade, com a precipitação ocorrendo praticamente sobre um período do ano. É característica na região a variabilidade interanual nas chuvas, levando a

situações em que acontecem secas e cheias severas, além da variabilidade plurianual que leva a seqüências de anos secos ou úmidos (SOUZA FILHO, 2011).

Períodos secos nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas são situações inerentes à condição climática dessas zonas, que podem ocorrer durante seis meses do ano, após o fim da estação chuvosa. As populações locais criam suas estratégias de convivência no tocante às culturas adotadas, à manutenção dos animais e ao armazenamento de água para diferentes usos.

O aspecto crítico dessa condição natural surge quando da ocorrência do prolongamento dos meses de estação seca, que extrapola o período de estiagem considerado dentro da normalidade. As conseqüências são prejuízos econômicos, desagregação social e todo o flagelo inerente a longos períodos com escassez severa de água. O risco de desequilíbrio e de mudança acentuada nas dimensões ambiental, social e econômica nas áreas afetadas ou susceptíveis está associado à capacidade de preparação para o fenômeno: quanto menor a capacidade de preparo para o enfrentamento das estiagens, maior é o risco de desequilíbrio.

O conceito de seca apresentado na CCD demonstra essa amplitude na definição. Qual é a referência adotada para considerar que os valores da precipitação registrada são significativamente inferiores aos valores normais? Uma das principais características das zonas semiáridas é o déficit hídrico, pois a evapotranspiração potencial é maior do que os níveis médios de precipitação. A partir do momento em que a ocorrência de secas severas começa a comprometer o sistema produtivo e a impactar de modo acentuado os recursos naturais, tem-se um sinal de que a realidade local está sendo afetada de forma mais intensa.

Nesse sentido, o monitoramento das secas, associado ao levantamento de séries históricas referentes à distribuição pluviométrica ao longo dos anos, é uma importante contribuição para avaliar o comportamento do ciclo de chuvas e, também, para compreender a frequência com que os períodos prolongados de estiagem ocorrem. Embora o fenômeno da seca seja sempre danoso para a população do semiárido, ele passaria a ser mais preocupante na condição em que os ciclos de duração da seca estão aumentando e se mantém o mesmo padrão de exploração das terras.

Mesmo considerando que as secas prolongadas sejam um fenômeno presente nas zonas em questão, a relação seca *versus* prejuízos sociais e econômicos não pode ser tão direta, pois a manutenção dos sistemas de produção não é assegurada apenas com as chuvas. O nível de precipitação pode representar muito ou pouco, a depender dos meios disponíveis

para realizar a gestão da água proveniente das chuvas, da adoção de práticas de determinados tipos de manejo do solo e da própria distribuição das chuvas no período.

A Convenção preconiza que cabe às nações afetadas dar prioridade ao combate à desertificação e à mitigação dos efeitos da seca. A adoção de um robusto sistema de monitoramento do tempo e do clima é capaz de atender de forma relevante a dois aspectos envolvidos. O primeiro refere-se à previsão de secas, que se constitui numa das estratégias para reduzir a vulnerabilidade da sociedade e do sistema natural aos seus efeitos, o que, em certa medida, contemplaria a Convenção. O segundo aspecto refere-se à qualidade dos dados obtidos, pois um dos grandes entraves encontrados para melhor avaliar a ocorrência e os efeitos da desertificação é a falta de dados adequados dos componentes ambientais e afins em séries históricas confiáveis.

A disponibilidade de dados seguros configura-se como importante subsídio para a construção de cenários, possibilitando o uso simultâneo de variáveis de diferentes naturezas para avaliar o quadro futuro das regiões que apresentam maior vulnerabilidade à seca e à desertificação. Além do emprego dessas informações em projeções de longo prazo, os dados oriundos da rede de monitoramento poderiam, também, subsidiar as estratégias preventivas para coordenar e executar outras ações mitigadoras na possibilidade de ocorrência de eventos extremos.

De acordo com a Convenção, a desertificação é consequência da interação de fatores variados, que envolvem aspectos naturais, sociais e econômicos. Porém, dois deles podem contribuir de forma mais efetiva para sua ocorrência: as mudanças climáticas e as ações humanas. O uso intensivo dos recursos naturais nas zonas que apresentam índices de aridez críticos, associado à vulnerabilidade climática, pode resultar na redução da biodiversidade e na perda da capacidade produtiva dos solos, diminuindo o potencial de regeneração e desenvolvimento dos agentes que compõem o sistema solo-planta. Em um ambiente com níveis elevados de degradação, há forte comprometimento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o que limita seriamente os ambientes afetados.

A desertificação traz consequências ambientais, sociais e econômicas, que se manifestam de forma assimétrica e com impactos diferentes entre si. Os sinais mais evidentes desses impactos estão no componente ambiental, sobretudo no tocante à retirada da cobertura vegetal, o que resulta em diminuição da biomassa, deixando mais vulneráveis as áreas sujeitas ao processo. Quanto às outras dimensões, a desagregação social e o esvaziamento econômico levam à migração e à perspectiva de surgimento de vazios espaciais.

Para Vasconcelos Sobrinho (1983), o tema ainda não havia sido dominado pelos profissionais vinculados às áreas correlatas e nem pelos tomadores de decisão na esfera governamental. No trabalho ora citado, o autor apresentou, de forma mais didática, à sociedade e aos pesquisadores, a problemática da desertificação no Nordeste, seus efeitos e possíveis intervenções para minimizar os danos causados. Além disso, apontou algumas iniciativas para futuros estudos e intervenções, delineando os principais núcleos de desertificação do Nordeste e suas particularidades.

Mesmo com os vários estudos desenvolvidos em torno do tema e com o conhecimento acumulado, ainda não é possível dimensionar de forma sistêmica os níveis dos impactos que podem levar à desertificação ou o seu grau de ocorrência. Os critérios e as metodologias empregados ainda não permitem estabelecer meios que superem a avaliação de ausência x presença de determinados indicadores, uma vez que não há parâmetros definidos que permitam estabelecer níveis de desertificação ou de propensão. Seguindo essa definição, as áreas são classificadas como desertificadas ou não desertificadas.

A falta desses critérios e de indicadores mais objetivos suscita algumas dúvidas: quais são os níveis aceitáveis de perda de produtividade e em relação a qual parâmetro? Em que estágio uma área pode ser classificada como de degradação extrema? Alguns aspectos devem ser levados em consideração para compor esse conjunto de parâmetros e estabelecer níveis de classificação, tais como a adoção de práticas conservacionistas, a exploração da vegetação nativa sob regime de manejo florestal sustentado, a agroecologia e outras iniciativas já existentes no semiárido nordestino. As áreas que apresentassem tais práticas teriam menor potencial de desertificação, conforme escala de valores. A adoção desses níveis de classificação possibilitaria uma avaliação do potencial de desertificação mais próxima da realidade.

2.3.2 Indicadores para mensuração da desertificação

A adoção de indicadores para avaliar o processo de desertificação ou o grau de vulnerabilidade deve se consolidar em uma ferramenta para retratar, o mais próximo possível, a realidade das áreas suscetíveis. Com a sistematização de um conjunto de indicadores apropriados, será possível mensurar os impactos ocorridos ao longo do tempo, assim como monitorar o presente para acompanhar a evolução do processo e tomar as medidas necessárias.

Iniciativas nos meios acadêmicos e governamentais têm sido conduzidas para identificar quais indicadores podem ser utilizados para subsidiar uma metodologia que possa mensurar a desertificação (RODRIGUES et al., 1995; CARVALHO, 2001; SAMPAIO et al., 2003; TORRE y VERGARA, 2005; ABRAHAM & BEEKMAN, 2006; VIEIRA et al. 2015). Porém, tais proposições esbarram em dificuldades de diferentes ordens, tais como excessivo número de indicadores, dificuldade de aplicação no campo, prioridade para determinadas áreas do conhecimento e falta de consenso entre os estudiosos do tema quanto aos parâmetros que devem ser avaliados (MATALLO JR., 2001).

Para o autor, a indefinição quanto à seleção do conjunto de indicadores parece ser um problema recorrente, pois vários grupos de trabalho foram mobilizados e reuniões técnicas foram realizadas, mas o objetivo principal não foi alcançado. O ponto crítico é a identificação de quais indicadores deverão ser selecionados para compor uma metodologia que tenha aplicabilidade. Em algumas propostas, a aplicação é restrita a determinadas regiões ou abordam uma área de conhecimento específica, não contribuindo para a construção de um sistema mais abrangente que consiga captar a complexidade que envolve o assunto.

O mesmo autor aponta a existência de duas linhas de abordagem do tema desertificação: de um lado, estão os Estados Unidos e a Europa, os quais privilegiam estudos que apresentam uma visão “verticalizada” sobre desertificação, em detrimento de uma abordagem que priorize a construção de um sistema ou metodologia de indicadores. De outro, encontram-se a América Latina e o Caribe, cujas iniciativas nesse campo são recentes, e estão na direção de construir uma metodologia uniformizada para conduzir os estudos sobre desertificação. É parte dessa tentativa a realização de conferências e reuniões temáticas conduzidas na Argentina, na Bolívia, no Brasil, no Chile e no Peru, buscando-se obter a desejada padronização.

A desertificação é um tema bastante complexo, pois a compreensão das suas causas e efeitos depende de informações e de dados que abranjam as diferentes áreas do conhecimento e, fundamentalmente, da sua sistematização. Nesse sentido, os indicadores devem traduzir espacial e temporalmente o comportamento dos parâmetros avaliados, e demonstrar de modo objetivo sua relevância na composição da metodologia (SAMPALIO et al., 2003).

No trabalho desenvolvido pelos autores, foram analisadas propostas de indicadores sugeridas por diversos grupos de pesquisadores e reuniões técnicas: do grupo do Piauí e do Ministério do Meio Ambiente; de Vasconcelos Sobrinho; dos grupos do Ceará; e da IV Reunião Regional da América Latina e Caribe, em Antígua y Barbuda. A dificuldade de estabelecer o limite entre a propensão e a ocorrência da desertificação, assim como de

critérios para que os indicadores sejam utilizados seguindo a mesma lógica nas duas situações, foi salientada na avaliação de Sampaio et al. (2003).

Para Matallo Jr. (2001), o conjunto de indicadores produzidos na IV Reunião Regional da América Latina e Caribe esteve mais próximo da situação desejada, com a possibilidade de retratar a realidade das áreas sujeitas à ocorrência da desertificação a partir da tentativa de uma padronização metodológica.

O documento final incorporou parte significativa dos indicadores sugeridos pelo Grupo Argentino de *Identificación y Evaluación de la Desertificación*. Tendo como premissa a identificação de uma dimensão relevante para o contexto, o indicador deveria ser objetivo e de fácil aplicabilidade, além de ter capacidade e sensibilidade para captar as tendências ao longo do tempo.

Na discussão sobre a construção de indicadores, devem ser apontadas as importantes contribuições trazidas por Vasconcelos Sobrinho (1983). Sua proposta pode ser considerada como a base dos estudos sobre o tema e apresenta como rota a definição de áreas específicas, representativas do quadro de degradação ambiental resultante da desertificação.

Os objetivos dos indicadores apontados pelo pesquisador podem ser compreendidos em três níveis:

- a) avaliação da realidade presente no tocante à vulnerabilidade;
- b) capacidade de previsão do processo de desertificação; e
- c) monitoramento e definição de programas para combater seus efeitos.

Os indicadores propostos chegaram a quarenta, divididos em: indicadores físicos; indicadores biológicos agrícolas; indicadores sociais – uso da terra; tipo de assentamento nas populações rurais; parâmetros biológicos humanos; e parâmetros de processo social.

Embora abranja as três dimensões principais, o número final de indicadores torna a execução da metodologia bastante complexa, tanto no tocante à obtenção dos valores referentes a cada um dos indicadores, quanto em termos de sua sistematização para a avaliação final. Além disso, o autor não evidenciou qual mecanismo seria utilizado para estabelecer os parâmetros de classificação.

Em proposta apresentada por Rodrigues et al. (1995), foi sugerido um conjunto de dezenove indicadores distribuídos nas dimensões físicas, biológicas e socioeconômicas. A aplicação dos indicadores não prevê a hierarquização entre eles e nem o estabelecimento de pesos, mesmo se sabendo das respectivas relevâncias. O critério adotado para estabelecer se uma área está em processo de desertificação é a ausência ou presença de cada indicador.

De acordo com a metodologia proposta, a classificação das áreas situadas nas zonas subúmidas e semiáridas do Nordeste quanto à desertificação é orientada da seguinte forma:

- a) muito grave – 15 a 19 indicadores presentes;
- b) grave – 11 a 14 indicadores presentes;
- c) moderada – 6 a 10 indicadores presentes.

A proposta teve o mérito de trazer o esboço de uma metodologia de abordagem do tema desertificação mediante o emprego de indicadores. Entretanto, a metodologia requer ajustes no sentido de melhorar o conjunto de indicadores e calibrar o mecanismo de avaliação. O critério adotado – ausente/presente – é muito amplo e retrata apenas o presente, não considerando o aspecto temporal referente ao passado e à perspectiva de futuro. Além disso, avalia parcialmente os impactos nas áreas sob estudo, sem estabelecer o grau de severidade.

Segundo Matallo Jr. (2001), em fóruns latino-americanos, o comitê brasileiro propôs um conjunto de dezenove indicadores, sendo dez relativos aos aspectos físicos e bióticos, e nove aos socioeconômicos. O número de indicadores foi semelhante ao proposto por Rodrigues et al. (1995), entretanto houve alteração quanto aos tipos de indicadores. A avaliação aponta apenas para a ocorrência ou ausência de desertificação, não permitindo maior detalhamento quanto aos níveis de ocorrência.

Os países envolvidos no programa de Combate à Desertificação na América do Sul promoveram, localmente, discussões e seminários para definir um conjunto de indicadores que seriam submetidos a uma avaliação comum. Foi apresentada como proposta a constituição de duas categorias de indicadores: os de abrangência nacional e os de aplicação local. Em linhas gerais, ambos têm o mesmo eixo, variando apenas nas informações mais específicas tomadas nas localidades (ABRAHAM & BEEKMAN, 2006).

Os indicadores propostos abrangem quatro dimensões: fatores abióticos; fatores biofísicos; fatores socioeconômicos; e fatores institucionais e organizacionais. As dimensões foram desdobradas em onze temas. Fatores abióticos: clima (2), água (5), solo (5); fatores biofísicos: flora e fauna (4); fatores socioeconômicos: uso da terra (7), população (6), pobreza (3); fatores institucionais (7); organizações sociais (3).

No desdobramento desses indicadores e na sua forma de obtenção, os aspectos abordados não contemplam a dimensão temporal. A avaliação temporal é extremamente importante para dimensionar os impactos sobre as áreas de ocorrência porque a desertificação é um processo contínuo.

Dada a relevância do tema e procurando contribuir para aperfeiçoar os mecanismos de mensuração da ocorrência da desertificação, Sampaio et al. (2003) propuseram uma nova

abordagem em relação à classificação das áreas vulneráveis. Tendo em vista que o processo de desertificação é difuso e sua constatação não é direta, os autores sugeriram a separação entre a medida da ocorrência da desertificação e a medida da susceptibilidade ou propensão à desertificação.

A proposta apresentada pelos autores procurou complementar algumas lacunas identificadas nas demais metodologias analisadas. Pode ser considerada como grande avanço no estudo da desertificação, uma vez que sugere a adoção de níveis de propensão e de ocorrência da desertificação obtidos a partir de critérios objetivos.

Para cada categoria foi proposto um conjunto de indicadores e subíndices, como mecanismo para incorporar as dimensões ambiental, econômica e social, de forma a não deixar o instrumento de aferição demasiadamente amplo ou restrito apenas aos aspectos ambientais.

A linha metodológica sugerida pelos autores tem uma abordagem diferente em relação aos estudos e propostas existentes, por não considerar apenas o quadro atual (se há ocorrência ou não da desertificação). A medida de propensão é de extrema relevância, pois as mudanças nas características da área ocorrem no curso de anos, e, desse modo, as alterações poderão ser monitoradas. O índice de ocorrência evidencia a piora das condições nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, ao longo do tempo. Assim, os indicadores da medida de propensão devem ser capazes de demonstrar periodicamente a situação e os do índice de ocorrência refletem o grau de degradação das três dimensões envolvidas.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Determinação da atividade do ^{137}Cs na região do Agreste de Pernambuco

3.1.1 Descrição da área e da coleta de solo

O Agreste pernambucano, por estar situado em baixas latitudes, tem insolação variando de 2.300 a 2.400 horas anuais (LINS, 1989). As chuvas têm distribuição espacial irregular, com índices pluviométricos anuais entre 500 e 1300 mm, prevalecendo no outono-inverno e no verão-outono. A caatinga é a vegetação predominante; seu porte e densidade variam conforme a disponibilidade de chuvas, por isso, ela é mais alta e mais densa nas porções mais úmidas. As áreas de maior pluviosidade anual estão situadas nas regiões de cimeira (Taquaritinga do Norte, Garanhuns, Brejão, Buíque, Bonito e outras) e as mais secas, na depressão do Ipanema, próximo de Caruaru e São Caetano, e a noroeste de Santa Cruz do Capibaribe.

O município de São Bento do Una está localizado no Agreste pernambucano, na microrregião do Vale do Ipojuca; sua sede está na latitude 08°31'22" sul e na longitude 36°26'40" oeste, a uma altitude de 645 m. O clima predominante é do tipo BSh, conforme classificação de Köppen, com evapotranspiração potencial de 1048 mm ano⁻¹ e precipitação anual média de 700 mm. A atividade econômica predominante no município é a agropecuária, com ênfase na pecuária leiteira e na avicultura.

A área selecionada para realizar as coletas de amostras de solo destinadas às determinações da atividade do ^{137}Cs e das características físicas e químicas do solo foi a Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, situada em São Bento do Una, e cuja área é de 260 ha. A estação tem como finalidade apoiar a pesquisa com sorgo, milho, feijão, palma forrageira e alimentação e melhoramento de bovinos.

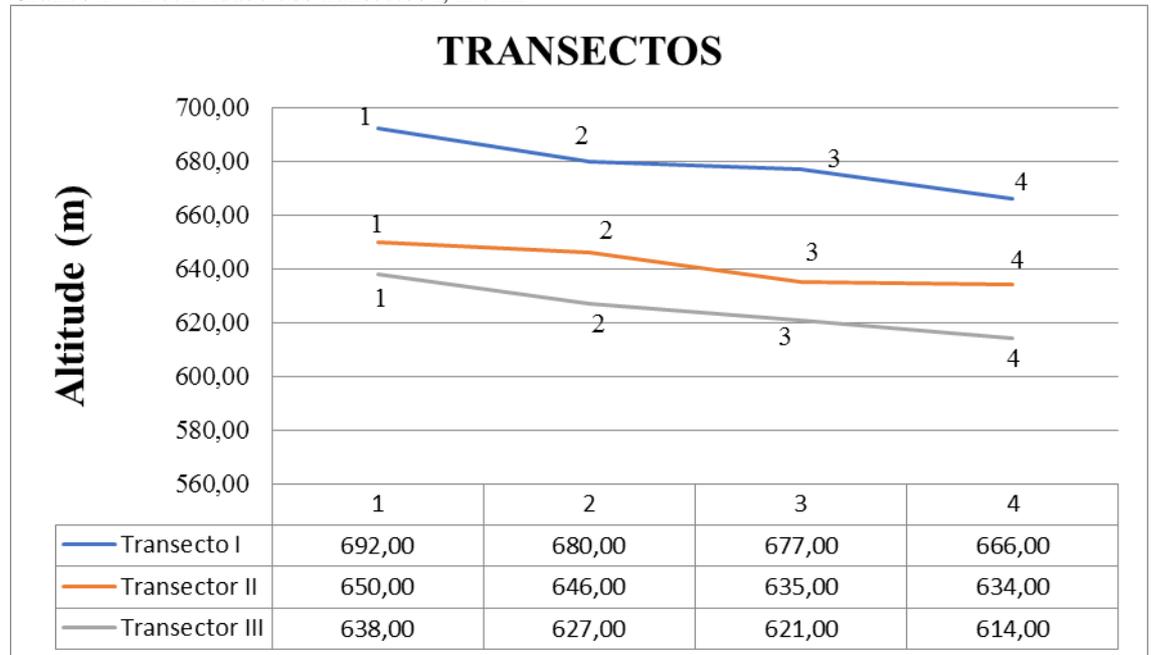
A unidade foi escolhida por ser uma área destinada à pesquisa e por atender requisitos básicos, como a sua dimensão, a disponibilidade de área com cobertura vegetal pouco perturbada e campos agrícolas com declividades acentuadas e histórico razoavelmente conhecido nas últimas décadas.

Na estação foram selecionadas quatro áreas distintas para realizar a coleta das amostras de solo. Uma delas serviu como referência, pois contava com cobertura vegetal nativa pouco perturbada e atendia aos requisitos para uso da técnica do ^{137}Cs . Não estava sendo utilizada para nenhuma atividade que envolvesse remoção e/ou queima dessa

vegetação, plantio ou outras intervenções que movimentassem o solo. De acordo com informações de técnicos do IPA, essa parcela da estação estava intacta por, aproximadamente, 40 anos. A vegetação era de porte arbóreo-arbustivo, evidenciando sinais de conservação. Os pontos de coleta na área 1 foram selecionados de forma aleatória, buscando maior representatividade.

As outras três são preparadas anualmente, empregando-se trator e grade, para o plantio de sorgo, milho, feijão e palma, conforme o planejamento de pesquisa determinar. Além da gradagem no preparo do solo, é feita adubação química, variando a formulação aplicada de acordo com os resultados das análises de solo realizadas anualmente. Nos transectos em declive as amostras de solo foram coletadas em linha (Cf. Gráfico 1, abaixo).

Gráfico 1 – Declividade dos transectos I, II e III



Em cada ponto foram retiradas amostras de solo para quantificação da atividade do ^{137}Cs e para determinação da densidade do solo. As amostras para quantificação da atividade foram coletadas cavando-se trincheiras de 40x40 cm e recolhendo-se todo o solo de camadas de 3 cm até a profundidade de 30 cm. As amostras para determinação da densidade foram extraídas na parte lateral da trincheira, utilizando-se coletor de Uhland com anel (EMBRAPA, 1997). A densidade é um parâmetro importante para apoiar o cálculo da atividade do ^{137}Cs .

O número das amostras de solo e o tipo de coleta adotado na Área I foram diferentes em relação aos demais transectos. Na Área I foram coletadas 6 (seis) amostras em cada trincheira, a intervalos de 3 cm, limitando-se a profundidade em 18 cm. Nos transectos I, II e

III, as amostras foram coletadas em quatro pontos: 1 – topo; 2 – meia encosta 1; 3 – meia encosta 2; 4 – final do transecto. O número de coletas de amostras variou entre as posições nos transectos em decorrência das dificuldades de transpor as camadas de pedra que algumas trincheiras apresentaram. Naquelas em que foi possível ultrapassar as barreiras de pedra, foram coletadas as 10 (dez) amostras previstas, até a camada 27-30 cm.

Para uniformizar o padrão de resultado da leitura de atividade do ^{137}Cs para todas as trincheiras, foi adotado o limite na camada 15-18 cm. Essa profundidade em que foi estabelecido o corte não prejudicou os resultados, pois, nas trincheiras em que foi possível realizar a leitura para além dos 15-18 cm, não foi detectada atividade.

3.1.2 Análises das características físicas e químicas das amostras de solo

Parte das amostras coletadas foi utilizada para realizar análise da classe textural do solo das áreas da Estação Experimental. A análise de textura foi realizada pelo método do hidrômetro (erro = $\pm 5\%$). A partir das informações geradas, foi possível identificar as classes texturais presentes no perfil de solo e obter subsídios para possíveis correlações com o ^{137}Cs .

As amostras foram destorroadas e secas ao ar por 72 horas e, posteriormente, passadas em malha de 2 mm. Foram realizadas análises de cátions trocáveis – alumínio, potássio, sódio, cálcio – e do pH. Os cátions trocáveis foram determinados seguindo as metodologias indicadas pela EMBRAPA (1997): cálcio e magnésio por espectrometria de absorção atômica, após extração com $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$; sódio e potássio, por fotometria de chama, após extração com a solução duplo-ácida de Mehlich 1. Para determinar o alumínio, foi empregado o método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio, após extração com $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$; e o pH foi determinado potenciometricamente, em água, na relação 1:2,5. O teor de carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley-Black (determinado por oxidação via úmida com dicromato de potássio), baseado na oxidação da matéria orgânica em presença de ácido sulfúrico e emprego de solução padrão de sulfato ferroso amoniacal para titular o excesso de dicromato (EMBRAPA, 1997).

Para camadas abaixo de 18 cm não foram realizadas análises, em razão das baixas ou nulas atividades do ^{137}Cs .

3.1.3 Determinação da atividade do ^{137}Cs

A determinação da atividade do ^{137}Cs foi feita por espectrometria gama, usando-se um detector de raios gama (HPGe), marca Canberra, com 8.192 canais e programa computacional de apoio Genie-2000 Canberra.

Para determinar o canal e a energia do ^{137}Cs foi definida a curva de calibração do equipamento, utilizando-se uma pastilha de ^{137}Cs enriquecida. O valor encontrado, 661,6 keV, foi tomado como referência para ser utilizado, posteriormente, nas contagens efetuadas nas amostras de solo. A segunda etapa do processo de calibração foi estabelecer a eficiência de contagem do detector de germânio. Para essa finalidade, foi utilizada uma solução aquosa, com atividade conhecida de 30,70 kBq L⁻¹, do IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro), misturada a uma amostra de solo cuja contagem da atividade era conhecida previamente.

Finalizada a adição da solução contendo ^{137}Cs , a amostra de solo foi submetida à secagem em estufa, por um período de 24 horas, e homogeneizada. O analisador multicanal possibilita que os pulsos lineares emitidos sejam transformados em sinais digitais, realizando o processamento de separação por intervalos de energia. O ^{137}Cs é um átomo instável, que se torna estável após a emissão de um raio gama de energia 661,6 keV, que o caracteriza. Além desses ajustes, foi estabelecida a massa mínima de solo a ser utilizada no processo de contagem, cujo valor foi de 1,7 Kg.

As atividades de ^{137}Cs verificadas nas amostras de solo são expressas em Bq kg⁻¹ de solo, não havendo necessidade de correção pelo decaimento radioativo, dado que o período entre a fase de coleta das amostras e o início das análises foi curto, tomando-se como parâmetro a meia vida do radionuclídeo analisado, que é de 30,2 anos.

Para realizar a contagem no detector, foi empregado um béquer, tipo Marinelli, confeccionado em fibra de vidro. De acordo com Bajracharya et al. (1998), as amostras devem ser contadas por um período de 80.000 segundos. Entretanto, para assegurar maior precisão aos resultados e por maior comodidade de horários, foi definido que o ciclo de contagem, tanto para as amostras de solo coletadas, quanto para a amostra padrão, seria realizado em 86.400 segundos (ciclo de 24 horas). O cálculo da eficiência de detecção foi determinado a partir da seguinte equação (KACHANOSKI & DE JONG, 1984):

$$Ef = \frac{(cgs_{solo+padr\tilde{a}o} - cgs_{solo})}{(Bq_{padr\tilde{a}o} * 0,84cgsBq^{-1})}$$

Onde: Ef = Eficiência de contagem, cgs = contagem gama por segundo.

A densidade do solo foi usada para converter as concentrações do ^{137}Cs para estoques (Bq m^{-2}) e estimar a taxa de carbono em cada camada de cada ponto.

3.2 Metodologia para definição de índices de propensão e de ocorrência de desertificação

Como foi mencionado anteriormente, diversas propostas de metodologia para mensurar a desertificação foram apresentadas. A opção pela metodologia proposta por Sampaio et al. (2003) para estabelecer índices de propensão e de ocorrência de desertificação se deu pelo fato de esta adotar mecanismos mais objetivos para avaliar o monitoramento da desertificação, considerando três aspectos: disponibilidade de dados, operacionalização da sistematização das informações e resultados compatíveis com a realidade analisada. No quadro 1 estão sistematizados os respectivos índices, subíndices e indicadores utilizados para estabelecer os índices de propensão e de ocorrência da desertificação.

A área selecionada para a aplicação da metodologia foi a Área Piloto 5 – Estado de Pernambuco, indicada por Vasconcelos Sobrinho (1983) e denominada, neste trabalho, de Núcleo de Desertificação. De acordo com o autor, os municípios do Núcleo foram: Afrânio, Araripina, Belém do São Francisco, Cabrobó, Itacuruba, Ouricuri, Parnamirim, Petrolina e Salgueiro.

Quadro 1 – Sistematização dos subíndices e indicadores para o índice de propensão à desertificação

Índice	Subíndice	Indicador	
Propensão à desertificação	Cobertura vegetal	Dados de uso do solo das propriedades rurais	
		Medição direta	
	Degradação ambiental		
	Degradação do solo	Fertilidade	
		Erosão	
		Salinização	
		Compactação	
		Encrostamento	
	Degradação da água	Salinização	
		Poluição ou contaminação	
	Agricultura	Área cultivada	
		Produção total	
		Pessoal ocupado	
		Produtividade por área	
		Produtividade por pessoa	
		Valor da produção das principais culturas	
		Número de cabeças dos principais rebanhos	
		Áreas de pasto plantado e nativo	
		Produção de leite	
		Número de animais abatidos	
		Valor da produção	
		Dimensão econômica	Produto ou renda per capita
			Composição da renda
Dimensão social	IDH		
	Analfabetismo		
	Mortalidade infantil		
	Expectativa de vida		

Para o monitoramento da ocorrência da desertificação, a metodologia sugeriu a utilização de quatro subíndices (um de condição ambiental, dois relativos à dimensão econômica e um de aspectos sociais), de acordo com o quadro 2 abaixo:

De acordo com a classificação proposta pela metodologia, o subíndice pode variar de 1 a 3, conforme o seguinte detalhamento: 1 = indicação de normalidade; índice 2 em algum dos subíndices é sinal de que está em curso relativa deterioração do aspecto avaliado; e, por fim, o subíndice 3 em um dos subíndice aponta para forte impacto nas dimensões avaliadas com esse número.

A atribuição do índice de propensão tem como base a composição de cinco subíndices, expressando dessa forma a situação da área sob estudo. Embora a construção de índices seja uma tentativa de conferir maior objetividade à mensuração da desertificação, há na interpretação algum grau de subjetividade.

Quadro 2 – Sistematização dos subíndices e indicadores para o índice de ocorrência da desertificação

Índice	Subíndice	Indicadores
Ocorrência da desertificação	Degradação ambiental	
	Degradação do solo	Fertilidade
		Erosão
		Salinização
		Compactação
		Encrostamento
	Degradação da água	Salinização
		Poluição ou contaminação
	Agricultura	Área cultivada
		Produção total
		Pessoal ocupado
		Produtividade por área
		Produtividade por pessoa
		Valor da produção das principais culturas
		Número de cabeças dos principais rebanhos
		Áreas de pasto plantado e nativo
		Produção de leite
		Número de animais abatidos
		Valor da produção
	Dimensão econômica	Produto ou renda per capita
	Composição da renda	
Dimensão social	IDH	
	Analfabetismo	
	Mortalidade infantil	
	Expectativa de vida	

3.2.1 Definição do subíndice de cobertura vegetal

Das dimensões envolvidas, a ambiental é a que mais se destaca, sobretudo a cobertura vegetal, pois uma área sem cobertura por longos períodos está mais sujeita à erosão. De acordo com a metodologia, a verificação da cobertura vegetal pode ser realizada por diferentes meios, seja pela medição direta a partir de imagens de satélite e fotografias aéreas, seja por dados de uso do solo no âmbito dos municípios.

Em relação à cobertura vegetal, os autores salientam que a cobertura vegetal não deve ser necessariamente de vegetação nativa, mas entre temporária e permanente. Seguindo esse critério, a classificação da cobertura vegetal é estabelecida da seguinte forma:

- a) suscetibilidade alta – quando acima de 2/3 da área das propriedades ou da área do município ficam temporariamente descobertos;
- b) susceptibilidade moderada – quando entre 1/3 e 2/3 da área ficam descobertos;
- c) baixa susceptibilidade – quando abaixo de 1/3 da área fica descoberto temporariamente.

No caso do emprego dos dados do Censo, devem ser consideradas como temporariamente descobertas as seguintes situações:

- a) cultivo temporário em toda a área;
- b) área de cultivo permanente das culturas com corte completo da parte aérea das plantas ou com plantas que fiquem completamente desfolhadas no período de seca;
- c) uma proporção da área com outras culturas permanentes, calculada em função da renovação; e
- d) a área de pastagem nativa ou plantada, considerando que a lotação animal seja superior a duas vezes a capacidade de suporte recomendada para a área, e supondo que a mesma estará desnuda ao fim do período seco e início da estação chuvosa.

Como uma primeira aplicação da metodologia em questão, neste trabalho foram adotados apenas os dados disponíveis no Censo Agropecuário relativo aos anos de 1995 e 2006. Embora o uso de imagens de satélite ou fotografias aéreas sejam ferramentas de suporte apontadas pela metodologia como importantes, seu emprego não foi possível no âmbito desta pesquisa.

Também neste trabalho, para a construção do subíndice de cobertura vegetal, foram utilizados os seguintes indicadores: área total das propriedades; área ocupada com lavoura permanente e temporária; área ocupada com pastagem natural e plantada; rebanho (bovino + caprino); capacidade de suporte; e valor relativo da cobertura vegetal temporária.

3.2.2 Definição do subíndice de degradação ambiental

Os subíndices utilizados para degradação ambiental foram degradação dos solos (fertilidade, erosão, salinização, compactação e encrostamento) e da água (salinização e poluição ou contaminação). Os dados relacionados aos reservatórios deveriam estar disponíveis nas agências gestoras de recursos hídricos, sobretudo para aqueles de maior capacidade de armazenamento e que atendem a diversos municípios. As informações quanto ao monitoramento dos níveis de salinização, grau de contaminação e estimativa de perdas de água por evaporação não estão publicizadas.

Por falta de dados sistematizados em séries históricas que possibilitassem o uso dos indicadores sugeridos pela metodologia adotada nesta pesquisa, foi adotada a avaliação empírica a partir das informações existentes na literatura.

O levantamento realizado por Leprun (1983) pode ser considerado como uma boa referência para avaliar os riscos de erosão para a região Nordeste, pois considera os fatores

topografia, erodibilidade e erosividade das chuvas. É importante ressaltar que a dimensão da escala dos mapas de risco limita a identificação do potencial de erosão no âmbito dos municípios.

Outro aspecto relacionado à degradação do solo é a salinização, que pode ser consequência da adoção ou não da irrigação, da qualidade da água existente no município e do tipo de solo predominante. Os dados para dimensionar o indicador estão disponíveis em Audry & Suassuna (1995), que realizaram levantamento da qualidade da água de açudes, rios e poços e o mapeamento de salinização do Nordeste.

3.2.3 Definição do subíndice de agricultura

Na metodologia proposta por Sampaio et al. (2003), o subíndice agricultura tem como indicadores área cultivada, produção total, pessoal ocupado, produtividade por área, produtividade por pessoa e valor da produção das principais culturas que são plantadas na região estudada. No tocante à produção pecuária, os indicadores propostos são: número de cabeças dos principais rebanhos, área de pasto plantado e nativo, produção de leite, número de animais abatidos.

Os critérios para estabelecer os níveis de classificação estão propostos da seguinte forma:

- a) municípios com o conjunto da produtividade dos principais produtos menores do que as regionais e proporções de áreas cultivadas, rebanhos por área e número de pessoas ocupadas por área maiores que as regionais – nível 3;
- b) municípios que tiverem apenas parte destes indicadores na direção indicada – nível 2;
- c) municípios que tiverem seus patamares nos mesmos níveis da produtividade nacional – nível 1.

Para elaborar esse subíndice no âmbito desta pesquisa, foram utilizados indicadores diferentes dos propostos por Sampaio et al. (2003), porém o resultado final não comprometeu os valores do subíndice.

Os indicadores de agricultura empregados na pesquisa foram: vacas ordenhadas, produção de leite, e produção de feijão, de mandioca e de milho. Os dados utilizados corresponderam aos anos de 1990, 1995, 2000, 2006, 2009, 2011 e 2014.

Os valores relativos à produção agropecuária foram obtidos a partir das seguintes bases de dados do IBGE, disponíveis no site www.ibge.gov.br: Produção Agrícola Municipal

(PAM) e Produção Pecuária Municipal (PPM). Os dados foram sistematizados seguindo a ordem geográfica Brasil, Nordeste, Pernambuco, mesorregiões Sertão Pernambucano, São Francisco Pernambucano e os municípios que integram o Núcleo de Desertificação (Afrânio, Araripina, Belém do São Francisco, Cabrobó, Itacuruba, Ouricuri, Parnamirim, Petrolina e Salgueiro).

A escolha do Brasil, do Nordeste e das duas mesorregiões do Sertão de Pernambuco para levantamento e sistematização dos dados teve o propósito de estabelecer as comparações entre os valores dos municípios que integram o Núcleo de Desertificação e os valores nacionais e regionais, como previu a metodologia em uso.

3.2.4 Definição do subíndice de economia

A dimensão econômica também é um eixo importante na avaliação do processo de desertificação, uma vez que os maiores impactos ocorrem nas áreas rurais, com consequências na capacidade produtiva e na geração de renda oriunda das atividades agrícolas. Embora a renda no semiárido seja baixa, a dimensão econômica deve ser avaliada, pois é um parâmetro que indicará o quanto a degradação ambiental impacta a região.

A metodologia proposta por Sampaio et al. (2003) apresenta como critérios de avaliação da renda as seguintes condições:

- a) municípios com renda *per capita* acima da média e municípios com renda *per capita* abaixo da média sem atividade agropecuária ou extrativa significativa – nível 1;
- b) municípios com renda *per capita* abaixo da média regional e acima de 70% dessa última, com atividade agropecuária ou extrativa significativa – nível 2;
- c) municípios com renda *per capita* abaixo de 70% da renda regional, com atividade agropecuária ou extrativa significativa – nível 3.

Há vários indicadores que podem ser empregados para interpretar a dimensão econômica, porém a prioridade é dada àqueles que evidenciem a realidade local. No caso deste trabalho, os indicadores utilizados para o subíndice foram: rendimento médio nominal – anos 2000-2010; participação das transferências governamentais na renda dos municípios – anos 1991 e 2000; e participação dos municípios no PIB a preços constantes – anos 1970; 1996 e 2010.

A avaliação da transferência de renda e do PIB foi baseada nas séries históricas de dados disponíveis nos sites <https://www.ipea.gov.br> e <https://www.ibge.gov.br>. As séries

disponíveis nas bases oficiais não seguem a sequência de anos aplicada nos levantamentos da atividade agrícola, mas apontam o comportamento dos indicadores durante o período.

3.2.5 Definição do subíndice social

O subíndice social tem como propósito avaliar a condição de vida da população da região analisada. Os indicadores sugeridos, inclusive por outras metodologias, são diversos e envolvem dados de saúde, educação, IDH, mortalidade infantil e expectativa de vida. De acordo com a proposta metodológica sugerida por Sampaio et al. (2003) apresenta a seguinte classificação:

- a) município com valores da média regional e com população rural representando pelo menos 40% da população total – nível 2;
- b) densidade populacional acima da média regional e baixa qualidade de vida – nível 3.

Embora haja outras opções de indicadores, como apontado acima, neste trabalho serão adotados três deles: índice de desenvolvimento humano por município – IDHM; situação de mortalidade infantil – anos 1970, 1980, 1991 e 2000; e probabilidade de vida até os 60 anos – anos 1991 e 2000.

Os dados dos indicadores utilizados para compor o subíndice social foram obtidos da base do Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada – IPEA, sítio www.ipeadata.gov.br.

A partir da sistematização dos dados levantados junto às fontes citadas, é estabelecida a análise comparativa entre os anos para verificar o comportamento dos indicadores e, com isso, avaliar a vulnerabilidade da área pesquisada à ocorrência da desertificação ou sua propensão.

O detalhamento da metodologia do trabalho, subdividida em tópicos, incluindo fotografias e tabelas, é feito se necessário. A metodologia escolhida pode ser justificada utilizando citações e referências da literatura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados da determinação da atividade do ^{137}Cs

De acordo com a metodologia, a aplicação da técnica do ^{137}Cs requer um inventário do estoque em área com baixo nível de perturbação. Particularmente neste trabalho, a atividade do ^{137}Cs na área tomada como referência ficou abaixo dos demais transectos. Dessa forma, a área considerada como referência foi incorporada como área de coleta e os resultados foram avaliados juntamente com os demais transectos.

Algumas inferências podem ser estabelecidas para compreender os resultados obtidos, tais como a área tomada como referência ter sido plantada no período posterior à ocorrência do *fallout* do ^{137}Cs ou o fato de que a vegetação da caatinga, por ser mais aberta, favoreceria o deslocamento de partículas de solo nos períodos de chuvas, uma vez que a cobertura vegetal não seria suficiente para assegurar a necessária proteção ao solo.

A contagem de ^{137}Cs permitiu estimar o estoque por ponto de coleta e estabelecer a comparação entre os transectos. O estoque variou entre as áreas, conforme a posição na topossequências. Pelos resultados alcançados em outros estudos, os estoques na parte superior do transecto tendem a ser menores em razão do deslocamento das partículas de solo em direção às partes mais baixas.

De acordo com o resultado de análise de solo, a classe textural predominante foi areia franca, solos arenosos, com algumas ocorrências de areia e franco arenoso, cujos teores de argila mostraram-se reduzidos (Tabelas 2, 3, 4 e 5).

Tabela 2 – Características físicas e classe textural das camadas de solo da Área I

Trincheira	Areia	Silte	Argila	Classe textural
Prof. (cm)	----- g.kg ⁻¹ -----			
Trincheira I				
0-9	730	180	80	Areia franca
9-18	740	180	80	Areia franca
Trincheira II				
0-9	800	160	40	Areia franca
9-18	790	150	60	Areia franca
Trincheira III				
0-9	740	170	90	Areia franca
9-18	760	160	80	Areia franca
Trincheira IV				
0-9	740	180	80	Areia franca
9-18	720	180	100	Areia franca

Tabela 3 – Características físicas e classe textural das camadas de solo do transecto I

Posição	Areia	Silte	Argila	Classe textural
Prof. (cm)	----- g.kg ⁻¹ -----			
Topo				
0-9	760	160	80	Areia franca
9-18	740	180	80	Areia franca
Meia encosta				
0-9	800	140	60	Areia franca
9-18	800	140	60	Areia franca
Final do declive				
0-9	920	60	20	Areia
9-18	920	50	30	Areia
Final do transecto				
0-9	880	40	40	Areia
9-18	880	40	40	Areia

Tabela 4 – Características físicas e classe textural das camadas de solo do transecto II

Posição	Areia	Silte	Argila	Classe textural
Prof. (cm)	----- g.kg ⁻¹ -----			
Topo				
0-9	830	130	40	Areia franca
9-18	820	130	50	Areia franca
Meia encosta				
0-9	840	120	40	Areia franca
9-18	840	11	50	Areia franca
Final do declive				
0-9	810	140	50	Areia franca
9-18	800	140	60	Areia franca
Final do transecto				
0-9	800	130	70	Areia franca
9-18	800	140	60	Areia franca

Tabela 5 – Características físicas e classe textural das camadas de solo do transecto III

Posição	Areia	Silte	Argila	Classe textural
Prof. (cm)	----- g.kg ⁻¹ -----			
Topo				
0-9	620	280	100	Franco arenosa
9-18	610	280	110	Franco arenosa
Meia encosta				
0-9	720	220	60	Areia franca
9-18	680	240	80	Franco arenosa
Final do declive				
0-9	700	230	70	Areia franca
9-18	670	250	80	Franco arenosa
Final do transecto				
0-9	600	290	110	Franco arenosa
9-18	640	260	100	Franco arenosa

Em relação às características químicas, as análises mostram que a área de pesquisa é constituída por solos com baixa fertilidade, necessitando de aporte externo de nutrientes para manter sua capacidade produtiva. Os valores estão compatíveis com os parâmetros dos solos do semiárido (Tabelas 6, 7, 8 e 9).

Tabela 6 – Características químicas das amostras de solo da Área I

Posição	Parâmetros químicos							
	pH	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺² + Mg ⁺²	Ca ⁺²	Al ⁺³	C.org
Prof. (cm)	(água – 1:2,5)	(mg/dm ³)	----- (cmol _c /dm ³) -----			-----		g.Kg ⁻¹
Trincheira I								
0-9	5,5	27	0,00	0,05	11,6	9,25	0,1	38,59
9-18	6,9	14	0,01	0,08	6,5	4,0	0,05	16,76
Trincheira II								
0-9	5,5	7	0,10	0,1	3,8	2,9	0,05	17,43
9-18	5,5	4	0,01	0,13	2,45	1,45	0,2	8,02
Trincheira III								
0-9	8,4	48	0,19	0,15	11,95	9,60	0,00	33,17
9-18	8,5	7	0,02	0,18	4,8	3,85	0,00	10,25
Trincheira IV								
0-9	5,4	11	0,27	0,2	5,35	3,55	0,15	18,21
9-18	5,4	3	0,31	0,23	3,55	1,6	0,25	9,59

Tabela 7 – Características químicas das amostras de solo do transecto I

Posição	Parâmetros químicos							
	pH	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺² + Mg ⁺²	Ca ⁺²	Al ⁺³	C.org
Prof. (cm)	(água – 1:2,5)	(mg/dm ³)	----- (cmol _c /dm ³) -----			-----		g.Kg ⁻¹
Topo								
0-9	5,8	25	0,04	0,03	3,60	2,75	0,10	10,01
9-18	5,6	19	0,04	0,03	2,95	2,10	0,15	5,79
Meia encosta								
0-9	6,4	101	0,04	0,30	4,25	2,75	0,10	18,27
9-18	6,3	95	0,05	0,03	3,85	2,30	0,00	8,93
Final do declive								
0-9	6,1	21	0,05	0,04	1,55	1,15	0,00	4,10
9-18	6,1	11	0,06	0,04	1,85	1,15	0,05	2,29
Final do transecto								
0-9	5,7	9	0,06	0,40	1,85	1,15	0,10	6,39
9-18	5,1	4	0,07	0,04	1,55	1,00	0,25	3,80

Tabela 8 – Características químicas das amostras de solo do transecto II

Posição	Parâmetros químicos							
	pH	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺² + Mg ⁺²	Ca ⁺²	Al ⁺³	C.org
Prof. (cm)	(água – 1:2,5)	(mg/dm ³)	----- (cmol _c /dm ³) -----			-----		g.kg ⁻¹
Topo								
0-9	5,1	8	0,69	0,45	2,95	2,30	0,25	9,83
9-18	5,1	4	0,07	0,48	4,05	2,65	0,40	5,07
Meia encosta								
0-9	5,6	14	0,78	0,05	4,25	3,25	0,10	6,69
9-18	5,9	3	0,08	0,05	4,30	3,20	0,10	7,30
Final do declive								
0-9	5,4	3	0,86	0,55	2,65	1,60	0,35	8,38
9-18	5,2	6	0,09	0,58	2,25	1,40	0,55	5,55
Final do transecto								
0-9	5,5	11	0,09	0,60	3,75	1,85	0,00	10,37
9-18	5,7	4	0,99	0,06	4,00	2,00	0,10	5,91

Tabela 9 – Características químicas das amostras de solo do transecto III

Posição	Parâmetros químicos							
	pH	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺² + Mg ⁺²	Ca ⁺²	Al ⁺³	C. org
Prof. (cm)	(água – 1:2,5) (mg/dm ³) ----- (cmol _c /dm ³) ----- g.kg ⁻¹							
Topo								
0-9	6,20	32	0,02	0,14	3,50	1,30	0,05	10,98
9-18	5,70	17	0,02	0,09	2,45	1,25	0,10	10,43
Meia encosta								
0-9	5,30	15	0,02	0,11	2,40	0,70	0,10	10,13
9-18	4,90	9	0,03	0,11	2,20	0,55	0,20	13,45
Final do declive								
0-9	5,90	106	0,03	0,15	3,30	1,60	0,10	8,02
9-18	4,90	25	0,03	0,09	3,60	1,55	0,25	5,67
Final do transecto								
0-9	5,4	24	0,10	0,21	4,65	1,60	0,10	3,98
9-18	5,2	10	0,07	0,13	2,90	0,95	0,25	6,21

No tocante à correlação entre o teor de C no solo e a atividade do ¹³⁷Cs, ao contrário de resultados verificados em outros trabalhos (MABIT & BERNARD, 1998; DU & WALLING, NAKAMARU et al., 2011), nesta pesquisa a correlação entre ¹³⁷Cs, carbono orgânico e fósforo não foi verificada. O programa estatístico utilizado foi o Assistat (SILVA e AZEVEDO, 2016).

O ¹³⁷Cs, por suas características químicas, apresenta forte capacidade de agregação às partículas de argila do solo (TAMURA, 1964), o que contribuiu para o uso do ¹³⁷Cs como marcador, sendo utilizado para estimar a erosão a partir dos movimentos das partículas de argila e sua relação com outras propriedades químicas do solo (POREBA, 2006; NI & ZHANG, 2007). No caso desta pesquisa, a premissa não foi confirmada, uma vez que as correlações entre o ¹³⁷Cs e as partículas finas do solo (silte + argila) foram muito baixas, não evidenciando a ligação entre o isótopo, o fósforo e a matéria orgânica, conforme as tabelas 10, 11, 12 e 13, adiante.

Quanto ao estoque de ¹³⁷Cs constatado na área de estudo, em alguns pontos dos transectos lançados, os valores encontrados estão superiores aos obtidos em outras regiões do semiárido por Antunes et al. (2010), Santos (2004), Fraga & Salcedo (2004) e Sakai (1978), e próximos daqueles registrados por Andrello et al. (2003), Bacchi et al. (2000) e Guimarães (1998), nas regiões Sul e Sudeste do país.

Os resultados obtidos neste trabalho diferiram daqueles alcançados em outros estudos, sobretudo no tocante ao estoque de ¹³⁷Cs, dadas as condições da área pesquisada em relação ao tipo de solo e às condições climáticas. No tocante ao estoque do radionuclídeo, os valores

obtidos foram superiores quando comparados com outras pesquisas mencionadas acima, principalmente, considerando o tipo de solo predominante na área de pesquisa.

Uma das premissas para utilizar a técnica do ^{137}Cs é a capacidade demonstrada pelo radionuclídeo de se agregar às partículas de argila do solo. A classe textural predominante dos solos utilizados neste trabalho foi areia franca. Não foi possível identificar qual a propriedade que contribuiu para a permanência do ^{137}Cs em um tipo de solo com essas características, diferentemente do que registra a literatura.

4.1.1 Comportamento do ^{137}Cs nos pontos de amostragem da Área I

No tocante à Área I, a coleta não foi sequenciada em uma linha reta, como nos demais transectos. Por ser tomada como área de referência, seus pontos de coleta foram aleatórios, pelo propósito que tivemos de assegurar a representatividade do local. A cobertura vegetal era do tipo arbóreo-arbustiva, aparentemente com baixo nível de antropização e sem atividade agrícola por longo período. O relevo da Área I é bastante movimentado, similar ao dos demais transectos.

Nas áreas utilizadas para plantio agrícola com culturas anuais, a movimentação de solo é bastante comum, sobretudo quando a mecanização é empregada para preparo da área. Assim, é natural que haja revolvimento das camadas mais profundas para a parte superior e vice-versa. Essa movimentação, supostamente, favorece o deslocamento do ^{137}Cs para as camadas mais profundas. Com isso, aumenta a possibilidade de termos a presença do radionuclídeo também nas camadas mais profundas.

Nas regiões em que as áreas com cobertura florestal mantiveram-se conservadas desde o período do *fallout*, há uma tendência de que o ^{137}Cs permaneça nas primeiras camadas, uma vez que suas características químicas o levam a se agregar com mais intensidade às partículas de argila do solo. Entretanto, essa tendência não ocorreu nos pontos de amostragem da Área I, inclusive com diferenças significativas entre os estoques obtidos nas trincheiras. Não há elementos suficientes para identificar as razões dessas discrepâncias, porém algumas suposições podem ser estabelecidas.

Uma das possíveis razões que pode ter contribuído para essas diferenças está relacionada com o tipo de solo predominante na área, do tipo arenoso, com poucas partículas de argila e baixos teores de matéria orgânica, não favorecendo a agregação do isótopo. Uma segunda possibilidade pode estar relacionada com o tipo uso da terra. Embora as informações

referentes à Área I sejam de que ela estaria preservada há mais de 40 anos, não pode ser descartada a suposição de que, após a ocorrência do *fallout*, a área tenha sido submetida a movimentação de solo para fins agrícolas ou para outros usos. Essa utilização poderia ter levado ao revolvimento do solo e à conseqüente perda das características originais por ocasião do *fallout*.

Nessa área também não foram constatadas correlações entre o ^{137}Cs e o carbono orgânico e nem entre o ^{137}Cs e o fósforo (Tabela 10). Os resultados encontrados podem ser justificados em razão dos baixos níveis de fertilidade dos solos, bem como pelo fato de os solos serem arenosos. A única correlação significativa obtida foi entre o carbono orgânico e o fósforo, mas sem relevância para este trabalho.

Tabela 10 – Correlação entre ^{137}Cs , carbono orgânico e fósforo na Área I

Correlação	Coefficiente corrigido (r)	Significância
^{137}Cs x carbono orgânico	0,2947	ns
^{137}Cs x fósforo	0,2097	ns
Carbono orgânico x fósforo	0,8486	**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns - não significativo ($p \geq .05$)

Entre os pontos de amostragem da Área I, a maior variação encontrada foi entre Trincheira 1 (284 Bq m^{-2}) e Trincheira 2 (166 Bq m^{-2}). Essa variação entre pontos de amostragem localizados na mesma área foi encontrada em Andrello et al. (2003). É válido salientar que os pontos de amostragem são definidos mediante avaliação das condições locais, evitando-se que estejam na direção da linha de escoamento superficial das águas de chuva, nas bordas da área de coleta, próximos a clareiras na mata e em zonas com sinais de passagem frequente de animais e pessoas, dentre outros.

As razões que levam a essas diferenças entre pontos situados no mesmo sítio e sob as mesmas condições ambientais ainda não foram encontradas, embora não se constituam em obstáculo para o estabelecimento de inventários de ^{137}Cs em áreas de mata nativa.

4.1.2 Comportamento do ^{137}Cs no transecto I

Como resultado do uso agrícola da terra e da própria movimentação de solo associada, em certa medida o valor do estoque do topo deveria ser mais baixo, pois, por estar situada na parte superior do declive, supostamente é uma área de exportação de solo e tende a sofrer

maior influência do escoamento superficial da chuva. O estoque de ^{137}Cs encontrado no topo foi de 317 Bq m^{-2} , que pode ser considerado alto, considerando a posição e o tipo de uso.

O estoque de ^{137}Cs na meia encosta 1 foi de 388 Bq m^{-2} , o maior estoque no transecto e na área, superior ao do topo, com uma diferença de 73 Bq m^{-2} . Essa diferença pode ser compreendida como resultado da transferência de solo de uma posição superior para outra. Na meia encosta a inclinação é suavizada por uma área relativamente plana, o que, tudo indica, atuando como um terraço, serviu de depósito para o solo carreado do ponto anterior.

Os dois pontos, meia encosta 2 e final do transecto, apresentaram os estoques mais baixos do transecto em análise: 131 Bq m^{-2} e 232 Bq m^{-2} , respectivamente. A princípio, a posição na toposequência deveria favorecer a condição de “depósito” de solo originário de pontos localizados acima. Porém, o efeito “terraço” constatado no ponto meia encosta pode ter contribuído, em certa medida, para atenuar a movimentação de solo para os dois pontos: final de declive e final do transecto.

Na transecto I foi encontrada boa correlação entre o ^{137}Cs e o carbono orgânico, porém o mesmo não ocorreu entre o ^{137}Cs e o fósforo (Tabela 11). A correlação entre ^{137}Cs e carbono orgânico está compatível com os resultados de Mabit & Bernard (1998).

Tabela 11 – Correlação entre ^{137}Cs , carbono orgânico e fósforo no Transecto I

Correlação	Coefficiente corrigido (r)	Significância
^{137}Cs x carbono orgânico	0,8786	**
^{137}Cs x fósforo	0,5554	ns
Carbono orgânico x fósforo	0,8047	**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns - não significativo ($p \geq .05$)

Além da posição no declive, outro aspecto que pode ter contribuído para as menores atividades na parte final da toposequência é a baixa transferência de solo das partes mais altas para as inferiores em razão do baixo nível de precipitação. Além disso, após a colheita, a área entra em pousio e a vegetação herbácea cobre o solo, diminuindo a vulnerabilidade aos efeitos da chuva para a erosão hídrica.

No tocante à atividade do ^{137}Cs no final do transecto, os valores estão correspondendo àqueles dos demais transectos, com algumas variações.

4.1.3 Comportamento do ^{137}Cs no transecto II

O estoque de ^{137}Cs na região de topo no T-II foi de 197 Bq m⁻², o menor dos quatro transectos. Comparando-se com o maior estoque, obtido no transecto III, a diferença entre ambos foi de 126 Bq m⁻². O maior estoque de ^{137}Cs no transecto II alcançou 231 Bq m⁻², na posição meia encosta 1, e o menor foi de 197 Bq m⁻², na posição topo. A diferença entre o maior e menor estoque foi de 34 Bq m⁻². O transecto II foi o que apresentou a menor variação no estoque de ^{137}Cs entre os quatro pontos.

É possível que essa baixa variação esteja relacionada com a presença de pedra nas camadas inferiores e a cobertura vegetal formada pela palma e por herbáceas nativas, que, naturalmente, formam uma barreira de retenção das partículas de solo. Esses fatores podem contribuir para a redução da movimentação do solo pelo escoamento superficial decorrente das chuvas, retendo, conseqüentemente, o ^{137}Cs .

O ponto de coleta meia encosta 2 apresentou estoque de ^{137}Cs no valor de 231 Bq m⁻², sendo a maior atividade no transecto, seguida do ponto final do transecto, que atingiu o valor de 222 Bq m⁻². Os dois últimos pontos apresentaram os maiores estoques de ^{137}Cs no transecto, o que, teoricamente, reforça a possibilidade de serem zonas receptoras de solo.

Na Transecto II não foram constatadas correlações entre o ^{137}Cs e o carbono orgânico e nem entre o ^{137}Cs e o fósforo (Tabela 12). Esses resultados podem ser justificados em razão dos baixos níveis de fertilidade dos solos da área pesquisada, bem como pelo fato de os solos serem arenosos e não contarem com cobertura vegetal significativa.

Tabela 12 – Correlação entre ^{137}Cs , carbono orgânico e fósforo no Transecto II

Correlação	Coefficiente corrigido (r)	Significância
^{137}Cs x carbono orgânico	0,5125	ns
^{137}Cs x fósforo	0,6015	ns
Carbono orgânico x fósforo	0,3826	ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns - não significativo ($p \geq .05$)

4.1.4 Comportamento do ^{137}Cs no transecto III

O transecto III foi o que apresentou maior estoque de ^{137}Cs , cujo valor na posição topo alcançou 323 Bq m⁻². Pela posição da área de coleta, esse resultado não é o mais comum, uma vez que, normalmente, a parte superior do transecto é considerada como área exportadora de solo, supostamente, com menor estoque.

O estoque de ^{137}Cs na posição da meia encosta 1 do transecto foi de 223 Bq m^{-2} . Comparando-se essa posição com as equivalentes dos demais transectos, obtivemos o segundo valor, com uma diferença de 165 Bq m^{-2} em relação à do transecto I. Aparentemente, não há razão para essa diferença. Porém, um aspecto que pode ser considerado é o fato de que a posição de meia encosta 1 estava inserida em uma área que ficou em pousio, por aproximadamente 10 anos, permitindo que houvesse recomposição da cobertura vegetal. Não há evidência de que as movimentações ocorridas na posição do topo tenham apresentado alguma repercussão na meia encosta 1.

Em relação à posição meia encosta 2 do transecto III, comparando-a com as correspondentes dos demais transectos, esse segmento apresentou estoque de ^{137}Cs de 144 Bq m^{-2} , a terceira menor atividade na posição. Esse valor indica que não houve deposição de solo da posição anterior.

Quanto à posição final do transecto, o estoque de ^{137}Cs foi de 161 Bq m^{-2} , superior ao da posição anterior. Embora seja superior, a diferença de 17 Bq m^{-2} não deve ser caracterizada como deposição de solo. Essa conclusão deve-se não somente ao pequeno valor da diferença entre as posições, mas também ao fato de que a própria área de coleta ficou em pousio por quase dez anos. Dessa forma, por falta de dados mais consistentes, seria prematuro afirmar que esse comportamento é resultante de deposição de solo.

Na transecto III não foram constatadas correlações entre o ^{137}Cs e o carbono orgânico e nem entre o ^{137}Cs e o fósforo (Tabela 13). Esses resultados podem ser justificados em razão dos baixos níveis de fertilidade dos solos da área pesquisada, bem como pelo fato de os solos serem arenosos.

Tabela 13 – Correlação entre ^{137}Cs , carbono orgânico e fósforo no Transecto III

Correlação	Coefficiente corrigido (r)	Significância
^{137}Cs x carbono orgânico	0,4367	ns
^{137}Cs x fósforo	0,3390	ns
Carbono orgânico x fósforo	-0,1189	ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns - não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 14 – Estoque de ^{137}Cs (Bq m^{-2}) por camada e posição nos transectos

Camada (cm)	Área I	Transecto I	Transecto II	Transecto III
	Posição			
	Trincheira I		Topo	
0-3	32	60	40	78
3-6	35	97	33	72
6-9	56	85	33	65
9-12	49	31	37	64
12-15	55	42	31	30
15-18	57	0	22	14
Estoque	284	315	197	323
	Trincheira II		Meia encosta 1	
0-3	31	80	40	44
3-6	45	85	44	44
6-9	49	88	36	53
9-12	19	67	48	62
12-15	22	35	15	19
15-18	0	33	0	0
Estoque	166	388	183	223
	Trincheira III		Meia encosta 2	
0-3	19	20	38	64
3-6	49	29	48	9
6-9	46	17	41	73
9-12	60	30	52	0
12-15	26	19	16	0
15-18	54	17	35	0
Estoque	254	131	231	146
	Trincheira IV		Final do transecto	
0-3	23	25	46	40
3-6	61	57	40	37
6-9	41	45	49	18
9-12	72	58	43	0
12-15	18	18	19	0
15-18	0	30	23	66
Estoque	215	233	222	161

Os resultados consolidados na tabela 14 revelam um estoque muito elevado para uma região que está localizada no semiárido, cuja precipitação está na faixa de 700 mm.ano^{-1} , o que seria um fator limitante na deposição do ^{137}Cs . Os estoques relatados nesta pesquisa estão próximos dos 306 Bq m^{-2} constatados por Guimarães (1988), na região Sudeste do Brasil ou dos 292 Bq m^{-2} encontrados por Andrello et al. (2003) no estado do Paraná. É importante salientar que são áreas em que os níveis de precipitação anual estão acima dos 1.300 mm , o que favorece a maior deposição do ^{137}Cs .

Para a região do semiárido, com precipitação variando de 700 a 1.000 mm anuais, Sakai (1977) encontrou estoque de 57 Bq m^{-2} . Fraga & Salcedo (2004), em trabalho realizado no semiárido paraibano, obtiveram estoque de ^{137}Cs 118 Bq m^{-2} . Antunes et al. (2010), em levantamento realizado no estado de Pernambuco, constataram estoque de 95 Bq m^{-2} , no município de Sertânia, situado no Sertão Pernambucano. Outros dois valores relatados pelos autores estão fora das condições específicas de semiárido.

Neste trabalho não foi possível detectar a razão de os estoques de ^{137}Cs ficarem em níveis tão altos, considerando a classe textural do solo como areia franca e o fato de os níveis de precipitação se situarem no patamar de 700 mm. São aspectos que merecem maior investigação, pois os resultados obtidos não se alinham às premissas da técnica.

4.2 Resultados dos índices de propensão e de ocorrência da desertificação

4.2.1 Índice de propensão à desertificação

4.2.1.1 Subíndice de cobertura vegetal

A avaliação da ocupação é feita pela comparação entre a menor e a maior área, a partir dos valores sistematizados (Tabelas 15 e 16). A área ocupada com lavoura temporária nos municípios da área piloto variou de 4 a 26% em 1995, e de 3 a 33% em 2006 (Censo Agropecuário 1995; 2006).

Em relação à lavoura permanente, o percentual das áreas ocupadas ficou sempre abaixo de 1% em todos os municípios do Núcleo de Desertificação no levantamento correspondente a 1995, e em torno de 1% em 2006. A exceção coube a Petrolina, que em 1995 apresentou índice de área ocupada com lavoura permanente próximo de 10% e em 2006 esse valor subiu para 12% da área total. O incremento verificado pode ser interpretado como aumento das áreas destinadas à agricultura irrigada, principalmente com culturas de ciclo longo.

A variação da área ocupada com pastagem natural foi de 5 a 68%, em 1995. Dos nove municípios, apenas Itacuruba e Parnamirim apresentaram, respectivamente, 68 e 33%, enquanto os demais ficaram abaixo de 20% da área total. Para o ano de 2006, a área de pastagem natural variou de 15 a 67%. Os municípios de Itacuruba, Salgueiro e Petrolina foram os dois que apresentaram valores mais altos nesse indicador: 67, 32 e 28%, respectivamente. Os demais ficaram abaixo dos 25% da área total.

No tocante à pastagem plantada, a área ocupada variou de 1 a 26% em 1995, e de 1 a 18% em 2006. Porém, a partir da análise dos valores referentes à soma das áreas ocupadas com lavoura temporária, lavoura permanente, pastagens nativa e plantada, constata-se uma alteração relativa na ocupação do solo comparando-se os anos 1995 e 2006. Nessa avaliação foi considerada a relação rebanho/área de pastagem, com o propósito de analisar a capacidade de suporte da área e a renovação de parte da lavoura permanente a cada ano equivalente a 1/4 da área destinada a esse fim.

Em 1995, em três municípios a soma das áreas ficou abaixo de $1/3$, 5 ficaram enquadrados na faixa entre $1/3$ e $2/3$, e um acima de $2/3$ da área total. Para o ano de 2006, apenas um município ficou abaixo de $1/3$ e oito se situaram entre $1/3$ e $2/3$ da área total ocupada.

Merece destaque o crescimento relativo da área com cobertura temporária, proporcionalmente, à área total, apresentado por Araripina, Belém do São Francisco, Petrolina e Salgueiro. Os dados apresentam uma variação entre os municípios, porém, a despeito das diferenças, esse comportamento pode ser interpretado como expansão das áreas destinadas às atividades agropecuárias (Tabela 16).

Seguindo a metodologia, que considera as áreas ocupadas com lavouras temporária e permanente e pastagens nativa e plantada como área descoberta, a classificação do Núcleo no tocante à cobertura vegetal é nível 2.

Tabela 15 – Área de cobertura vegetal com total de rebanho e capacidade de suporte – ano 1995

Regiões	Área total (A)	Área total com cobertura temporária ¹ (B)	Lavoura temporária (C)	Lavoura permanente (D)	Pastagem natural (E)	Pastagem plantada (F)	Total (bovino + caprino) (G)	Capacidade de suporte (H)	Uso agrícola ² (%)	Cobertura de vegetação nativa ³ (%)
Brasil	353.611.238	213.838.706	34.252.828	7.541.625	78.048.463	99.652.009	162.636.895	0,92	60	40
Nordeste	78.296.088	40.434.606	7.695.893	2.649.494	19.976.700	12.099.639	24.426.857	0,76	52	48
Pernambuco	5.580.734	3.265.803	1.102.133	130.670	1.430.686	700.316	1.516.713	0,71	59	41
Sertão Pernambucano	2.245.869	1.039.847	302.467	14.937	489.189	244.457	355.529	0,48	46	54
São Fco. Pernambucano	852.240	377.837	94.574	17.061	222.247	56.751	229.925	0,82	44	56
Afrânio	57.030	27.412	9.580	32	2.920	14.904	13.750	0,77	48	52
Araripina	97.760	42.370	25.629	319	11.484	5.177	13.281	0,80	43	57
Belém do S. Francisco	55.749	14.243	5.598	343	8.123	436	19.475	2,28	26	74
Cabrobó	46.496	15.663	4.942	202	8.913	1.757	18.175	1,70	34	66
Itacuruba	8.257	6.428	715	14	5.580	129	3.885	0,68	78	22
Ouricuri	147.700	70.904	23.122	49	27.983	19.787	18.492	0,39	48	52
Parnamirim	124.645	58.787	6.099	34	40.660	12.019	26.750	0,51	47	53
Petrolina	121.665	30.481	13.541	11.849	9.129	4.849	27.500	1,97	25	75
Salgueiro	90.522	24.663	3.484	101	17.090	4.064	12.550	0,59	27	73

Fonte: IBGE – Censo Agropecuário, 2006

(1) Área com cobertura temporária (lavoura permanente + lavoura temporária + pastagem natural + pastagem plantada); (2) Área com cobertura temporária/área total;

(3) Vegetação nativa

Tabela 16 – Área de cobertura vegetal com total de rebanho e capacidade de suporte – ano 2006

Regiões	Área total (A)	Área total com cobertura temporária ¹ (B)	Lavoura temporária (C)	Lavoura permanente (D)	Pastagem natural (E)	Pastagem plantada (F)	Total (bovino + caprino) (G)	Capacidade de suporte (H)	Área com uso agrícola ² (%)	Área com cobertura de vegetação nativa ³ (%)
Brasil	329.941.393	209.791.206	48.134.283	11.612.227	67.159.382	91.594.484	207.186.425	1,31	64	46
Nordeste	75.594.442	43.053.968	11.636.336	3.512.112	18.244.339	12.295.265	29.082.950	0,95	57	43
Pernambuco	5.434.070	3.511.660	1.482.906	213.551	1.428.857	546.509	2.305.915	1,17	65	35
Sertão Pernambucano	2.002.416	1.094.205	345.957	26.311	532.168	209.502	678.941	0,92	55	45
São Fco. Pernambucano	862.514	383.825	98.482	37.675	215.897	60.027	249.856	0,91	45	55
Afrânio	94.037	43.305	11.250	5.809	13.951	16.652	20.628	0,67	46	54
Araripina	96.015	56.274	31.403	402	19.968	4.802	26.658	1,08	59	41
Belém do S. Francisco	34.286	13.595	4.957	657	8.050	424	14.939	1,76	40	74
Cabrobó	65.928	19.577	6.142	523	10.551	2.753	16.780	1,26	30	66
Itacuruba	11.744	8.244	362	114	7.853	0	4.135	0,00	70	22
Ouricuri	112.757	55.492	21.060	1.110	20.184	13.970	45.810	1,34	49	52
Parnamirim	134.193	42.283	5.643	1.870	24.719	11.453	29.005	0,80	32	53
Petrolina	147.649	63.859	12.261	17.726	41.817	5.349	36.863	0,78	43	5
Salgueiro	75.053	33.729	5.292	868	23.741	4.479	21.548	0,76	45	54

Fonte: IBGE – Censo Agropecuário, 2006

(1) Área com cobertura temporária (lavoura permanente + lavoura temporária + pastagem natural + pastagem plantada); (2) Área com cobertura temporária/área total;

(3) Vegetação nativa

4.2.1.2 Subíndice de propensão à degradação ambiental

O subíndice propensão à degradação ambiental tem na degradação do solo (fertilidade, erosão, salinização, compactação e encrostamento) e da água (salinização, poluição ou contaminação) os principais aspectos na avaliação da degradação ambiental. A ausência de dados em séries históricas que possam subsidiar os indicadores é um entrave para mensurar a situação atual de cada um deles, limitando, fortemente, qualquer avaliação na escala temporal.

A forma de obtenção dos indicadores de degradação do solo é variada, assim como alguns deles podem apresentar reduzida oscilação ao longo dos anos e pesos diferentes, de acordo com as características regionais e com o uso da terra.

Em relação à água, há legislação federal que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes para seu enquadramento, inclusive em relação às condições e padrões de lançamento de efluentes. No entanto, para a região semiárida, os mecanismos de controle previstos nessa resolução não poderiam ser aplicados, haja vista que a rede hidrográfica da área piloto, exceto o Rio São Francisco, é intermitente. O monitoramento da água ficaria limitado aos reservatórios disponíveis na região.

Na área piloto ocorrem variações entre os municípios quanto aos tipos e suas áreas de ocorrência (ARAÚJO FILHO et al., 2000). As classes de maior predominância são os Latossolos, Argissolos, Luvisolos, Planossolos e Neossolos. O potencial de erosão pode ser estimado a partir das características de cada tipo de solo.

Embora a fertilidade seja um parâmetro importante para avaliar o nível de conservação do solo, ela pode ser alterada, negativamente, ao longo dos anos pelo uso intensivo, sem os cuidados com a conservação, ou, positivamente, com a adoção de práticas agrícolas conservacionistas. Assim, para que a fertilidade seja usada como parâmetro de degradação, é preciso fazer uma avaliação de longo prazo, inclusive determinando-se as características químicas do solo que serão utilizadas como referência para comparação. Nesse sentido, a fertilidade não foi adotada neste trabalho como indicador de degradação.

Em relação à degradação do solo, a erosão é o indicador mais crítico. Trata-se, no entanto, de um processo lento, porém, de extremo significado para as áreas afetadas, uma vez que, em estágio avançado, tem caráter irreversível e compromete a capacidade produtiva dessas áreas. Assim, o monitoramento das áreas com erosão é uma medida relevante para acompanhar o processo e evitar sua expansão, limitando, desse modo, os graves prejuízos decorrentes.

O levantamento realizado por Leprun (1983) pode ser considerado como uma boa referência para avaliar os riscos de erosão para a região Nordeste, pois considera os fatores

topografia, erodibilidade e erosividade das chuvas. É importante ressaltar que a dimensão da escala dos mapas de risco limita a identificação do potencial de erosão no âmbito dos municípios.

O monitoramento das áreas com erosão pode ser feito a partir da simples avaliação visual, *in loco*, ou com o emprego de técnicas de sensoriamento remoto. Em ambas as situações, há necessidade de recursos humanos e materiais para viabilizar a avaliação de modo sistemático. A primeira requer mobilização de equipe para identificar e avaliar as áreas com ocorrência de erosão, assim como aquelas suscetíveis. No caso do uso do sensoriamento, além de corpo técnico qualificado, há necessidade de laboratório dotado de infraestrutura e acervo de imagens de satélite atualizadas para dar suporte à avaliação das áreas com erosão severa, assim como para monitorar a cobertura vegetal.

Outro aspecto relacionado à degradação do solo é a salinização, que pode ser consequência da adoção ou não da irrigação, da qualidade da água existente no município e do tipo de solo predominante.

Destacam-se pela presença de irrigação os municípios de Petrolina, Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba. Em termos relativos, a área ocupada com irrigação nesses municípios responde, respectivamente, por 13%, 7%, 6% e 4% da área total dos estabelecimentos agropecuários. A maior proporção de ocupação de área com irrigação é nas unidades com até 50 ha, alcançando, aproximadamente, 86% das unidades agrícolas nesse perfil. Nas demais faixas, o percentual de áreas ocupadas com irrigação alcança valores próximos de 5% da área das unidades agropecuárias.

As zonas semiáridas, por sua condição natural, apresentam significativa vulnerabilidade à ocorrência do processo de desertificação. Esse risco é aumentado quando às características naturais estão associados outros aspectos relacionados aos tipos de uso do solo, dentre eles a exposição prolongada do solo sem cobertura vegetal e a adoção da irrigação.

No conjunto de municípios que formam o Núcleo, a área ocupada com irrigação situa-se em torno de 4% da área total. Mesmo sendo um valor relativamente baixo, a presença da irrigação pode ser considerada como um fator que contribui para elevar o risco de degradação do solo, pela salinização, e, conseqüentemente, aumentar a possibilidade de ocorrência da desertificação.

Diante da relevância da agricultura irrigada na região e por esta ser executada de forma constante, eleva-se o nível de risco da salinização. Porém, não há base de dados que quantifique a área com ocorrência de salinização. Assim, será adotado o critério estabelecido na metodologia de que nos últimos 10 anos o aumento da área com problemas de salinização

esteve no patamar entre 2 e 10%. Dessa forma, o nível de classificação do risco de salinização foi estabelecido em 2.

As variáveis compactação e encrostamento têm interferência direta no desenvolvimento das plantas. Ambas estão ligadas às técnicas de preparo do solo e estão relacionadas com os tipos de solos predominantes nas regiões sob análise. A compactação tem relação com o uso da mecanização na agricultura e o encrostamento, com a ausência de cobertura vegetal no solo.

De acordo com a metodologia proposta, os dois indicadores devem apresentar peso moderado na composição do subíndice. No tocante à compactação, o risco é moderado, pois o nível de mecanização agrícola na área é relativamente baixo, restringindo-se às unidades agrícolas de maior porte. No tocante ao encrostamento, sua ocorrência está associada à falta de cobertura vegetal por períodos prolongados, aspecto que não é predominante no Núcleo, ficando limitado a ocorrências localizadas.

O número de tratores no conjunto dos municípios que compõem o Núcleo de Desertificação (Censo Agropecuário, 2006) é de 1.295 unidades, correspondendo a um trator para 596 ha de área total das unidades agrícolas, o que indica baixo grau de mecanização da atividade agrícola. Dessa forma, o risco de compactação do solo pela mecanização fica bastante reduzido, não contribuindo significativamente para a degradação dos solos e, conseqüentemente, para a ocorrência da desertificação. Desse modo, de acordo com a proporção de mecanização e a reduzida ocorrência de áreas sem cobertura florestal em grandes extensões por períodos prolongados, o subíndice alcança o nível 1.

Na degradação da água, a salinização está associada à disponibilidade de reservatórios na área analisada. Os indicadores estão relacionados à dimensão física das bacias de captação, ao volume de água armazenável, à área superficial dos reservatórios, à pluviosidade, à evaporação potencial e à salinidade dos cursos de água que alimentam esses reservatórios. Como estão situados em uma região com baixo nível de precipitação e a possibilidade de que ocorra sangramento, anualmente, é mínima, tem-se alto risco de ocorrência de salinização das águas. Na tabela 16 são apresentados os principais reservatórios localizados nos municípios do Núcleo de Desertificação e suas respectivas capacidades de armazenamento.

Tabela 17 – Distribuição de reservatórios nos municípios do Núcleo de Desertificação

Nome	Capacidade (m ³)	Localização
Pau Branco	3.315.774	Afrânio
Cajarana	1.300.000	Afrânio
Araripina	3.702.200	Araripina
Algodões	54.481.872	Ouricuri
Eng. Camacho	27.664.500	Ouricuri
Entremontes	339.333.700	Parnamirim
Chapéu	188.000.000	Parnamirim
Abóboras	14.360.000	Parnamirim
Urubu	2.033.780	Salgueiro
Boa Vista	16.448.450	Salgueiro
Salgueiro	14.698.200	Salgueiro
Terra Nova	1.220.625	Petrolina
Santa Terezinha	7.152.875	Petrolina
Pau Ferro	2.068.937	Petrolina

Fonte: Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC site: <www.apac.pe.gov.br/monitoramento>

Há dois aspectos que deixam a área vulnerável à desertificação: presença de áreas irrigadas e número significativo de açudes. Nas duas situações, a vulnerabilidade ao risco de salinização é significativa e, conseqüentemente, de degradação dos recursos em questão. Nesse sentido, o nível do subíndice de salinização pode ser estabelecido como 2.

No tocante à poluição e à contaminação das águas, a avaliação é realizada a partir do conjunto de indicadores sugeridos na metodologia proposta por Sampaio et al. (2003): tamanho da população urbana; tipos e porte das indústrias presentes; presença e tipo de tratamento de esgoto; destinação final do lixo; ocorrência e porte de mineração; número de propriedades que utilizam defensivos agrícolas e adubação química.

Em relação à contaminação das águas, a principal fonte de poluição passa a ser a ausência de infraestrutura de saneamento básico. Nesse caso, o subíndice foi classificado como nível 2.

A classificação do Núcleo em relação à condição ambiental foi feita a partir dos valores atribuídos a cada indicador de cobertura vegetal e de degradação ambiental. A composição do subíndice de cobertura vegetal e de degradação ambiental foi realizada a partir desses valores (Tabela 18).

Tabela 18 - Classificação da condição ambiental

Subíndices	Indicadores	Classificação por indicador	Classificação final dos subíndices
Cobertura vegetal	Relação área de cobertura vegetal ¹ /área total	2	2
Degradação ambiental	Degradação do solo	2,2,1	2
	• Erosão	2	
	• Salinização	2	
	• Compactação e encrostamento	1	
	Degradação da água	2	
	• Contaminação por ausência de esgotamento sanitário	2	

1 Área de cobertura vegetal: soma das áreas de lavoura permanente e temporária + pastagem plantada e natural.
Fonte: O autor.

4.2.1.3 Subíndice de agricultura

A atividade agrícola é um parâmetro importante para avaliar a capacidade de produção de uma determinada região, sobretudo no caso específico de zonas vulneráveis à desertificação, assim como o grau de comprometimento da capacidade produtiva ao longo dos anos. Na composição do subíndice de agricultura, os indicadores adotados foram os seguintes: produção de culturas agrícolas temporárias e produção de leite. Os valores relativos à produção agropecuária estão sistematizados nas Tabelas (19 a 26).

Durante o período de 1990 a 2014, a média de produção das culturas agrícolas temporárias manteve comportamento regular no tocante à produtividade. Em comparação com a produtividade nacional, os valores dos municípios do Núcleo apresentam oscilação, ora inferior, ora superior, conforme a atividade. A mesma lógica vale quando essa comparação é realizada com as microrregiões. As variações para baixo podem ser justificadas em razão das condições naturais do semiárido, sujeitas à irregularidade na distribuição das chuvas ao longo do ano e à ocorrência de períodos prolongados de seca.

O ano de 2014 apresentou queda significativa na produção das lavouras temporárias quando comparado com os demais anos, provavelmente por causa do ciclo de seca iniciado em 2011-2012. Em algumas situações houve comprometimento total da safra, o que pode ser caracterizado como decorrência de aspectos climáticos e não como resultado da degradação ambiental que, supostamente, estaria comprometendo a capacidade produtiva.

Tabela 19 - Vacas ordenhadas e produção de leite (em mil litros) nos anos 1990, 1995, 2000

Regiões	Vacas ordenhadas (A)	Produção de leite B	B/A	Vacas ordenhadas (C)	Produção de leite (D)	D/C	Vacas ordenhadas (E)	Produção de leite (F)	F/E
	1990			1995			2000		
Brasil	19.072.907	14.484.414	0,76	20.579.211	16.474.365	0,80	17.885.019	19.767.206	1,11
Nordeste	3.798.359	2.045.268	0,54	3.453.373	1.886.614	0,55	3.413.365	2.159.230	0,63
Pernambuco	395.016	312.522	0,79	277.203	212.709	0,77	321.216	292.130	0,91
Sertão Pernambucano	97.015	51.193	0,53	74.938	39.874	0,53	94.360	59.181	0,63
São Francisco Pernambucano	19.950	7.475	0,37	18.570	9.874	0,53	22.081	11.826	0,54
Afrânio	1.700	731	0,43	1.900	969	0,51	2.100	1.066	0,51
Araripina	3.827	1.791	0,47	1.915	689	0,36	3.211	2.312	0,72
Belém do São Francisco	6.920	2.803	0,41	450	135	0,30	6.468	3.870	0,60
Cabrobó	3.600	1.850	0,51	4.100	2.583	0,63	5.000	3.123	0,62
Itacuruba	210	50	0,24	100	30	0,30	150	69	0,46
Ouricuri	6.920	2.803	0,41	2.884	1.038	0,36	6.468	3.870	0,60
Parnamirim	5.150	3.250	0,63	4.250	2.027	0,48	6.600	3.560	0,54
Petrolina	4.000	1.860	0,47	3.550	2.556	0,72	6.000	3.240	0,54
Salgueiro	5.150	3.250	0,63	5.700	2.924	0,51	6.600	3.560	0,54

Fonte: IBGE – Pesquisa Pecuária Municipal.

Tabela 20 - Vacas ordenhadas e produção de leite (em mil litros) nos anos 2006, 2009, 2011 e 2014

Regiões	Vacas ordenhadas (A)	Produção de leite B	B/A	Vacas ordenhadas (C)	Produção de leite (D)	D/C	Vacas ordenhadas (E)	Produção de leite (F)	F/E	Vacas ordenhadas (G)	Produção de leite (H)	H/G
	2006			2009			2011			2014		
Brasil	20.942.812	25.398.219	1,21	22.435.289	29.105.495	1,30	23.229.193	32.096.214	1,38	22.954.537	34.255.236	1,49
Nordeste	4.166.968	3.198.039	0,77	4.794.239	3.813.455	0,80	4.927.425	4.109.527	0,83	4.633.952	3.598.249	0,78
Pernambuco	463.147	630.348	1,36	566.563	788.250	1,39	619.919	953.230	1,54	411.969	561.829	1,36
Sertão Pernambucano	122.545	100.902	0,82	185.466	169.469	0,91	181.359	204.284	1,13	104.574	100.451	0,96
São Francisco Pernambucano	31.745	20.209	0,64	35.300	23.416	0,66	36.495	24.259	0,66	22.432	13.143	0,59
Afrânio	3.160	1.967	0,62	3.680	2.444	0,66	4.160	3.056	0,73	5.450	2.943	0,54
Araripina	3.900	2.340	0,60	5.200	3.500	0,67	4.600	2.484	0,54	2.500	2.250	0,90
Belém do São Francisco	1.320	924	0,70	2.500	2.250	0,90	2.780	2.002	0,72	1.730	1.038	0,60
Cabrobó	3.000	2.160	0,72	4.000	2.880	0,72	4.770	3.434	0,72	2.300	1.610	0,70
Itacuruba	370	170	0,46	500	450	0,90	562	506	0,90	450	405	0,90
Ouricuri	6.500	3.869	0,60	15.000	9.000	0,60	15.200	9.120	0,60	9.047	4.886	0,54
Parnamirim	4.000	2.160	0,54	8.000	7.000	0,88	5.100	6.430	1,26	8.500	7.650	0,90
Petrolina	4.660	2.442	0,52	5.850	3.211	0,55	5.500	3.264	0,59	7.850	4.239	0,54
Salgueiro	3.800	1.813	0,48	4.800	6.056	1,26	9.260	8.334	0,90	3.950	3.555	0,90

Fonte: IBGE – Pesquisa Pecuária Municipal

Tabela 21 - Produção de feijão (em t ha⁻¹) nos anos 1990, 1995 e 2000

Regiões	Área plantada (ha) A	Quantidade produzida B	B/A	Área plantada (ha) C	Quantidade produzida D	D/C	Área plantada (ha) E	Quantidade produzida F	F/E
	1990			1995			2000		
Brasil	5.304.267	2.234.467	0,42	5.366.321	2.946.168	0,55	4.441.431	3.056.289	0,69
Nordeste	2.471.346	580.037	0,23	2.786.033	1.028.799	0,37	2.431.089	1.132.213	0,47
Pernambuco	258.144	69.885	0,27	388.193	151.324	0,39	320.401	103.841	0,32
Sertão Pernambucano	96.412	9.565	0,10	189.898	59.806	0,31	169.811	37.576	0,22
São Francisco Pernambucano	17.004	11.172	0,66	26.660	19.096	0,72	28.380	18.194	0,64
Afrânio	769	5	0,01	2.000	630	0,32	3.100	2.170	0,70
Araripina	11.290	854	0,08	8.000	2.880	0,36	10.400	2.128	0,20
Belém do São Francisco	410	324	0,79	1.550	1.884	1,22	800	640	0,80
Cabrobó	2.500	2.815	1,13	2.000	2.200	1,10	780	596	0,76
Itacuruba	0	0	0,00	70	52	0,74	300	72	0,24
Ouricuri	12.050	1.445	0,12	20.100	4.528	0,23	12.000	2.000	0,17
Parnamirim	1.250	376	0,30	2.600	870	0,33	1.560	796	0,51
Petrolina	8.780	5.760	0,66	7.100	5.630	0,79	5.800	4.360	0,75
Salgueiro	1.125	31	0,03	2.015	412	0,20	1.270	639	0,50

Fonte: IBGE – Pesquisa Agrícola Municipal

Tabela 22 – Produção de feijão (em t ha⁻¹) nos anos 2006, 2009, 2011 e 2014

Regiões	Área plantada (ha)	Quantidade produzida	B/A	Área plantada (ha)	Quantidade produzida	D/C	Área plantada (ha)	Quantidade produzida	F/E	Área plantada (ha)	Quantidade produzida	F/E
	A	B		C	D		E	F		E	F	
	2006			2009			2011			2014		
Brasil	4.243.474	3.457.752	0,81	4.022.660	3.085.671	0,77	3.907.926	3.435.366	0,88	3.401.466	3.294.586	0,97
Nordeste	2.348.447	1.045.238	0,45	2.318.580	844.527	0,36	2.136.027	818.484	0,38	1.736.867	674.666	0,39
Pernambuco	312.562	125.113	0,40	343.791	129.965	0,38	320.460	107.418	0,34	229.343	52.787	0,23
Sertão Pernambucano	166.635	47.111	0,28	179.982	44.822	0,25	167.675	31.388	0,19	116.965	16.937	0,14
São Fco. Pernambucano	18.535	7.447	0,40	23.569	8.709	0,37	22.495	5.261	0,23	12.890	810	0,06
Afrânio	2.200	528	0,24	2.500	650	0,26	2.000	520	0,26	3.000	30	0,01
Araripina	12.010	2.043	0,17	15.000	4.680	0,31	15.000	1.760	0,12	8.985	1.222	0,14
Belém do São Francisco	440	232	0,53	750	435	0,58	560	104	0,19	30	48	1,60
Cabrobó	1.025	656	0,64	1.320	492	0,37	800	150	0,19	100	0	0,00
Itacuruba	320	260	0,81	450	132	0,29	720	134	0,19	0	0	0,00
Ouricuri	8.000	480	0,06	12.500	2.400	0,19	12.000	1.200	0,10	10.000	410	0,04
Parnamirim	1.200	480	0,40	1.120	808	0,72	1.300	520	0,40	70	0	0,00
Petrolina	3.300	963	0,29	4.500	1.536	0,34	3.500	1.050	0,30	0	0	0,00
Salgueiro	1.210	340	0,28	1.210	849	0,70	1.000	400	0,40	30	0	0,00

Fonte: IBGE – Pesquisa Agrícola Municipal

Tabela 23 - Produção de mandioca (em t ha⁻¹) nos anos 1990, 1995 e 2000

Regiões	Área plantada A	Quantidade produzida B	B/A	Área plantada C	Quantidade produzida D	D/C	Área plantada E	Quantidade produzida F	F/E
	1990			1995			2000		
Brasil	1.975.643	24.322.133	12,31	2.010.471	25.422.959	12,65	1.736.680	23.044.190	13,27
Nordeste	1.132.225	11.832.690	10,45	1.062.103	10.946.619	10,31	755.354	8.011.573	10,61
Pernambuco	120.434	1.131.122	9,39	89.804	874.769	9,74	44.588	377.757	8,47
Sertão Pernambucano	24.199	216.414	8,94	14.265	128.005	8,97	10.310	103.315	10,02
São Francisco Pernambucano	3.039	26.447	8,70	3.743	35.035	9,36	1.135	8.960	7,89
Afrânio	144	1.152	8,00	115	920	8,00	80	800	10,00
Araripina	10.000	100.000	10,00	4.500	40.500	9,00	4.000	44.000	11,00
Belém do São Francisco	10	90	9,00	10	90	9,00	180	1.800	10,00
Cabrobó	20	160	8,00	20	200	10,00	0	0	0,00
Itacuruba	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
Ouricuri	1.320	9.240	7,00	800	7.200	9,00	200	2.000	10,00
Parnamirim	40	320	8,00	30	240	8,00	30	300	10,00
Petrolina	200	1.400	7,00	250	2.500	10,00	250	1.000	4,00
Salgueiro	20	160	8,00	40	320	8,00	10	110	11,00

Fonte: IBGE – Pesquisa Agrícola Municipal

Tabela 24 - Produção de mandioca (em t ha⁻¹) nos anos 2006, 2009, 2011 e 2014

Regiões	Área plantada	Quantidade produzida	B/A	Área plantada	Quantidade produzida	D/C	Área plantada	Quantidade produzida	F/E	Área plantada	Quantidade produzida	H/G
	A	B		C	D		E	F		G	H	
	2006			2009			2011			2014		
Brasil	1.974.419	26.639.013	13,49	1.796.966	24.403.981	13,58	1.757.734	23.044.557	13,11	1.592.287	23.242.064	14,60
Nordeste	954.050	9.614.526	10,08	819.069	8.178.392	9,98	746.028	6.019.471	8,07	597.308	5.668.126	9,49
Pernambuco	59.246	660.451	11,15	59.498	655.919	11,02	53.520	341.901	6,39	36.511	302.361	8,28
Sertão Pernambucano	18.911	198.035	10,47	20.645	217.358	10,53	9.579	22.975	2,40	11.729	83.728	7,14
S. Pernambucano	1.500	15.850	10,57	1.245	13.340	10,71	1.910	8.878	4,65	1.323	9.543	7,21
Afrânio	10	100	10,00	25	300	12,00	50	500	10,00	0,00	0,00	0,00
Araripina	6.500	78.000	12,00	7.000	84.000	12,00	3.000	9.000	3,00	4.279	34.635	8,09
B. do São Francisco	.50	500	10,00	30	240	8,00	45	360	8,00	0	0	0,00
Cabrobó	40	400	10,00	0	0	0,00	40	280	7,00	10	0	0,00
Itacuruba	0	0	0,00	0	0	0,00	3	21	7,00	5	0	0,00
Ouricuri	300	2.700	9,00	300	3.000	10,00	350	3.500	10,00	650	3.650	5,62
Parnamirim	60	600	10,00	60	600	10,00	50	450	9,00	0	0	0,00
Petrolina	300	3.600	12,00	380	4.560	12,00	420	4.200	10,00	300	2.250	7,50
Salgueiro	20	200	10,00	30	300	10,00	5	40	8,00			

Fonte: IBGE – Pesquisa Agrícola Municipal

Tabela 25 - Produção de milho (em t ha⁻¹) nos anos 1990, 1995 e 2000

Regiões	Área plantada	Quantidade produzida	B/A	Área plantada	Quantidade produzida	D/C	Área plantada	Quantidade produzida	F/E
	A	B		C	D		E	F	
	1990			1995			2000		
Brasil	12.023.771	21.347.774	1,78	14.182.486	36.266.951	2,56	12.648.005	32.321.000	2,56
Nordeste	2.662.580	648.582	0,24	3.209.857	2.437.783	0,76	2.614.003	2.948.801	1,13
Pernambuco	240.031	79.376	0,33	353.765	196.142	0,55	299.676	139.729	0,47
Sertão Pernambucano	96.878	16.920	0,17	191.500	115.710	0,60	178.590	79.458	0,44
São Francisco Pernambucano	8.148	1.466	0,18	16.800	8.684	0,52	24.855	19.068	0,77
Afrânio	2.200	70	0,03	2.200	660	0,30	3.100	2.480	0,80
Araripina	9.000	2.826	0,31	8.000	4.200	0,53	8.000	3.360	0,42
Belém do São Francisco	50	8	0,16	350	150	0,43	200	4	0,02
Cabrobó	500	40	0,08	800	560	0,70	600	480	0,80
Itacuruba	0	0	0,00	20	7	0,35	100	8	0,08
Ouricuri	11.000	2.640	0,24	23.200	8.352	0,36	16.000	7.000	0,44
Parnamirim	1.530	450	0,29	2.800	1.400	0,50	2.000	1.400	0,70
Petrolina	2.858	1.100	0,38	3.500	2.100	0,60	5.200	3.120	0,60
Salgueiro	1.300	18	0,01	2.200	660	0,30	1.200	600	0,50

Fonte: IBGE – Pesquisa Agrícola Municipal

Tabela 26 - Produção de milho (em t ha⁻¹) nos anos 2006, 2009, 2011 e 2014

Regiões	Área plantada	Quantidade produzida	B/A	Área plantada	Quantidade produzida	D/C	Área plantada	Quantidade produzida	F/E	Área plantada	Quantidade produzida	H/G
	A	B		C	D		E	F		G	H	
	2006			2009			2011			2014		
Brasil	12.997.372	42.661.677	3,28	14.144.321	50.719.822	3,59	13.605.369	55.660.235	4,09	15.841.921	79.877.714	5,04
Nordeste	2.868.118	3.167.819	1,10	3.126.736	4.799.396	1,53	3.014.954	5.038.990	1,67	2.819.861	6.693.954	2,37
Pernambuco	285.608	195.573	0,68	308.937	193.059	0,62	296.665	124.028	0,42	215.407	53.074	0,25
Sertão Pernambucano	183.320	144.115	0,79	190.350	118.957	0,62	187.095	70.437	0,38	131.490	28.311	0,22
São Fco. Pernambucano	15.450	5.906	0,38	20.070	14.623	0,73	24.060	7.418	0,31	13.520	547	0,04
Afrânio	2.300	448	0,19	2.500	1.325	0,53	3.000	1.080	0,36	4.000	12	0,00
Araripina	14.000	9.000	0,64	15.000	9.450	0,63	13.000	3.150	0,24	8.000	760	0,10
Belém do São Francisco	300	72	0,24	350	84	0,24	495	99	0,20	0	0	0,00
Cabrobó	600	315	0,53	800	4.200	5,25	800	320	0,40	100	0	0,00
Itacuruba	100	80	0,80	250	175	0,70	650	100	0,15	20	0	0,00
Ouricuri	12.000	240	0,02	13.000	4.160	0,32	13.000	1.850	0,14	12.000	413	0,03
Parnamirim	1.200	480	0,40	1.200	960	0,80	1.500	900	0,60	40	0	0,00
Petrolina	3.000	617	0,21	4.500	2.700	0,60	4.200	1.344	0,32	0	0	0,00
Salgueiro	120	29	0,24	1.100	880	0,80	1.000	300	0,30	30	0	0,00

Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal

Os dados apontam que a análise da atividade agrícola deve ir além da avaliação da produtividade ao longo dos anos. Os valores sistematizados mostram que não houve alteração significativa na produtividade durante o período avaliado, indicando também que não houve comprometimento da capacidade produtiva dos solos.

Porém, seguindo os critérios da metodologia utilizada nesta pesquisa, os municípios do Núcleo possuem produtividade menor do que a nacional, e, em alguns casos, inferior à regional. De acordo com os dados referentes ao ano de 1995, a taxa de ocupação das terras com a cobertura vegetal temporária (lavouras + pastagens) variou de 26% a 78% e a capacidade de suporte variou de 0,39 animais ha⁻¹ a 2,28 animais ha⁻¹ (Tabela 15). Para o ano de 2006, esses valores oscilaram de 30% a 71% para a cobertura vegetal e de 0,67 animais ha⁻¹ a 1,76 animais ha⁻¹ (Tabela 16). Nesse contexto, considerando a vulnerabilidade da área, a classificação do subíndice de produção agrícola é Nível 2 e a de leite, por não ser uma atividade com forte impacto na degradação ambiental, é Nível 1. A classificação final do subíndice é Nível 2.

4.2.1.4 Subíndice econômico

A avaliação de aspectos econômicos como parte da análise da propensão ou da ocorrência da desertificação é uma etapa importante, pois incorpora outros aspectos, não se restringindo apenas àqueles de caráter ambiental. Os indicadores foram: rendimento médio nominal; participação percentual das rendas provenientes de transferências governamentais na renda total do município; Produto Interno Bruto municipal.

O rendimento médio nominal dos municípios do Núcleo (IBGE) nos anos de 2000 e 2010 se enquadra no patamar sugerido pela metodologia proposta por Sampaio et al. (2003), de renda *per capita* acima da média regional. O município de Afrânio apresentou a menor renda *per capita*, correspondendo a, aproximadamente, 57% da renda média do Brasil, 75% da renda do Nordeste e 73% da renda de Pernambuco. Dos integrantes do Núcleo de Desertificação, Petrolina é o de maior renda, pois sua atividade agrícola é fortemente impulsionada pela agricultura irrigada.

Os municípios de Afrânio e Petrolina estão situados nos extremos quanto ao rendimento médio nominal (Tabela 27). Em valores de 2010, a renda *per capita* média do

primeiro município foi de R\$ 447,45 e a do segundo foi de R\$ 651,86, dentro da referência sugerida por Sampaio et al. (2003) (Nível 1).

Em linhas gerais, a renda cresceu nos municípios do Núcleo, porém em diferentes proporções. De acordo com os dados sistematizados, em 2000, o menor valor correspondeu ao equivalente a 1,1 salário mínimo e o maior correspondeu a 1,6 salário mínimo. Para 2010, o menor valor foi equivalente a 0,8 salário mínimo e o maior foi equivalente a 1,3 salário mínimo vigente. Os números demonstram que não houve variações discrepantes que sinalizassem um aumento das diferenças regionais e entre os próprios municípios do núcleo (Tabela 27). A renda deve ser classificada como Nível 1.

Tabela 27 - Rendimento médio nominal em 2000 e 2010

Região	Valor de referência (R\$)	Rendimento nominal médio - Ano 2000	Relação com o valor de referência	Valor de referência (R\$)	Rendimento nominal médio - Ano 2010	Relação com o valor de referência
Brasil	151,00	280,37	1,9	510,00	786,67	1,5
Nordeste		206,41	1,4		592,86	1,1
Pernambuco		225,52	1,5		614,86	1,1
Sertão Pernambucano		179,64	1,2		510,09	0,9
São Francisco Pernambucano		218,25	1,4		576,18	1,1
Afrânio		173,26	1,1		447,45	0,9
Araripina		194,62	1,3		483,03	0,9
Belém do São Francisco		202,97	1,3		500,96	0,9
Cabrobó		181,26	1,2		447,47	0,8
Itacuruba		199,92	1,3		475,43	0,9
Ouricuri		181,23	1,2		520,47	1,0
Parnamirim		174,35	1,2		505,24	0,9
Petrolina		247,13	1,6		651,86	1,3
Salgueiro		209,01	1,4		610,09	1,2

Fonte: IBGE Censo Demográfico, 2010

A participação percentual das rendas provenientes de transferências governamentais na renda total do município foi crescente em todos eles, com variação entre os municípios. No ano de 1991, o menor valor foi 7,1% para Petrolina e o maior foi de 11,7% para Parnamirim. Em 2000, o menor valor continuou com Petrolina, no patamar de 12%, e o maior valor continuou com Parnamirim, alcançando cerca de 24%. Mesmo que os valores tenham aumentado relativamente, eles demonstram que o município ainda conta com outras receitas que não apenas as transferências governamentais (Tabela 28) (Nível 1).

Em relação ao Produto Interno Bruto municipal, os valores relativos aos municípios do Sertão Pernambucano e do Sertão São Francisco Pernambucano

mantiveram-se relativamente constantes nos três períodos avaliados (1970, 1996 e 2010), seja no âmbito da microrregião, seja em relação ao percentual de participação na mesorregião.

As oscilações não foram significativas, a ponto de serem consideradas graves e de representarem sério comprometimento da renda e da atividade econômica. O dado que mais chamou atenção foi a queda das participações relativas dos municípios de Belém do São Francisco, Itacuruba e Cabrobó nos anos de 1970, 1996 e 2010 (Tabelas 29 e 30). Esse declínio pode estar relacionado com a redução da produção da cebola na região.

Tabela 28 - Participação percentual das rendas provenientes de transferências governamentais na renda total do município

Municípios	Ano		Evolução 2000-2011 B/A
	1991 (A)	2000 (B)	
Afrânio	10,3	23,6	129,46%
Araripina	9,6	15,1	57,31%
Belém do São Francisco	11,4	18,3	60,14%
Cabrobó	9,2	16,6	80,52%
Itacuruba	9,4	21,4	128,10%
Ouricuri	10,9	20,8	91,27%
Parnamirim	11,7	24,6	109,86%
Petrolina	7,1	12,0	68,22%
Salgueiro	12,2	23,6	94,16%

Fonte: IPEA – IPEADATA – <www.ipea.gov.br>

Tabela 29 – Participação dos municípios no PIB a preços constantes – Anos 1970, 1996 e 2010

Municípios / Participação relativa	PIB a preços constantes do município			Participação no PIB a preços constantes da microrregião geográfica			Participação no PIB a preços constantes da mesorregião geográfica		
	1970	1996	2010	1970	1996	2010	1970	1996	2010
<i>Sertão Pernambucano</i>	-	-	-	-	-	-	400.811	1.004.615	2.405.915
Araripina	-	-	-	111.767	238.023	681.596	-	-	-
Araripina	31.501	82.750	184.585	28%	35%	27%	7,86%	8,24%	7,67%
Ouricuri	28.185	48.260	137.859	25%	20%	20%	7,03%	4,80%	5,73%
Salgueiro	-	-	-	63.305	171.440	410.556	-	-	-
Parnamirim	7.226	20.630	46.182	11%	12%	11%	2%	2%	2%
Salgueiro	30.008	82.383	198.775	47%	48%	48%	7%	8%	8%
<i>São Fco. Pernambucano</i>	-	-	-	-	-	-	176.637	844.165	2.464.320
Itaparica	-	-	-	46.081	121.744	590.315	-	-	-
Belém do São Francisco	12.690	29.064	46.682	28%	24%	8%	3%	3%	2%
Itacuruba	1.766	4.008	12.323	4%	1%	1%	0,4%	0,4%	0,5%
Petrolina	-	-	-	130.557	722.421	1.874.004	--	-	-
Afrânio	5.744	11.067	35.933	4%	2%	2%	1%	1%	1%
Cabrobó	16.432	25.207	83.387	13%	3%	4%	4%	3%	3%
Petrolina	83.037	570.959	1.405.152	64%	79%	75%	21%	57%	58%

Fonte: IPEA – IPEADATA – <www.ipea.gov.br>

Tabela 30 – Participação dos municípios no PIB a preços constantes – Anos 1970, 1996 e 2010 – cont.

Municípios	PIB a preços constantes do município			Participação no PIB a preços constantes da unidade da federação			Participação no PIB a preços constantes da região geográfica		
	1970	1996	2010	1970	1996	2010	1970	1996	2010
Nordeste	-	-	-	-	-	-	68.586.511	315.330.593	507.501.607
Pernambuco	-	-	-	17.111.124	59.904.875	95.186.714	-	-	-
Araripina									
Araripina	31.501	82.750	184.585	0,18%	0,14%	0,19%	0,05%	0,03%	0,04%
Ouricuri	28.185	48.260	137.859	0,16%	0,08%	0,14%	0,04%	0,02%	0,03%
Salgueiro									
Parnamirim	7.226	20.630	46.182	0,04%	0,03%	0,05%	0,01%	0,01%	0,01%
Salgueiro	30.008	82.383	198.775	0,18%	0,14%	0,21%	0,04%	0,03%	0,04%
Itaparica									
Belém do São Francisco	12.690	29.064	46.682	0,07%	0,05%	0,05%	0,02%	0,01%	0,01%
Itacuruba	1.766	4.008	12.323	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
Petrolina									
Afrânio	5.744	11.067	35.933	0,03%	0,02%	0,04%	0,01%	0,00%	0,01%
Cabrobó	16.432	25.207	83.387	0,10%	0,04%	0,09%	0,02%	0,01%	0,02%
Petrolina	83.037	570.959	1.405.152	0,49%	0,95%	1,48%	0,12%	0,18%	0,28%

Fonte: IPEA – IPEADATA – <www.ipea.gov.br>

O subíndice economia foi composto a partir dos indicadores rendimento médio nominal, participação percentual das rendas provenientes de transferências governamentais na renda total do município e participação no PIB micro e mesorregional e no estado de Pernambuco (Tabela 31).

Mesmo que a dimensão econômica não seja decisiva para a ocorrência da desertificação, é importante que ela seja avaliada, pois revela o grau de atividade econômica existente nas áreas suscetíveis à desertificação ou de ocorrência, seja pela produção rural ou pela perspectiva de iniciativas geradoras de emprego e renda.

Tabela 31 – Resumo do subíndice economia

Subíndice Economia		
Indicadores	Classificação dos indicadores	Classificação final
Rendimento Médio Nominal	1	1
Participação percentual das rendas provenientes de transferências governamentais na renda total do município	1	
Participação no PIB micro e mesorregional e no estado de PE	1	

A atividade rural no semiárido pode ser considerada como uma das principais fontes de renda da população, porém os resultados alcançados estão sujeitos às condições climáticas. Nesse sentido, as transferências de renda, seja por aposentadorias, políticas compensatórias para redução da pobreza ou outros mecanismos, exercem importante papel na redução da vulnerabilidade a situações extremas, contribuindo, em parte, para a estabilidade social e econômica da população nas áreas vulneráveis à desertificação.

Seguindo a metodologia de avaliação da propensão e de ocorrência da desertificação, a renda média nominal dos municípios variou de 1,1 a 1,6 salário mínimo, ficando acima de 70% dos valores das mesorregiões Sertão Pernambucano e São Francisco Pernambucano. Do mesmo modo, os indicadores participação percentual das rendas provenientes de transferências governamentais, renda nominal e o PIB demonstraram que não houve sinais de deterioração da economia do Núcleo dentro do período avaliado. Os valores variaram de forma homogênea, o que pode ser interpretado como estabilidade. De acordo com a metodologia, a classificação é Nível 1.

4.2.1.5 Subíndice social

Na dimensão social, os indicadores utilizados foram: índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice probabilidade de vida até os 60 anos. O índice de desenvolvimento humano é reconhecido internacionalmente e recomendado em documentos oficiais que tratam da desertificação. Os últimos dados de IDHM para as unidades federadas e municípios disponíveis em bases oficiais do Brasil são do ano 2010.

Conforme dados coletados no sítio cidades.ibge.gov.br, em 1991, o IDHM dos municípios do Núcleo de Desertificação variava de 0,501 (Ouricuri) a 0,668 (Petrolina) e, no ano de 2010, esses valores passaram a ser de 0,572 (Ouricuri) a 0,747 (Petrolina) (Tabela 32).

A mortalidade infantil apresentou queda contínua nos municípios do Núcleo. Em 1970, coube a Araripina o maior índice de mortalidade infantil, 220 por mil nascidos vivos e, no ano 2000, este foi reduzido para 46,14 por mil nascidos vivos, registrando queda de 79% (Tabela 33).

Um aspecto positivo no tocante à mortalidade infantil foi sua redução em todos os municípios do Núcleo. Os dados disponíveis no intervalo de 1970-2000 apontam uma variação de 65% a 79% entre os municípios, refletem a melhoria da qualidade de vida e sinalizam que os municípios estão elevando seus patamares sociais.

A disponibilidade dos dados é bastante limitada e, diante desse aspecto, não foi possível realizar uma avaliação comparativa entre a evolução dos municípios do Núcleo de Desertificação e aquela ocorrida no âmbito do estado de Pernambuco e da região Nordeste. Há um aspecto limitante para essa comparação: no tocante aos índices de mortalidade infantil, os dados do intervalo de 1970-2000 estão restritos aos municípios, enquanto para as regiões o período é de 1970-1980. Nesse mesmo índice, não há dados para os estados (Nível 1).

Em relação ao índice probabilidade de vida até os 60 anos, os dados estão disponíveis apenas para estados e municípios, no período de 1991-2000 (Tabela 34). As mesorregiões não estão contempladas. Como o índice de mortalidade infantil e o de probabilidade de vida até os 60 anos estão com sua disponibilidade em períodos e área geográfica diferentes, as análises ficarão restritas aos municípios do Núcleo, mesmo que sejam diferentes os períodos observados.

Conforme os dados disponíveis, dos municípios que compõem o Núcleo, Ouricuri é o que apresenta os menores valores para o índice, tanto em 1991 quanto no ano de 2000: 60,3 e 67,04, respectivamente. O município de Parnamirim é o que apresenta o índice mais alto nos

dois períodos: 75,23 e 81,63, respectivamente. Para o conjunto do Núcleo de Desertificação, o índice tem apresentado crescimento positivo, embora com variações entre os municípios. Isso significa que os dados apontam para a perspectiva de maior longevidade das pessoas, sendo esse fenômeno comum a todos os municípios. Desse modo, a classificação é Nível 1.

Tabela 32 – Índice de Desenvolvimento Humano por Município – IDHM

Municípios	Ano	
	1991	2010
Afrânio	0,515	0,588
Araripina	0,531	0,602
Belém do São Francisco	0,577	0,642
Cabrobó	0,572	0,623
Itacuruba	0,620	0,595
Ouricuri	0,501	0,572
Parnamirim	0,556	0,599
Petrolina	0,668	0,697
Salgueiro	0,613	0,669

Fonte: IPEA – IPEADATA – www.ipea.gov.br

Tabela 33 - Situação da mortalidade infantil entre os anos de 1970-2000 (por mil nascidos vivos)

Municípios	Ano				Índice de redução
	1970	1980	1991	2000	
Afrânio	164,63	96,55	51,54	43,61	-74%
Araripina	220,33	168,79	71,47	46,14	-79%
Belém de São Francisco	114,88	104,01	50,00	40,09	-65%
Cabrobó	137,69	120,72	53,07	37,64	-73%
Itacurubá	127,99	101,42	44,67	42,79	-67%
Ouricuri	198,76	191,67	81,71	70,39	-65%
Parnamirim	124,41	105,69	42,15	33,49	-73%
Petrolina	147,01	127,74	51,42	35,89	-76%
Salgueiro	148,63	98,95	58,46	38,44	-74%

Fonte: IPEA – IPEADATA – www.ipea.gov.br

Tabela 34 – Índice de probabilidade de vida até os 60 anos

Região	1991	2000	Índice de crescimento da expectativa de vida
Brasil	70,93	77,63	9%
Alagoas	60,74	68,77	13%
Bahia	62,80	70,74	13%
Ceará	67,63	77,52	15%
Maranhão	59,97	65,91	10%
Paraíba	62,25	68,38	10%
Pernambuco	66,34	75,31	14%
Piauí	65,57	70,35	7%
Rio Grande do Norte	65,25	75,64	16%
Sergipe	62,13	69,93	13%
Afrânio	71,09	77,15	9%
Araripina	63,46	76,09	20%
B. do São Francisco	71,75	78,66	10%
Cabrobó	70,46	79,74	13%
Itacurubá	74,08	77,50	5%
Ouricuri	60,03	67,04	12%
Parnamirim	75,23	81,63	9%
Petrolina	71,14	80,53	13%
Salgueiro	68,28	79,39	16%

Fonte: IPEA – IPEADATA – www.ipea.gov.br

Os dados preliminares do Censo Demográfico 2010 apontam que a relação população urbana x população rural nos municípios varia bastante entre os integrantes do Núcleo (Tabela 35). O município que apresenta a menor população rural é Itacuruba, com 15%, enquanto Afrânio é o que tem maior população rural, correspondendo a 67% da população total do município. Em seguida vem Salgueiro, que apresenta um percentual correspondente a 19% para a população rural.

A distribuição da população é um indicador importante, pois permite dimensionar o nível de urbanização dos municípios. Naqueles em que o contingente da população é maior na zona rural, presume-se que há tendência a uma maior pressão sobre os recursos naturais, principalmente a vegetação e o solo. A metodologia sugerida por Sampaio et al. (2003) utiliza a distribuição da população como um aspecto para a construção do subíndice.

Ouricuri, Afrânio e Parnamirim são os municípios do Núcleo de Desertificação que apresentam o maior contingente de população rural em relação à urbana, sendo que nos dois últimos a rural é superior e no primeiro a população urbana é ligeiramente superior (51% x 49%). Nos demais municípios, a distribuição da população nos municípios do Núcleo segue o mesmo padrão verificado nas mesorregiões Sertão Pernambucano e São Francisco Pernambucano.

Dos nove municípios que integram o Núcleo, apenas três têm população rural superior a 40% do total (Tabela 35). Os índices de população urbana x população rural, IDH, mortalidade infantil e probabilidade de vida até os 60 anos seguem a tendência do Brasil,

melhorando os níveis ao longo dos anos. Assim, o subíndice social pode ser classificado como Nível 1.

Tabela 35 - Distribuição da população entre as áreas urbana e rural – Ano 2010

Região	População total A	População urbana B	B/A	População rural C	C/A
Brasil	190.755.799	160.925.792	84%	29.830.007	16%
Nordeste	53.081.950	38.821.246	73%	14.260.704	27%
Pernambuco	8.796.448	7.052.210	80%	1.744.238	20%
Sertão Pernambucano	996.830	590.850	59%	405.980	41%
São Francisco Pernambucano	578.203	362.941	63%	215.262	37%
Agreste Pernambucano	2.217.600	1.526.963	69%	690.637	31%
Afrânio	17.586	5.861	61%	11.725	39%
Araripina	77.302	46.908	62%	30.394	38%
Belém do São Francisco	20.253	12.582	64%	7.671	36%
Cabrobó	30.873	19.798	85%	11.075	15%
Itacuruba	4.369	3.708	51%	661	49%
Ouricuri	64.358	32.596	41%	31.762	59%
Parnamirim	20.224	8.377	41%	11.847	59%
Petrolina	293.962	219.215	75%	74.747	25%
Salgueiro	56.629	45.713	81%	10.916	19%

Fonte: IBGE – Censo Demográfico, 2010

A sistematização dos indicadores está consolidada na tabela 36, cujo Índice de Propensão à Desertificação foi 2,2,2,1,1, ficando a classificação como Nível 2 – Moderado, em razão dos valores dos subíndices de cobertura vegetal e de degradação ambiental.

Tabela 36 – Sistematização do Índice de Propensão à Desertificação

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,2,1,1
Degradação ambiental	2,2,1,2	2	
Agricultura	2,1	2	
Econômico	1,1,1	1	
Social	1,1	1	

4.2.2 Índice de ocorrência da desertificação

Como foi mencionado, os indicadores de cobertura vegetal e degradação ambiental foram agregados ao índice de desertificação, passando este a ser representado por um único indicador, o de degradação ambiental, o qual, por sua vez, será composto por cobertura vegetal, fertilidade do solo, erosão, salinização e compactação e encrostamento. De acordo com os dados obtidos para propensão, o nível seria classificado como 2.

Agricultura: os valores sistematizados evidenciaram que não houve perdas em relação à produtividade que apontassem para uma redução da capacidade produtiva dos solos da área analisada (classificação: Nível 2).

Aspectos econômicos: os dados de renda municipal, de transferência governamental, da renda *per capita* e do PIB dos municípios do Núcleo apresentaram-se estáveis e demonstraram que a economia apresenta relativa evolução, porém com dependência em relação à agricultura, que, por sua vez, fica na dependência dos aspectos climáticos (classificação: Nível 1).

Aspectos sociais: os indicadores sociais para o Núcleo apresentam evolução e estão acompanhando a evolução apresentada pelo estado de Pernambuco e pelo Brasil. No tocante ao IDH, está abaixo da média regional e do estado, e o contingente da população no conjunto está próximo de 40% da população municipal, sendo que alguns municípios superam esse percentual (Nível 1). Resultado final: 2, 2, 1, 1 (Tabela 37).

Conforme o índice obtido, seguindo a metodologia proposta por Sampaio et al. (2003), o Núcleo de Desertificação não está enquadrado na ocorrência de desertificação, porém tem risco moderado de vulnerabilidade à desertificação.

Nesse sentido, é pertinente que sejam adotadas ações para melhorar o manejo dos solos e evitar a exposição prolongada, seja na etapa de preparo ou pela simples retirada da cobertura vegetal. Desenvolver programas de monitoramento dos pontos críticos que aumentam a propensão à desertificação, principalmente naquelas áreas que apresentam erosão ou sinais de degradação acentuada e práticas agrícolas degradadoras. No tocante aos aspectos sociais, ampliar os programas que impactam no IDH e melhorar a infraestrutura de saneamento das comunidades rurais e dos municípios.

Tabela 37 – Sistematização do Índice de Ocorrência da Desertificação

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Degradação ambiental	2,2,1,2	2	2,2,1,1
Agricultura	2,1	2	
Econômico	1,1,1	1	
Social	1,1	1	

4.3 Resultado do índice de propensão para os municípios

Os valores atribuídos para obtenção do índice de propensão para o município seguiram os mesmos critérios de avaliação usados no índice geral. Os dados referentes à área dos estabelecimentos agropecuários por utilização de terras são referentes ao ano de 2006. Há variações entre eles, conforme as particularidades existentes nos indicadores.

4.3.1 Índice de propensão para o município de Afrânio

Tabela 38 - Índice de Propensão à Desertificação para Afrânio

Subíndices	Composição dos indicadores	Nível de classificação do subíndice	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,2,2,1
Degradação ambiental	2,2,1,2	2	
Agricultura	2,1	2	
Econômico	1,1,2	2	
Social	1,1	1	

Cobertura vegetal: o município tem 16% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 49% do total. A relação animal/área de pastagem foi de 0,77, o que significa que não está havendo sobrepastejo (Tabela 16). Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: pelos estudos de Leprun (1983), o município pode ser considerando como tendo risco de erosão de fraco a médio; risco de salinização dos solos; compactação e encrostamento; e degradação da água pela contaminação pela ausência de esgotamento sanitário. Resultado: Nível 2.

Agricultura: A produtividade agrícola está compatível com a média regional, porém bastante abaixo dos valores nacionais (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26). Embora os dados tenham apontado que a situação é estável, a vulnerabilidade do município à desertificação é relevante. Resultado: Nível 2.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa, o município de Afrânio apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a participação no PIB micro e mesorregional segue no mesmo patamar, durante o período avaliado (Tabelas 27, 28, 29 e 30). Mesmo que o aspecto econômico não seja determinante na propensão ou ocorrência da desertificação, a participação pouco expressiva do município de Afrânio no PIB da microrregião evidencia sua fragilidade. Resultado: Nível 2.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência (Tabelas 32, 33 e 34). O IDHM de Afrânio em 1991 era 0,515 e passou 0,588 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi 74%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 71,09, em 1991 para 78,66, em 2000. Resultado: Nível 2.

Resultado do Índice de Propensão: 2, 2, 2, 2, 1. É classificado como moderado, porém com maior risco à desertificação.

4.3.2 Índice de propensão para o município de Araripina

Tabela 39 - Índice de Propensão à Desertificação para Araripina

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,1,2,1
Degradação ambiental	2,1,1,2	2	
Agricultura	1,1	1	
Econômico	2,1,1	2	
Social	1,1	1	

Cobertura vegetal: o município tem 33% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 26% do total. A relação animal/área de pastagem foi de 0,80, o que significa que não está havendo sobrepastejo (Tabela 16). Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: município enquadrado como tendo risco de erosão de fraco a médio, pelos estudos de Leprun (1983); risco de salinização dos solos; compactação e encrostamento; e degradação da água pela contaminação. Resultado: Nível 2.

Agricultura: A produtividade agrícola está compatível com a média regional, porém bastante abaixo dos valores nacionais (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26). A partir desses dados, pôde ser verificado que a agricultura tem relativa importância para o município. Embora os dados tenham apontado que a situação é estável, a vulnerabilidade do município à desertificação é relevante pelas próprias condições naturais. É importante ressaltar que o município tem atividades de mineração, o que potencializa o risco de degradação ambiental. Resultado: Nível 1.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa, o município apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma

tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a participação no PIB micro e mesorregional é bastante significativa, demonstrando a relevância do beneficiamento da gipsita para o município (Tabelas 27, 28, 29 e 30). O município de Araripina se enquadra na condição preconizada pela metodologia proposta por Sampaio et al. (2003), renda *per capita* abaixo da média regional e acima de 70% da mesma, com atividade agropecuária ou extrativa significativa. Embora a agricultura não seja decisiva para a economia de Araripina, a atividade de mineração da gipsita é decisiva para a manutenção da população de Araripina. Resultado: Nível 2.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência (Tabelas 32, 33, 34). O IDHM de Araripina em 1991 era 0,531 e passou para 0,602 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi de 79%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 63,46 em 1991 para 76,09 em 2000. Resultado: Nível 1.

Resultado: 2, 2, 1, 2, 1 – Índice de propensão moderado, com forte risco de degradação ambiental.

4.3.3 Índice de propensão para o município de Belém de São Francisco

Tabela 40 - Índice de Propensão à Desertificação para Belém do São Francisco

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,1,2,1
Degradação ambiental	2,1,2,2	2	
Agricultura	1,1	2	
Econômico	1,1,2	2	
Social	1,1	1	

Cobertura vegetal: o município tem 16% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 24% do total. A relação animal área de pastagem⁻¹ foi de 2,28, superior ao padrão recomendado por Araújo Filho (2013), de 0,8 animal ha⁻¹, indicando sobrepastejo (Tabela 16). Embora a soma dos valores aponte para um quadro de relativa estabilidade, é importante considerar a vulnerabilidade aos riscos de degradação do solo. Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: município enquadrado como de risco de erosão de fraco a médio, pelos estudos de Leprun (1983), porém com potencial de degradação ambiental; apresenta risco de salinização dos solos; compactação e encrostamento; e degradação da água pela contaminação por ausência de esgotamento sanitário. Resultado: Nível 2.

Agricultura: A produtividade agrícola está compatível com a média regional, porém abaixo dos valores nacionais e acima das médias regionais (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26). Os dados mostram que a situação é estável para o padrão regional, não indicando comprometimento da capacidade produtiva dos solos. Resultado: Nível 1.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa o município apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a participação no PIB micro e mesorregional foi bastante significativa, alcançando em 1970, 28% no PIB da microrregião e chegando em 2010 ao valor de 8% (Tabelas 27, 28, 29 e 30). Essa queda foi significativa, evidenciando que a economia do município teve perda de importância microrregional, o que deixa a população vulnerável; provavelmente, esse fenômeno está relacionado com a perda de receita gerada pela produção de cebola. Resultado: Nível 2.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência (Tabelas 32, 33 e 34). O IDHM de Belém do São Francisco em 1991 era 0,577 e passou a 0,642 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi de 65%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 71,75 em 1991 para 78,66 em 2000. Resultado: Nível 1.

Resultado: 2, 2, 1, 2, 1 – Índice de propensão moderado, com risco de degradação ambiental.

4.3.4 Índice de propensão para o município de Cabrobó

Tabela 41 - Índice de Propensão à Desertificação para Cabrobó

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,1,2,1
Degradação ambiental	2,1,2,2	2	
Agricultura	1,1	1	
Econômico	1,1,2	2	
Social	1,1	1	

Cobertura vegetal: o município tem 10% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 20% do total. A relação animal/área de pastagem foi de 1,70, extrapolando a média indicada, o que significa que está havendo sobrepastejo (Tabela 16). Mesmo que a soma dos valores aponte para um quadro de relativa estabilidade, com cerca de 1/3 da área total apresentando cobertura vegetal, é importante considerar a vulnerabilidade aos riscos de degradação do solo, sobretudo porque a vegetação do semiárido é aberta e os solos são frágeis. Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: município enquadrado com risco de erosão de fraco a médio, pelos estudos de Leprun (1983); risco de salinização dos solos; compactação e encrostamento; e degradação da água pela contaminação. Resultado: Nível 2.

Agricultura: A produtividade agrícola demonstrou compatibilidade com a média regional e foi inferior aos valores nacionais (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26). Os dados indicaram que a situação relativa à agricultura é estável, pois a produtividade vem em uma trajetória regular. Embora os dados tenham apontado que a situação na produção agrícola é de estabilidade, a vulnerabilidade do município à desertificação é relevante. Resultado: Nível 1.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa o município apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a participação no PIB micro e mesorregional é bastante significativa até os anos 2010; em 1970 a participação do PIB de Cabrobó no PIB microrregional era correspondente a 13%, descendo para 4% em 2010 (Tabelas 27, 28, 29 e 30). Essa queda foi das mais acentuadas em relação aos demais municípios do Núcleo e, provavelmente, está relacionada, a exemplo de Belém do São Francisco, com a perda de receita gerada pela produção de cebola. Resultado: Nível 2.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência (Tabelas 32, 33 e 34). O IDHM de Cabrobó em 1991 era 0,572 e passou a 0,623 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi 73%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 70,46 em 1991 para 79,74 em 2000. Resultado: Nível 1.

Resultado: 2, 2, 1, 2, 1 – Índice de propensão moderado, com risco de degradação ambiental.

4.3.5 Índice de propensão para o município de Itacuruba

Tabela 42 - Índice de Propensão à Desertificação para Itacuruba

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,2,2,1
Degradação ambiental	2,1,2,2	2	
Agricultura	2,2	2	
Econômico	2,1,2	2	
Social	1,1	1	

Cobertura vegetal: o município tem 4% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 67% do total. A relação animal/área de pastagem foi de 0,68 e corresponde a um patamar aceitável e que está dentro da capacidade de suporte prevista para o semiárido (Tabela 16). No tocante à área destinada a pastagem, o quadro de Itacuruba extrapola o valor médio dos municípios do Núcleo. É importante considerar a vulnerabilidade aos riscos de degradação do solo, sobretudo se levarmos em conta que a vegetação do semiárido é aberta e grande percentual da cobertura do solo é representado por pastagens que em parte do ano ficam secas. Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: município enquadrado com risco de erosão de fraco a médio, pelos estudos de Leprun (1983), porém com risco de degradação ambiental elevado; risco de salinização dos solos; compactação e encrostamento; e degradação da água pela contaminação. Resultado: Nível 2.

Agricultura: A produtividade agrícola demonstrou valores inferiores aos nacionais e aos das micro e mesorregiões (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26). Os dados indicaram que a situação referente à agricultura deixa o município bastante vulnerável, pois a

produtividade vem em uma trajetória regular, porém as áreas exploradas, bem como a produção, são reduzidas. Resultado: Nível 2.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa, o município apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a participação no PIB micro e mesorregional é crítica e vem reduzindo ao longo dos anos; em 1970 a participação do PIB de Itacuruba no PIB microrregional era correspondente a 4%, descendo para 1% em 2010 (Tabelas 27, 28, 29 e 30). Essa queda, provavelmente, está relacionada, à inundação de parte das terras do município para dar lugar ao lago de Itaparica e, também, à mudança da sede do município. Além disso, a perda de receita gerada pela produção de cebola também pode ter contribuído para esse quadro. Resultado: Nível 2.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência. O IDHM de Itacuruba em 1991 era 0,620 e passou para 0,595 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi 67%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 74,08 em 1991 para 77,50 em 2000 (Tabelas 32, 33 e 34). Resultado: Nível 1.

Resultado: 2, 2, 2 2, 1 – Índice de propensão elevado.

4.3.6 Índice de propensão para o município de Ouricuri

Tabela 43 - Índice de Propensão à Desertificação para Ouricuri

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,2,1,1
Degradação ambiental	2,1,1,2	2	
Agricultura	2,1	1	
Econômico	1,1,1	1	
Social	1,1	1	

Fonte: O autor.

Cobertura vegetal: o município tem 20% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 50% do total. A relação animal/área de pastagem foi de 0,39, correspondendo a um valor acima da capacidade de suporte aceitável para o semiárido (Tabela 16). No tocante à

área destinada à pastagem, o quadro de Ouricuri se situa conforme o valor médio dos municípios do Núcleo. É importante considerar a vulnerabilidade aos riscos de degradação do solo, sobretudo considerando que a vegetação do semiárido é aberta. Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: município enquadrado com risco de erosão de fraco a médio, pelos estudos de Leprun (1983), porém com potencial de degradação ambiental elevado; risco de salinização dos solos pela prática da irrigação; compactação e encrostamento com menores riscos, dependendo do tipo de solo predominante nas áreas; e degradação da água pela contaminação. Resultado: Nível 2.

Agricultura: a produtividade agrícola demonstrou valores inferiores aos nacionais e aos das micro e mesorregiões (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26). Os dados indicaram que a situação referente à agricultura deixa o município bastante vulnerável, pois a produtividade vem em uma trajetória regular, porém as áreas exploradas, bem como a produção, são reduzidas. Resultado: Nível 2.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa, o município apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a participação no PIB micro e mesorregional é crítica e vem caindo ao longo dos anos; em 1970 a participação do PIB de Ouricuri no PIB microrregional era correspondente a 25%, descendo para 20% em 2010 (Tabelas 27, 28, 29 e 30). Resultado: Nível 1.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência (Tabelas 32, 33 e 34). O IDHM de Ouricuri em 1991 era 0,501 e passou para 0,572 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi 60,3%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 67,04 em 1991 para 77,50 em 2000. Resultado: Nível 1.

4.3.7 Índice de propensão para o município de Parnamirim

Tabela 44 - Índice de Propensão à Desertificação para Parnamirim

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,1,2,1,1
Degradação ambiental	1,1,1,2	1	
Agricultura	2,1	2	
Econômico	1,1,1	1	
Social	1,1	1	

Cobertura vegetal: o município tem 5% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 27% do total. A relação animal/área de pastagem foi de 0,51, valor abaixo da capacidade de suporte aceitável para o semiárido (Tabela 16). No tocante à área destinada à pastagem, o quadro de Parnamirim está próximo do valor médio dos municípios do Núcleo. É importante considerar a vulnerabilidade aos riscos de degradação do solo, sobretudo considerando que a vegetação do semiárido é aberta e algo próximo de 1/3 da cobertura do solo é representado por pastagens que no período de estiagem tendem a secar. Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: município enquadrado com risco de erosão de fraco a médio, pelos estudos de Leprun (1983); o potencial de degradação ambiental é baixo, pois a área destinada à lavoura representa apenas 5% da área total, o que aponta pequena movimentação de solo e baixo risco de ocorrência de erosão hídrica e de salinização dos solos, pois a atividade agrícola é de pequena intensidade; compactação e encrostamento com menores riscos, dependendo do tipo de solo predominante nas áreas; e degradação da água pela contaminação. Resultado: Nível 1.

Agricultura: a produtividade agrícola demonstrou valores inferiores aos nacionais e aos das micro e mesorregiões (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26). Os dados indicaram que a situação referente à agricultura deixa o município bastante vulnerável, pois a produtividade vem em uma trajetória regular, porém as áreas exploradas, bem como a produção, são reduzidas. O mesmo raciocínio vale para a produção de leite. Resultado: Nível 2.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa, o município apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a

participação no PIB micro e mesorregional é crítica e vem reduzindo ao longo dos anos; a participação do PIB de Parnamirim no PIB microrregional manteve-se no mesmo patamar entre os anos 1970 e 2010 (Tabela 27, 28, 29 e 30). Resultado: Nível 1.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência. O IDHM de Parnamirim em 1991 era 0,556 e passou para 0,599 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi 73%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 75,23 em 1991 para 81,63 em 2000 (Tabelas 32, 33 e 34). Resultado: Nível 1.

4.3.8 Índice de propensão para o município de Petrolina

Tabela 45 - Índice de Propensão à Desertificação para Petrolina

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,1,1,1
Degradação ambiental	2,1,2,1	2	
Agricultura	1,1	1	
Econômico	1,1,1	1	
Social	1,1	1	

Cobertura vegetal: o município tem, aproximadamente, 21% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 32% do total. A relação animal/área de pastagem foi de 1,97, valor acima da capacidade de suporte aceitável para o semiárido (Tabela 16). No tocante à área destinada à pastagem, o quadro de Petrolina está próximo do valor médio dos municípios do Núcleo. É importante considerar a vulnerabilidade aos riscos de degradação do solo, sobretudo pelo fato de que a vegetação do semiárido é rala, a agricultura irrigada tem grande relevância e as pastagens ocuparem próximo de 1/3 da cobertura e tenderem a secar nos períodos de estiagem. Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: município enquadrado com risco de erosão de fraco a médio, pelos estudos de Leprun (1983); o potencial de degradação ambiental é alto, pois a área é um dos principais polos de irrigação do Nordeste, com alto risco de erosão e, sobretudo, salinização do solo. A intensa atividade da agricultura irrigada implica grande

movimentação do solo; em relação à compactação e encrostamento, os riscos estão presentes pela mecanização utilizada; e degradação da água pela contaminação. Resultado: Nível 2.

Agricultura: a produtividade agrícola demonstrou valores inferiores aos nacionais e aos das micro e mesorregiões (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26). Os dados indicaram que a situação referente à agricultura deixa o município bastante vulnerável, pois a produtividade vem em uma trajetória regular, com valores menores do que os nacionais e em alguns casos menores do que aqueles existentes dentro do próprio Núcleo. Entretanto, o forte da atividade agrícola é a agricultura irrigada e nesta o município tem forte produtividade e com retorno positivo. Resultado: Nível 1.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa, o município apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a participação no PIB micro e mesorregional é crítica e vem se reduzindo ao longo dos anos; a participação do PIB de Petrolina no PIB microrregional é ascendente entre os anos 1970 e 2010 (Tabelas 27, 28, 29 e 30). Resultado: Nível 1.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência. O IDHM de Petrolina em 1991 era 0,668 e passou para 0,697 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi 76%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 71,14 em 1991 para 80,53 em 2000 (Tabelas 32, 33 e 34). Resultado: Nível 1.

4.3.9 Índice de propensão para o município de Salgueiro

Tabela 46 - Índice de Propensão à Desertificação para Salgueiro

Subíndices	Classificação da composição dos indicadores	Nível de classificação	Índice de Propensão
Cobertura vegetal	2	2	2,2,1,1,1
Degradação ambiental	1,1,1,2	2	
Agricultura	1,1	1	
Econômico	1,1,1	1	
Social	1,1	1	

Cobertura vegetal: o município tem, aproximadamente, 8% da área das propriedades ocupada com lavouras permanentes e temporárias. A área destinada às pastagens naturais e temporárias corresponde a 38% do total. A relação animal/área de pastagem foi de 0,59, valor acima da capacidade de suporte aceitável para o semiárido (Tabela 16). No tocante à área destinada à pastagem, o quadro de Salgueiro está próximo do valor médio dos municípios do Núcleo. É importante considerar a vulnerabilidade aos riscos de degradação do solo, sobretudo considerando que a vegetação do semiárido é aberta. Resultado: Nível 2.

Propensão à degradação ambiental: município enquadrado com risco de erosão de fraco a médio, pelos estudos de Leprun (1983); tendo em vista os baixos valores relativos à área plantada, pode-se concluir que a atividade agrícola desenvolvida no município não representa risco significativo de degradação; em relação à compactação e ao encrostamento, os riscos são baixos; e o risco de degradação da água pela contaminação é alto pela ausência de infraestrutura de saneamento. Resultado: Nível 2.

Agricultura: a produtividade agrícola demonstrou valores inferiores aos nacionais e, em alguns anos, aos das micro e mesorregiões (Tabelas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26). Apesar de a produtividade ter uma trajetória regular, com oscilações ao longo do período analisado, os valores da área plantada evidenciam que a agricultura não é uma atividade relevante para o município de Salgueiro. Desse modo, os riscos de degradação decorrentes da agricultura são reduzidos, assim como, em relação ao reduzido peso que a atividade agrícola tem na economia local. Resultado: Nível 1.

Economia: de acordo com os indicadores utilizados nesta pesquisa, o município apresentou relativa linearidade no tocante à renda média, pois acompanhou a mesma tendência de queda constatada nos demais; do mesmo modo, a participação percentual nas rendas provenientes de transferências governamentais acompanha a tendência dos demais; a participação no PIB micro e mesorregional é significativa, mantendo-se no mesmo patamar (Tabelas 27, 28, 29 e 30). Resultado: Nível 1.

A dimensão social, avaliada a partir dos indicadores índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM, situação da mortalidade infantil e índice de probabilidade de vida até os 60 anos, seguiu a tendência de melhoria verificada nos outros municípios e nas duas mesorregiões tomadas como referência. O IDHM de Salgueiro em 1991 era 0,668 e passou para 0,697 no ano de 2010; a queda na mortalidade infantil entre 1970 e 2000 foi 74%; a probabilidade de vida até os 60 anos subiu de 68,28 em 1991 para 79,39 em 2000 (Tabelas 32, 33 e 34). Resultado: Nível 1.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões sobre a determinação da atividade do ^{137}Cs

1. Contrariamente ao verificado nos trabalhos pesquisados, a presença do ^{137}Cs foi menor na área coberta com vegetação preservada – e supostamente sem uso agrícola – do que nas demais áreas da estação experimental, fato que limitou uma avaliação mais detalhada do comportamento do radionuclídeo entre os transectos.
2. A atividade do ^{137}Cs não apresentou correlação com os teores de carbono orgânico e fósforo nos diferentes perfis pesquisados. Foi verificada apenas uma correlação entre ^{137}Cs e carbono orgânico no transecto II, o que pode ser considerado um fato isolado. A ausência de correlação pode ser atribuída às características físicas predominantes do solo da Estação Experimental e ao tipo de manejo adotado.
3. Em outros trabalhos foi constatada correlação entre a atividade do ^{137}Cs e a matéria orgânica do solo e com as partículas de argila. Nesta pesquisa, não houve correlação com a matéria orgânica e nem com as partículas finas do solo (silte + argila). Esses resultados podem ser justificados pelo baixo teor de matéria orgânica no solo da área pesquisada e pelo fato de o solo ser arenoso.
4. Os resultados obtidos nesta pesquisa divergiram daqueles alcançados em outros trabalhos no tocante à área de referência, que apresentou menor estoque de ^{137}Cs . É recomendado ampliar o número de amostras analisadas dentro da unidade experimental e em áreas próximas para avaliar se esse comportamento do radionuclídeo é comum à área. São iniciativas que tendem a aperfeiçoar a aplicação da técnica.
5. A aplicação da técnica do ^{137}Cs para estimar as perdas de solo por erosão não se mostrou viável na área em estudo, sendo necessário melhor aprimoramento da técnica. Portanto, o uso de seus resultados para avaliação do processo de desertificação não é recomendado.

5.2 Conclusões sobre os índices de propensão e de ocorrência da desertificação

1. Os resultados desta pesquisa revelam que a metodologia utilizada para definição dos índices de suscetibilidade à desertificação e de ocorrência da desertificação atende aos propósitos de se constituir em mais uma ferramenta de monitoramento do processo de desertificação.
2. Os índices de propensão e de ocorrência da desertificação obtidos para a área pesquisada retratam a vulnerabilidade da região semiárida ao processo de desertificação, sobretudo na dimensão ambiental. Por outro lado, revelam, também, que as dimensões econômica e social do Núcleo vêm evoluindo positivamente.
3. Em todos os municípios do Núcleo de Desertificação, pela própria condição natural, o subíndice da cobertura vegetal foi 2. Pelos dados de 2006, em 2 municípios a soma das áreas com lavouras e pastagens ficou na faixa de 30 a 39% da área total; em 3 ficou entre 40 a 49%; em 3 ficou no intervalo de 50 a 59% e em 1 essa soma totalizou 71%. Portanto, dos 9 municípios do Núcleo, 4 requerem algum tipo de atenção no tocante à cobertura vegetal, pois mais de 50% da área está sob risco.
4. Em relação ao subíndice degradação ambiental, os valores são estimativas, não tendo sido possível dispor de dados históricos que permitissem uma melhor consolidação do subíndice.
5. Quanto ao subíndice agricultura, os valores retratam a situação do semiárido quanto à produtividade da atividade agropecuária, assim como as próprias diferenças entre os municípios do Núcleo nesse quesito. O que ficou evidenciado é que, embora a vulnerabilidade à desertificação esteja presente, a capacidade produtiva dos solos da área não está comprometida. Porém, há aqueles municípios em que a atividade agrícola tem pouca expressão em termos de área ocupada e produção agrícola.
6. Nas dimensões economia e social, os municípios seguiram as mesmas tendências de evolução presentes nas mesorregiões. Essa constatação revela que, ao longo dos anos, a evolução positiva na dimensão socioeconômica verificada nas mesorregiões também vem tendo o mesmo comportamento nos municípios do Núcleo.

7. De acordo com índice de propensão, os municípios de Afrânio e Itacuruba estão classificados como de risco elevado, pois são vulneráveis em 4 subíndices, apresentando classificação 2. Os municípios de Belém do São Francisco e Cabrobó estão com classificação semelhante, inclusive com vulnerabilidade na dimensão econômica, pois perderam importância na participação do PIB microrregional. Os demais municípios apresentam pequenas variações entre si e requerem atenção especial para que sua condição de vulnerabilidade não seja agudizada.

8. Para melhor validação dos resultados propostos pela metodologia, é necessária a confirmação de alguns indicadores mais críticos, sobretudo os referentes à dimensão ambiental, tais como cobertura vegetal e presença de erosão, que são aspectos relevantes para as áreas vulneráveis ou em processo de desertificação.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, E. A.; BEEKMAN, G. Recopilación y armonización de indicadores y puntos de referencia de la desertificación a ser utilizados en El programa Combate a la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía em América del Sur”. Mendonza, 2006.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 1:136-141, 2002.
- ALBUQUERQUE, A.W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005.
- ANDRADE, A.G.; FREITAS, P. L.; LANDERS, J. Aspectos gerais do manejo do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R.B.; TURRETA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. *Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais*. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2010, p. 25-40.
- ANDRELLO, A. C.; APPOLONI, C. R., GUIMARÃES, M. F. Uso do Césio 137 para avaliar taxas de erosão em cultura de soja, café e pastagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 223-229, 2003.
- ANTUNES, P. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FERREIRA JÚNIOR, A. L. G.; GALINDO, I. C. L.; SALCEDO, I. H. Distribuição de ^{137}Cs em três solos representativos do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 935-943; 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. C. et al. *Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.
- ARAÚJO FILHO, J. A., *Manejo Pastoral Sustentável da Caatinga*. – Recife, PE: Projeto Dom Helder Camara, 2013.
- AUDRY, P. & SUASSUNA, J. *A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino*. Recife, CNPq. 128p. 1995.
- BACCHI O. O. S.; REICHARD, K.; SPAROVEK, G.; RANIERI, S. B. L. *Soil erosion evaluation in a small watershed in Brazil through ^{137}Cs fallout redistribution analysis and conventional models*. *Acta Geologica Hispanica*, v. 35, nº 3-4, p. 251-259, 2000.
- BACCHI, O.; *Análise da redistribuição do “fallout” do ^{137}Cs e avaliação da erosão do solo CENA/USP 2005*. <<http://docslide.com.br/documents/analise-da-redistribuicao-do-falloutdo-137cs-e-avaliacao-da-erosao-do-solo.html>>. Acesso em: 16/03/2016.
- BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35(3), p. 999-1011, 2011.

BAJRACHARYA, R. M.; LAL, R.; KIMBLE, J. M. Use of radioactive fallout cesium-137 to estimate soil erosion on three farms in west central Ohio. *Soil Science*, n. 163, p. 133-141, 1998.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ed. Ícone, 356p.,1995.

BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:565-573, 2006.

BOUHLASSA, M. M.; AIACHI, A. Estimates of soil erosion and deposition of cultivated soil of Nakhla watershed, Morocco, using ^{137}Cs technique and calibration models. *Acta Geologica Hispanica*, v. 35, n. 3-4, p. 239-249, 2000.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, s/d.

CARVALHO, V. C. Abordagem multiescala para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação. Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26 de abril 2001, INPE, p. 1539-1551, Sessão Técnica Oral – Workshops.

CAVALCANTI, E. R.; COUTINHO, S. F. S.; SELVA, V. S. F. Desertificação e desastres naturais na região do semiárido brasileiro. *Revista Cadernos de Estudos Sociais*. v. 22, n. 1. p. 19-31.jan./jun., 2006. Recife: Editora Massangana.

CHAPPELL, A. The limitations of using ^{137}Cs for estimating soil redistribution in semi-arid environments. *Geomorphology*, n. 29, p. 135-152, 1999.

COGO, N. P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 743-753, 2003.

CORRECHEL, V. *Avaliação de Índices de Erodibilidade do Solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do ^{137}Cs* . Piracicaba, 2003. – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado.

CONTI, J. B. O conceito de desertificação. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, v. 3, n. 2, p. 39-52, 2008.

DREGNE, T.H.E. Desertification of arid lands. In *Physics of desertification*, ed. F. El-Baz and M. H. A. Hassan. Dordrecht, Netherlands: 1986 Martinus, Nijhoff.

DU, P; WALLING, D. E. Using ^{137}Cs measurements to investigate the influence of erosion and soil redistribution on soil properties. *Applied Radiation and Isotopes*, May 2011, Vol.69(5), p .717-26.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Science Society American Journal*, v.68, p.215-224, 2004.

FRANCO, Â. M. P.; CASSOL, E. A.; PAULETTO, E. A.; INDA JUNIOR, A. V. Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um argissolo vermelho. *Revista Brasileira de Agrociência*, 2012, Vol.18(2), p.175-187.

GALINDO, I. C. L.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M. F. A. V.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1283-1296, 2008.

GREENLAND, D.J. Soil structure and erosion hazard. In: GREENLAND, D. J. and LAL, R. *Soil conservation & management in the humid tropics*. Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 1975, p. 17-23.

GUIMARÃES, M. F. ¹³⁷Cs da precipitação radioativa (“fallout”) no estudo da erosão e sedimentação de solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1988, 136p. Tese de Doutorado.

HUDSON, N. W. The factors determining the extent of soil erosion. In: GREENLAND, D. J. and LAL, R. *Soil conservation & management in the humid tropics*. Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 1975, p. 11-16.

IBAMA, Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil / MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba. Organizador: Marcos Oliveira Santana. Brasília, MMA, 2007.

IBGE, Censo Agropecuário, 1995. www.ibge.gov.br, acesso em 24/03/2015.

IBGE, Censo Agropecuário, 2006. www.ibge.gov.br, acesso em 02/04/2015.

IBGE, Pesquisa Pecuária Municipal. www.ibge.gov.br, acesso em 13/05/2016.

IBGE, Pesquisa Agrícola Municipal. www.ibge.gov.br, acesso em 23/05/2016.

IPEA, IPEADATA. www.ipea.gov.br, acesso em 28/09/2016.

KACHANOSKI, R. G.; DE JONG, E. Predicting the temporal relationship between soil cesium-137 and erosion rate. *Journal of Environment Quality*, v. 13, p. 301-304, 1984.

LEPRUN, J. C. Manejo e conservação de solos do Nordeste. Recife: SUDENE, 1988. 238p.

LIMA, C. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; BRASIL, P. P. Characteristics of rainfall and erosion under natural conditions of land use in semiarid regions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 17, n. 11, p.1222–1229, 2013. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>.

LINS, R. C. *Áreas de Exceção do Agreste de Pernambuco*. Recife, SUDENE/PSU/SRE, 1989.

- MABIT, L.; BERNARD, C. Relationship between soil ^{137}Cs inventories and chemical properties in a small intensively cropped watershed. C.R. Acad. Sci. Paris, *Sciences de La Terre et des Planets*, v. 327, p. 527-532, 1998.
- MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34:1883-1890, 2010.
- MATALLO JR., H. *Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas*. Brasília: UNESCO, 2001. 80p.
- MORALES, C.; Pobreza, desertificación y degradación de tierras *in*: Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. CEPAL, One World e GTZ, Santiago – Chile, 2005.
- NAKAMARU, Y.; ISHIKAWA, N. TAGAMI, K.; UCHIDA, S. Role of soil organic matter in the mobility of radiocesium in agricultural soils common in Japan. *Colloids and Surfaces*, v. 306, p. 111-117, 2007.
- NI, S. J.; ZHANG J. H. Variation of chemical properties as affected by soil erosion on hillslopes and terraces. *European Journal of Soil Science*. v. 58, p. 1285-1292, 2007.
- OLIVEIRA, D. A.; DUDA, G. P.; MENDES, A. M. S.; OLIVIERA, R. A.; FERNANDES, M. B. Caracterização química do solo em uma área de implantação do projeto de recuperação de áreas degradadas da JICA no município de Pedro Avelino-RN. *Caatinga*, v. 21, n. 1, p. 179-188, janeiro/março de 2008: Mossoró – RN.
- OLIVEIRA, E. M.; SANTOS, M. J. S.; ARAÚJO, L. E. A.; SILVA, D. F. Desertificação e seus impactos na região semiárida do Estado da Paraíba. *Ambiência*, Guarapuava-PR v. 5 n. 1 p. 67-79 jan./abr. 2009.
- OWENS, P. N., WALLING, D. E. & HE, Q. The behavior of bomb- derived caesium-137 fallout in catchment soils. *Journal Environmental Radioactivity*, v. 32, n. 3 p. 169-191, 1996.
- PARSONS, A. J. & FOSTER; I. D. L. What can we learn about soil erosion from the use of ^{137}Cs ? *Earth-Science Reviews*, v. 108, p. 101-113, 2011.
- PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS S. S.; TINÔCO, L. B. M., PEREZ, I. H. S. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? *Parcerias Estratégicas*, Brasília-DF, v. 17 n. 34: 87-106 jan.-jun. 2012.
- POREBA, G. J. Caesium-137 as a soil erosion tracer. *Geochronometria*, vol. 25:37-46, 2006.
- RITCHIE, J. C.; MCCARTY, G. W.; ^{137}Cs and soil carbon in a small agricultural watershed. *Soil & Tillage Research*. v. 69, p. 45-51, 2003.
- RODRIGUES, W.; MATALLO JR. H.; LINHARES, M. C.; GALVÃO, A. L. C.; GORGÔNIO, A. S. Avaliação do quadro de desertificação no Nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectivas. In: GOMES, G. M.; SOUZA, H. R.; MAGALHÃES, A. R. *Desenvolvimento sustentável no Nordeste*, Brasília, IPEA. 1995.

RÖMKENS, M.J.M.; HELMING, K.; PRASAD, S.N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, v. 46, p.103-123, 2001.

SAKAI, T. *Distribuição do ¹³⁷Cs nos solos do Estado da Bahia*. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 70 p., 1977. Dissertação de Mestrado.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A.F.; MOREIRA, J.A.A.; KONDO, M.K.; PEGORARO, R.F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 3, p. 429-438, jul-set, 2016.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, S. B.; SAMPAIO, G. R. *Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência*. Recife: Ed. UFPE, 2003.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I., ARAÚJO, M. S. B.; MENEZES, R. S. C. *Agricultura sustentável no semiárido nordestino*. Recife: Ed. UFPE, 2009.

SANTOS, A.C. Redistribuição de ¹³⁷Cs em distintas profundidades e posições topográficas em solo sob pastagem e vegetação nativa. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, p. 48-68. 2004. Tese de Doutorado.

SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H.A.Q.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; ARAÚJO NETO, J.R. Escoamento, perdas de solo e nutrientes em campos não cultivados em regiões semiáridas. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 3, p. 813-820, jul-set, 2011.

SILVA, R. L.; & DE MARIA, I. C. Erosão em sistema plantio direto: Influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v. 15, n. 6, p. 554–561, 2011 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>.

SILVA, A. B., RESENDE, M.; SOUSA, A.R.; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 2, p. 299-307, fev. 1999.

SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no semiárido. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JR.; R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. *Agricultura, sustentabilidade e o semiárido*. Fortaleza: UFC; Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, p. 169-213.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res*, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522.

SOUZA FILHO, F. de A. de. A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. In: *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011, p. 1-26.

TAMURA, T. Selective sorption reactions of cesium with soil minerals. *Nuclear Safety*. 5:262-268, 1964.

THEOCHAROPOULOS, S. P.; FLOROU, H.; KRITIDIS, P.; BELIS, D.; TSOULOUCHA, F.; CHRISTOU, M.; KOULOUMBIS, P.; NIKOLAOU, T. Use of ^{137}Cs isotopic technique in soil erosion studies in Central Greece. *Acta Geologica Hispanica*, v. 35, n. 3-4, p. 301-310, 2000.

TORRE, M.; VERGARA, S. Vergara Impacto socioeconómico de los procesos de desertificación y degradación en la IV Región de Chile: una aplicación integrada de técnicas econométricas para la prueba de hipótesis. In: *Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales*. CEPAL, One World e GTZ, Santiago – Chile, 2005.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Solos e desertificação no sertão paraibano. *Cadernos do Logeoa*, v. 6, n. 2, p. 101-114, jul./dez. 2011.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. *Metodologia para identificação dos processos de desertificação*: manual de indicadores. Recife: SUDENE, 1978.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. *Processos de desertificação no Nordeste*. Recife: SUDENE, 1983.

VERITY, C.E.; ANDERSON, D. W. Soil erosion effects on soil quality and yield. *Canadian Journal Soil Science*, v. 702, p. 471. 1990.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P.; SOUZA, M. S. B.; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A.; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, 6, 347-360, 2015.

WALLING, D. E.; HE, Q. Use of fallout ^{137}Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains. *Catena*, v. 29, p. 263-282, 1997.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Washington: USDA, 1978. (Agricultural Handbook, 537).

YANG, M.-Y.; TIAN, J.-L.; LIU, P.-L. Investigating the spatial distribution of soil erosion and deposition in a small catchment on the Loess Plateau of China, using ^{137}Cs . *Soil & Tillage Research*, v. 87, p. 186–193, 2006.

ZAPATA, F.; GARCÍA-AGUDO, E. Future prospects for the ^{137}Cs technique for estimating soil erosion and sedimentation rates. *Acta Geologica Hispanica*, v. 5, n. 3-4, p. 197-205, 2000.

ZHANG, X.; ZHANG Y., WEN A.; FENG M. Assessment of soil losses on cultivated land by using the ^{137}Cs technique in the Upper Yangtze River Basin of China. *Soil & Tillage Research* v. 69 p. 99-106, 2003.