UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

WESLEY ROCHA BARBOSA

ASPECTOS PEDOLÓGICO-EDUCACIONAIS EM UMA ÁREA SUSCEPTÍVEL À DESERTIFICAÇÃO

FORTALEZA
2016

WESLEY ROCHA BARBOSA

ASPECTOS PEDOLÓGICO-EDUCACIONAIS EM UMA ÁREA SUSCEP TÍVEL À DESERTIFICAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Pedologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B213a Barbosa, Wesley Rocha.
Aspectos pedológico-educacionais em uma área susceptível à desertificação / Wesley Rocha Barbosa. – 2017.
171 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.

1. Caatinga. 2. Degradação do solo. 3. Educação Ambiental. 4. Luvissolos. 5. Formação docente. I. Título.
CDD 631.4

WESLEY ROCHA BARBOSA

ASPECTOS PEDOLÓGICO-EDUCACIONAIS EM UMA ÁREA SUSCEP TÍVEL À DESERTIFICAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Pedologia.

Aprovada em: 22/07/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Cleire Lima da Costa Falcão
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jaedson Claudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Maria Valdirene Araújo Rocha Moraes
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

A Deus.

À minha esposa Liana Rocha, e aos meus filhos Wesley Vinícius e Lia Giovanna

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em todos os momentos, iluminando-me e guiando, dando-me a graça de mais uma vitória.

Aos meus familiares, por estarem presentes nesta caminhada.

Aos Professores Ricardo Espíndola Romero, Tiago Osório Ferreira e Cleire Lima da Costa Falcão, pelos ensinamentos, orientação, apoio e amizade.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Departamento de Ciências do Solo, pela oportunidade da realização do curso de Doutorado.

Aos Professores do Departamento de Ciências do Solo, pelos conhecimentos transferidos, paciência e colaboração, em especial Professora Mirian Cristina Gomes Costa, Professor Jaedson Claudio Anunciato Mota e Professor Raul Shiso Toma, por todas as contribuições e parcerias.

Ao Presidente da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Dr. Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins, pela parceria e colaboração em várias etapas do trabalho.

Aos amigos da FUNCEME, em especial, Sônia Oliveira, Margareth Benício, Messias Barreto, Neuma Barreto, Roberto Bezerra, Assis Braz, Eisenhower Braga, Denis Barbosa, Rousi Silva, Alisson Simplício, pela ajuda, companhismo e amizade.

Ao Programa de Educação em Solos: conhecer, instituir, estruturar e propagar do Laboratório de Pedologia e Processos Erosivos em Estudos Geográficos da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), pela disponibilidade de todos materiais e alunos-bolsistas para execução da oficina pedagógica e demais atividades.

Aos amigos da Secretaria Municipal da Educação (SME) do Distrito de Educação, em especial, Professora Lady Lima, Joelson Moura, Neilo Costa e Georgina Vieira, pela paciência, compreensão e incentivo.

Ao casal André e Gislaine Marques, pela ajuda e incentivo.

Aos amigos Daniel Pontes e Timóteo, pela ajuda adicional na coleta de solo.

Aos moradores do sítio Brum (Jaguaribe-CE), em especial 'Neto do Brum' pela dedicação e cooperação com as atividades realizadas no campo.

A todos que de alguma forma contribuíram neste trabalho.

“É preciso força pra sonhar e perceber que a estrada vai além do que se vê”

Los Hermanos

RESUMO

A região semiárida do Nordeste do Brasil encontra-se em alto risco de degradação ou vulnerabilidade socioambiental, ocasionado tanto pelas características dos fatores naturais, quanto pela exploração dos recursos para suprir necessidades socioeconômicas da população, resultando em cenário típico de áreas em processo de desertificação. O estado do Ceará apresenta-se com três Áreas Susceptíveis à Desertificação – ASD's, sendo a do Médio Jaguaribe a região que mais evidencia a classe dos Luvissolos. Dessa forma, esse trabalho foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira parte, pressupõe-se que existem diferenças significativas nas características morfológicas e nos atributos físicos e químicos dos solos com cobertura vegetal e sem cobertura vegetal, os quais estão inseridos na mesma área explorada com agricultura de subsistência sem práticas conservacionistas. Como ações antrópicas contribuem com o fenômeno da desertificação, para a segunda parte do trabalho, aventou-se a hipótese de que as instituições de ensino fundamental poderão contribuir para minimizar os impactos das ações humanas nesse processo de desertificação, por meio da promoção da Educação em Solos nas escolas de educação básica. O objetivo desse trabalho foi compreender o comportamento dos Luvissolos nas condições geoambientais de desertificação, sob diferentes estados de densidade da cobertura vegetal e, por meio da Educação em Solos, propor medidas didático-pedagógicas para o ensino básico, como estratégia para mitigar impactos da ação humana no processo de desertificação. Para tanto, foram realizadas descrições morfológicas de perfis pedológicos, análises físicas e químicas de amostras de solos coletadas em trincheiras e mini-trincheiras, bem como análise de imagens micromorfológicas e testes de infiltração, onde se constatou maior profundidade, maiores teores de carbono orgânico total (COT) e carbono da fração humina (C-HUM), maior porosidade total (PT), menor densidade do solo (Ds) e maior velocidade de infiltração básica (VIB) nos solos com vegetação em comparar com os solos sem vegetação, comprovando a importância da proteção natural para pedogênese e qualidade do solo. Na segunda parte do trabalho foi possível observar, por meio da realização do curso de capacitação de docentes do ensino fundamental, melhorias no planejamento pedagógico que resultarão em novas práticas pedagógicas na abordagem do tema "solo" nas instituições escolares, com estratégias que possibilitem a compreensão desse solo pelos alunos e a disseminação desse conhecimento para comunidade, melhorando a convivência socioambiental no semiárido.

Palavras-chave: Caatinga. Degradação do Solo. Educação Ambiental.

ABSTRACT

The semiarid region of Northeast Brazil is at high risk of degradation or environmental vulnerability, caused both by the characteristics of natural factors, as the exploitation of resources to meet the socioeconomic needs of the population, resulting in a typical scenario of areas in process of desertification . The state of Ceará is presented with three Areas Susceptible to Desertification - ASD's, and the Middle Jaguaribe is the region that shows the class of Luvisols. Thus, this study was conducted in two stages. In the first part, it is assumed that there are significant differences in morphological characteristics and physical and chemical properties of soil with vegetation and no vegetation, which are inserted in the same area exploited for subsistence without conservation tillage farming, because human actions contribute to the phenomenon of desertification, to the second part, the hypothesis has suggested-that the fundamental educational institutions could help to minimize the impacts of human actions that the desertification process, through the promotion of education Soils in the basic education schools. The aim of this study was to understand the behavior of Luvisols in geo-environmental conditions of desertification under different degrees of states of vegetation and through Education in Soils propose didactic and pedagogical measures for basic education as a strategy to mitigate the action of impacts human in the process of desertification. Therefore, morphological descriptions of pedological profiles were performed, physical and chemical analysis of soil samples collected from trenches and mini-trenches, as well as micromorphological image analysis and infiltration tests, where it was found deeper, higher total organic carbon (COT) and carbon from the humin fraction (C-HUM), higher total porosity (PT), lower bulk density (Ds) and higher infiltration rate (VIB) in soils with vegetation to compare with the soil without vegetation, proving the importance of natural protection for pedogenesis and soil quality. In the second part of the work was possible to observe, through the completion of the training course for teachers of elementary school, improvements in educational planning that will result in new pedagogical practices in the approach to the subject 'land' in schools, with strategies to facilitate understanding of that content by the students and the dissemination of this knowledge to the community, improving environmental coexistence in semiarid region.

Keywords: Caatinga. Soil degradation. Environmental education

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cartograma de identificação das Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD´s) do estado do Ceará..... 40

Figura 2 - Localização da Área de Estudo..... 41

Figura 3 - Imagem de satélite do projeto de Recuperação de Área Degradada (RAD) na Comunidade Riacho do Brum (Jaguaribe, Ceará), destacando-se área com e sem cobertura vegetal..... 42

Figura 4 - Imagem de satélite da área de estudo com os pontos de amostragem..... 46

Figura 5 - Mapa da área de estudo com os pontos de amostragem..... 47

Figura 6 - Coleta (A e B) e acondicionamento (C) das amostras indeformadas e captura de imagens dos blocos de impregnação (D) para análise micromorfológica..... 50

Figura 7 - Profundidade média do solum(A + B, exceto BC)..... 53

Figura 8 - Frações Cascalhos e Calhaus dos horizontes superficiais..... 53

Figura 9 - Teor médio da fração argila nos horizontes Bt dos Solos Com Vegetação (SCV) e Sem Vegetação (SSV)..... 59

Figura 10 - Valor médio da relação silte/argila nos horizontes Bt dos Solos Com Vegetação (SCV) e Sem Vegetação (SSV)..... 60

Figura 11 - Velocidade de infiltração básica na área de estudo, anos de 2015 e 2016..... 62

Figura 12 - Correlação da Densidade do Solo (Ds) com o teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS) e com a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) dos Solos Sem Vegetação..... 64

Figura 13 - Correlação da Densidade do Solo (Ds) com o teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS) e com a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) dos Solos Com Vegetação..... 64

Figura 14 - Valores de pH dos horizontes superficiais dos Solos Com Vegetação (SCV) e Sem Vegetação (SSV)..... 66

Figura 15 - Acidez potencial (H+Al) dos horizontes superficiais dos Solos Com Vegetação (SCV) e Sem Vegetação (SSV)..... 67

Figura 16 - Teor de cálcio dos horizontes superficiais dos Solos Com Vegetação

(SCV) e Sem Vegetação (SSV)..... 69
Figura 17 - Saturação por bases (V%) dos horizontes superficiais dos Solos Com Vegetação (SCV) e Sem Vegetação (SSV)..... 70
Figura 18 - Condutividade Elétrica (CE) dos horizontes superficiais dos Solos Com Vegetação (SCV) e Sem Vegetação (SSV)..... 71
Figura 19 - Carbono Orgânico nos horizontes superficiais dos Solos Com Vegetação (SCV) e Sem Vegetação (SSV)..... 71
Figura 20 - Comparação da relação Carbono do Extrato Alcalino (C-EA) e Carbono da fração humina (C-HUM) e entre o C-HUM dos horizontes superficiais dos solos estudados..... 73
Figura 21 - Imagens dos blocos sob luz negra dos horizontes A de Perfis Com Vegetação (PCV)..... 76
Figura 22 - Imagens dos blocos sob luz negra dos horizontes superficiais de Perfis Sem Vegetação (PSV)..... 76
Figura 23 - Imagens binarizadas dos horizontes Bt de Perfis Com Vegetação..... 77
Figura 24 - Imagens binarizadas dos horizontes Bt de Perfis Sem Vegetação..... 77
Figura 25 - Porosidade total dos horizontes superficiais, obtidas pela análise de imagens micromorfológicas..... 78
Figura 26 - Distribuição dos poros por tipo e tamanhos nos horizontes superficiais e subsuperficiais..... 79
Figura 27 - Porosidade total (PT) dos Perfis Sem Vegetação (PSV) pelo método indireto..... 80
Figura 28 - Distribuição da porosidade do horizonte superficial dos Perfis Com Vegetação (PCV)..... 82
Figura 29 - Distribuição da porosidade do horizonte subsuperficial dos Perfis Com Vegetação (PCV)..... 83
Figura 30 - Distribuição da porosidade do horizonte superficial dos Perfis Sem Vegetação (PSV)..... 84
Figura 31 - Distribuição da porosidade do horizonte subsuperficial dos Perfis Sem Vegetação (PSV)..... 85
Figura 32 - Área de abrangência das escolas..... 93
Figura 33 - Página inicial do curso no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) Sócrates..... 96

Figura 34 - Aula inaugural do curso na Escola Municipal Alice Diógenes Pinheiro, Jaguaribe, CE..... 98
Figura 35 - Registro da aula de campo, realizada no Sítio Brum, distrito de Mapuá Jaguaribe, CE..... 98
Figura 36 - Oficina pedagógica realizada com os professores em Jaguaribe, CE.....100
Figura 37 - Distribuição percentual, por faixa etária, dos professores lotados no 6º Ano do Ensino Fundamental II que lecionam as disciplinas de geografia e ciências nas escolas da Secretaria da Educação de Jaguaribe-CE..... 101
Figura 38 - Formação acadêmica dos professores da Secretaria da Educação de Jaguaribe-CE..... 102
Figura 39 - Titulação acadêmica dos professores das disciplinas de Geografia e Ciências..... 102
Figura 40 - Participação dos professores em cursos de capacitação em serviço sobre Educação Ambiental.....103
Figura 41 - Opinião dos professores sobre a adequação ou não do livro didático, adotado nas escolas municipais da Secretaria da Educação de Jaguaribe – CE, sobre o conteúdo ‘solo’ no Ensino Fundamental I..... 107
Figura 42 - Materiais utilizados durante o planejamento pedagógico.....107
Figura 43 - Recursos Didáticos utilizados durante a execução das aulas sobre solo..... 108
Figura 44 - Termos que os alunos da rede municipal de ensino de Jaguaribe-CE relacionaram ao tema Meio Ambiente.....112
Figura 45 - Conceito de solo dos alunos do 6º ano do Ensino Fundamental da rede municipal de ensino de Jaguaribe-CE.....112
Figura 46 - Elementos naturais mais importantes na concepção dos alunos do 6º ano da rede municipal de ensino de Jaguaribe-CE..... 113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Registro de chuvas no município de Jaguaribe nos anos de 2012/2013/2014 43
Tabela 2 - Atributos morfológicos (cor e estrutura) dos perfis dos Solos Com Vegetação (SCV) e Solos Sem Vegetação (SSV) 52
Tabela 3 - Composição granulométrica dos horizontes superficiais dos Solos Com Vegetação (SCV) e Sem Vegetação (SSV) 55
Tabela 4 - Atributos físicos dos Solos Com Vegetação (SCV) 57
Tabela 5 - Atributos físicos dos Solos Sem Vegetação (SSV) 58
Tabela 6 - Densidade do Solo (Ds) nos perfis (PCV) e mini-trincheiras (MCV) com cobertura vegetal e sem cobertura vegetal (PSV e MSV) 61
Tabela 7 - Correlação entre Densidade do Solo, (Ds), Matéria Orgânica (MOS) e Velocidade de Infiltração Básica (VIB) 63
Tabela 8 - Atributos químicos dos Solos Com Vegetação (SCV): Perfis (PCV) e mini-trincheiras (MCV) 65
Tabela 9 - Atributos químicos dos Solos Sem Vegetação (SSV): Perfis (PSV) e mini-trincheiras (MSV) 67
Tabela 10 - Correlação entre atributos químicos dos solos nas duas condições investigadas 68
Tabela 11 - Teores de carbono nas frações ácido fúlvico (FAF) ácido húmico (FAH) e humina (HUM), carbono total (COT), índices de carbono da FAH/FAF, C-EA/C-HUM, C-EA/COT e soma das frações húmicas (SHS) dos horizontes de superfícies dos solos 72
Tabela 12 - Correlação entre propriedades do horizonte superficial e as substâncias húmicas dos Solos Com Vegetação e dos Solos Sem Vegetação 74
Tabela 13 - Síntese do questionário aplicado aos professores da rede municipal de ensino de Jaguaribe, Ceará 95
Tabela 14 - Sequência didático-metodológica do Curso de Capacitação “Educação em Solos: construindo uma conscientização ambiental” 99
Tabela 15 - Relação entre conceito e definição dos temas ambientais trabalhados no Ensino Fundamental. Questão que compõe o instrumento aplicado aos

professores..... 105
Tabela 16 - Consolidado das respostas dos professores sobre definições de diversos conceitos ambientais trabalhados no Ensino Fundamental..... 106

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA 18
2.1 Região Semiárida 18
2.2 Desertificação 20
2.2.1 Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD´s) 21
2.2.2 ASD´s no Estado do Ceará 21
2.3 Processos Pedogenéticos e a Gênese do Horizonte Textural 23
2.3.1 Solos com horizonte B Textural 27
2.3.2 Luvissolos (SiBCS) 27
2.4 Educação em Solos e a “Consciência Pedológica” 29
2.4.1 Educação em Solos e a Etnopedologia 32
2.4.2 Solos na Educação Básica: dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN´s) do ensino fundamental à prática docente 32
3 CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NOS PROCESSOS PEDOGENÉTICOS E GÊNESE DO HORIZONTE TEXTURAL EM ÁREA SUSCEPTÍVEL À DESERTIFICAÇÃO 35
Resumo 35
Abstract 36
3.1 Introdução 37
3.2 Material e Métodos 39
3.2.1 Delimitação da Área de Estudo 39
3.2.2 Aspectos Geoambientais 39
3.2.3 Delineamento experimental e tratamentos 44
3.2.4 Coleta das Amostras de Solos e Análise Estatística 44
3.2.5 Procedimentos para fins de caracterização, classificação e análise comparativa dos solos 45
3.2.5.1 Análises Físicas e Químicas 45
3.2.5.2 Teste de Infiltração do solo 49
3.2.5.3 Análise Micromorfológica dos Horizontes Superficiais e Subsuperfíciais dos perfis pedológicos 49

3.3 Resultados e Discussão 51
3.3.1 Atributos morfológicos e Classificação dos solos 51
3.3.2 Atributos físicos dos solos 55
3.3.3 Atributos químicos dos solos 64
3.3.4 Micromorfologia e análise de imagens 75
3.4 Conclusão 86
4 CAPÍTULO III - EDUCAÇÃO EM SOLOS: ALTERNATIVA PAR A CONSCIENTIZAÇÃO SOCIOAMBIENTAL NO SEMIÁRIDO 87
Resumo 87
Abstract 88
4.1 Introdução 89
4.2 Descrição da pesquisa e aspectos metodológ 92
4.2.1 Caracterização da área de estudo 92
4.2.2 Métodos 92
4.2.2.1 Caracterização das escolas, dos professores e estes 92
4.2.2.2 Concepção teórico-conceitual dos professores educandos sobre a temática 'solo e meio ambiente' 94
4.2.2.3 Curso de Capacitação "Educação em Solos: construindo uma conscientização ambiental" 95
4.3 Resultados e Discussão 101
4.3.1 Análise dos questionários para caracterização dos professores 101
4.3.2 Conhecimento específico dos professores sobre a área estudada 102
4.3.3 Avaliação do desempenho dos professores no curso de Educação em Solos 104
4.4 Conclusão 115
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS 116
REFERÊNCIAS 117
APÊNDICE A 134
APÊNDICE B 158
APÊNDICE C 165
APÊNDICE D 170

1 INTRODUÇÃO

O processo de desertificação é um fenômeno antigo que ocorre em várias partes do mundo. Relatos históricos evidenciam esse tipo de degradação há milhares de anos em regiões do Mediterrâneo, Mesopotâmia e Loess Chineses. No Brasil, a problemática da desertificação tem assumido lugar de destaque entre os processos de degradação do solo, pois, praticamente todos os estados da região Nordeste estão inseridos nesse contexto. O estado do Ceará possui 105 municípios na região semiárida, com aproximadamente 14% do seu território situado em área susceptível ao processo de desertificação, destacando-se o município de Irauçuba e a região dos Inhamuns e do Médio Jaguaribe como as áreas mais afetadas.

A área da comunidade Riacho do Brum, localizada a 4,0 km da sede do município de Jaguaribe, representa essa realidade semiárida nordestina e, consequentemente, retrata um ambiente com claras evidências de degradação, dentre elas pelos processos erosivos que removem os horizontes superficiais dos solos e expõem afloramentos rochosos. Característica desse cenário de degradação, a vegetação apresenta-se esparsa na paisagem, formando pequenas "ilhas" de arbustos com copas de tamanhos similares, evidenciando pequenas áreas em recuperação natural.

Essa realidade, assim como em várias outras localidades do semiárido brasileiro, é consequência de processo histórico que envolve a exploração predatória dos recursos naturais, tais como a retirada da vegetação para produção de energia e preparo do solo para o plantio, plantações no sentido da declividade das vertentes, pecuária com sobrepastejo, entre outras práticas de exploração sem consciência da sustentabilidade, em ambiente altamente vulnerável.

Estas áreas, na maioria das vezes, possuem solos degradados com baixos teores de carbono orgânico, reduzidas taxas de cobertura vegetal, necessitando urgentemente de pesquisas que possam estudar o fenômeno e sugerir mecanismos de combate ao processo de desertificação.

As características edafoclimáticas geralmente encontradas nas regiões semiáridas são: irregularidade temporal e espacial das chuvas, elevadas temperaturas, elevada evapotranspiração, solos pouco profundos e solos com transição abrupta entre os horizontes, Desta forma, estas condições dificultam a infiltração da água e favorecem a drenagem superficial (escoamento), propiciando elevado potencial erosivo, e, naturalmente, favorecem uma maior pressão ambiental sob o ecossistema destas áreas, necessitando de práticas de manejo conservacionista para o uso agrícola. Contudo, há a falta de conhecimento técnico-científico,

contínua extração de madeira, associada ao uso do solo de exploração agropecuária extensiva, causando o sobrepastejo, têm constituído importantes fatores que favorecem o processo de desertificação de áreas agrícolas.

As características dos diversos tipos de solos que compõem o semiárido brasileiro se comportam de modo diferenciado ao avanço do processo desertificação, ficando os Luvissolos e Neossolos Litólicos associados às áreas com nível severo de degradação ambiental, e as classes dos Argissolos e Cambissolos associados ao nível moderado, seguido dos Planossolos ao nível baixo na classificação das áreas degradadas.

Entretanto, apesar da grande importância e abrangência do processo de desertificação no Brasil e da importância do estudo das características pedológicas em relação ao processo de desertificação e degradação do solo, pouco se tem pesquisado neste sentido. Torna-se necessário avaliar as alterações das propriedades físicas, químicas e morfológicas dos solos, em diferentes condições de cobertura vegetal, inseridos nas áreas em processo de desertificação utilizadas pela agropecuária. Com isso serão obtidos dados que indiquem o uso de técnicas de manejo sustentável na recuperação dessas áreas, que sirvam como modelo para difusão das tecnologias de controle desse processo de degradação.

Dentre os fatores socioeconômicos que contribuem com o processo de desertificação, a educação torna-se um elemento fundamental, pelos baixos índices de escolaridade da população inserida nessas áreas, quanto pela possibilidade de mudanças dessa realidade por meio da educação básica. A construção de uma consciência ambiental deverá partir do conhecimento prévio dos alunos sobre a dinâmica dos solos na paisagem e sua importância socioeconômica, utilizando recursos didático-pedagógicos voltados para essa temática, com o intuito de auxiliar o processo de ensino aprendizagem e a sistematização efetiva de conhecimento científico dos educandos do ensino fundamental.

Dessa forma, pressupõem-se as seguintes hipóteses:

1. Há diferenças relevantes e significativas nas características morfológicas e atributos físicos e químicos influenciando a gênese do horizonte B textural de Luvissolos inseridos em área susceptível à desertificação jacente sem práticas conservacionistas e que após sete anos sem cultivo apresenta condições distintas quanto ao desenvolvimento da vegetação;

2. Se o processo de desertificação é consequência, em parte, das condições ambientais, das ações humanas sobre o ambiente semiárido, a instituição escolar poderá contribuir para mitigação dos efeitos desse processo por meio da Educação em solos.

Na tentativa por respostas para tais indagações, o presente trabalho foi dividido em três partes, sendo o capítulo I uma revisão de literatura com o intuito de situar o leitor sobre conceitos que constituem a fundamentação teórica desta pesquisa. No capítulo II buscou-se analisar as características pedogenéticas dos Luvissolos em suas diferentes condições, comparando solos protegidos pela vegetação e com presença de serapilheira e outros expostos às intempéries ambientais, ambos inseridos em Áreas Susceptíveis à Desertificação - ASD. No capítulo III buscou-se compreender a importância da Educação em Solos no ensino fundamental, como alternativa para mitigação dos impactos das atividades humanas no processo de degradação, por meio da conscientização socioambiental de professores e estudantes e, dessa forma, disseminar conhecimentos pedológicos e práticas ambientais conservacionistas para a comunidade.

2 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Região Semiárida

A região semiárida brasileira, cujos limites foram redefinidos em 2004 pelo Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), compreende uma área de 982.563,3 km², com 1.133 municípios estendendo-se do litoral norte, no Ceará e no Rio Grande do Norte, até ao norte de Minas Gerais, cortando os estados da Paraíba, Pernambuco, Piauí, Bahia, Alagoas e Sergipe, representando 11% do território nacional, com população aproximada de 28 milhões de habitantes, sendo a região semiárida mais populosa do mundo (BRASIL, 2017; ANGELOTTI et al., 2009).

A maior parte desta região constitui o domínio da Caatinga, que apresenta distribuição geográfica restrita ao território brasileiro, com algumas semelhanças florísticas com espécies da região do Chaco – nordeste da Argentina, região sudeste do Paraguai (ANDRADE-LIMA, 1981), que evidenciam paleoclimas e condicionaram similaridades fisionômico-estruturais na América do Sul.

Uma das principais características desse bioma é clima semiárido, marcado por elevadas temperaturas médias entre 25 e 29ºC, baixa quantidade de precipitação anual (268 a 800 mm), chuvas irregulares e período seco prolongado, que inicia no outono e se estende até a primavera (OLIVEIRA et al., 2006; AB'SABER, 1996, 2003), além de elevada insolação (média de 2.800 h ano⁻¹) e evaporação (média de 2.000 mm ano⁻¹), com umidade relativa do ar média em torno de 50% (MOURA et al., 2016). A Caatinga ocorre em diversos Estados da região Nordeste e estende-se até Minas Gerais, seguindo o rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região média do rio Jequitinhonha, mas também é encontrada na ilha de Fernando de Noronha (PRADO, 2003). Dessa forma, a Caatinga ocupa uma extensão de aproximadamente 748.600 km², que perfazem 8,8% do território brasileiro, segundo dados do Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Brasil (DNOCS, 1996).

A presença da vegetação de Caatinga em outras áreas da região Nordeste, como em Minas Gerais, no Vale do Jequitinhonha, e no Rio de Janeiro, na região dos Lagos, é explicada pela teoria dos refúgios e do reduto, alterações climáticas ocorridas ao longo do Quaternário que modificaram os mecanismos padrões de distribuição da fauna e flora ao longo de espaços fisiográficos, paisagísticos e ecológicos, originando mutantes, permanecendo esta vegetação exótica pela presença de fatores de exceção de ordem edáfica, hidrológica, topográfica e paleobotânica (AB'SABER, 2003; SILVA, 2011).

Segundo Souza (2005), durante o Pleistoceno Terminal a América do Sul enfrentava um clima seco que possibilitava a expansão da vegetação de Caatinga em regiões ocupadas pelo Cerrado e expansão do Cerrado em regiões de floresta, ocorrendo posterior retração destas vegetações com a ocorrência de climas mais úmidos.

A região semiárida brasileira ocupa 57,53% da área do Nordeste, 40,54% da população nordestina e, economicamente, representa 21,6% do PIB do Nordeste (SUDENE, 2012). A escassez de água é uma característica atípica dessa região que apresenta chuvas irregulares e concentração da precipitação em curtos períodos, sendo muitas vezes insuficientes para atender à demanda agrícola, animal e humana por água (MONTENEGRO; RAGAB, 2012).

Sua geologia é bastante variada, contudo com predomínio do cristalino, seguido de áreas sedimentares e, em menor proporção, de cristalinas com cobertura pouco espessa de sedimento arenoso ou areno-argiloso (JACOMINE, 1996).

Além dessa variação litológica, as alterações devem-se a maior ou menor aridez do clima, e a atuação de uma exuberante biodiversidade evidenciam diversos tipos de solos, configurando como de grande importância, em termos de extensão territorial, para o semiárido, às classes dos Latossolos (21%), Neossolos Litólicos (19,2%), Argissolos (14,7%), Luvissolos (13,3%), Planossolos (10,5%) e Neossolos Quartzarênicos (9,3%). Essas classes de solos constituem, aproximadamente, 88% dos solos do semiárido brasileiro que são ocupados, principalmente, com vegetação de Caatinga.

Por conseguinte, as características edafoclimáticas das regiões semiáridas, tais como intensidade e irregularidade temporal e espacial das chuvas, elevadas temperaturas, elevada evapotranspiração e solos pouco profundos com ocorrência de uma transição abrupta entre os horizontes, deixam os solos vulneráveis aos impactos das gotas de chuva, dificultam a infiltração de água, favorecendo o escoamento superficial e, consequentemente, tornando as condições propícias para a erosão (LI; BRISSETE; CHEN, 2014; HE et al., 2014; SU; FU, 2013; FERNANDÉZ; NÚNEZ, 2011; STOKES et al., 2010), favorecendo o fenômeno da desertificação.

Galindo et al. (2008), reportam que a emergência de manchas de solos expostos é a característica principal que contribui para evolução desse fenômeno no semiárido nordestino, uma das regiões brasileiras mais vulneráveis às mudanças climáticas (ANGELOTTI; SÁ; MENEZES, 2009). A abrangência da área susceptível à desertificação, no contexto do território brasileiro, coincide, praticamente, com ambientes semiáridos e sub-úmidos secos da Região Nordeste e norte de Minas Gerais.

2.2 Desertificação

Desertificação é o termo utilizado para definir a degradação do sistema bio-produtivo terrestre que compreende o solo, a vegetação, outros componentes da biota e os processos ecológicos e hidrológicos que se desenvolvem dentro do sistema, ocasionados por condições naturais e intensificados por ações antrópicas, ou seja, é a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas (BRASIL, 2007).

Conforme relatado pelo professor López Bermúdez (2019), até meados da década de 1990, a desertificação era considerada uma expansão dos desertos. López ilustrou por meio de vários trabalhos e declarações, tais como a do Instituto Worldwatch em 1977 na qual afirmou que a expansão do Saara se devia ao pastoreio excessivo, da retirada da vegetação e da erosão do solo nas áreas de savana.

Todavia, a desertificação se diferencia do conceito de deserto (NASCIMENTO, 2013; CAVALCANTI, 2003), pois este último resulta de condições naturais caracterizadas por clima essencialmente árido, no qual ocorrem maiores índices de evaporação em relação à precipitação anual, ocasionando diversos processos peculiares a esta condição climática que favorecem a morfogênese mecânica em detrimento do desenvolvimento ou mesmo da ausência, de formação de solos (CEARÁ, 2010).

Segundo Pachêco, Freire e Borges (2006), a desertificação se inicia com a degradação crescente da cobertura vegetal para atender, essencialmente, demandas energéticas (carvão vegetal) da população ou aberturas de novas áreas para pastagem. A partir deste início, com o curto regime de chuvas irregulares e torrenciais típico do semiárido nordestino, começa a erosão nas áreas atingidas que, por sua vez, diminui a capacidade de retenção de água pelos solos e leva à redução na produção de biomassa, afetando diretamente a adição de matéria orgânica ao solo. Nesse processo a vegetação se torna cada vez mais rala e pobre em biodiversidade e porte, favorecendo a passagem da radiação solar que, por sua vez, resseca ainda mais o solo, que favorece o incremento da erosão, aumentando a aridez e retroalimentando um processo de “simplificação ecológica”, no qual a ação do homem tem papel fundamental.

Portanto, a falta de compreensão mais precisa sobre as causas da desertificação e de um conceito que seja entendido sem controvérsias (NASCIMENTO, 2013), faz com que os programas de combate à desertificação fracassem, pois limitam ao campo das discussões políticas e sociais. A desertificação, definida pela Agenda 21 do Programa das Nações Unidas

para o Meio Ambiente - PNUMA (BRASIL, 2004a), só pode ocorrer nas terras vulneráveis, que depende de vários fatores ambientais (clima, relevo, solo e cobertura vegetal) e ação humana.

Dessa forma, faz-se necessário diferenciar os processos que ocorrem devido às mudanças climáticas de ordem natural, como aridez (desertização), daquelas mudanças devido às atividades humanas (degradação) que acarretam o "rebaixamento" do ecossistema, ou seja, perdas da biodiversidade, e aos diversos problemas de caráter socioeconômico.

2.2.1 Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD´s)

O processo de desertificação é um fenômeno antigo que ocorre em várias partes do mundo. Relatos históricos evidenciam esse tipo de degradação há milhares de anos em regiões do Mediterrâneo, Mesopotâmia e Loess Chineses (ZHAO et al., 2016; NASCIMENTO, 2013).

As áreas susceptíveis ao processo de desertificação, conforme os pressupostos acordados na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), são aquelas cujo índice de aridez (IA), calculado pela razão entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração, esteja na faixa maior que 0,05 e menor que 0,65, caracterizando as regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas (BRASIL, 2004; CEARÁ, 2010).

Baseados no estudo do Professor Vasconcelos Sobrinho, no ano de 1983, sobre desertificação no Brasil, técnicos do Ministério do Meio Ambiente realizaram um levantamento e caracterizaram quatro áreas que classificaram como Núcleos de Desertificação de Gilbués (PI), de Irauçuba (CE), do Seridó (PB) e de Cabrobró, (PE) apresentarem alto risco de degradação pelas condições de semiaridez, intensificadas pelas ações antrópicas de exploração agropecuária e de extrativismo sem acompanhamento técnico adequado (CARVALHO, 2013; PERNAMBUCO, 2000; BRASIL, 2007). Segundo Soares et al. (1995), o estado do Ceará possui 105 municípios na região semiárida, com aproximadamente 14% do seu território situado em área susceptível ao processo de desertificação.

2.2.2 ASD's no Estado do Ceará

Dentre os macro-domínios naturais que compõem o território cearense, os sertões abrigam as áreas mais susceptíveis à desertificação (CEARÁ, 2010), em função das condições morfoclimáticas associadas às atividades antrópicas que resultam na degradação da cobertura

vegetal e no sobrepastoreio. Isso causa a compactação dos solos, diminuição da capacidade de infiltração e aumento do escoamento superficial, erosão dos horizontes superficiais, assoreamento dos corpos hídricos e diminuição da capacidade produtiva num ambiente altamente vulnerável e que requer técnicas de manejo que permitam sua recuperação.

A partir dos resultados dos estudos desenvolvidos pelo Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE), foram estabelecidas três regiões que se configuram como Áreas Suscetíveis à Desertificação no Estado do Ceará, abrangendo 12 municípios, sendo elas: (i) Sertões do Inhamuns (Arneiroz, Independência e Tauá); (ii) Sertões de Irauçuba e Centro-Norte (Irauçuba, Santa Quitéria, Miraíma e Canindé); e (iii) Sertões do Médio Jaguaribe (Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Alto Santo e Morada Nova) (CEARÁ, 2010). Observa-se que estas ASD's estão cercadas por diversos outros municípios que apresentam níveis de ocorrência de degradação grave ou muito grave. Com isso surge a hipótese de que estas regiões poderão ter suas áreas aumentadas, caso não haja nenhuma intervenção contrária, pois os critérios utilizados para a delimitação dos núcleos configurados foram pautados nas diferenças dos indicadores ecológicos e sociais, visto que, do ponto de vista ambiental, todos aqueles municípios estão inseridos em ambientes com índice de aridez favorável ao processo de desertificação.

Portanto, todos os municípios que compõem as ASD's do Estado do Ceará apresentam, de maneira geral, características naturais semelhantes com problemas ambientais limitações quanto à escassez e irregularidade de precipitações e altas taxas de evapotranspiração, além de muitas ocorrências de solos pouco profundos com presença de afloramento de rochas, oriundos dos processos erosivos muito acentuados, configurando paisagens com marcas evidentes da desertificação (CEARÁ, 2010).

É notório que as condições socioeconômicas influenciam, de maneira geral, todos os municípios da região sujeitos à desertificação, de forma mais clara nos municípios que compõem as ASD's. Dentre as causas sociais, a educação se destaca como fator de grande relevância no processo, visto que em todos os municípios analisados pelo PAE-CE foi constatado baixo nível de escolaridade da população.

Essa deficiência na educação também gera preocupação quanto ao aspecto ambiental, pois é incontestável a importância da educação formal para a preservação da natureza (CAVALCANTI, 2011), e para a disseminação de práticas conservacionistas que contribuem para conter o avanço da desertificação. Mais ainda, sem a educação formal não há como adquirir educação técnico-profissional e melhor qualidade de vida.

Embora sejam os aspectos naturais aqueles que mais diferenciam as ASD's das demais regiões do Ceará, é perceptível a existência de fatores econômicos e sociais que aumentam a vulnerabilidade dos municípios inseridos nas ASD's ao fenômeno em questão: elevado grau de pobreza da população residente, atividades predatórias como extração irracional de lenha, inadequação de sistemas de produção ao meio, manejo inadequado na criação de ovinos e caprinos, baixo nível de escolaridade e pressão antrópica humano (CEARÁ, 2010).

Por conseguinte, a pressão oriunda dessa realidade socioeconômica sobre o recurso natural solo, agravada por condições ambientais peculiares, responsáveis por certas limitações do ponto de vista de desenvolvimento pedológico, configura cenário atípico para formação de solos constituídos por horizontes com acúmulo de argila, sugerindo a necessidade de maior entendimento dos processos atuantes na gênese e evolução desses solos.

2.3 Processos Pedogenéticos e a Gênese do Horizonte Textural

Entende-se por processos pedogenéticos o conjunto de reações ou mecanismos de caráter químico, físico e biológico responsáveis pela formação e distinção dos horizontes ou camadas do perfil do solo, conforme a intensidade e as combinações, resultado das condições ambientais dos chamados fatores de formação do solo. Tais processos podem ser agrupados em quatro tipos: adição, remoção, translocação e transformação (SIMONSON, 1959; VIEIRA, 1988; TARGULIAN; KRASILNIKOV, 2007). A qualidade do solo, definido como a capacidade do solo em exercer suas funções (ROSA; SOBRAL, 2008), depende da qualidade e/ou da quantidade dos produtos resultantes desses processos pedogenéticos (TARGULIAN; KRASILNIKOV, 2007).

Bockheim e Hartemonk (2013), baseados em estudos diversos, citam três causas para a formação do horizonte de subsuperfície enriquecido com argila: translocação, a formação in situ e a relativa perda de argila nas camadas superficiais do perfil do solo. Vidal-Torrado et al. (1999), consideram como os principais processos da gênese do horizonte textural (Bt) a argiluviação, a ferrólise, o adensamento - menos conhecido que os demais processos citados anteriormente, resultante de deformações plásticas, causado pelos ciclos de umedecimento e secamento, frequentemente associado à argiluviação - além de outras causas menos conhecidas, tais como: a herança litológica (litodependência) e o colunamento.

O gradiente textural, ou seja, o aumento na concentração de argila em uma determinada seção do perfil do solo, pode ser resultado de outros processos pedogenéticos, tais

como a formação in situ das argilas, a partir do intemperismo de minerais primários presentes no horizonte Bt, ou pela degradação das argilas no horizonte A ou E em condições alternadas de oxidação e redução em solos extremamente ácidos (pH entre 3 e 4), conhecida por ferrólise (BRINKMAN, 1970).

No processo de oxirredução mencionado no parágrafo anterior, o ferro é solubilizado e removido, sendo substituído por hidrogênio e produzindo, com isso, a protólise das argilas, tornando-as instáveis e sujeitas à destruição (MAFRA et al., 2001; PHILIPS, 2007).

Dentre os processos pedogenéticos elementares, a translocação de argila (EMBRAPA, 2013) ou Argiluviação (EUA, 2010) ou Lessivagem é a mais conhecida e aceita pela maioria dos autores como responsável pela formação do horizonte Bt e do consequente gradiente textural (VIDAL-TORRADO et al., 1999) e consiste na transferência vertical de partículas finas da área superficial do perfil do solo, denominado como horizonte eluvial (WRB, 2006; EMBRAPA, 2013), para zonas ou seções subjacentes onde há acumulação iluvial dessas partículas, caracterizando o horizonte B textural (WRB, 2006; EMBRAPA, 2013) ou horizonte Argillic (EUA, 2010).

Uma das características principais do horizonte Bt é a presença dos revestimentos formados de partículas coloidais finas depositadas, denominadas de cutans. Cutans é um termo geral que pode ser caracterizados como complexos orgânicos ou minerais amorfos (ganans) ou complexos sesquióxidos (squans) ou, ainda, podem ser formados a partir de minerais cristalinos argilosos de orientação paralela chamados de argilãs, que caracterizam o horizonte B textural (DUCHAUFOUR, 1983).

Estudo realizado em solos argilosos na Austrália por Sullivan e Koppi (1994), mostra algumas feições típicas de argilãs que confirmam tratar de materiais iluviais, tais como: ausência de partículas de silte dentro dos revestimentos, aparência laminada das argilas dentro da estrutura, confirmando a formação por deposição de partículas em suspensão e ausência de estriamentos que seriam típicos de estruturas formadas por estresse (MAFRA et al., 2001). MAFRA et al. (2001) salientam ainda que, nem todos os argilãs podem ser relacionados com o processo de argiluviação, pois, em muitos casos, essas estruturas formam-se no próprio local, por microdivisão de micas ou por migração em distâncias curtas.

O processo de argiluviação ou translocação de argila, inicialmente, ocorre com a mobilização de partículas, seguido do transporte e deposição desses materiais, caracterizando mecanismos físico-químicos complexos, cuja intensidade ou a velocidade das reações será favorecida, ou não, conforme as condições pedoclimáticas, tais como: interação e natureza das partículas,

bem como, pela capacidade de troca catiônica, pH do solo e pela presença de agentes cimentantes, tais como: ferro, manganês, silício, óxidos de alumínio e matéria orgânica, que podem favorecer a floculação ou, ainda, pela sua ausência, facilitar a mobilização de partículas (QUÉNARD et al., 2011).

Oliveira (2008) alerta sobre a vulnerabilidade aos processos erosivos dos solos com maiores concentrações de argila nos horizontes subsuperficiais em relação aos horizontes E ou A. O processo erosivo poderá ser acentuado se esses solos apresentarem mudança textural abrupta e estiverem situados em declives mais acentuados, com o horizonte Bt mais próximos da superfície do terreno.

Por conseguinte, a degradação dos Luvissolos em regiões semiáridas tem favorecido o processo de erosão e, consequentemente a remoção do horizonte A desses solos, expondo o horizonte Bt à superfície do terreno. Dessa forma, o horizonte B textural fica vulnerável à força do impacto da gota d'água das chuvas torrenciais, tão comuns nessas regiões, causando a desagregação das partículas desses solos que são facilmente transportadas pela água do escoamento superficial, para áreas topográficas mais deprimidas.

A translocação de argila tem sido responsável, direta ou indiretamente, pela diferenciação dos horizontes pedogenéticos de solos de tipos de solos, inseridos em ambientes com características climáticas distintas (QUÉNARD et al., 2011). Mas, há controvérsias em relação à contribuição da translocação e a concentração de argila no horizonte B, pois alguns trabalhos reportam o elevado teor de partículas finas (< 2 µm) no horizonte iluvial como resultado da degradação in situ dos minerais primários (LEGROS, 2007), enquanto outros mostraram que, utilizando luminescência de grãos de quartzo, o contraste textural ocorreu devido uma sequência histórica de depósitos eólicos e não por translocação de argila (KRUL et al., 2006).

Já Phillips (2007) atribui três causas para o contraste textural vertical nos solos: 1) herança do material de origem; 2) deposição de material mais grosseiro em solo mais fino e; 3) transferência de partículas em solução, transportada pela água de percolação, e posterior precipitação desse material nos horizontes iluviais subjacentes.

Certamente, outros processos podem contribuir para a diferenciação textural entre os horizontes do solo, tais como: formação de argila pelo intemperismo de minerais primários - neoformação; bioturbação; microdivisão, eluviação, ilu-são de argila, entre outros (PHILLIPS, 2007; VAN BREEMEN; BUURMAN, 2002). No entanto, a transferência vertical de partículas é inquestionável e reconhecida por cientistas de várias áreas do conhecimento como importante

processo pedoambiental, mesmo diante das dificuldades e do desafio de esclarecer algumas questões sobre este processo (QUÉNARD et al., 2011). Um exemplo é o caso do tempo necessário para formação das diferenciações de textura em solos que podem variar de dezenas a milhares de anos (FINKE; HUTSON, 2008; JAMAGNE, 1973), e da variabilidade das condições climáticas que perpassa desde climas mais quentes e úmidos (JAMAGNE, 1973) a climas temperados, conforme relata Fedoroff (1997).

Targulian e Krasilnikov (2007) sugerem o agrupamento dos processos pedogenéticos, de acordo com os tempos característicos, em três grandes classes: rápidas (10^{1-2} anos), taxas médias (10^{3-4} anos) e lentas (10^{5-6} anos). Dessa forma, a lessivagem ou translocação de argila ficaria na classe de tempo médio com duração de aproximadamente 1000 anos. Os autores explicam que o tempo característico de um processo pedogenético não tem um valor constante, pois dependerá das condições ambientais e da intensidade de atuação dos fatores de formação do solo. Como exemplo, os autores relatam que solos formados em regiões com baixo potencial climático de pedogênese (climas frios e secos ou quentes) ficarão situados na faixa dos processos da classe rápida (TARGULIAN; KRASILNIKOV, 2007).

São muitas as variáveis que influenciam o processo de translocação de argila e formação do horizonte B textural. Dentre essas variáveis estão às condições climáticas, o material de origem, o tempo necessário para acumulação, assim como a própria textura do solo que influencia, juntamente com a topografia do terreno, tanto no armazenamento como na condutividade hidráulica, além dos diversos organismos que são influenciados por estas características pedoambientais.

Por conseguinte, os fatores de formação do solo podem interferir na formação do horizonte textural, como sugerem Nettleton et al. (1975), sobre a influência das condições climáticas, afirmando que em ambientes áridos a gênese dessas camadas enriquecidas com argila é bem inferior à formação desses horizontes em zonas úmidas e que, quando presentes em zonas áridas, são heranças de períodos úmidos pretéritos (KHADEMI; MERMUT, 2003; KHORMALI et al., 2003). Além disso, estudos que examinaram a formação de horizonte textural, por meio de mudanças ambientais regionais, mostram que a iluviação da argila é mais intensa em região úmida do que em área seca da paisagem (GUNAL; RAWLS, 2006; KHORMALI et al., 2012).

Em ambientes úmidos, os horizontes texturais são formados em solos bem drenados do que em solos com drenagem imperfeita (CREMEENS; MOKMA, 1986; HOPKINS; FRANZEN, 2003).

O material de origem é outro fator que interfere diretamente no desenvolvimento do horizonte textural e, segundo Philips (2007), nem sempre o enriquecimento por si só é suficiente para criar um contraste textural no solo. Porém, dependendo do material de origem, nem todos são necessários.

2.3.1 Solos com horizonte B textural

Vários sistemas de classificação de solos reconhecem como critério para diferenciação, em alto nível hierárquico, o horizonte enriquecido com argila como característica para distinguir classes de solo. Alguns dos solos mais importantes do mundo, na produção de alimentos e fibras, possuem horizontes enriquecidos com argila (BOCKHEIM; HARTEMONK, 2013). Esse horizonte é importante para reservação natural do solo, retenção de água, estabilidade e estrutura pedológica (HOPKINS; FRANZ, 2003).

O acúmulo de argila no horizonte B, em detrimento da perda desse material na porção superior do perfil, é um fenômeno comum em muitos solos, sendo utilizado em vários sistemas de classificação. Mafra et al. (2001), citando trabalhos anteriores, afirmam que a migração descendente de argila do horizonte A para B pelo processo de lessivagem ou argiluviação é um dos processos pedogenéticos mais comuns e destacados nos sistemas de classificação de solos, caracterizando principalmente as ordens dos Ultisols e Alfisols na classificação norte-americana (“Soil Taxonomy”) (USDA, 2010). No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2013), solos que apresentam este incremento de argila são enquadrados no primeiro nível categórico em ordens como Argissolos, Luvissolos e Planossolos, entre outros. Todos esses solos são amplamente distribuídos em várias superfícies geomórficas do mundo (WEST et al., 1998; MAFRA et al., 2001).

2.3.2 Luvissolos (SiBCS)

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, Luvissolos são solos cujo perfil apresenta horizonte de subsuperfície com acumulação de argila, diferenciando-se da classe dos Argissolos, praticamente, por possuir no horizonte Bt alta atividade da fração argila associada à alta saturação por bases. São normalmente solos pouco profundos (60 a 120 cm) com sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C com nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt (EMBRAPA, 2013).

Por conseguinte, suas propriedades químicas conferem alta fertilidade natural, por se tratar de solos eutróficos, com elevada capacidade de troca catiônica (CTC) e possuir elevados teores de cálcio, magnésio e potássio, com média a alta soma de bases trocáveis. As limitações de uso estão relacionadas, de modo geral, às suas características físicas, pois a pequena profundidade do contato lítico, a frequente ocorrência de pedregosidade superficial, a alta erodibilidade desses solos conferem muitos impedimentos para desenvolvimento das atividades agrícolas (FUNCEME, 2012).

Oliveira (2008) atribui o alto risco erosivo nos Luvissolos, além de suas feições morfológicas, tais como a mudança textural abrupta, ao fato desses solos estarem situados, no caso do Brasil, predominantemente, na região semiárida onde a concentração das chuvas aumenta o potencial erosivo. Oliveira et al. (2009) levantam a hipótese de que os gradientes textuais dos solos em regiões semiáridas, ao menos em parte, são atribuídos à remoção preferencial de argila do horizonte superficial devido à ação da alta energia do escoamento superficial provocado pelas precipitações pluviais, concentradas em poucos eventos de curta duração e elevada intensidade (INÁCIO et al., 2007; CHAVES, FREIRE; AMORIM NETO, 1985). Então, solos com vegetação deverão ter menor movimento de argila mais acentuado em profundidade.

A pedregosidade superficial nos Luvissolos, ou seja, a presença comum de calhaus e matacões na superfície desses solos, funciona como fator positivo, no sentido de diminuir o poder erosivo das enxurradas, pois amortecem o impacto da gota d´água, impedindo a destruição da estrutura e o consequente carreamento das partículas dos solos (OLIVEIRA, 2008). Em contrapartida, essa pedregosidade superficial dificulta o manejo do solo para o cultivo.

Diante de todas as peculiaridades desses solos, que se refere às suas potencialidades e limitações, acrescidas das condições socioambientais complexas da região semiárida, seu uso atual abrange culturas de ciclos curtos (milho, feijão e fava) conciliadas com pastagens naturais melhoradas artificialmente, sem nenhuma prática conservacionista, levando a elevado grau de degradação das terras.

Sá et al. (2010) enquadram os Luvissolos como a principal classe pedológica das áreas do Nordeste do Brasil em processo de desertificação em nível de degradação severa, sendo o Ceará o segundo estado com maior área degradada (28,98%) de seu território, com predomínio de Luvissolos, seguido pelos Neossolos (6,03%), Argissolos (3,47%) e Planossolos (14,03%), conforme os níveis de degradação, acentuado, moderado e baixo, respectivamente.

Mesmo com certa expressão espacial, ocupando cerca de 107 mil km² na região semiárida do nordeste brasileiro, as informações disponíveis sobre os Luvissolos ainda são incipientes e encontram-se dispersas em algumas obras (OLIVEIRA et al., 2008), identificados como os antigos solos Brunos Não-Cálcicos, nomenclatura anterior à publicação do SiBCS (OLIVEIRA et al., 2009), carecendo, portanto, de mais pesquisas que possam esclarecer sua importância na dinâmica da paisagem e, por conseguinte, orientar práticas de uso e ocupação que sejam compatíveis com o desenvolvimento sustentável da região semiárida.

2.4 Educação em Solos e a "Consciência Pedológica"

A retirada da vegetação, a pecuária extensiva e a agricultura com tecnologias rudimentares são exemplos de intervenções antrópicas que têm contribuído, historicamente, para degradação ambiental das regiões semiáridas. Mugogo, Sobrinho e Machado (2006) afirmam que a falta do conhecimento da importância pedológica para o equilíbrio do sistema ambiental, atrelada à exploração predatória sem consciência prática de práticas conservacionistas, contribui para degradação do solo, seja pelo mau uso, seja pela ocupação desordenada, trazendo vários problemas ambientais, tais como: erosão, poluição, deslizamentos, assoreamento de cursos de água, etc.

Dessa forma, para que o indivíduo adquira consciência de sua responsabilidade ambiental, faz-se necessário o conhecimento sobre o funcionamento e as inter-relações que há entre os componentes dos sistemas naturais e sobre. Para entender a complexidade dessa interação é indispensável o apoio das instituições educacionais, no sentido de promover a sustentabilidade por meio de ações que busquem soluções para o crescimento econômico conciliado ao desenvolvimento social de forma a ter em equilíbrio com a natureza.

Assim, para alcançar este equilíbrio socioambiental, faz-se necessário estudar os processos oriundos dos fluxos de matéria e energia nos fenômenos ambientais em escala espaço-temporal, de forma que possa permitir a compreensão sistematizada da natureza e das transformações ocorridas a partir das ações humanas sobre os recursos naturais. O conceito de sistema é o melhor instrumento lógico de que se pode dispor para investigar os problemas do ambiente. Ele permite adotar atitude dialética em que a necessidade da análise – que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação coerente sobre esse ambiente (TRICART, 1977).

Dentro dessa concepção, sabe-se que cada fenômeno incorporado num sistema, geralmente, pode ser analisado como um sistema (CRÉSO; ARCHELA, 2010; TRICART, 1977) e que a partir dele e dos demais subsistemas inter-relacionados, pode-se chegar à compreensão do funcionamento do sistema como um todo. Baseado neste princípio, entende-se que o solo deve ser analisado de forma mais detalhada, pois além de ser fonte de riqueza essencial para a vida no planeta, expressa a condição do meio onde está inserido, por ser fruto da combinação entre os diversos fatores de formação que interagem na busca pelo equilíbrio ambiental. Jesus et al. (2013), corroboram ao afirmarem que a escola deve ser capaz de incorporar a temática ambiental, incluindo os recursos naturais de forma sistêmica, tal qual o solo, trabalhando a relação homem-ambiente-sociedade de forma coerente e consistente.

Muggler, Sobrinho e Machado (2006) apontam para a necessidade de promover a denominada “consciência pedológica” que poderá ser feita a partir de um processo educativo que privilegie a noção de sustentabilidade na relação homem-natureza. Os autores justificam essa proposta afirmando que os conteúdos pedológicos estão extremamente adequados a isso, uma vez que o solo é componente do ambiente natural e humano, um presente no cotidiano das pessoas, que é familiar a todos. Esses conteúdos possibilitam, assim, que as questões ambientais globais sejam trabalhadas de forma mais concreta, ao lado de aspectos locais e familiares (MUGGLER; SOBRINHO; MACHADO, 2006).

A falta de conhecimentos básicos sobre a natureza, agravada pela necessidade de luta contra as limitações de ordem econômica e social e mesmo pelo próprio ciclo natural, pode levar a um desequilíbrio socioambiental. Frasson e Verlang (2010) frisam que o solo, como componente essencial do meio ambiente e, portanto, da vida, tem seu estudo pouco valorizado na educação básica e perante outros elementos naturais como a água e o ar. Essa condição justifica a atitude, da maioria das pessoas, de pouca consciência e sensibilidade em relação ao solo, como destacam Muggler, Sobrinho e Machado (2006).

Portanto, promover a educação para o ambiente, a partir de uma abordagem pedológica, é uma maneira de promover a conscientização ambiental das pessoas, de forma que elas tenham um conjunto de valores que as instrumentalizem para perceber, analisar e avaliar os impactos das ações públicas e privadas, assim como o impacto de suas próprias ações sobre o solo e, portanto, sobre o meio ambiente (JESUS et al., 2013; VAN BAREN; MUGGLER; BRIDGES, 1998).

A Educação Ambiental pode ser caracterizada como o conjunto de experiências e observações que contribuem para que toda pessoa tenha sua relação com o meio ambiente e

sua responsabilidade para com ele (SATO, 2003). No mesmo sentido, a Educação em Solos, segundo Muggler, Sobrinho e Machado (2006), tem como principal objetivo trazer o significado da importância do solo à vida das pessoas e, portanto, a necessidade da sua conservação e do seu uso e ocupação sustentáveis. Assim como a Educação Ambiental, a Educação em Solos coloca-se como processo de formação que, em si, visa ser dinâmico, permanente e participativo.

Dessa forma, foram estabelecidos, na Conferência de Tbilisi, em 1977, doze princípios orientadores da Educação Ambiental, com o intuito de garantir a efetivação dos objetivos propostos e que estão em vigência até os dias atuais (CZAPSKI, 1998; MUGGLER, SOBRINHO; MACHADO, 2006). 1. Considerar o ambiente em sua totalidade, seus aspectos naturais e artificiais, tecnológicos e sociais (econômico, político, técnico, histórico cultural e estético); 2. Construir-se num processo contínuo e permanente, que se inicie na educação infantil e se estenda por todas as fases do processo educativo formal e não-formal; 3. Empregar o enfoque interdisciplinar, aproveitando o conteúdo específico de cada disciplina, objetivando uma perspectiva global e equilibrada; 4. Examinar as principais questões ambientais em escala local e global, de modo que os educandos tomem conhecimento das condições ambientais de outras regiões geográficas; 5. Concentrar-se nas situações ambientais atuais e futuras, considerando também a perspectiva histórica; 6. Insistir no valor e na necessidade de cooperação local e global, como forma de prevenir e resolver os problemas ambientais; 7. Considerar explicitamente os problemas ambientais nos planos de desenvolvimento e crescimento econômico; 8. Fazer com que os educandos participem na organização de suas experiências de aprendizagem, proporcionando-lhes oportunidade de tomar decisões e de acatar suas consequências; 9. Estabelecer uma relação entre a sensibilização pelo ambiente, a aquisição de conhecimentos, a capacidade de resolver problemas e o esclarecimento dos valores; 10. Contribuir para que os educandos descubram os efeitos reais e sintomáticos dos problemas ambientais; 11. Salientar a complexidade dos problemas ambientais e, consequentemente, a necessidade de desenvolver o sentido crítico e habilidades necessárias para resolvê-los; 12. Utilizar diferentes ambientes educativos e uma ampla gama de métodos para comunicar e adquirir conhecimentos sobre o meio ambiente, ressaltando as atividades práticas e as experiências pessoais.

De acordo com Muggler, Sobrinho e Machado (2006), as características e os princípios da Educação em Solos são os mesmos da Educação Ambiental, citados no parágrafo anterior. Portanto, as teorias e os métodos adotados também devem ser as mesmas e devem ser

desenvolvidas a partir da concepção Construtivista (VYGOTSKY, 1998), cujo conhecimento é (re)construído por meio da interação entre as experiências do educando e o meio ao qual está inserido. Nessa perspectiva, o uso das etnociências, ou seja, da etnopedologia deverá auxiliar a busca do “novo conhecimento” visto que esse é construído a partir do que já se conhecia anteriormente, pelos educandos.

2.4.1 Educação em Solos e a Etnopedologia

Para a promoção da Educação em Solos é necessária a apropriação, por parte do educador, do conhecimento prévio dos educandos. Isso se faz como para todas as ações didático-pedagógicas que envolvam o processo de ensino-aprendizagem, a partir da concepção sócio-construtivista interacionista (VYGOTSKY, 1998) de desenvolvimento e aprendizagem. Essa teoria se caracteriza pela conquista do conhecimento mediada por interações sociais e que envolve a relação entre sujeito e a realidade no seu entorno, pressupondo que o ser humano modifica o meio, mas também é modificado por ele, sendo suas experiências pessoais (DIAS; TEIXEIRA, 2011). A Educação em Solos deverá considerar o educando como sujeito interativo nesse processo e suas experiências deverão ser as bases para construção colaborativa de novos saberes e atitudes, utilizando para isso a etnopedologia como recurso nesse processo.

A etnopedologia vem a ser, portanto, um ramo da etnoecologia. É uma disciplina estruturada a partir da combinação das ciências naturais e sociais. A ciência do solo e o levantamento geopedológico, a antropologia social e a geografia rural, a agronomia e a agroecologia, todas contribuem para a estruturação da etnopedologia. Assim, a etnopedologia se propõe a estudar o conhecimento que o povo tem acerca dos recursos do solo, levando em consideração os conhecimentos sobre a natureza e os valores da cultura e da tradição local (ARAÚJO et al., 2013; PEREIRA et al., 2006). Enfim, a Educação em Solos deve se apropriar da etnopedologia como ferramenta de partida para associar o conhecimento empírico da comunidade local sobre o solo e suas funções com a educação formal sistematizada.

2.4.2 Solos na Educação Básica: dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN´s) do ensino fundamental à prática docente

Para que haja interação entre a ciência do solo e os conhecimentos empíricos da população sobre o uso da terra, faz-se necessária a atuação do professor-pesquisador na educação

básica. Nunes (2008) conclui que a formação do professor-pesquisador favorece a proliferação de práticas pedagógicas eficazes, tornando-os aptos a comparar métodos de ensino, refutar teorias e produzir novos conhecimentos.

Nessa mesma ótica, importantes centros de pesquisa brasileiros e outros situados em países da Europa, Estados Unidos e Austrália, têm atuado na área de educação e ensino do solo, ampliando, discutindo e divulgando o conhecimento produzido (HARTEMINK et al., 2014; DAMIEN et al., 2011; HAVLIN et al., 2010; HANSEN et al., 2007; McCALLISTER; LEE; MASON, 2005; BOUMA, 1997; RUELLAN, 1997).

Por conseguinte, nos dias atuais, a formação contínua dos professores tem se colocado como questão-chave na busca de melhoria da qualidade do ensino básico, uma vez que a formação inicial do professor não é suficiente para capacitá-lo diante dos desafios da sala de aula. Especificamente, em relação aos conteúdos de solos, os professores geralmente encontram dificuldades tanto conceituais quanto pedagógicas (FALCONI, 2008).

De acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB 9.394/96), o ensino fundamental no Brasil tem por objetivo, entre outros, a formação básica do cidadão mediante "a compreensão do ambiente natural e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamenta a sociedade". Já os Parâmetros Curriculares Nacionais PCN's (BRASIL, 1998) indicam como um dos objetivos do ensino fundamental que os alunos sejam capazes de "perceber-se integrante, dependente e agente transformador do ambiente, identificando seus elementos e as interações entre eles, contribuindo ativamente para a melhoria do meio ambiente".

A abordagem ambiental está contemplada, além das disciplinas curriculares geografia e ciências, na proposta educacional dos PCN's como um dos temas transversais de questões sociais urgentes, que se configuram num conjunto de assuntos que devem estar presentes no cotidiano escolar, permeando a concepção das diferentes áreas, seus objetivos, conteúdos e orientações didáticas. Assim, esse tema é trabalhado de forma a contribuir para a formação de cidadãos conscientes, aptos a decidir e atuar na realidade socioambiental (BRASIL, 1998).

Em relação aos conteúdos que envolvem os solos, os PCNs indicam sua abordagem nas disciplinas de ciências e geografia, assim como no tema transversal 'meio ambiente' (BRASIL, 1998). Observa-se, portanto, que os conteúdos de solos estão presentes e bastante enfatizados nos PCNs, principalmente no ensino fundamental. Mesmo assim, Falconi (2004) constatou diversos problemas no ensino de solos nas escolas de educação básica, onde muitas

vezes sua abordagem não chega a ser feita pelos professores, seja pela falta de conhecimento seja pela complexidade do conteúdo.

Sobrinho (2005) destaca a dificuldade dos professores na abordagem dos conteúdos pedológicos no contexto ambiental, por falta de conhecimento específico sobre o assunto, resultando no desinteresse de professores e alunos pelo tema. No mesmo contexto, Cirino (2008) verificou que, em relação ao ensino de solos, os professores possuem deficiências conceituais e pedagógicas, causadas pela complexidade do conteúdo que envolve conhecimentos específicos de diferentes disciplinas e pelas deficiências em suas formações iniciais. O autor acrescenta ainda que essas dificuldades são acentuadas com as falhas dos livros didáticos que apresentam os conteúdos dos solos de forma fragmentada e descontextualizada, contribuindo para o desconhecimento da importância dos solos enquanto componentes do ambiente natural.

Diante dessa problemática, Lima (2005) reforça que é fundamental incorporar a discussão sobre solos na educação básica, bem como despertar nos professores e alunos a conscientização a partir do conhecimento e dos conflitos de solo, que por si só não resolve o problema da degradação ambiental, mas contribui para a reversão deste processo. Da mesma forma, Favarim (2012), destacando a importância do solo na manutenção dos ecossistemas, afirma que é essencial que esse tema seja trabalhado no contexto ambiental pelas instituições de ensino fundamental, levando em consideração o conhecimento que os alunos já possuem inter-relacionando-os ao conhecimento científico.

Enfim, compreender o fenômeno da desertificação como resultado da ação humana é perceber que, por meio da educação sistematizada, é possível criar mecanismos para mitigar essa degradação, conforme discutido no capítulo 3 deste trabalho. Para que isso ocorra, faz-se necessário conhecer os principais impactados causados nos processos naturais e o comportamento pedogenético dos solos inseridos nas ASD's, investigado no capítulo seguinte.

3 CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NOS PROCESSOS PEDOGENÉTICOS E GÊNESE DO HORIZONTE TEXTURAL EM ÁREA SUSCEPTÍVEL À DESERTIFICAÇÃO

RESUMO

O processo de desertificação é um fenômeno antigo que ocorre em várias partes do mundo. No Brasil essa problemática tem assumido lugar de destaque entre os processos de degradação do solo. Na comunidade Riacho do Brum, localizada no município de Jaguaribe do estado do Ceará, esses solos foram explorados com agricultura de subsistência sem práticas conservacionistas, estando há sete anos sem cultivo. Apresentam atualmente pequenas “ilhas” com solos com vegetação (SCV) contrastando com áreas de solos sem vegetação (SSV). Pressupõe-se que existem diferenças significativas nas características morfológicas e nos atributos físicos e químicos que possam estar influenciando a gênese do horizonte textural dos solos inseridos nessa área. O objetivo desse trabalho foi compreender o comportamento dos Luvissolos nas condições geoambientais de desertificação, sob diferentes estados de densidade da cobertura vegetal. Para tanto, foram realizadas descrições morfológicas de perfis pedológicos, análises físicas e químicas de amostras de solos coletadas em quatro trincheiras e três mini-trincheiras, de cada tratamento (SSV e SCV) bem como estudo das imagens micromorfológicas e testes de infiltração nas duas situações investigadas. Para os tratamentos estatísticos foram consideradas séries de, no mínimo, quatro repetições. Os resultados laboratoriais e as demais informações adquiridas no campo foram submetidos à análise de variância (ANOVA), modelo delineamento inteiramente casualizado, considerando dois tratamentos (SCV e SSV) realizando comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e correlações simples entre variáveis aplicando o teste t ($p < 0.05$). Constataram-se diferenças relevantes em diversos atributos dos solos tais como: maior profundidade, maiores teores de Carbono Orgânico Total (COT) e Carbono na fração Humina (C-HUM), maior Porosidade Total (PT), menor Densidade do Solo (Ds) e maior Velocidade de Infiltração Básica (VIB) nos SCV ao comparar com os SSV, comprovando a importância da proteção natural para qualidade do solo e a maior intensidade dos processos pedogenéticos favorecidos por condições de umidade e aeração, resultando na maior concentração de argila nos horizontes Bt dos solos sob vegetação.

Palavras-chave: Translocação de argila. Horizonte Iluvial. Compactação.

ABSTRACT

The desertification process is an ancient phenomenon occurring in various parts of the world. In Brazil this problem has assumed a prominent place among soil degradation processes. In the community of Riacho do Brum, located in the municipality of Jaguaribe in the state of Ceará, these soils were explored with subsistence agriculture without conservation practices, being seven years without crop. They currently present "islands" with vegetated soils (SCV), contrasting with areas with no vegetation (SSV). It is assumed that there are significant differences in the morphological characteristics and in the physical and chemical attributes that may be influencing the genesis of the textural horizon of the soils inserted in this area. The objective of this work was to understand the behavior of the Luvisols in geoenvironmental conditions of desertification under different vegetation cover density. Morphological descriptions of pedological profiles, physical and chemical analyzes of soil samples collected in four trenches and three mini trenches of each treatment (SSV and SCV), as well as the study of micromorphological images and infiltration tests in both situations Investigated. For the statistical treatments, a series of at least four replications were considered. The laboratory results and other information acquired in the field were submitted to analysis of variance (ANOVA), with a completely randomized design, considering two treatments (SCV and SSV), comparing means by the Tukey test at the 5% probability level and correlations Between the variables using the t test ($p < 0.05$). It was verified that the Total Organic Carbon (TOC) and Carbon in the humina fraction (C-HUM) were higher in the soil, and higher basic infiltration velocity (BIV), in SCV when compared to SSV, confirming the importance of natural protection for soil quality and the greater intensity of pedogenetic processes favored by humidity and aeration conditions, resulting in a higher concentration of clay in the horizons Bt of soils with vegetation.

Keywords: Clay Translocation. Iluvial horizon. Compaction.

3.1 Introdução

O Estado do Ceará possui, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), uma região reconhecida como Núcleo de Desertificação de Irauçuba. Mas, de acordo com trabalhos realizados pelo Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE), foram estabelecidas, além do Núcleo de Irauçuba, mais duas regiões que se configuram como Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD's), os Sertões dos Inhamuns e os Sertões do Médio Jaguaribe.

Neste contexto, a comunidade Riacho do Brum, localizada a 40 km da sede do município de Jaguaribe representa essa realidade diária e, consequentemente retrata um ambiente com claras evidências de degradação, pois pelos processos erosivos que removem os horizontes superficiais dos solos e apresentam afloramentos rochosos. Esses solos foram explorados com agricultura de subsistência sem práticas conservacionistas, estando há sete anos sem cultivo.

Atualmente, a vegetação dessa área apresenta-se esparsa na paisagem, formando "ilhas" de arbustos com solos recobertos por serrapilheira, contrastando com solos desprotegidos que apresentam evidências de erosão laminar com exposição de horizontes de subsuperfície e afloramentos rochosos. Devido a esse contraste, supõe-se que existam diferenças significativas nas características morfológicas e nos atributos físicos e químicos do solo e que provavelmente estão influenciando a gênese dominante textural dos solos inseridos nessa área.

Dentre as classes de solos inseridas nas ASD's do Estado do Ceará, os Luvissolos merecem atenção, tanto pela gravidade da degradação quanto pelo percentual da área ocupada. Estes solos apresentam limitações físicas para o uso agrícola, pois geralmente são pouco profundos e pedregosos e de fácil erodibilidade. Em contrapartida, os Luvissolos são importante recurso no semiárido cearense, pois possuem boa fertilidade química e são utilizados para agricultura de subsistência no cultivo do milho, feijão e fava.

Um critério estabelecido para classificação desse solo é a presença de horizonte B textural, denominado pelo Sistema Brasileira de Classificação de Solos (SiBCS) de horizonte diagnóstico de subsuperfície. Este horizonte tem como principal característica o acúmulo de argila que, entre outras causas, está relacionado ao processo de translocação que requer a percolação da água pelo perfil do solo para o transporte e deposição dos argilominerais.

Esse processo é caracterizado por mecanismos físico-químicos complexos, cuja intensidade ou a velocidade das reações será lenta ou não, conforme as condições

pedoambientais, interação e natureza das partículas como, pela capacidade de troca catiônica, pH do solo e pela presença de agentes cimentantes, que podem favorecer a floculação ou, ainda, pela sua ausência, facilitar a mobilização de partículas.

Esse horizonte textural é importante para reserva nutricional do solo, retenção de água, estabilidade e estrutura pedológica. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar se há modificações significativas no comportamento das características pedológicas dos Luvissolos, em áreas com e sem cobertura vegetal, inseridos em região sob processo de desertificação no município de Jaguaribe, Ceará.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Delimitação da Área de Estudo

Dentre as Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD) do estado do Ceará ilustradas na Figura 1, a dos Sertões do Médio Jaguaribe foi a escolhida como objeto deste estudo.

Este estudo foi realizado no município de Jaguaribe (FIGURA 2), aproximadamente a 238 km da cidade de Fortaleza, na região leste do estado do Ceará, na Comunidade Riacho do Brum. O local de estudo situa-se nas proximidades do perímetro delimitado para o projeto piloto de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) em risco de desertificação (FIGURA 3), desenvolvido pelo Governo do Estado, por meio da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (FUNCEME). A região apresenta diversas áreas que contrastam pela diferença da densidade da cobertura vegetal sobre solos, conforme detalhado na figura 3 (A e B).

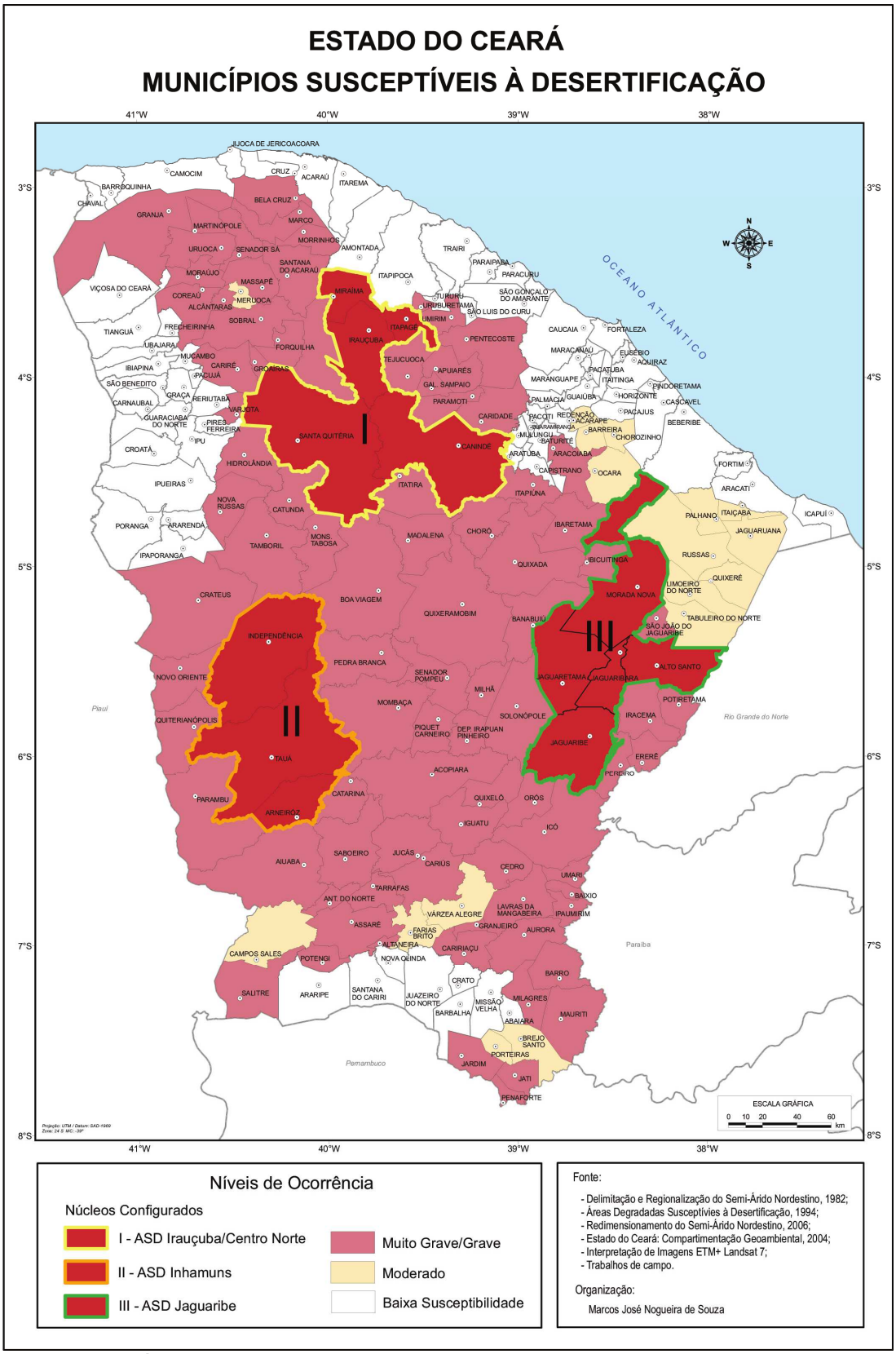
A área avaliada foi utilizada pela comunidade local para agricultura de sequeiro, com técnicas rudimentares para o preparo da terra, segundo a cultura do desmatamento e da queimada. Por ocasião da escassez de chuvas dos últimos anos na região, a área estava em pousio há sete anos, com pastejo ocasional de bovinos, ovinos e caprinos.

3.2.2 Aspectos Geoambientais

O município de Jaguaribe possui área territorial de 1.876,8 km² (IBGE, 2015), com população de, aproximadamente 34.500 habitantes e se distribui em cinco distritos: Jaguaribe, Mapuá, Nova Floresta, Feiticeiro e Aquinópolis (IPECE, 2014). Esta região está inserida na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, mais precisamente na sub-bacia do Médio Jaguaribe que abrange área de 10.352,37 km².

Dentre os 15 açudes inseridos nessa sub-bacia, que somam capacidade de armazenamento na ordem de 7.401.560.000 m³, destaca-se a importância do Açude Público Padre Cícero (Castanhão), localizado no município de Jaguaribara, devido à grande capacidade de armazenamento (6.700.000.000 m³), bem como pela infraestrutura de distribuição e abastecimento de água para Região Metropolitana de Fortaleza.

Figura 1 – Cartograma de identificação das Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD´s) do estado do Ceará



Fonte: Ceará (2010).

Figura 2 – Localização da Área de Estudo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 – Imagem de satélite do projeto de Recuperação de Área Degradada (RAD) na Comunidade Riacho do Brum (Jaguaribe, CE), destacando-se área com e sem cobertura vegetal

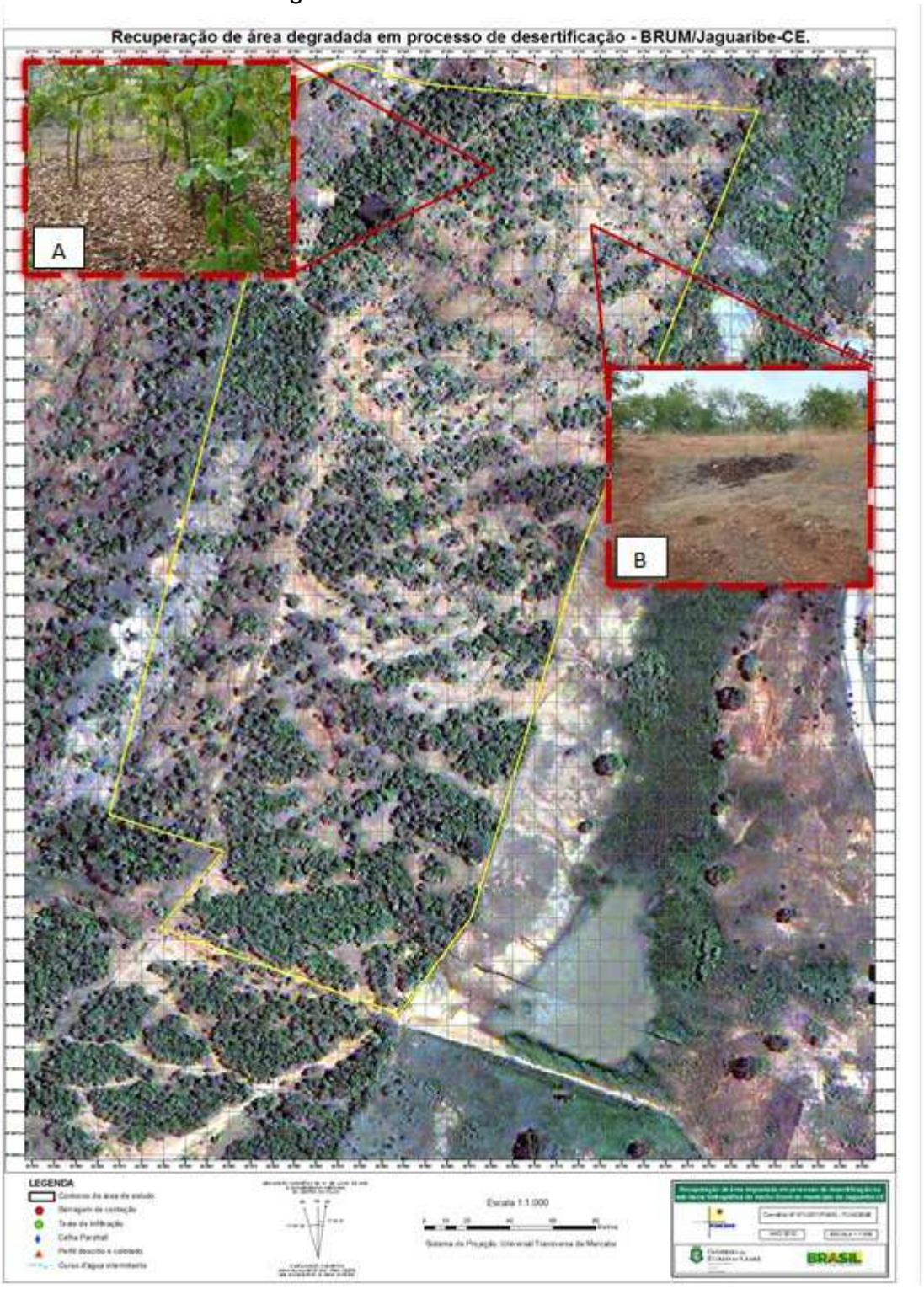


Foto A - área com serapilheira e cobertura vegetal; Foto B - área com solos expostos sem cobertura vegetal e com evidências de erosão.
Fonte: imagem da FUNCEME e fotos do autor, elaborado pelo autor.

A precipitação pluvial média do município é de 677 mm por ano, com estimativa de 1.080 mm ano^{-1} de evapotranspiração potencial (VAREJÃO-SILVA, 1999). Nos últimos anos foram registrados índices pluviométricos inferiores à média histórica (TABELA 1). Essa escassez de chuvas e temperaturas médias entre 26 e 28°C (FUNCEME, 2009) são características do clima semiárido (THORNTHWAITE; THER, 1955), ou, conforme classificação de Köppen (BSw'h'), clima tropical com estação seca em, pelo menos, oito meses por ano.

Tabela 1 – Registro de chuvas no município de Jaguaribara nos anos de 2012/2013/2014

Precipitação Pluvial (mm)								
---------- 2012 ----------			---------- 2013 ----------			----------2014 ----------		
Normal	Observada	Anomalia	Normal	Observada	Anomalia	Normal	Observada	Anomalia
676,90	275,30	-401,60	676,90	525,40	-151,50	676,90	554,80	-122,10

Fonte: IPECE, 2015.

Quanto à geologia, há o predomínio das rochas cristalinas dos tipos migmatitos e gnaisses diversos, encerrando corpos de metacalcários, anfibolitos e quartzitos do período Pré-Cambriano (FUNCEME, 2009) que constituem o modelado da superfície da região denominado de Depressões Sertanejas e representam a unidade morfológica da área (CEARÁ, 2010).

O relevo é caracterizado por áreas planas e suavemente onduladas com superfícies pediplanadas e parcialmente dissecadas em colinas, intercaladas por planícies fluviais que recobrem vales de fundos planos em litotipos do Maciço Cristalino e em depósitos aluviais (CEARÁ, 2010; IPECE, 2015).

As classes de solos mais representativas na região onde foi realizado o estudo são Luvissolos Crômicos, Planossolos Háplicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos revestidos por caatinga arbóreo-arbustiva aberta e fortemente degradada, com dinâmica ambiental influenciada por processos erosivos de morfogênese mecânica (IPECE, 2013).

A cobertura vegetal pode ser classificada como caatinga hiperxerófila caducifólia, composta por formações lenhosas, com elevado grau de xerofitismo, predominantemente arbustiva, pouco densa, com espécies de porte baixo, espinhentas e que perde totalmente as folhas no decorrer da estação seca (FUNCEME, 2009). As principais espécies encontradas na área de estudo são *Auxema oncocalyx* Taub. (pau branco); *Mimosa caesalpinaefolia* Benth.

(sabiá); Combretum leprosum Mart. (mofumbo); Caesalpinia pyramidalis Tul. (catingueira); Aspidosperma pirifolium Mart. (pereiro); Mimosa hostilis Mart. (jurema preta); Piptadenia communis Benth. (jurema branca); Busera leptophleoeos Mart. (imburana); Caesalpina férrea Mart. Ex Tul. (jucá); Croton hemiargyreus Muell. Arg. (marmeleiro); Cnidoscolus phyllacantus Pax. E Hoffm. (favela); Cereus campestris St. Hil. (velame) (MAIA, 2012).

3.2.3 Delineamento experimental e tratamentos

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, considerando dois tratamentos (Solos Com Vegetação - SCV e Solos Sem Vegetação - SSV) com séries de sete repetições, com exceção das avaliações que envolvem informações laboratoriais de características dos perfis pedológicos, bem como os resultados do fracionamento da matéria orgânica e testes de infiltração, cujas amostragens foram em quatro repetições.

3.2.4 Coleta das Amostras de Solos e Análise Estatística

As coletas de amostras de solos foram realizadas em perfis e mini-trincheiras. Para definição dos locais de amostragens foram considerados os seguintes condições: 1) presença ou ausência de cobertura vegetal; 2) posicionamentos dos em relação à topografia do terreno, de modo que, as trincheiras seguiram o mesmo padrão topográfico, com perfis localizados em terrenos com declividade de 1% a 8%, caracterizando o relevo plano a suave ondulado (FIGURA 4).

Foram descritos oito perfis pedológicos, conforme metodologia de Santos et al. (2013), sendo quatro na condição de solos com cobertura vegetal e presença de serapilheira (Perfil Com Vegetação - PCV) e quatro sem cobertura (Perfil Sem Vegetação - PSV) com aspectos visíveis de degradação. Para cada condição mencionada acima, foram realizadas coletas de três pontos extras, usando-se mini-trincheiras (Mini-trincheira Com Vegetação - MCV e Mini-trincheira Sem Vegetação - MSV), totalizando dez pontos de amostragem de Solos Com Vegetação (SCV) e sete de Solos Sem Vegetação (SSV) (FIGURA 5).

Foram preenchidas fichas técnicas em cada ponto de observação, com descrições tanto das características da paisagem em escala local como dos atributos macromorfológicos dos solos (APÊNDICE A; APÊNDICE B) e coleta de material (amostras deformadas e indeformadas) em cada horizonte e/ou camada, de acordo com as recomendações de Santos et al. (2013).

Com auxílio do programa de Assistência Estatística (ASSISTAT 7.7) (SILVA; AZEVEDO, 2009) os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com delineamento inteiramente casualizado, realizando comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$) e correlação simples entre variáveis aplicando o teste t ($p < 0.05$).

3.2.5 Procedimentos para fins de caracterização, classificação e análise comparativa dos solos

Os solos foram classificados segundo os parâmetros definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2013), para tanto, foram identificados os horizontes diagnósticos superficiais e os horizontes diagnósticos subsuperficiais por meio da descrição morfológica dos perfis, dos atributos físicos, químicos e demais condições pré-estabelecida pelo SiBCS. Foram realizadas análises necessárias à classificação de solos, de acordo com os métodos adotados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011). As análises foram feitas nos laboratórios do Departamento de Ciências do Solo, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. As análises micromorfológicas foram realizadas no Laboratório de Micromorfologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

3.2.5.1 Análises físicas e químicas

Inicialmente, com o intuito de quantificar as frações terra fina, cascalho e calhaus presentes nas amostras coletadas em campo, foi calculado o percentual de cada uma dessas frações em relação ao peso total da amostra, após procedimento de separação por peneiramento e pesagem (EMBRAPA, 2011).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta para retirada da argila em suspensão (EMBRAPA, 2011), usando-se hidróxido de sódio (NaOH) como dispersante químico, sendo a fração areia separada por peneiramento e entre o teor da fração silte estimado pela diferença entre as duas frações anteriores. A argila dispersa em água, também foi realizada pelo mesmo método, diferenciando apenas pela ausência do dispersante químico (EMBRAPA, 2011). Com base nos teores de argila total e argila dispersa em água foi calculado o grau de floculação (GF%).

Figura 4 – Imagem de satélite da área de estudo com os pontos de amostragem

PCV – Perfis Com Vegetação; PSV – Perfis Sem Vegetação; MCV – Mini-trincheira Com Vegetação; MSV – Mini-trincheira Sem Vegetação. Fonte: Elaborado pelo autor.