



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ÍNDICES BIOFÍSICOS PARA AVALIAÇÃO DA
DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

JHONY VENDRUSCOLO

AREIA - PB
NOVEMBRO DE 2017

JHONY VENDRUSCOLO

**ÍNDICES BIOFÍSICOS PARA AVALIAÇÃO DA
DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Ciclos biogeoquímicos em Agroecossistemas.

Orientadores: Dr. Aldrin Martin Perez Marin

Dr. Bruno de Oliveira Dias

Areia-PB
Novembro de 2017

*Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, campus II, Areia - PB*

V453í Vendruscolo, Jhony.

Índices biofísicos para avaliação da desertificação no semiárido / Jhony
Vendruscolo. - Areia, 2017.
149 f. : il.

Orientação: Aldrin Martin Perez Marin, Bruno de
Oliveira Dias.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Caatinga. 2. Cobertura arbórea. 3. Atributos do
solo. 4. Indicadores biofísicos. 5. Processo de
desertificação. I. Marin, Aldrin Martin Perez. II.
Dias, Bruno de Oliveira. III. Título.

UFPB/BC

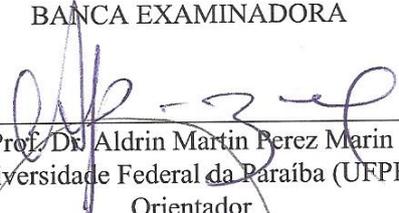
JHONY VENDRUSCOLO

**ÍNDICES BIOFÍSICOS PARA AVALIAÇÃO DA
DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

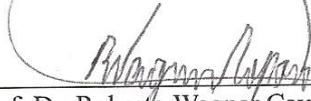
Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo
(Doutorado), Centro de Ciências Agrárias
da Universidade Federal da Paraíba.

Aprovada em 07 de Novembro de 2017

BANCA EXAMINADORA



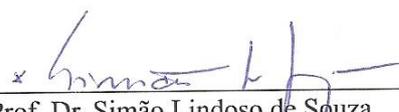
Prof. Dr. Aldrin Martin Perez Marin
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
Orientador



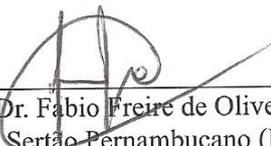
Prof. Dr. Roberto Wagner Cavalcanti Raposo
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
Membro



Prof.ª Dr.ª Ana Dolores Santiago de Freitas
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Membro



Prof. Dr. Simão Lindoso de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)
Membro



Prof. Dr. Fabio Freire de Oliveira
Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IF SERTÃO-PE)
Membro

AREIA - PB

A DEUS, por me acompanhar nos momentos mais difíceis, e por me enviar uma ótima família que me faz querer ir sempre adiante sem olhar para trás.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS por guiar meus passos;

Aos meus pais Eloi Luis Vendruscolo e Cleci Fatima Vendruscolo que sempre incentivaram minha vida acadêmica e profissional, meu irmão Janeomar Vendruscolo pelo companheirismo e incentivo de sempre seguir adiante, minha namorada Karoline Ruiz Ferreira, que sempre me apoiou nos momentos mais difíceis. Aos meus sobrinhos Eduardo Gabriel Garcia Vendruscolo e Isabela Garcia Vendruscolo, pelo carinho e apoio emocional.

A Universidade Federal da Paraíba, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela acolhida e oportunidade de trabalhar com ótimos profissionais.

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), pela oportunidade de trabalhar com grandes profissionais e magníficas pessoas.

A CAPES pela bolsa de estudos, que permitiu dedicação exclusiva ao Doutorado em Ciência do Solo.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Aldrin Martin Perez Marin e Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias, pelo companheirismo, paciência e sabedoria.

Aos grandes amigos Evaldo dos Santos Felix, Ewerton Gonçalves de Abrantes, Renato Francisco, Vanessa do Santos Gomes, Victor Junior Lima Felix, Robério de Oliveira e Aparecida da Silva Barbosa, pela grande força para continuar a cada desafio.

SUMÁRIO

RESUMO.....	xii
INTRODUÇÃO	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
CAPÍTULO I	5
PHYTOSOCIOLOGICAL SURVEY OF ARBOREOUS SPECIES IN CONSERVED AND DESERTIFIED AREAS IN THE SEMI-ARID REGION OF PARAÍBA, BRAZIL	5
1. INTRODUCTION	7
2. MATERIALS AND METHODS.....	8
3. RESULTS.....	12
4. DISCUSSION	18
5. CONCLUSIONS	20
6. REFERENCES	21
CAPÍTULO II.....	24
ÍNDICE DA COBERTURA VEGETAL ARBÓREA PARA AVALIAÇÃO DA DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO	24
1. INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4. CONCLUSÃO	42
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
CAPÍTULO III	47
QUALIDADE DE SOLOS EM ÁREAS CONSERVADAS E DESERTIFICADAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO, BRASIL	47
1. INTRODUÇÃO.....	51
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	52

2.1 Localização e características das áreas de estudo.....	52
2.2. Coleta e análise das amostras de solo	53
2.3 Classificação dos atributos e índice de qualidade do solo.....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.1 Áreas conservadas	62
3.2 Áreas desertificadas	69
4. CONCLUSÃO.....	78
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
CAPÍTULO IV.....	86
INDICADORES DO SOLO PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO, BRASIL	86
1. INTRODUÇÃO	90
2. MATERIAL E MÉTODOS	91
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
3.1 Indicadores e índice de nível de desertificação para a camada de 0-5 cm	97
3.1.1 Seleção e abrangência de indicadores no Semiárido paraibano.....	97
3.1.2 Valores de referência para os indicadores na camada de 0-5 cm	106
3.1.3 Peso dos indicadores na camada de 0-5 cm	107
3.1.4 Índice do nível de desertificação para a camada de 0-5 cm (IND ₀₋₅)	110
3.2 Indicadores e índice de nível de desertificação para a camada de 5-20 cm	112
3.2.1 Seleção e abrangência de indicadores no Semiárido paraibano	112
3.2.2 Valores de referência para os indicadores na camada de 5-20 cm	117
3.2.3 Peso dos indicadores na camada de 5-20 cm	117
3.2.4 Índice do nível de desertificação para a camada de 5-20 cm (IND ₅₋₂₀).....	119
3.3. Índice do nível de desertificação final (IND _F), para o Semiárido paraibano.....	120
4. CONCLUSÃO.....	122
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
CONCLUSÃO GERAL	128
APÊNDICE	129

LISTA DE TABELA DO CAPÍTULO I

Tabela 1. Number of species and plants from each species, in the conserved areas of the semi-arid region of Paraíba State.	13
Tabela 2. Number of species and plants from each species, in the desertified areas of the semi-arid region of Paraíba State.	15
Tabela 3. Phytosociological parameters of tree species in the conserved areas of the semi-arid region of Paraíba, Brazil.	15
Tabela 4. Phytosociological survey of tree species in the conserved areas of the semi-arid region of Paraíba, Brazil.....	17

LISTA DE TABELA DO CAPÍTULO II

Tabela 1. Municípios que compõem o semiárido paraibano	29
Tabela 2. Valores para os parâmetros de cobertura arbórea em áreas do semiárido paraibano	30
Tabela 3. Valores de referência para os indicadores de cobertura vegetal arbórea	32
Tabela 4. Parâmetros da cobertura vegetal arbórea em áreas conservadas (AC) e desertificadas (AD), para seleção de indicadores do nível de desertificação no Semiárido paraibano	34
Tabela 5. Valores de referência para parâmetros da cobertura arbórea, no Semiárido paraibano	39
Tabela 6. Valores de pesos padronizados em função dos indicadores selecionados	40
Tabela 7. Índice do nível de desertificação (IND) em áreas do Semiárido paraibano	41

LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO III

Tabela 1. Atributos químicos do solo em áreas conservadas do Semiárido paraibano, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade	54
Tabela 2. Atributos químicos do solo em áreas desertificadas do Semiárido paraibano, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade	55
Tabela 3. Atributos físicos do solo em áreas conservadas do Semiárido paraibano, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade	57
Tabela 4. Atributos físicos do solo em áreas desertificadas do Semiárido paraibano, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade	58
Tabela 5. Valores de referência para a avaliação do nível de qualidade dos atributos químicos e físicos dos solos	60
Tabela 6. Níveis de qualidade dos atributos químicos e físico, e índice de qualidade do solo (IQS) em áreas conservadas do Semiárido paraibano	63
Tabela 7. Níveis de qualidade dos atributos químicos e físico, e índice de qualidade do solo (IQS) em áreas desertificadas do Semiárido paraibano	70

LISTA DE TABELAS DO CAPÍTULO IV

Tabela 1. Municípios que compõem o Semiárido paraibano	92
Tabela 2. Valores de referência para os indicadores do solo, para a avaliação do nível de desertificação, no Semiárido paraibano	94
Tabela 3. Relação entre as características da cobertura arbórea e o nível de desertificação das áreas em estudo	94
Tabela 4. Valores médios e diferença entre médias dos atributos químicos e físicos do solo, na camada de 0-5 cm de profundidade, em áreas conservadas (C) e áreas desertificadas (D) do Semiárido paraibano	97
Tabela 5. Valores de referência para avaliação do nível de desertificação na camada de 0-5 cm de profundidade, no Semiárido paraibano	107
Tabela 6. Peso dos indicadores na camada de 0-5 cm, para avaliação do nível de desertificação do Semiárido paraibano	107
Tabela 7. Peso padronizado para os indicadores na camada de 0-5 cm, em função do tipo e número de indicadores na parcela	109
Tabela 8. Níveis dos indicadores e índice do nível de desertificação na camada de 0-5 cm (IND ₀₋₅), em áreas conservadas e desertificadas do Semiárido paraibano	111
Tabela 9. Valores médios e diferença entre médias dos atributos químicos e físicos do solo, na camada de 5-20 cm de profundidade, em áreas conservadas (C) e desertificadas (D) no Semiárido paraibano	112
Tabela 10. Valores de referência para avaliação do nível de desertificação na camada de 5-20 cm de profundidade, no Semiárido paraibano	117
Tabela 11. Peso dos indicadores na camada de 5-20 cm, para avaliação do nível de desertificação do Semiárido paraibano	118
Tabela 12. Peso padronizado para os indicadores na camada de 5-20 cm, em função do tipo e número de indicadores na parcela	118
Tabela 13. Níveis dos indicadores e índice do nível de desertificação na camada de 5-20 cm (IND ₅₋₂₀), em áreas conservadas e desertificadas do Semiárido paraibano	119
Tabela 14. Índice do nível de desertificação final (INDF), em áreas conservadas e desertificadas no Semiárido paraibano	121

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO I

Figure 1. Geographic localization of the conserved (CA) and desertified areas (DA) in the semi-arid region of Paraíba State, Brazil	8
--	---

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO II

Figura 1. Áreas conservadas e desertificadas no Semiárido paraibano, Brasil.	28
Figura 2. Áreas recomendadas para utilização do número de espécies arbóreas e Dominância absoluta total (DoA-T), com indicadores do nível de desertificação no Semiárido paraibano	36
Figura 3. Áreas recomendadas para utilização da densidade de plantas, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano	37
Figura 4. Áreas recomendadas para utilização da altura média do dossel, como indicador do nível de desertificação do Semiárido paraibano	37
Figura 5. Áreas recomendadas para utilização da circunferência média na base (CNB-Médio), como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano	38
Figura 6. Áreas recomendadas para utilização da circunferência média a altura do peito (CAP-Médio), como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano	38
Figura 7. Componentes principais e grupos formados em função dos indicadores de cobertura florestal: número de espécies, densidade de plantas, altura média, CNB-M, CAP-M e DoA-T. C: áreas conservadas; D: áreas desertificadas	40

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO III

Figura 1. Distribuição geográfica das áreas conservadas e desertificadas no semiárido paraibano	52
Figura 2. Nível de qualidade em função da classificação climática do Semiárido paraibano	61
Figura 3. Porcentagem de áreas conservadas em função da textura do solo	65
Figura 4. Qualidade do solo em áreas conservadas no Semiárido paraibano	68
Figura 5. Porcentagem de áreas desertificadas em função da textura do solo	73
Figura 6. Qualidade do solo em áreas desertificadas no Semiárido paraibano	76

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO IV

Figura 1. Localização das áreas conservadas e desertificadas no Semiárido paraibano, Brasil. 1) Cacimba de Dentro; 2) Algodão de Jandaíra; 3) Campina Grande; 4) Riacho de Santo Antônio; 5) São Domingos do Cariri; 6) Soledade; 7) Picuí; 8) Taperoá; 9) Sumé; 10) Zabelê; 11) Patos; 12) Olho D'Água; 13) São José do Brejo do Cruz; 14) Catolé do Rocha; 15) Coremas; 16) Princesa Isabel; 17) Santa Inês; 18) Bonito de Santa Fé; 19) Cajazeiras; 20) Uiraúna; 21) Picuí; e 22) Marizópolis.....	91
Figura 2. Áreas recomendadas para utilização dos teores de cálcio (Ca^{2+}) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.....	98

Figura 3. Áreas recomendadas para utilização dos teores carbono orgânico total (COT) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.	99
Figura 4. Áreas recomendadas para utilização da acidez potencial (H+Al) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano....	101
Figura 5. Áreas recomendadas para utilização CTC total na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.	102
Figura 6. Áreas recomendadas para utilização dos teores de sódio (Na ⁺) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.....	103
Figura 7. Áreas recomendadas para utilização da saturação por alumínio na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano....	104
Figura 8. Áreas recomendadas para utilização da porcentagem de sódio trocável (PST) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.	105
Figura 9. Áreas recomendadas para utilização da densidade do solo (DS) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano....	106
Figura 10. Áreas recomendadas para utilização dos teores de potássio (K ⁺) na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.	113
Figura 11. Áreas recomendadas para utilização dos teores de carbono orgânico total (COT) na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.....	114
Figura 12. Áreas recomendadas para utilização dos teores de sódio (Na ⁺) na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano....	115
Figura 13. Áreas recomendadas para utilização da porcentagem de sódio trocável (PST) na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.	116
Figura 14. Áreas recomendadas para utilização da densidade do solo na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.....	117

RESUMO

O processo de desertificação ocorre em zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas do globo terrestre, ocasionando perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes, e, conseqüentemente, a redução da capacidade produtiva dos solos. No Brasil, as áreas suscetíveis a desertificação abrangem 9 estados, incluindo a Paraíba, sendo observado que o processo se inicia com a conversão de floresta nativa para agropecuária associada com o manejo inadequado do solo. O presente trabalho teve como objetivo selecionar indicadores biofísicos e fornecer índices para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano. Foram selecionadas 22 áreas conservadas, sem corte raso nos últimos 30 anos, e 22 áreas desertificadas, com dificuldades de reestabelecimento da cobertura vegetal. Em cada área alocou-se uma parcela de 100 m² (10 x 10 m). Inicialmente, identificou-se as espécies arbóreas, mensurou-se a circunferência da base a 0,30 m do solo (CNB), circunferência a altura do peito a 1,30 m (CAP), calculou-se a densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR), frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), índice de valor de importância (IVI) e o índice de valor de cobertura (IVC) (I Capítulo). Posteriormente, calculou-se o número de espécies (NE), densidade de plantas (DP), altura média do dossel (A-M), circunferência média na base (CNB-M), circunferência média a altura do peito (CAP-M) e dominância absoluta total (DoA-T), e com base nos resultados selecionou-se os indicadores do nível de desertificação com teste T pareado ($p < 0,05$), mensurou-se a abrangência dos indicadores, considerando a menor diferença detectável entre os pares de áreas (conservadas e desertificadas), obteve-se os pesos dos indicadores com análise de componentes principais e elaborou-se um índice para avaliação do nível de desertificação do Semiárido paraibano (II Capítulo). Nas parcelas também foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5 e 5-20 cm, e realizadas as análises da acidez ativa (pH em água), acidez potencial (H+Al), teores de sódio (Na⁺), alumínio (Al³⁺), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), carbono orgânico total (COT), P disponível (Mehlich-1), textura e densidade do solo (DS), e calculou-se os valores de soma de bases, CTC efetiva, CTC total, saturação por bases, saturação por Al³⁺ e porcentagem de sódio trocável (PST). Os valores dos atributos químicos e físicos do solo foram comparados com valores de referência para o semiárido, classificados em 3 níveis (1 – alto, 2 – médio e 3 – baixo) e unidos para a formação de um índice de qualidade do solo, que foi comparado com o mapa de classificação climática para

obtenção das áreas mais suscetíveis ao processo de desertificação e mais críticas para restauração da cobertura florestal (III Capítulo). Com base nos resultados dos solos, também selecionou-se os indicadores do nível de desertificação com teste T pareado ($p < 0,05$), mensurou-se a abrangência dos indicadores, considerando a menor diferença detectável entre os pares de áreas (conservadas e desertificadas), obteve-se os pesos dos indicadores com análise de componentes principais e elaborou-se um índice para avaliação do nível de desertificação do Semiárido paraibano (IV Capítulo). No primeiro capítulo verifica-se que as áreas conservadas apresentaram um total 63 espécies arbóreas e as áreas desertificadas 9 espécies. As espécies mais frequentes nas áreas conservadas são *Caesalpinia pyramidalis* e *Croton sonderianus*, e nas áreas desertificadas são *Mimosa tenuiflora* e *Croton sonderianus*. As áreas conservadas apresentaram maior DA que as áreas desertificadas, com valores totais de 4.845 I ha^{-1} e 895 I ha^{-1} . A DoA seguiu a ordem *Caesalpinia pyramidalis* > *Anadenanthera colubrina* > *Myracrodruon urundeuva* e *Mimosa tenuiflora* > *Caesalpinia pyramidalis* > *Aspidosperma pyriformium*, para áreas conservadas e áreas desertificadas, respectivamente. As espécies *Croton sonderianus* (áreas conservadas) e *Mimosa tenuiflora* (áreas desertificadas) apresentam os maiores IVI e IVC. No segundo capítulo, constata-se que a perda de qualidade da cobertura vegetal arbórea desencadeou o processo de desertificação, por reduzir a proteção do solo contra a ação da erosão hídrica. Os parâmetros número de espécies, DoA-T, densidade de plantas, altura média do dossel, CAP-M e CNB-M, podem ser utilizados como indicadores em 100, 100, 97,9, 89,7, 71,6 e 56,8%, da região semiárida paraibana, respectivamente. Os indicadores que tem maior peso são CAP-M (0,4210), CNB-M (0,4110), número de espécies (0,4097), densidade de plantas (0,3891), altura média (0,3614) e DoA-T (0,3407). O índice do nível de desertificação com base na cobertura arbórea permite avaliar com precisão o nível de desertificação de áreas no Semiárido paraibano. No terceiro capítulo, observa-se que as áreas conservadas apresentam alto nível de qualidade dos solos. Os atributos do solo que torna a região naturalmente mais sensível ao processo de desertificação são pH, P, COT, acidez potencial, CTC total, CTC efetiva, saturação por bases e DS. Os municípios de Bonito de Santa Fé, Cacimba de Dentro, Campina Grande, Soledade, Picuí, Remígio e Uiraúna, apresentam a menor qualidade do solo em áreas conservadas. Os municípios mais suscetíveis ao processo de desertificação, considerando a qualidade do solo em áreas conservadas e a disponibilidade de água, são Soledade e Picuí. As áreas desertificadas apresentam alto nível de qualidade na camada de 0-5 cm, e médio nível de qualidade na camada de 5-20 cm. Os atributos mais limitantes ao crescimento e

desenvolvimento da cobertura vegetal nas áreas desertificadas são COT, P, DS, CTC total, pH, CTC efetiva e Ca^{2+} , respectivamente. As regiões mais críticas para o restabelecimento da cobertura vegetal em áreas desertificadas estão localizadas nos municípios de São Domingos do Cariri, Picuí e Taperoá. Nas áreas desertificadas, recomenda-se o uso de manejos integrados priorizando o acúmulo de matéria orgânica, redução do processo erosivo e a elevação da disponibilidade de água, visando a recuperação da cobertura vegetal. No quarto capítulo, verifica-se que o processo de desertificação no Semiárido paraibano tende a reduzir os teores de COT e aumentar os valores de Na^+ , PST e DS, independente da camada, e diminuir os valores de Ca^{2+} , H+Al, CTC total na camada de 0-5 cm, e de K^+ na camada de 5-20 cm. A abrangência dos indicadores no Semiárido paraibano, para a camada de 0-5 cm, apresenta a seguinte ordem: COT (100%), DS (100%), H+Al (68,0%), CTC total (66,0%), Na^+ (64,2%), Ca^{2+} (62,4%), PST (61,4%) e saturação por Al^{3+} (18,2%). Na camada de 5-20 cm, segue a ordem: COT (91,2%), K^+ (78,0%), DS (55,6%), PST (53,0%) e Na^+ (29,0%). O índice do nível de desertificação com base nos atributos do solo, permite avaliar com precisão o nível de desertificação em áreas do Semiárido paraibano, e apontar quais atributos do solo são mais limitantes para restauração da cobertura florestal em regiões específicas.

Palavras-chave: Caatinga, cobertura arbórea, atributos do solo, indicadores biofísicos, processo de desertificação.

ABSTRACT

The desertification process takes place in arid, semi-arid and sub-humid areas of the earth, causing losses of soil, organic matter and nutrients, and, consequently, the reduction of the productive capacity of the soils. In Brazil, areas susceptible to desertification encompass 9 states, including Paraíba, and it is observed that the process begins with the conversion of native forest to agriculture associated with inadequate soil management. The present work had as objective to select biophysical indicators and to provide indices for the evaluation of the level of desertification in the Semiarid of the Paraíba State. Twenty - two preserved areas were selected, with no clear cut in the last 30 years, and 22 desertified areas, with difficulties to re - establish the vegetation cover. In each area a plot of 100 m² (10 x 10 m) was allocated. Initially, the tree species were identified, the perimeter at 0.30 m ground level (PGL), chest height perimeter at 1.30 m (PBH), absolute density (AD), relative density (RD), absolute frequency (AF), relative frequency (RF), absolute dominance (ADo), relative dominance (RDo), importance value index (IVI) and coverage value index (CVI) were calculated (I Chapter). After that, the number of species (NS), plant density (PD), mean canopy height (H-M), mean perimeter ground level (PGL-M), mean chest height perimeter (PBH-M) and total absolute dominance (ADo-T), and based on the results, the indicators of the level of desertification with paired T-test were selected ($p < 0.05$), the range of indicators was measured, considering the smallest detectable difference between the pairs of areas (conserved and desertified), the weights of the indicators were analyzed with principal component analysis and an index was prepared for the evaluation of the desertification level of the Paraíba semi-arid region (II Chapter). Soil samples were also collected in the 0-5 and 5-20 cm layers, and analyzed of the active acidity (pH in water), potential acidity (H + Al), sodium (Na⁺), aluminum (Al³⁺), potassium (K⁺), calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), total organic carbon (TOC), available P (Mehlich-1), soil texture and bulk density, and calculated the sum of bases, effective CEC, potential CEC, base saturation, aluminium saturation and percentage of exchangeable sodium (PES). The values of chemical and physical soil attributes were compared with reference values for the semiarid region, classified into three levels (1 - high, 2 - medium and 3 - low) and joined to the formation of a soil quality index, was compared to the climatic classification map to obtain the areas most susceptible to the desertification process and the most critical for restoration of forest cover (Chapter III). On the basis of the soil results, the indicators of

the desertification level with paired T-test ($p < 0.05$) were also selected, the range of indicators was measured, considering the smallest detectable difference between the pairs of areas (conserved and desertified), the weights of the indicators were analyzed with principal component analysis, and an index was prepared for the evaluation of the desertification level of the Semiarid of the Paraíba State (IV Chapter). In the first chapter, it is verified that the conserved areas presented a total of 63 tree species and 9 desertified areas. The most frequent species in the conserved areas are *Caesalpinia pyramidalis* and *Croton sonderianus*, and in the desertified areas are *Mimosa tenuiflora* and *Croton sonderianus*. The conserved areas presented higher AD than the desertified areas, with total values of 4845 I ha^{-1} and 895 I ha^{-1} . The ADo followed the order *Caesalpinia pyramidalis* > *Anadenanthera colubrina* > *Myracrodruon urundeuva*, and *Mimosa tenuiflora* > *Caesalpinia pyramidalis* > *Aspidosperma pyriformis*, for conserved areas and desertified areas, respectively. The *Croton sonderianus* (conserved areas) and *Mimosa tenuiflora* (desertified areas) species have the highest IVI and CVI. In the second chapter, it is verified that the loss of quality of the tree cover caused the desertification process, by reducing the protection of the soil against the action of water erosion. The parameters NS, ADo-T, PD, H-M, PBH-M and PGL-M, can be used as indicators in 100, 100, 97.9, 89.7, 71.6 and 56.8%, from the semi-arid region of Paraíba, respectively. The most important indicators are PBH-M (0.4210), PGL-M (0.4110), NS (0.4097), PD (0.3891), H-M (0.3614) and ADo-T (0.3407). The index of the level of desertification based on the tree cover allows to accurately assess the level of desertification of areas in the Semiarid of the Paraíba State. In the third chapter, it is observed that the conserved areas present a high level of soil quality. The attributes of the soil that makes the region naturally more sensitive to the desertification process are pH, P, TOC, potential acidity, potential CEC, effective CEC, base saturation and bulk density. The municipalities of Bonito de Santa Fé, Cacimba de Dentro, Campina Grande, Soledade, Picuí, Remígio and Uiraúna, present the lowest soil quality in conserved areas. The municipalities most susceptible to the desertification process, considering the soil quality in conserved areas and the availability of water, are Soledade and Picuí. The desertified areas present a high level of quality in the layer of 0-5 cm, and medium level of quality in the layer of 5-20 cm. The most limiting attributes to the growth and development of the vegetation cover in the desertified areas are TOC, P, bulk density, potential CEC, pH, effective CEC and calcium, respectively. The most critical regions for the restoration of vegetation cover in desertified areas are located in the municipalities of São Domingos do Cariri, Picuí and Taperoá. In

desertified areas, the use of integrated management is recommended prioritizing the accumulation of organic matter and the increase of water availability, aiming at the recovery of the vegetal cover. In the fourth chapter, the desertification process in the semi-arid region of Paraíba tends to reduce the TOC content and increase the values of Na^+ , PES and bulk density, independent of the layer, and decrease the values of Ca^{2+} , H+Al, potential CEC in the 0-5 cm layer, and K^+ in the 5-20 cm layer. The range of the indicators in the semi-arid region for the 0-5 cm layer is as follows: TOC (100%), bulk density (100%), H+Al (68.0%), potential CEC (66.2%), Na^+ (64.2%), Ca^{2+} (62.4%), PES (61.4%) and aluminium saturation (18.2%). In the 5-20 cm layer follows the order: TOC (91.2%), K^+ (78.0%), bulk density (55.6%), PES (53.0%) and Na^+ (29.0%). The index of the level of desertification based on the soil attributes, allows to accurately assess the level of desertification in areas of the Semiarid region of Paraíba, and to point out which soil attributes are most limiting for restoring forest cover in specific regions.

Key words: Caatinga, tree cover, soil attributes, biophysical indicators, desertification process.

INTRODUÇÃO

O Estado da Paraíba apresenta uma área de 48.785 km² de região semiárida, abrangendo 86% da área do estado (Sá et al., 1994), considerada suscetível ao processo de desertificação (UNCCD, 1994). Essa condição gera grande preocupação com relação à sustentabilidade dos municípios que tem como base econômica a produção agropecuária, uma vez que, de acordo com Vasconcelos Sobrinho (1983), o processo de desertificação, quando em estágio avançado, resulta em solos com horizonte A fortemente erodido, baixa resiliência da vegetação, e tendência de expansão em detrimento das áreas vizinhas.

Apesar da região semiárida ser naturalmente sensível ao processo de desertificação, verifica-se que o processo ocorre principalmente em função de ações antrópicas como desmatamento para a produção de lenha, uso intensivo da terra empregando métodos agropecuários inadequados (Galindo et al., 2008), exploração de depósitos de argila (Alves et al., 2009) e pastoreio extensivo e sobrepastoreio (Costa et al., 2009). Neste contexto, verifica-se a necessidade de adotar estratégias de manejo do solo para reverter esse problema (Damasceno, 2008; Barros, 2011).

A avaliação do processo de desertificação pode ser realizada através de índices, formados por um conjunto de indicadores quantitativos, por simplificar as comparações entre áreas, ao refletir o grau de severidade da desertificação (Sampaio e Araújo, 2006). Um bom indicador deve apresentar como características a disponibilidade de base de informação, representatividade ou significado para a comunidade, sensibilidade às mudanças no espaço e no tempo, ser útil como ferramenta para a tomada de decisão, refletir o uso de recursos públicos (Cevallos e Ospina, 1999), fornecer informações suficientes sobre a situação observada, e apresentar confiabilidade e compatibilidade dos dados (Abraham, 2003).

Os indicadores considerados chave para avaliação deste processo podem ser divididos em quatro categorias (qualidades do clima, vegetação, solo e gestão), destacando-se a vegetação e o solo, que estão diretamente relacionados com a disponibilidade de água e resistência à erosão (Kosmas et al., 1999). A vegetação apresenta características como densidade de plantas, altura do dossel e dominância absoluta, que são responsáveis por controlar o processo de erosão do solo, reduzindo as perdas de solo, nutrientes e matéria orgânica (Lobato et al., 2009) e de água por evaporação. O solo apresenta um conjunto de atributos químicos, físicos e biológicos, que influenciam o crescimento e desenvolvimento da

vegetação (Meurer, 2007), ocupando um papel central no processo de desertificação (Mortmore, 1994).

Cada indicador selecionado requer dois pontos de referência: A) os limites dos valores recomendados e aceitos para o indicador; B) e uma referência para indicar quando é necessário intervir (Abraham et al., 2006). O ponto A indica maior qualidade, e os valores de referência podem ser obtidos em áreas sob vegetação nativa conservada, por representar um ambiente com condições ecológicas estáveis (Tótola e Chaer, 2002), enquanto que o ponto B indica menor qualidade, e os valores de referência podem ser obtidos em áreas com processo avançado de desertificação, por representar o efeito máximo da degradação do solo.

Apesar da literatura descrever vários indicadores e índices de qualidade do solo para avaliação dos processos de desertificação, observa-se que no Semiárido paraibano, a maioria dos trabalhos foram obtidos em pequenas áreas, dificultando sua extrapolação às demais áreas do estado. Assim, observa-se uma deficiência de valores de referência e de índices seguros para avaliação do nível de desertificação, que possibilite um monitoramento dos recursos naturais e o planejamento de combate ao avanço da desertificação nesta região.

Este trabalho é composto por quatro capítulos. O primeiro capítulo tem como objetivo realizar um levantamento fitossociológico do estrato arbóreo de áreas conservadas e desertificadas, e fornecer informações básicas para seleção de indicadores e índices da cobertura vegetal, para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano. O segundo capítulo tem como objetivo selecionar indicadores, valores de referências e índices de cobertura arbórea, para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano. O terceiro capítulo tem como objetivo identificar as áreas mais suscetíveis ao processo de desertificação e críticas para restauração florestal, e fornecer informações básicas para seleção de indicadores, valores de referência e índices do solo, para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano. O quarto capítulo tem como objetivo selecionar indicadores, valores de referência e índices para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, E.M. Desertificación: Bases conceptuales y metodológicas para la planificación y gestión. Aportes a la toma de decisión. **Zonas Áridas**, n. 7, p. 19-68, jan. 2003.

ALVES, J.J.A.; SOUZA, E.N.; NASCIMENTO, S.S. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. **Revista RA E GA**, Curitiba, n. 17, p. 139-152, 2009.

BARROS, J.D.S. Mudanças climáticas, degradação ambiental e desertificação no semi-árido. **Polêm!ca**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 476-483, jul.-set. 2011.

CEVALLOS, J.; OSPINA, P. Evaluación de Impactos Ambientales en el Ecuador. 1ed. Ecuador: Fundación Natura, 1999.

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

DAMASCENO, J. **Indicadores biológicos e sócio-econômicos no núcleo de desertificação do Seridó Ocidental da Paraíba**. 2008. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2008.

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**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1283-1296, jun. 2008.

KOSMAS, C.; POESEN, J.; BRIASSOULI, H. Indicadores clave de desertification a la escala de AMS. In: KOSMAS, C.; KIRKBY, M.; GEESON, N. eds. **The Medalus project Mediterranean desertification and land use: Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification**. Luxembourg: European Communities, 1999. p.13-30.

LOBATO, F.A.O.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; SANTOS, J.C.N.; LOPES, J.F.B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 65-71, jul.-dez. 2009.

MEURER, J. E. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. 1ed. Viçosa, 2007. p. 66- 82.

MORTIMORE. M. Desertification in North East Brazil: report on a visit to Nucleo Desert. Federal University of Piauí: Teresina, 1994.

NIMER, E. Desertificação: realidade ou mito?. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 50, n. 1, p. 7-39, jan.-mar. 1988.

SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, M.S.B. Indicativos de desertificação no semi-árido. CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 16., Recife, 2006. **Anais...** Recife: Associação Brasileira de Zootecnia, 2006, v. 1, p 1-21.

SÁ, I.B.; CUNHA, T.J.F.; TAURA, T.A.; DRUMOND, M.A. Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 1994. p. 3112-3118.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 196-276, 2002.

UNCCD. Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação, nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente a África. Paris: ONU, 1994.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Processos de desertificação no Nordeste do Brasil: sua gênese e sua contenção. Recife: SUDENE. 1983. p. 25-26.

CAPÍTULO I

PHYTOSOCIOLOGICAL SURVEY OF ARBOREOUS SPECIES IN CONSERVED AND DESERTIFIED AREAS IN THE SEMI-ARID REGION OF PARAÍBA, BRAZIL

Jhony Vendruscolo, Aldrin Martin Perez Marin, Bruno de Oliveira Dias, Evaldo dos Santos Felix, Allana dos Anjos Coutinho e Karoline Ruiz Ferreira

Trabalho publicado na Revista
African Journal of Agricultural Research, v. 12, n. 10, p. 805-814, 2017.

ABSTRACT

VENDRUSCOLO, Jhony. **Phytosociological survey of arboreous species in conserved and desertified areas in the semi-arid region of Paraíba, Brazil.** Areia, Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, outubro de 2017, Tese, Pós-Graduação em Ciência do Solo, Orientador, Aldrin Martin Perez Marin e Bruno de Oliveria Dias.

The objective of this study is to perform a phytosociological survey of the arboreous composition in conserved and desertified areas of the semiarid region of Paraíba State. Twenty-two conserved areas (CA) with native vegetation (caatinga) where there has been no clear cut logging since 1984, and Twenty-two desertified areas (DA) having a difficult re-establishment of vegetal coverage over the past 10 years were selected. Plots with 100 m² were established and the species were identified. The perimeter at 0.30 m ground level (PGL) and at breast height, 1.30 m (PBH) was measured. Subsequently, the absolute density (AD), relative density (RD), absolute frequency (AF), relative frequency (RF), absolute dominance (ADo), relative dominance (RDo), importance value index (IVI) and coverage value index (CVI) were calculated. There were 63 species of trees in CA and 9 in DA. The most frequent species were *Caesalpinia pyramidalis* Tul. and *Croton sonderianus* Muell. Arg. in CA, and *Mimosa tenuiflora* (Wild) Poir and *C. sonderianus* in DA. CA showed an AD (4,845 I ha⁻¹) higher than DA (895 I ha⁻¹). The ADo order was *C. pyramidalis* > *Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan > *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. in CA, and *M. tenuiflora* > *C. pyramidalis* > *Aspidosperma pyriforme* (Mart.) in DA. *C. sonderianus* (CA) and *M. tenuiflora* (DA) reached the highest IVI and CVI.

Key words: Caatinga, vegetation, biodiversity, environmental quality.

1. INTRODUCTION

The desertification process triggers major changes in the floristic composition of the Caatinga (Sousa et al., 2015). This happens mainly due to anthropic actions known as deforestation for firewood purposes, exploration of clay deposits, and intensive use of the land through inappropriate agricultural mechanisms (cutting and burning), salinization, extensive grazing and overgrazing (Nimer, 1988; Galindo et al., 2008; Alves et al., 2009; Costa et al., 2009; Sá et al., 2010; Aquino and Oliveira, 2012). The adoption of strategies is mandatory to minimize this problem (Damasceno and Souto, 2014; Barros, 2011).

The impact of the anthropic action on the physiological dynamics of vegetation causes its features to change to an even lower and thinner Caatinga, with a severe selection of species (Alves, 2009). In this context, it is clear that the phytosociological survey provides information about the geographical distribution of the species and about the vegetation structure, depicting the impact of the anthropic action on the vegetation-soilclimate complex. This data can be used for action planning to preserve, conserve and recover the forest ecosystems (Chaves et al., 2013). This consequently leads to the development of more sustainable activities in the semi-arid areas.

Despite the importance of phytosociological studies, the studies carried out in Brazil are still insufficient, and a thorough analysis is necessary so actions on the conservation of natural resources can be taken (Freitas and Magalhães, 2012).

Considering the importance of the vegetal structure for planning the conservation and recovery of the natural resources and for the mitigation of the consequences of the desertification process, this study aimed to perform a phytosociological survey of tree layers in areas of conservation and desertification in the semi-arid region of Paraíba State.

2. MATERIALS AND METHODS

This study was carried out in 22 conserved areas (CA) and 22 desertified areas (DA) (Figure 1) of the semi-arid region of Paraíba State, Brazil, from October 2015 to May 2016. The region has a semi-arid climate, with a dry period of 6 to 11 months in 85.3% of the area (Nimer, 1979) where the annual precipitation is lower than 800 mm (Sousa et al., 2012).

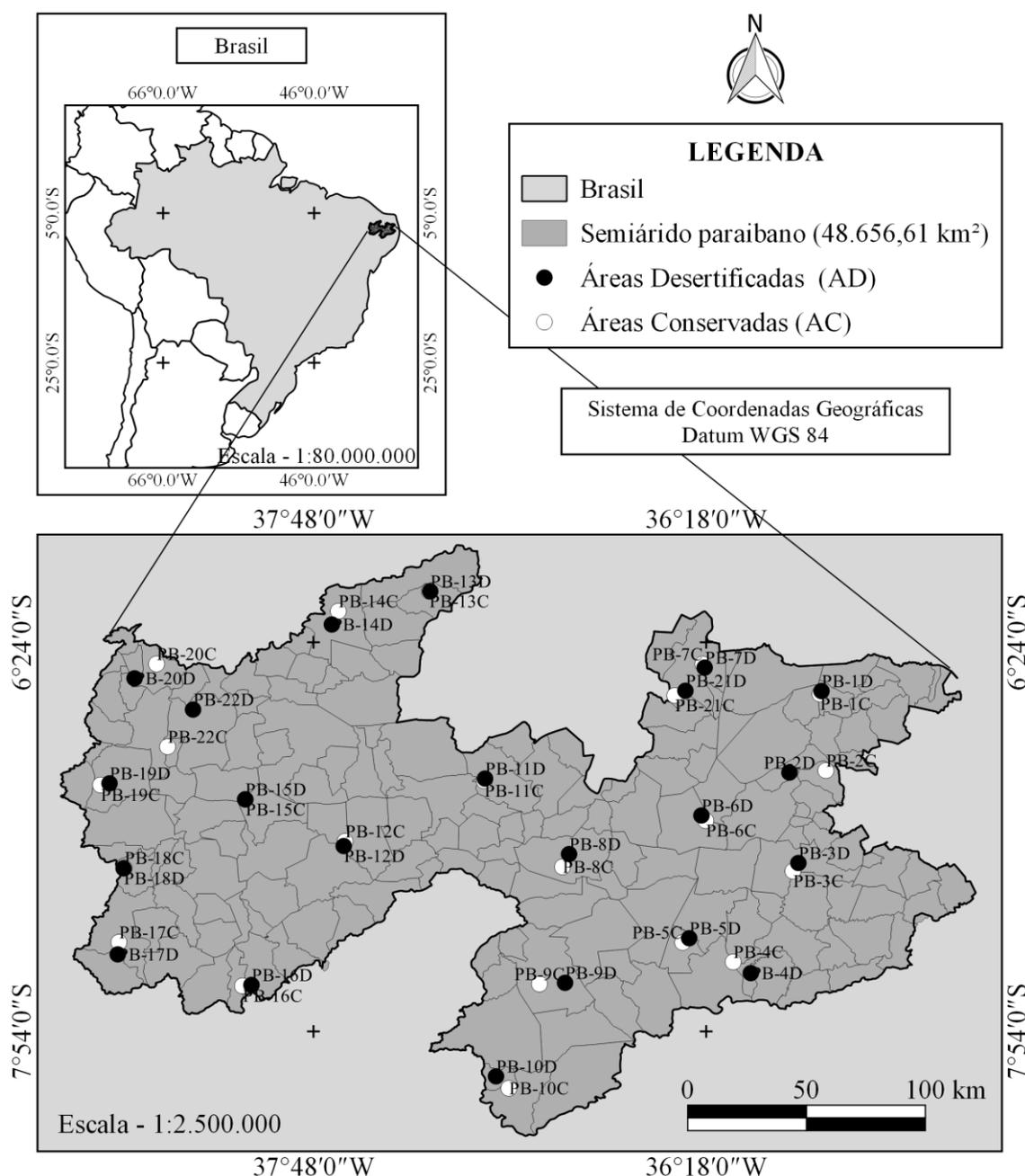


Figure 1. Geographic localization of the conserved (CA) and desertified areas (DA) in the semi-arid region of Paraíba State, Brazil.

The conserved areas (CA) were selected considering the nonoccurrence of clear cutting since 1984, based on temporal images of the past 30 years, using the Landsat Annual Timelapse 1984-2012. Subsequently, the selected areas were compared with the images of the Landsat satellite 8, and confirmed in the field.

The desertified areas (DA) were selected considering the difficulty of the vegetation cover to re-establish, using temporal images (past 10 years) Landsat 7 (bands 3, 4 and 5) and 8 (bands 4, 5 and 6), with the help of the Earthengine. The period of the images is correspondent with the period of the highest rainfall and low incidence of clouds, which excludes water as a limiting factor for plant growth. After selecting the areas, based on remote sensing techniques, the next step was to locate them, by using Google Earth and Garmin 60CSX GPS navigation, and to evaluate the arboreous coverage of the field.

The evaluation of the arboreous vegetation was carried out in 100 m² (10 x 10 m) plots. In each plot, the identification of the arboreous species was based on regional knowledge, with the help of a local guide, and on literature (Lorenzi, 1992; Lorenzi, 1998, 2009; Siqueira Filho et al., 2009; NUPEEA, 2010; Castro and Cavalcante, 2011; INSA, 2011; Maia-Silva et al., 2012). Every tree whose base of the trunk was in the plot was included, even when the stem and canopy were over the borders.

After measuring the arboreal component, the following phytosociological parameters were calculated:

I - Absolute Density per area proportional (AD): represents the average number of trees of a given species, per unit of area ($I \text{ ha}^{-1}$).

$$AD_i = N_i / A \quad (1)$$

Where:

N_i = number of units of the species i ;

A = total area sampled (ha).

II - Relative Density (RD): Percentage of the number of units of a given species in relation to the total number of sampled units.

$$RD_i = (N_i \times 100) / n \quad (2)$$

Where:

N_i = number of units of the species i ;

n = total number of units.

III - Absolute Frequency (AF): is the percentage of sample units with occurrence of the species, in relation to the total number of sample units.

$$AF_i = (P_i \times 100) / P \quad (3)$$

Where:

P_i = number of plots in which the species occurred;

P = total number of plots.

IV - Relative Frequency (RF): obtained from the relationship between the absolute frequency of each species and the sum of the absolute frequencies of all sampled species.

$$RF_i = (AF_i \times 100) / \sum AF_i \quad (4)$$

V - Absolute Dominance (ADo): occupancy rate of the environment by units of a species ($m^2 \text{ ha}^{-1}$), calculated from the sum of basal area.

$$AD_{oi} = BA_i / A \quad (5)$$

Where:

BA_i = individual basal area of a species (m^2), based on the diameter of the stem from 0.3 m or 1.3 m of the ground, when the units were lower or taller than 1.3 m, respectively; A = total sampled area (ha).

VI - Relative Dominance (RDo): represents the relationship between the basal area of a species and the total basal area of all sampled species.

$$RDo = (BA_i / TAB) \times 100 \quad (6)$$

Where:

B_{Ai} = is the basal area of each unit of the species;

TBA = is the sum of the basal areas of all species.

VII - Importance Value Index (IVI): represents how well the species is established in the community. It is the result of the relative values already calculated for density, frequency and dominance, reaching, therefore, the maximum value of 300.

$$IV_{i} = RD_{i} + RDo_{i} + R_{Fi} \quad (7)$$

IX - Value of Coverage Index (VCI): is the sum of relative values and dominance of each species, up to a maximum value of 200.

$$IVC_{i} = RD_{i} + RDo_{i} \quad (8)$$

3. RESULTS

The conserved areas had 5 to 17 species per plot, with an average value of 10 (± 2.9), totaling 63 species (Table 1), while the desertified areas presented 1 to 4 species per plot, with an average value of 2 (± 1.0), totaling 9 species (Table 2).

The most frequent species found in the conserved areas were *Caesalpinia pyramidalis* (77.3%), *Croton sonderianus* (77.3%), *Piptadenia stipulacea* (68.2%) and *Aspidosperma pyriformium* (63.6%), while the remainder presented AF below 50% (Table 3). The most frequent species of trees found in the desertified areas were *Mimosa tenuiflora* (68.2%), *C. sonderianus* (31.8%), *C. pyramidalis* (31.8%), *Jatropha mollissima* (31.8%) and *A. pyriformium* (18.8%) (Table 4).

The conserved areas presented a higher AD than the desertified areas, with 4,845 I ha⁻¹ and 895 I ha⁻¹ (Tables 3 and 4), respectively. *C. sonderianus* had the highest AD (1,345 I ha⁻¹) in the CA, followed by *C. pyramidalis* (573 I ha⁻¹). The highest AD in the DA were from *M. tenuiflora* (414 I ha⁻¹) and *C. sonderianus* (173 I ha⁻¹).

Regarding ADo, it was noted that *C. pyramidalis* (72.56 m² ha⁻¹), *Anadenanthera colubrina* (69.06 m² ha⁻¹), *Myracrodruon urundeuva* (49.06 m² ha⁻¹), *Schinopsis brasiliensis* (43.06 m² ha⁻¹), and *C. sonderianus* (21.56 m² ha⁻¹) showed the highest values in the conserved areas (Table 3). *M. tenuiflora* (9.87 m² ha⁻¹), *C. pyramidalis* (4.05 m² ha⁻¹), *A. pyriformium* (2.52 m² ha⁻¹), *Prosopis juliflora* (2.43 m² ha⁻¹) and *J. mollissima* (0.92 m² ha⁻¹) (Table 4) had the highest ADo values in the desertified areas.

The species *C. sonderianus* (13.7%), *C. pyramidalis* (12.6%) and *A. colubrina* (8.0%) had the highest IVI in the CA, while *M. tenuiflora* (41.9%), *C. pyramidalis* (15.9%) and *C. sonderianus* (12.6%) showed the highest IVI in the AD (Tables 3 and 4, respectively).

The coverage value index (CVI) showed a Pattern similar to IVI, with higher values for *C. sonderianus* (16.6%), *C. pyramidalis* (14.9%) and *A. colubrina* (9.7%) in AC, and *M. tenuiflora* (46.8%), *C. pyramidalis* (16.3%) and *C. sonderianus* (11.4%) in AD (Tables 3 and 4, respectively).

N°	Species	Plot – PB																					
		1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	10C	11C	12C	13C	14C	15C	16C	17C	18C	19C	20C	21C	22C
34	<i>Manihot dichotoma</i> Ule	0	0	2	0	1	0	5	2	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	
35	<i>Maytenus rígida</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	<i>Mimosa arenosa</i> (Willd.) Poir	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth	0	0	1	0	0	18	0	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Wild.) Poir	0	0	0	0	0	0	2	0	0	14	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All.	0	0	0	0	1	1	0	0	7	0	0	0	0	4	2	0	0	5	2	0	0	
40	Não identificada 1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	Não identificada 2	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
42	Não identificada 3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43	Não identificada 4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	Não identificada 5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	Não identificada 6	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	Não identificada 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	13	0	0	0	0	
47	Não identificada 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	
48	<i>Parapiptadenia zehntneri</i> (Harms)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
49	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	12	9	0	11	3	0	2	1	0	3	0	0	5	4	2	0	13	17	1	9	2	
50	<i>Piptadenia viridiflora</i> Benth.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	<i>Pisonia tomentosa</i> Casar	0	1	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	<i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., J. e C.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
53	<i>Randia armata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
54	<i>Sapium glandulatum</i> Pax	4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
55	<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	3	2	0	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56	<i>Senegalia tenuiflora</i> (L.) Britton e Rose	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	
57	<i>Senna trachypus</i> (Benth.) H.S. Irwin e Barneby	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
58	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (H. ex. R. e S.)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
59	<i>Spondias tuberosa</i> L.	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
61	<i>Tocoyena brasiliensis</i> Mart.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
62	<i>Ximenes americana</i> L.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
63	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	15	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	
Total number of plants per plot		41	26	65	48	49	45	71	33	45	31	52	38	53	71	63	43	49	73	58	49	32	25
Total species in each plot		8	9	17	8	7	9	13	9	12	13	5	6	5	10	10	12	9	13	10	11	8	12

Tabela 2. Number of species and plants from each species, in the desertified areas of the semi-arid region of Paraíba State.

N°	Species	Plot – PB																					
		1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D	11D	12D	13D	14D	15D	16D	17D	18D	19D	20D	21D	22D
1	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	0	0	0	0	3	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	0	2	0	9	6	1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
3	<i>Croton sonderianus</i> Muell. Arg.	0	25	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	1	0	2	0	3	
4	<i>Jatropha mollissima</i> Muell. Arg.	0	1	0	3	3	2	2	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Q.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	
6	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Wild.) Poir	0	0	29	0	0	0	2	0	1	0	1	6	8	2	3	1	1	8	10	2	7	5
7	<i>Piptadenia viridiflora</i> Benth.	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	0	0	0	0	0	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	<i>Solanum paniculatum</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total number of plants per plot		9	28	29	13	12	4	10	4	11	2	1	6	8	2	5	2	5	10	10	4	7	10
Total species in each plot		2	3	1	3	3	3	4	3	4	1	1	1	1	1	2	2	2	3	1	2	1	3

Tabela 3. Phytosociological parameters of tree species in the conserved areas of the semi-arid region of Paraíba, Brazil.

N°	Cientific Name	Common Name	NPE	NPS	AD (I ha ⁻¹)	RD (%)	AF (%)	RF (%)	ADo (m ² ha ⁻¹)	RDo (%)	IVI	IVI (%)	CV	CV (%)
1	<i>Amburana cearensis</i> (Fr. Al.) A. C. Smith	Cumarú	8	12	55	1,1	36,4	3,7	11,96	3,0	7,79	2,6	4,09	2,0
2	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell) Brenan	Angico	10	25	114	2,3	45,5	4,6	69,06	17,1	24,09	8,0	19,46	9,7
3	<i>Annona leptopetala</i> (R.E.Fr.) H.Rainer	Bananinha	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,05	0,0	0,57	0,2	0,11	0,1
4	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> (Mart.)	Pereiro	14	87	395	8,2	63,6	6,5	20,39	5,1	19,70	6,6	13,22	6,6
5	<i>Astronium Graveolens</i>	Gonçalo alves	1	10	45	0,9	4,5	0,5	1,78	0,4	1,84	0,6	1,38	0,7
6	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Mororó	9	40	182	3,8	40,9	4,2	3,92	1,0	8,89	3,0	4,72	2,4
7	<i>Bauhinia forficata</i> (Link)	Mororó de espinho	1	1	5	0,1	4,5	0,5	< 0,01	< 0,1	0,56	0,2	0,09	0,0
8	<i>Caesalpinia ferrea</i> (Mart. ex Tul.)	Jucá	4	20	91	1,9	18,2	1,9	8,43	2,1	5,82	1,9	3,96	2,0
9	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (Tul.)	Catingueira	17	126	573	11,8	77,3	7,9	72,56	18,0	37,68	12,6	29,81	14,9
10	<i>Capparis flexuosa</i> (L.)	Feijão bravo	5	10	45	0,9	22,7	2,3	0,51	0,1	3,38	1,1	1,06	0,5
11	<i>Capparis yco</i>	Icó	1	2	9	0,2	4,5	0,5	0,22	0,1	0,71	0,2	0,24	0,1
12	<i>Cedrela odorata</i> (L.)	Cedro	1	2	9	0,2	4,5	0,5	8,56	2,1	2,77	0,9	2,31	1,2
13	<i>Chloroleucon dumosum</i> (Benth.) G.P.Lewis	Arapiraca branca	2	2	9	0,2	9,1	0,9	0,28	0,1	1,18	0,4	0,26	0,1
14	<i>Combretum glaucocarpum</i> (Mart.)	Sipaúba	4	23	105	2,2	18,2	1,9	1,49	0,4	4,38	1,5	2,53	1,3
15	<i>Combretum leprosum</i> (Mart.)	Mofumbo	7	16	73	1,5	31,8	3,2	1,26	0,3	5,05	1,7	1,81	0,9
16	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B. G.	Imburana	5	8	36	0,8	22,7	2,3	4,82	1,2	4,26	1,4	1,95	1,0

N°	Cientific Name	Common Name	NPE	NPS	AD (I ha ⁻¹)	RD (%)	AF (%)	RF (%)	ADo (m ² ha ⁻¹)	RDo (%)	IVI	IVI (%)	CV	CV (%)
17	<i>Cordia trichotoma</i>	Freijorge	2	3	14	0,3	9,1	0,9	0,91	0,2	1,43	0,5	0,51	0,3
18	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacqu.) Schum.	Quina quina	1	1	5	0,1	4,5	0,5	< 0,01	< 0,1	0,56	0,2	0,09	0,0
19	<i>Croton nepetifolius</i> Baill.	Marmeleiro branco	2	24	109	2,3	9,1	0,9	0,43	0,1	3,28	1,1	2,36	1,2
20	<i>Croton rhamnifolioides</i> (Pax e Hoffm)	Catinga branca	1	8	36	0,8	4,5	0,5	0,56	0,1	1,35	0,5	0,89	0,4
21	<i>Croton sonderianus</i> (Muell. Arg.)	Marmeleiro	17	296	1345	27,8	77,3	7,9	21,56	5,3	40,98	13,7	33,11	16,6
22	<i>Croton</i> sp.	Não identificado	1	2	9	0,2	4,5	0,5	0,34	0,1	0,73	0,2	0,27	0,1
23	<i>Desmodium tortuosum</i>	Rapadura de cavalo	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,01	< 0,1	0,56	0,2	0,10	0,0
24	<i>Eremanthus arboreus</i> (Gardner) MacLeis	Candeeiro	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,08	< 0,1	0,58	0,2	0,11	0,1
25	<i>Erythroxylum</i> sp. 1	Não identificado	1	5	23	0,5	4,5	0,5	0,29	0,1	1,00	0,3	0,54	0,3
26	<i>Erythroxylum</i> sp. 2	Não identificado	1	4	18	0,4	4,5	0,5	0,09	< 0,1	0,86	0,3	0,40	0,2
27	<i>Erythroxylum pungens</i>	Rompe gibão	1	3	14	0,3	4,5	0,5	0,20	< 0,1	0,79	0,3	0,33	0,2
28	<i>Fagara rhoifolia</i>	Limãozinho	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,04	< 0,1	0,57	0,2	0,10	0,1
29	<i>Genipa americana</i>	Genipapo	1	2	9	0,2	4,5	0,5	0,58	0,1	0,79	0,3	0,33	0,2
30	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Pau piranha	2	3	14	0,3	9,1	0,9	1,08	0,3	1,48	0,5	0,55	0,3
31	<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl.) Baill	Pinhão-bravo	7	14	64	1,3	31,8	3,2	1,08	0,3	4,82	1,6	1,58	0,8
32	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz	Pau ferro	2	2	9	0,2	9,1	0,9	0,83	0,2	1,32	0,4	0,39	0,2
33	<i>Luetzelburgia auriculata</i> (Duck)	Pau serrote	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,11	< 0,1	0,59	0,2	0,12	0,1
34	<i>Manihot dichotoma</i> Ule	Maniçoba	7	13	59	1,2	31,8	3,2	5,66	1,4	5,86	2,0	2,62	1,3
35	<i>Maytenus rígida</i>	Bom nome	1	1	5	0,1	4,5	0,5	< 0,01	< 0,1	0,56	0,2	0,09	0,0
36	<i>Mimosa arenosa</i> (Willd.) Poir	Jurema calumbi	2	2	9	0,2	9,1	0,9	1,98	0,5	1,60	0,5	0,68	0,3
37	<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth	Jurema de imbirá	5	25	114	2,3	22,7	2,3	1,40	0,3	5,01	1,7	2,69	1,3
38	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Wild.) Poir	Jurema preta	4	21	95	2,0	18,2	1,9	15,86	3,9	7,75	2,6	5,90	3,0
39	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All.	Aroeira	7	22	100	2,1	31,8	3,2	49,06	12,2	17,47	5,8	14,23	7,1
40	Não identificada 1	Papaconha	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,03	< 0,1	0,56	0,2	0,10	0,1
41	Não identificada 2	Quebra faca 1	2	10	45	0,9	9,1	0,9	1,27	0,3	2,18	0,7	1,25	0,6
42	Não identificada 3	Não identificado	1	3	14	0,3	4,5	0,5	0,05	< 0,1	0,76	0,3	0,29	0,1
43	Não identificada 4	Não identificado	1	10	45	0,9	4,5	0,5	0,05	< 0,1	1,41	0,5	0,95	0,5
44	Não identificada 5	Goiabinha	2	2	9	0,2	9,1	0,9	0,08	< 0,1	1,13	0,4	0,21	0,1
45	Não identificada 6	Canela de veado	1	8	36	0,8	4,5	0,5	1,45	0,4	1,57	0,5	1,11	0,6
46	Não identificada 7	Quebra faca 2	1	13	59	1,2	4,5	0,5	0,85	0,2	1,89	0,6	1,43	0,7
47	Não identificada 8	Casca de tatu	2	10	45	0,9	9,1	0,9	0,88	0,2	2,08	0,7	1,16	0,6
48	<i>Parapiptadenia zehntneri</i> (Harms)	Angico-monjolo	2	2	9	0,2	9,1	0,9	1,99	0,5	1,61	0,5	0,68	0,3
49	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema branca	15	95	432	8,9	68,2	6,9	16,66	4,1	19,99	6,7	13,04	6,5
50	<i>Piptadenia viridiflora</i> (Benth.)	Amorosa branca	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,08	< 0,1	0,58	0,2	0,11	0,1
51	<i>Pisonia tomentosa</i> (Casar)	João mole	3	12	55	1,1	13,6	1,4	1,83	0,5	2,97	1,0	1,58	0,8

N°	Cientific Name	Common Name	NPE	NPS	AD (I ha ⁻¹)	RD (%)	AF (%)	RF (%)	ADo (m ² ha ⁻¹)	RDo (%)	IVI	IVI (%)	CV	CV (%)
52	<i>Pseudobombax marginatum</i> (J. e C.)	Embiratanha	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,21	0,1	0,61	0,2	0,15	0,1
53	<i>Randia armata</i>	Espinho de Judeu	1	1	5	0,1	4,5	0,5	7,28	1,8	2,36	0,8	1,90	0,9
54	<i>Sapium glandulatum</i> (Pax)	Burra Leiteira	5	8	36	0,8	22,7	2,3	6,13	1,5	4,58	1,5	2,27	1,1
55	<i>Schinopsis brasiliensis</i> (Engl.)	Baraúna	5	10	45	0,9	22,7	2,3	46,34	11,5	14,74	4,9	12,43	6,2
56	<i>Senegalia tenuiflora</i> (L.) B. e R.	Unha de gato	2	5	23	0,5	9,1	0,9	0,07	< 0,1	1,41	0,5	0,49	0,2
57	<i>Senna trachypus</i> (Benth.) H.S.I. e B.	Canafistula	1	1	5	0,1	4,5	0,5	< 0,01	< 0,1	0,56	0,2	0,09	0,0
58	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (H. ex. R. e S.)	Quixaba	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,11	< 0,1	0,58	0,2	0,12	0,1
59	<i>Spondias tuberosa</i> (L.)	Umbú	1	5	23	0,5	4,5	0,5	1,29	0,3	1,25	0,4	0,79	0,4
60	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Ipê roxo	1	2	9	0,2	4,5	0,5	0,16	< 0,1	0,69	0,2	0,23	0,1
61	<i>Tocoyena brasiliensis</i> (Mart.)	Genipapinho	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,00	< 0,1	0,56	0,2	0,09	0,0
62	<i>Ximenia americana</i> (L.)	Ameixa do mato	1	1	5	0,1	4,5	0,5	0,02	< 0,1	0,56	0,2	0,10	0,0
63	<i>Ziziphus joazeiro</i> (Mart.)	Juazeiro	5	23	105	2,2	22,7	2,3	9,18	2,3	6,75	2,2	4,43	2,2
Total sum				1066	4.845	100	981,8	100	403,42	100	300	100	200	100

NPE = number of plots with the species; NPS = number of plants of the species i; AD = absolute density; RD = relative density; AF = absolute frequency; RF = relative frequency; ADo = absolute dominance; RDo = relative dominance; VI = value of importance; VI % = value of importance in percentage and VC = value of coverage; Total plot assessed = 22.

Tabela 4. Phytosociological survey of tree species in the conserved areas of the semi-arid region of Paraíba, Brazil.

N°	Cientific Name	Common Name	NPE	NPS	AD (I ha ⁻¹)	RD (%)	AF (%)	RF (%)	ADo (m ² ha ⁻¹)	RDo (%)	IVI	IVI (%)	CVI	CVI (%)
1	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> (Mart.)	Pereiro	4	7	32	3,55	18,2	8,5	2,52	12,1	24,18	8,1	15,67	7,8
2	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> (Tul.)	Catingueira	7	26	118	13,20	31,8	14,9	4,05	19,5	47,57	15,9	32,67	16,3
3	<i>Croton sonderianus</i> (Muell. Arg.)	Marmeleiro	7	38	173	19,29	31,8	14,9	0,73	3,5	37,69	12,6	22,79	11,4
4	<i>Jatropha mollissima</i> (Muell. Arg.)	Pinhão bravo	7	18	82	9,14	31,8	14,9	0,92	4,4	28,43	9,5	13,54	6,8
5	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Q.	Pau ferro	2	3	14	1,52	9,1	4,3	0,16	0,8	6,53	2,2	2,27	1,1
6	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Wild.) Poir	Jurema preta	15	91	414	46,19	68,2	31,9	9,87	47,5	125,59	41,9	93,68	46,8
7	<i>Piptadenia viridiflora</i> (Benth.)	Amorosa branca	1	8	36	4,06	4,5	2,1	0,12	0,6	6,76	2,3	4,63	2,3
8	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Algaroba	3	5	23	2,54	13,6	6,4	2,43	11,7	20,62	6,9	14,23	7,1
9	<i>Solanum paniculatum</i>	Jurubeba	1	1	5	0,51	4,5	2,1	< 0,01	< 0,1	2,64	0,9	0,51	0,3
TOTAL				197	895	100	214	100	20,78	100	300	100	200	100

NPI = number of plots with the species; NPS = number of plants of the species i; AD = absolute density; RD = relative density; AF = absolute frequency; RF = relative frequency; ADo = absolute dominance; RDo = relative dominance; CVI = index value of importance; CVI% = index value of importance in percentage and CVI = index value of coverage; Total plot = 22.

4. DISCUSSION

The diversity of species is the main feature that determines the ability of a system to survive during and after a period of adversity, that is, the resilience of the system (Salgado-Laboriau, 1994). In this context, we can say that the present anthropic activities promote the reduction of the arboreal diversity in the desertified areas, lowering, consequently, the environmental quality of the Caatinga biome in the semi-arid region of Paraíba State. This corroborates the work of Costa et al. (2009).

The anthropic action, in addition to reducing the number of species, also affects the distribution of those remaining in the desertified areas, affecting the emergence of those adapted to stricter requirements, such as *M. tenuiflora* (Lima, 1996), *J. molissima*, *A. pyriformis* and *C. pyramidalis* (Silva et al., 2004). It is also noted that some characteristics of the former three species reduce the impacts of pressure of use by population and by domestic animals (Souza et al., 2015), showing low density for building and firewood usage, or toxicity to animal consumption (Souza, 2008; Lima and Soto-Blanco, 2010; Dantas et al., 2012).

The highest AD in conserved areas suggests a greater protection of the soil against erosion processes, especially by water, decreasing soil and nutrients losses (Martin Filho et al., 2009; Ramos et al., 2014), and consequently increasing the vegetation resilience. The highest density of species in conserved areas also increases the production of litter, levels of organic matter, infiltration capability and storage of water in the soil, thus reducing the susceptibility to water scarcity (Mendonça et al., 2009). The highest values of ADo of the species in CA relate to a number of factors, including the potential of some species, such as *M. urundeuva* and *A. colubrina*, which can reach 14 and 15 m in height in the Caatinga (Lorenzi, 1992).

Other factors are better conditions for plant growth and development, as previously seen, and time to accumulate biomass, as these areas did not suffer clear cutting for at least 32 years. Although *C. pyramidalis* reaches only 10 m high, that is, 66% of *M. urundeuva*'s and *A. colubrina*'s height, it has characteristics that counterbalance that of the latter in biomass production, such as tolerance to periods of water stress (xerophile) and easy regeneration after cutting (Lorenzi, 2002; Lorenzi, 2009). In the DA, the best-adapted species to the water stress conditions reached the highest values of ADo. The species

adapted to these conditions have some advantages in relation to those not adapted, which tend to face greater difficulties to getting established and disseminated.

The IVI expresses numerically the importance of a given species amongst the trees of a community (Poggiani et al., 1996). Therefore, the maximum value of 13.7% (*C. sonderianus*) indicates a better distribution of the IVI amongst the species in the conserved areas, that is, a better balance between the species and, consequently, a higher quality of vegetation. Regarding DA, *M. tenuiflora*'s IVI of 41.9% points this species out as the most ecologically importante for this environment, corroborating data from Freitas et al. (2007). According to this author, *M. tenuiflora*'s ability to dominate the environment is due to its high capacity to regrow, revealing a good adaptation to the degraded environments of the Caatinga.

The parameter CVI conveys the ecological importance of the species in horizontal distribution terms so that the maximum value of 16.6% (*C. sonderianus*) also gives evidence of a more balanced importance among the species in the CA than in the DA. As much as the IVI, this parameter reflects the effect of the anthropic action in the Caatinga biome, where the number of arboreous species is low and where there is an environmental imbalance, a more severe water scarcity and the predominance of species more adapted to these desertified conditions.

5. CONCLUSIONS

The process of desertification reduces the diversity of the arboreous species in the semi-arid region of Paraíba State. The most frequent species in the conserved areas are *Caesalpinia pyramidalis* (77.3%), *Croton sonderianus* (77.3%), *Piptadenia stipulacea* (68.2%) and *Aspidosperma pyriforme* (63.6%), while in the desertified areas are *Mimosa tenuiflora* (68.2%), *C. sonderianus* (31.8%), *C. pyramidalis* (31.8%) and *Jatropha mollissima* (31.8%), are more frequent. *C. sonderianus*, *J. mollissima*, *Caesalpinia pyramidalis* and *Aspidosperma pyriforme* both occur in conserved and desertified areas.

The absolute density (AD) in the conserved areas is higher than in the desertified, reaching 4,845 I ha⁻¹ and 895 I ha⁻¹, respectively. The absolute dominance (ADo) followed the order *C. pyramidalis* (72.56 m² ha⁻¹) > *Anadenanthera colubrina* (69.06 m² ha⁻¹) > *Myracrodruon urundeuva* (49.06 m² ha⁻¹) in the conserved areas, and *Mimosa tenuiflora* (9.87 m² ha⁻¹) > *C. pyramidalis* (4.05 m² ha⁻¹) > and *A. pyriforme* (2.52 m² ha⁻¹) in the desertified areas.

The highest importance value index (IVI) and coverage value index (CVI) were observed for *C. sonderianus* (13.7 and 16.6%) and *M. tenuiflora* (41.9 and 46.8%), in the conserved and desertified areas, respectively, indicating a more balanced importance between the species in the conserved areas.

6. REFERENCES

- Alves, J.J.A. (2009), "Caatinga do Cariri Paraibano", *Geonomos*, vol.17, n.1, Instituto de Geociências, UFMG, pp. 19-25.
- Alves, J.J.A.; Souza, E.N. e Nascimento, S.S. (2009), "Núcleos de desertificação no estado da Paraíba", *Revista RAÍÇA*, v.17, Universidade Federal do Paraná, UFPR, pp. 139-152.
- Aquino, C.M.S. e Oliveira, J.G.B. (2012), "Avaliação de indicadores biofísicos de degradação/desertificação no núcleo de São Raimundo Nonato, Piauí, Brasil", *Revista Equador*, vol.1, Universidade Federal do Piauí, UFPI, pp. 44-59.
- Barros, J.D.S. (2011), "Mudanças climáticas, degradação ambiental e desertificação no semi-árido", *Polêmica*, vol.10, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ, pp. 476-483.
- Costa, T.C.C.; Oliveira, M.A.J.; Accioly, L.J.O. e Silva, F.H.B.B. (2009), "Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB)", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.13, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, pp.961-974.
- Chaves, A.D.C.G.; Santos, R.M.S.; Santos, J.O.; Fernandes, A.A. e Maracajá, P.B. (2013), "A importância dos levantamentos florístico e fitossociológico para a conservação e preservação das florestas", *Agropecuária Científica no Semiárido*, vol.9, n.2, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, pp. 43-48.
- Damasceno, J. (2008), *Indicadores biológicos e sócio-econômicos no núcleo de desertificação do Seridó Ocidental da Paraíba*, tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFPB, Areia.
- Dantas, A. F.M.; Riet-Correa, F.; Medeiros, R.M.T.; Lopes, J.R.; Gardner, D.R.; Panter, K. e Mota, R.A. (2012), "Embryonic death in goats caused by the ingestion of *Mimosa tenuiflora*", *Toxicon*, vol. 59, International Society on Toxinology, IST, pp. 555-557.
- Freitas, R.A.C.; Sizenando Filho, F.A.; Maracajá, P.B.; Diniz Filho, E. T. e Lira, J.F.B. (2007), "Estudo florístico e fitossociológico do estrato arbustivoarboreo de dois ambientes em Messias Targino Divisa RN/PB", *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol.2, n. 1, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, pp. 135-147.
- Freitas, W.K. e Magalhães, L.M.S. (2012), "Métodos e Parâmetros para Estudo da Vegetação com Ênfase no Estrato Arbóreo", *Floresta e Ambiente*, vol.19, n.4, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, pp. 520-540.
- Galindo, I.C.L.; Ribeiro, M.R.; Santos, M.F.A.V.; Lima, J.F.W.F. e Ferreira, R.F.A.L. (2008), "Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.32, Universidade Federal de Viçosa, UFV, pp. 1283-1296.

Castro, A.S. e Cavalcante, A. (2011), *Flores da Caatinga*. Instituto Nacional do Semiárido, INSA, Brasil.

Lima, M.C.J.S. e Soto-Blanco, B. (2010), "Poisoning in goats by *Aspidosperma pyrifolium* Mart.: Biological and cytotoxic effects", *Toxicon*, n.55, International Society on Toxinology, IST, pp. 320-324.

Lima, J.L.S. (ed. 1996), *Plantas forrageiras das caatingas: uso e potencialidades*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Programa Plantas do Nordeste, Royal Botanic Gardens, EMBRAP/CPATSA/PNE/UK, Brasil.

Lorenzi, H. (ed. 2009), *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. vol.1. Nova Odessa, Plantarum, Brasil.

Lorenzi, H. (ed. 1998), *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. vol.2. Nova Odessa, Plantarum, Brasil.

Lorenzi, H. (ed. 2009), *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. vol.3. Nova Odessa, Plantarum, Brasil.

Maia-Silva, C.; Silva, C.I.; Hrcir, M.; Queiroz, R.T. e Imperatriz-Fonseca, V. L. (ed. 2012), *Guia de plantas visitadas por abelhas na Caatinga*. Fundação Brasil Cidadão, FBC, Brasil.

Martins Filho, M.V.; Liccioti, T.T.; Pereira, G.T.; Marques Júnior, J. e Sanchez, R.B. (2009), "Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar", *Engenharia Agrícola*, v.29, n.1, Universidade Estadual Paulista, UNESP, pp. 8-18.

Mendonça, L.A.R.; Vásquez, M.A.N.; Feitosa, J.V.; Oliveira, J.F.; Franca, R.M.; Vásquez, E.M.F. e Frischkorn, H. (2009), "Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo", *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.14, n.1, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, pp. 89-98.

Nimer, E. (1988), "Desertificação: realidade ou mito?", *Revista Brasileira de Geografia*, v.50, n.1, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, pp. 7-39.

Nimer, E. (1979), "Um modelo metodológico de classificação de climas", *Revista Brasileira de Geografia*, v. 41, n. 4, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, pp. 59-89.

NUPEEA (ed. 2010), *Caatinga: biodiversidade e qualidade de vida*, Núcleo de Publicações em Ecologia e Etnobotânica Aplicada, NUPEEA, Brasil.

Poggiani, F.; Oliveira, R. e Cunha, G.C. (ed. 1996), *Práticas de ecologia florestal*. Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

Ramos, J.C.; Bertol, I.; Barbosa, F.T.; Marioti, J. e Werner, R.S. (2014), "Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um cambissolo húmico",

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.38, n.5, Universidade Federal de Viçosa, UFB, pp. 1587-1600.

Sá, I.B.; Cunha, T.J.F.; Teixeira, A.H.C.; Angelotti, F. e Drumond, M.A. (2010), "Desertificação no Semiárido brasileiro", em II Conferência Internacional: clima, sustentabilidade e desenvolvimento em regiões semiáridas. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, CGEE, Brasil, 18p.

Salgado-Laboriau, M. L. (ed. 1994). *História ecológica da Terra*. Editora Edgard Blucher, Brasil.

Silva, E.C.; Nogueira, R.J.M.C.; Neto, A.D.A.; Brito, J.Z. e Cabral, E.L. (2004), "Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil", *Iheringia*, v.2, n.59, Fundação Zoo Botânica, FZB, pp. 201-205.

Siqueira Filho, J.A.; Santos, A.P.B.; Nascimento, M.F.S. e Espírito Santo, F.S. (ed. 2009). *Guia de campo de árvores da Caatinga*. Franciscana, Brasil.

Sousa, E.P.; Silva, V.P.R.; Campos, J.H.B.C. e Oliveira, S.D. (2012), "A Teoria da Entropia na Análise da Precipitação no Estado da Paraíba", *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.2, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, pp. 386-399.

Souza, B.I. (2008), *Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação*, tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS, Porto Alegre.

Souza, B.I.; Menezes, R. e Artigas, R.C. (2015), "Efeitos da desertificação na composição de espécies do bioma Caatinga, Paraíba/Brasil", *Investigaciones Geográficas, Boletim núm. 88*, Instituto de Geografia, UNAM, México, pp. 45-59.

CAPÍTULO II

ÍNDICE DA COBERTURA VEGETAL ARBÓREA PARA AVALIAÇÃO DA DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

*INDEX OF VEGETATION COVER FOR EVALUATION OF DESERTIFICATION IN THE
SEMIARID REGION OF PARAIBA STATE*

RESUMO

VENDRUSCOLO, Jhony. **Índice da cobertura vegetal arbórea para avaliação da desertificação no Semiárido Paraibano**. Areia, Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, outubro de 2017, Tese, Pós-Graduação em Ciência do Solo, Orientador, Aldrin Martin Perez Marin e Bruno de Oliveria Dias.

O trabalho tem como objetivo selecionar indicadores e índices de cobertura arbórea, para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano. Foram selecionadas 22 áreas conservadas e 22 desertificadas, nas quais foram avaliados os parâmetros: número de espécies (NE), densidade de plantas (DP), altura média do dossel (A-M), circunferência média na base (CNB-M), circunferência média a altura do peito (CAP-M) e dominância absoluta total (DoA-T). Inicialmente, selecionou-se os indicadores, calculou-se suas respectivas áreas de abrangência, e elaborou-se uma tabela com valores de referência. Posteriormente, obteve-se os pesos dos indicadores e elaborou-se o índice do nível de desertificação (IND). Os parâmetros NE, DoA-T, DP, A-M, CAP-M e CNB-M, são respectivamente recomendados como indicadores para 100, 100, 97,9, 87,9, 71,6 e 56,8% da região semiárida, apresentando a seguinte ordem de peso CAP-M > CNB-M > NE > DP > A-M > DoA-T. O IND permite avaliar o nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Palavras-chave: Caatinga, degradação ambiental, valores de referência, monitoramento.

ABSTRACT

The objective was to select indicators and tree cover indices for assessing the level of desertification in the semiarid region of Paraíba. Were selected 22 conserved areas and 22 desertified, and evaluated the parameters: number of species (NE), plant density (PD), mean canopy height (H-M), mean perimeter ground level (PGL-M), mean chest height perimeter (PBH-M) and total absolute dominance (ADo-T). Initially, the indicators were selected, their respective areas of coverage were calculated, and a table with reference values was elaborated. Subsequently, the weights of the indicators were obtained and the index of the level of desertification (IND) was elaborated. The parameters NE, ADo-T, PD, H-M, BHP-M and PGL-M are respectively recommended as indicators for 100, 100, 97.9, 87.9, 71.6 and 56.8% of the semiarid, presenting the following order of weight BHP-M > PLG-M > NE > PD > H-M > ADo-T. The IND allows assess the desertification level in semiarid region of Paraíba.

Keywords: Caatinga, environmental degradation, reference values, monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A desertificação é um problema que afeta as regiões de clima árido, semiárido e sub-úmido seco da Terra (UNCCD, 1994). No Semiárido paraibano, esse problema inicia-se em função da supressão da vegetação nativa para o desenvolvimento de atividades antrópicas, como produção de lenha, exploração de depósitos de argila (Alves et al., 2009) e sistemas agropecuários inadequados (Costa et al., 2009).

A supressão da vegetação nativa tende a iniciar o processo de desertificação porque a cobertura florestal deixa de exercer funções ambientais, sociais e econômicas. Ambientais, por estar associada a conservação dos recursos naturais, principalmente solo e água (FAO, 2010). Social, por contribuir para a manutenção dos valores culturais da sociedade (Gottle e Séne, 1997). Econômico, por apresentar várias fontes de renda para a população (NUPPEA, 2010).

A redução da qualidade ambiental em áreas desertificadas diminui a capacidade de resiliência da cobertura florestal nativa (Galindo et al., 2008), alterando os componentes e a composição florística da Caatinga (Souza et al., 2015). Essas alterações podem ser utilizadas como indicadoras do nível de desertificação, gerando informações para o monitoramento da desertificação, assim como o planejamento de estratégias para recuperar áreas desertificadas.

Os indicadores ambientais para o monitoramento da desertificação estão relacionados com a vegetação (Souza et al., 2015), solo (Tongway e Hindley, 2000) e água (Almeida et al., 2014). Os indicadores de vegetação (número de espécies, densidade de plantas e etc), destacam-se em relação aos de solo (químicos, físicos e biológicos) e água (químicos, físicos e biológicos), por serem mensurados diretamente em campo, sem a necessidade de laboratório, ou por imagens de satélite, permitindo o rápido monitoramento de áreas extensas, e com baixo custo financeiro.

O trabalho tem como objetivo selecionar indicadores e índices de cobertura arbórea, para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na região do Semiárido paraibano (48.656, 61 km²), de outubro de 2015 a maio de 2016, em 22 áreas conservadas e 22 áreas desertificadas (Figura 1). A região apresenta 170 municípios (Tabela 1), clima quente semiárido com 6 a 11 meses secos em 85,3% da área (Nimer, 1979), e precipitação anual inferior a 800 mm (Sousa et al., 2012).

As áreas conservadas foram selecionadas considerando-se a ausência de corte raso desde o ano de 1984, com a ferramenta Timelapse 1984-2012 e imagens atualizadas do Satélite Landsat 8. As áreas desertificadas foram selecionadas com base na dificuldade de reestabelecimento de cobertura vegetal, utilizando imagens temporais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8 (últimos 10 anos). As imagens corresponderam ao período com maior pluviosidade e baixa incidência de nuvens, excluindo o fator água como limitante de crescimento da cobertura.

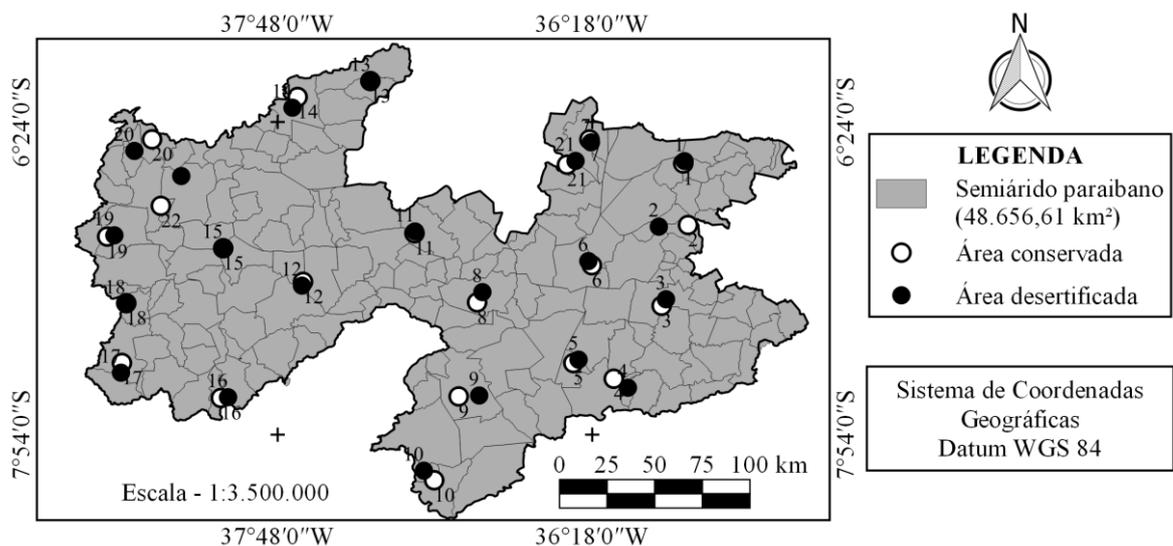


Figura 1. Áreas conservadas e desertificadas no Semiárido paraibano, Brasil.

Tabela 1. Municípios que compõem o Semiárido paraibano.

Nº	Município	Nº	Município	Nº	Município	Nº	Município
1	Água Branca	44	Conceição	87	Monte Horebe	130	Santo André
2	Aguiar	45	Condado	88	Monteiro	131	São Bentinho
3	Alcantil	46	Congo	89	Natuba	132	São Bento
4	Algodão de jandaíra	47	Coremas	90	Nazarezinho	133	São Domingos
5	Amparo	48	Coxixola	91	Nova Floresta	134	São Domingos do Cariri
6	Aparecida	49	Cubatí	92	Nova Olinda	135	São Francisco
7	Arara	50	Cuité	93	Nova Palmeira	136	São João do Cariri
8	Araruna	51	Curral Velho	94	Olho D'Água	137	São João do Rio do Peixe
9	Areia de Baraúnas	52	Damião	95	Olivedos	138	São João do Tigre
10	Aerial	53	Desterro	96	Ouro Velho	139	São José de Lagora Tapada
11	Aroeiras	54	Diamante	97	Parari	140	São José de Caiana
12	Assunção	55	Dona Inês	98	Passagem	141	São José de Espinharas
13	Bananeiras	56	Emas	99	Patos	142	São José de Piranhas
14	Baraúna	57	Esperança	100	Paulista	143	São José de Princesa
15	Barra de Santa Rosa	58	Fagundes	101	Pedra Branca	144	São José do Bonfim
16	Barra de Santana	59	Frei Martinho	102	Pedra Lavrada	145	São José do Brejo do Cruz
17	Barra de São Miguel	60	Gado Bravo	103	Piancó	146	São José do Sabugi
18	Belém do Brejo do Cruz	61	Gurjão	104	Picuí	147	São José dos Cordeiros
19	Bernardino Batista	62	Ibiara	105	Pocinhos	148	São Mamede
20	Boa Ventura	63	Igaracy	106	Poço Dantas	149	São Sebastião de Lagoa de Roça
21	Boa Vista	64	Imaculada	107	Poço de José de Moura	150	São Sebastião do Umbuzeiro
22	Bom Jesus	65	Ingá	108	Pombal	151	Seridó
23	Bom Sucesso	66	Itabaiana	109	Prata	152	Serra Branca
24	Bonito de Santa Fé	67	Itaporanga	110	Princesa Isabel	153	Serra Grande
25	Boqueirão	68	Itatuba	111	Puxinana	154	Solânea
26	Brejo do Cruz	69	Jericó	112	Queimadas	155	Soledade
27	Brejo dos Santos	70	Juazeirinho	113	Quixaba	156	Sóssego
28	Cabaceiras	71	Junco do Seridó	114	Remígio	157	Sousa
29	Cachoeira dos Índios	72	Jurú	115	Riachão	158	Sumé
30	Cacimba de Areia	73	Lagoa	116	Riachão do Bacamarte	159	Tácima
31	Cacimba de Dentro	74	Lagoa Seca	117	Riacho de Santo Antônio	160	Taperoá
32	Cacimbas	75	Lastro	118	Riacho dos Cavalos	161	Tavares
33	Caçara	76	Livramento	119	Salgadinho	162	Teixeira
34	Cajazeiras	77	Logradouro	120	Salgado de São Félix	163	Tenório
35	Cajazeirinhas	78	Mãe D'Água	121	Santa Cecília	164	Triunfo
36	Camalaú	79	Malta	122	Santa Cruz	165	Uiraúna
37	Campina Grande	80	Manaíra	123	Santa Helena	166	Umbuzeiro
38	Caraúbas	81	Marizópolis	124	Santa Inês	167	Várzea
39	Carrapateira	82	Massaranduba	125	Santa Luzia	168	Vieirópolis
40	Casserengue	83	Mato Grosso	126	Santana de Mangueira	169	Vista Serrana
41	Catingueira	84	Maturéia	127	Santana dos Garrotes	170	Zabelê
42	Catolé do Rocha	85	Mogéiro	128	Santarém		
43	Caturité	86	Montadas	129	Santa Teresinha		

As áreas foram localizadas em campo com GPS (Garmin® 60CSX), onde avaliou-se previamente a cobertura vegetal e o solo para alocação das parcelas, considerando a maior densidade de espécies e de plantas, e ausência de solo exposto nas áreas conservadas, e o inverso nas desertificadas. Em cada área alocou-se uma parcela de 100 m² (10 x 10 m), e

avaliou-se os parâmetros: número de espécies (NE), densidade de plantas (DP), altura média do dossel (A-M), circunferência média na base (CNB-M), circunferência média a altura do peito (CAP-M) e dominância absoluta total (DoA-T) (Tabela 2).

Tabela 2. Valores para os parâmetros de cobertura arbórea em áreas do Semiárido paraibano.

Par	N° Espécie		Densidade de plantas		Altura média		CNB-M		CAP-M		DoA-T	
	AC	AD	AC	AD	AC	AD	AC	AD	AC	AD	AC	AD
			I ha ⁻¹		----- m -----		----- cm -----				----- m ² ha ⁻¹ -----	
1	8	2	4100	900	4,99	1,03	21,29	3,56	16,65	0,76	17,6491	0,1185
2	9	3	2600	2800	4,99	1,32	28,23	4,83	19,46	4,04	35,5073	0,8718
3	17	1	6500	2900	4,52	2,07	12,90	6,38	10,35	3,67	16,5818	0,9724
4	8	3	4800	1300	3,95	1,70	12,31	6,27	9,41	3,72	8,2461	0,5641
5	7	3	4900	1200	3,87	2,01	11,79	8,85	9,21	6,44	8,8481	2,4111
6	9	2	4500	400	3,93	1,84	11,97	18,73	9,19	11,67	16,4374	0,6311
7	13	4	7100	1000	2,69	1,91	7,80	8,80	6,00	4,19	12,0482	1,0555
8	9	2	3300	400	3,93	1,53	15,35	9,45	12,43	21,00	14,8635	2,5269
9	12	4	4500	1100	4,32	2,23	13,27	13,76	10,76	8,65	19,1316	2,3395
10	13	0	3100	200	4,75	0,00	15,10	0,00	11,36	0,00	14,7935	0,0000
11	5	1	5200	100	2,92	3,28	10,02	22,90	7,26	10,95	9,4516	0,4457
12	6	1	3800	600	4,88	1,51	14,43	3,86	11,03	2,04	15,2822	0,1193
13	5	1	5300	800	2,87	2,50	7,97	12,45	6,08	8,12	9,9912	1,7209
14	10	1	7100	200	3,35	2,69	8,88	10,98	7,36	5,79	24,4419	0,5047
15	10	2	6300	500	3,59	0,90	8,53	6,12	7,47	0,50	13,0201	0,1725
16	12	2	4300	200	4,89	2,16	13,29	7,67	11,01	3,51	22,4580	0,1137
17	9	2	4900	500	4,14	1,79	10,10	5,40	8,08	2,85	11,7813	0,1311
18	13	3	7300	1000	4,01	3,38	9,78	12,43	7,83	7,88	16,6277	3,8348
19	10	1	5800	1000	4,17	1,63	13,69	5,12	12,05	5,13	36,9827	0,4414
20	11	2	4900	400	3,55	2,06	11,06	7,12	8,44	6,01	11,3095	0,4945
21	8	1	3200	700	4,56	1,40	12,84	5,06	10,54	3,87	10,9585	0,2004
22	12	3	2500	1000	5,12	1,47	25,80	5,41	25,29	3,41	56,9894	0,4719

AC: área conservada; AD: área desertificada; Par: parcela (100 m²); I: indivíduo; CNB-M: Circunferência média na base; CAP-M: Circunferência média a altura do peito; DoA-T: Dominância absoluta total.

A identificação das espécies arbóreas foi realizada com base em conhecimento regional, acompanhado por um mateiro, e literatura, para acurácia da identificação (Lorenzi, 1992; Lorenzi, 1998; Lorenzi, 2009; Siqueira Filho et al., 2009; NUPEEA, 2010; INSA, 2011; Maia-Silva et al., 2012). Incluiu-se toda árvore cuja base do tronco encontrou-se dentro da parcela.

A altura média foi obtida com base em todos os fustes, que foram mensurados com régua de 7,0 m de altura, graduada a cada 10 cm. As espécies com altura superior a 7,0 ocorreram apenas nas áreas conservadas, e apresentaram crescimento retilíneo, por isso utilizou-se clinômetro (ângulo), trena (distância horizontal) e a equação 1, para mensuração de sua altura.

$$AM = (DH \times \text{Tangente } X) + HC \quad (1)$$

Onde: AM = Altura média; DH = Distância Horizontal; HC = Altura do clinômetro.

O CNB-M e o CAP-M foram obtidos com trena de 1,0 m, graduada a cada 1 mm, para cada fuste, à uma distância de 0,30 e 1,30 m do solo, respectivamente.

A DoA-T foi obtida em duas etapas. Na primeira calculou-se o DoA_i para cada espécie utilizando a equação 2. Na segunda realizou-se o somatório dos valores da DoA_i de todas as espécies.

$$DoA_i = AB_i \div A \quad (2)$$

Onde: AB_i = área basal individual da espécie (m^2), com base no diâmetro do caule a 0,3 m ou 1,3 m do solo, quando os indivíduos tinham altura menor ou maior que 1,3 m, respectivamente; A = área total amostrada (ha).

Os resultados dos parâmetros foram comparados pelo teste T pareado (Procedure TTest), usando o programa estatístico R (R Core Team, 2017), sendo selecionados como indicadores quando apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$). Posteriormente, calculou-se a Menor Diferença Detectável (MDD) para cada indicador, e elaborou-se os mapas de recomendação.

O mapeamento foi realizado para cada indicador com o software QGIS 2.10.1 (versão Pisa), em quatro etapas: 1) Criou-se a camada “raster C” com a interpolação dos dados das áreas conservadas; 2) Criou-se a camada “raster D” com a interpolação dos dados das áreas desertificadas; 3) Com a ferramenta “calculadora de campo” calculou-se a diferença de valores entre as duas camadas raster (raster C - raster D), gerando a camada “raster final”; e 4) Realizou-se a classificação do arquivo “raster final” com base na MDD, em áreas recomendadas (diferença entre pares \geq MDD) ou não recomendadas (diferença entre pares $<$ MDD, ou valores antagônicos aos resultados médios).

Posteriormente, elaborou-se uma tabela com valores de referência para avaliação do nível de desertificação do Semiárido paraibano (Tabela 3), com os valores médios dos indicadores.

Tabela 3. Valores de referência para os indicadores de cobertura vegetal arbórea.

Indicador	Nível					
	Ausente (0)	Muito baixo (1)	Baixo (2)	Médio (3)	Alto (4)	Muito alto (5)
A	\geq VMAC	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	\leq VMAD
B	\geq VMAC	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	\leq VMAD
...	\geq VMAC	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	\leq VMAD

VMAC: Valor médio do indicador na área conservada; VMAD: Valor médio do indicador na área desertificada; VIF = Valor do início da faixa; VFF = Valor do final da faixa.

O nível 0 indica ausência de desertificação, e foi obtido com base no valor médio das áreas conservadas, por representar ambientes com condições estáveis (Tótola e Chaer, 2002). O nível 5 indica nível muito alto de desertificação, e foi obtido com base no valor médio das áreas desertificadas, por representar ambientes com grandes problemas de revegetação, mesmo com precipitação adequada. Os níveis 1, 2, 3 e 4 são níveis intermediários de desertificação, cujos valores de referência compreendem faixas equidistantes.

Para elaboração do índice do nível de desertificação (IND), obteve-se os pesos dos indicadores (1ª etapa), com base na análise de componentes principais, utilizando o programa estatístico R (R Core Team, 2017). O peso foi mensurado através de uma média ponderada, baseando-se nos valores dos autovetores e nas proporções de variância nos componentes principais (até atingir 90% de variância acumulada) (Equação 3), e padronizado na forma de porcentagem, associando o número de indicadores selecionados pela MDD (Equação 4).

$$P = [(A \times B) + (C \times D) + (...)] \div (B + D + \dots) \quad (3)$$

Onde: P = peso do indicador; A = valor do autovetor na PCA 1; C = valor do autovetor na PCA 2; B = valor da proporção da variância do PCA 1; D = valor da proporção da variância do PCA 2.

$$PPi = Pn \div (P1 + P2 + P3 + \dots) \quad (4)$$

Onde: PPi = peso padronizado do indicador; P1 = peso do indicador 1; P2 = peso do indicador 2; P3 = peso do indicador 3; Pn = peso do indicador P1, P2, P3 ou ...

Na segunda etapa da elaboração do IND, levou-se em consideração a falta de abrangência geral de alguns indicadores (Equação 5), visto que variam em regiões no Semiárido paraibano.

$$IND = \Sigma(N_i \times PP_i) \quad (5)$$

Onde: IND = índice do nível de desertificação; N_i = nível de desertificação do indicador (0 a 5); PP_i = peso padronizado do indicador.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os parâmetros apresentaram diferença significativa entre as áreas conservadas e desertificadas (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros da cobertura vegetal arbórea em áreas conservadas (AC) e desertificadas (AD), para seleção de indicadores do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

	Número de espécies		Densidade de plantas		Altura média	
	AC	AD	AC	AD	AC	AD
			----- I ha ⁻¹ -----		----- m -----	
Média	9,82 ± 2,92	2,00 ± 1,07	4818 ± 1433	873 ± 752	4,09 ± 0,72	1,84 ± 0,75
DM	7,81***		3945***		2,25***	
CV (%)	29,76	53,45	29,75	83,34	17,62	40,78
	CNB-M		CAP-M		DoA-T	
	AC	AD	AC	AD	AC	AD
			----- cm -----		----- m ² ha ⁻¹ -----	
Média	13,47 ± 5,33	8,42 ± 5,21	10,78 ± 4,54	5,64 ± 4,63	18,3364 ± 11,5274	0,9155 ± 1,0160
DM	5,06*		5,14**		17,4209***	
CV (%)	39,54	61,89	42,15	81,95	62,87	110,98

CV: coeficiente de variação; DM: diferença entre médias (Módulo); CNB-M: Circunferência médio na base; CAP-M: Circunferência média a altura do peito; DoA-T: Dominância absoluta total; ***, ** e *: significativo à 0,1, 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t pareado.

A área conservada apresentou média de 9,82 espécies por parcela (100 m²) e a área desertificada apresentou média de 2 espécies (Tabela 4), indicando a redução do número de espécies com o processo de desertificação. Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Souza et al. (2015), que identificaram 23 espécies de plantas nas áreas não-desertificadas (17 espécies exclusivas) e 9 espécies nas áreas desertificadas (2 espécies exclusivas). A seleção de espécies em áreas desertificadas ocorre em função das condições adversas deste ambiente, onde ficam as mais adaptadas, principalmente em relação a baixa disponibilidade de água.

Dentre as espécies exclusivas das áreas conservadas, tem-se a *Amburana cearensis* (Fr. Al.) A. C. Smith, *Anadenanthera colubrina* (Vell) Brenan, *Sideroxylon obtusifolium* (H. ex. R. e S.), *Spondias tuberosa* L e *Ziziphus joazeiro* Mart. Essas espécies podem ter uso madeireiro, alimentício, medicinal, forrageiro e industrial (Francelino et al., 2003; NUPPEA, 2010). Portanto, a perda da biodiversidade resulta no declínio do desenvolvimento sustentável da região, por reduzir os recursos naturais utilizados como matéria prima para geração de renda.

A densidade média de plantas na área conservada apresentou valor médio de 4.818 I ha⁻¹, muito acima da média encontrada na área desertificada, que foi de 873 I ha⁻¹ (Tabela

4). Em trabalho realizado por Feitosa et al. (2010), com imagens de satélite, também foi observado a maior densidade de vegetação em áreas conservadas no Semiárido paraibano.

A cobertura vegetal pode ser considerada como uma manta protetora da superfície do solo, por interceptar as gotas de chuva, permitir maior infiltração de água no sistema e reduzir o escoamento superficial (Pinese Júnior et al., 2008). Portanto, em áreas com cobertura vegetal mais densa constata-se menores perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes (Lobato et al., 2009), que são essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Meurer, 2007).

Em áreas com solos rasos, baixa eficiência de retenção de água, limitações físicas e químicas, há naturalmente maior suscetibilidade a desertificação (Galindo, 2008), por dificultar o crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal. Nestas áreas, recomenda-se a manutenção da cobertura vegetal nativa, para conservar os recursos naturais e evitar a desertificação.

Em relação à altura do dossel, observou-se uma diferença de 2,25 m entre as áreas conservadas e desertificadas (Tabela 4), com valores inferiores para as desertificadas. Áreas com dossel mais elevado apresentam maior número de estratificações, e funcionam como camadas de amortecimento, que reduzem a velocidade das gotas e/ou conduzindo as mesmas até o solo pelos troncos. Portanto, áreas conservadas tendem a proteger mais o solo contra processos erosivos.

O CNB-M e o CAP-M foram mais elevados nas áreas conservadas, com diferenças médias de 5,06 e 5,14 cm, respectivamente (Tabela 4). Os resultados são atribuídos a redução do número de espécies arbóreas de grande porte nas áreas desertificadas (Galindo, 2008), como *A. cearensis*, *A. colubrina* e *Z. joazeiro*, e sugerem redução do nível de proteção do solo contra processos erosivos, principalmente no início do período chuvoso (ausência de folhas), e diminuição da produção de matéria orgânica no sistema.

A matéria orgânica é um elemento essencial para a capacidade produtiva de solos (Silva e Mendonça, 2007), por fornecer nutrientes (Costa et al., 2010), reter cátions (Ciotta et al., 2003), complexar elementos tóxicos e micronutrientes (Pavinato e Rosolem, 2008; Pegoraro et al., 2006), estabilizar agregados (Salton et al., 2008), e elevar a aeração (Souza e Alves, 2003), infiltração, retenção de água e atividade microbiana (Sato et al., 2012; Capuani et al., 2012).

O processo de desertificação também resultou na diminuição da DoA-T, apresentando uma diferença de 17,4209 m² ha⁻¹ entre as áreas (Tabela 4). Este resultado sugere que o processo promove a perda da capacidade de proteção do solo pela cobertura

vegetal, expondo a superfície as precipitações pluviométricas e a incidência direta dos raios solares. Nestas condições, ocorrem a elevação do processo erosivo, como visto anteriormente, e o aumento da temperatura do solo.

A temperatura ótima para germinação da maioria das espécies arbóreas nativas da Caatinga varia entre 20 a 35°C (Oliveira et al., 2014). Quando a temperatura se encontra superior a considerada ótima, pode ocorrer a desnaturação de proteínas essenciais ao processo germinativo, afetando a porcentagem e a velocidade da germinação (Dousseau et al., 2008) e, conseqüentemente, o restabelecimento da cobertura florestal.

Ao comparar as parcelas pareadas (área conservada x área desertificada), verificou-se que o parâmetro NE apresentou diferença de 4 a 16 espécies (Tabela 2), e MDD de 1,28 espécies. O parâmetro DoA-T apresentou diferenças de 6,4370 a 56,5175 m² ha⁻¹ entre os pares de área, e menor diferença detectável de 5,19 m² ha⁻¹. Portanto, estes parâmetros podem ser utilizados como indicadores em toda a região do Semiárido paraibano (Figura 2).

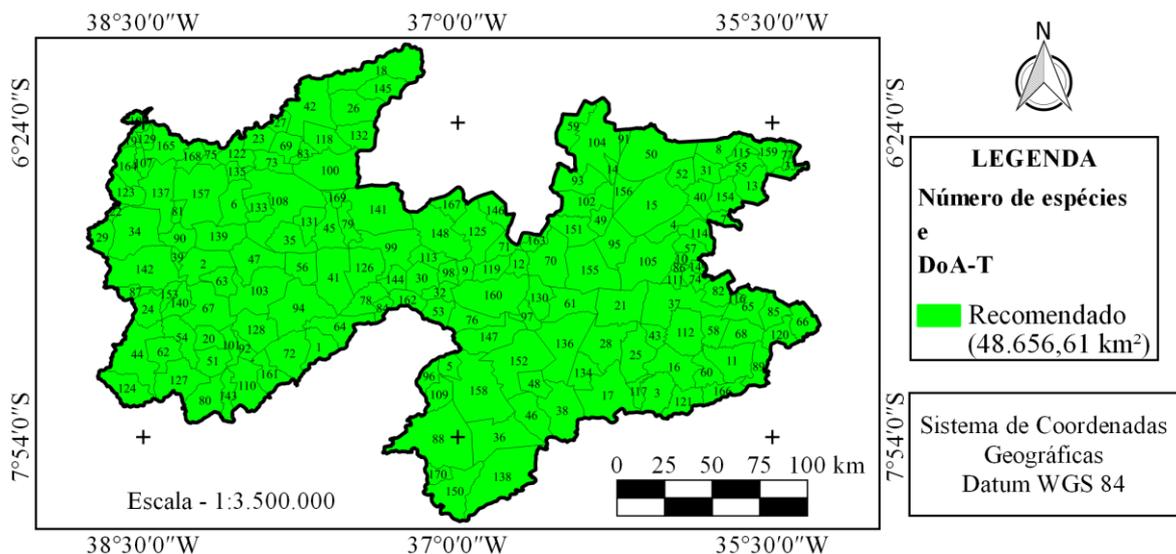


Figura 2. Áreas recomendadas para utilização do número de espécies arbóreas e Dominância absoluta total (DoA-T), como indicadores do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Com relação a DP, verificou-se que os pares de áreas apresentaram diferenças variando de 200 a 6.900 plantas ha⁻¹, e MDD de 714,36 plantas ha⁻¹. Este parâmetro é recomendado como indicador para 97,9% do Semiárido paraibano (Figura 3), não sendo recomendado para os municípios de Algodão de Jandaíra (4), Arara (7), Esperança (57) e Remígio (114).

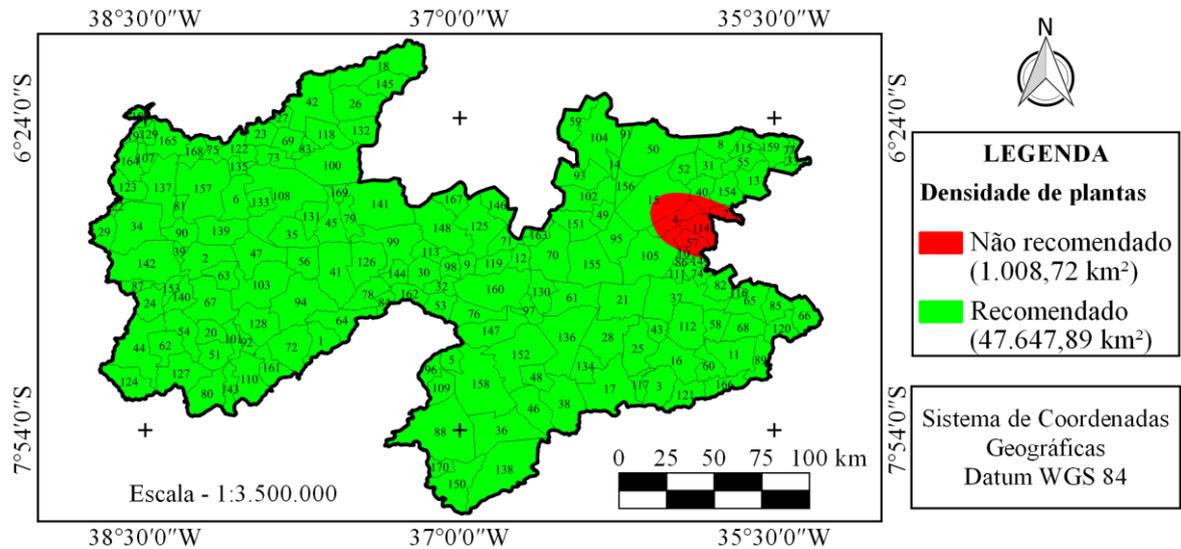


Figura 3. Áreas recomendadas para utilização da densidade de plantas, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

A altura média do dossel apresentou diferença de 0,22 a 3,96 m entre os pares de áreas, e MDD de 0,54 m, sendo recomendada como indicador para 89,7% da região em estudo. Destaca-se que nos municípios de Soledade (155), Belém do Brejo do Cruz (18), Cacimba de Areia (30), Quixaba (113), São José de Espinharas (141), São José do Brejo do Cruz (145), São Mamede (148) e Várzea (167), não se recomenda o uso deste parâmetro como indicador (Figura 4).

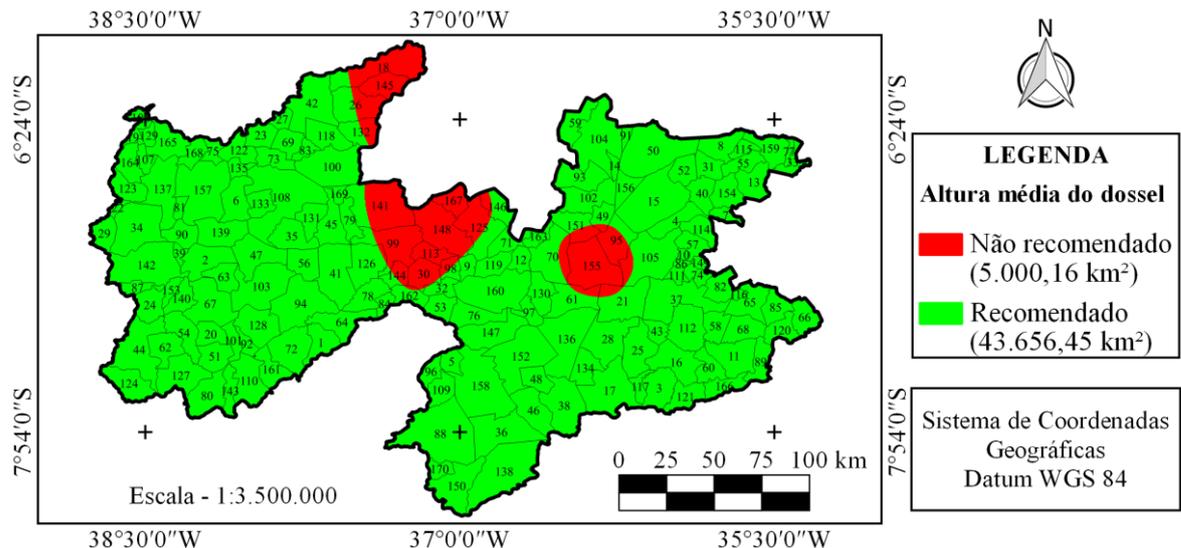


Figura 4. Áreas recomendadas para utilização da altura média do dossel, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

O CNB-M apresentou diferenças variando de 0,49 a 23,40 cm, entre os pares de parcelas, e MDD de 3,95 cm. Este parâmetro é recomendado para 56,8% do Semiárido paraibano, e considerado o indicador de menor abrangência em termos de área. Portanto,

recomenda-se o uso deste parâmetro como indicador nos municípios localizados principalmente na região leste e parte da região oeste do Semiárido paraibano (Figura 5).

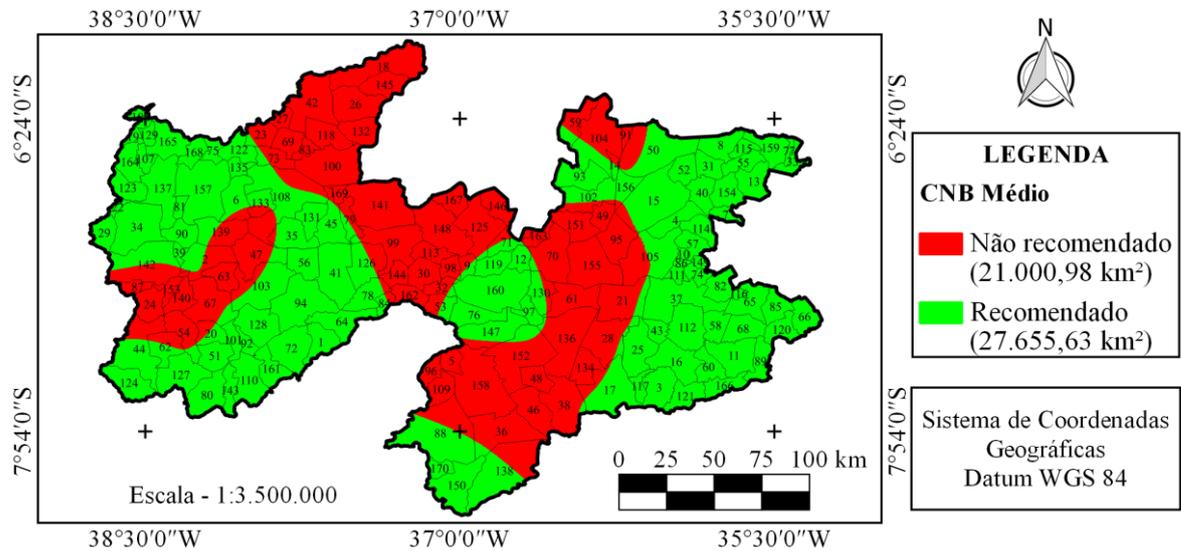


Figura 5. Áreas recomendadas para utilização da circunferência média na base (CNB-Médio), como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Com relação ao CAP-M, constatou-se diferenças de 0,05 a 21,88 cm entre os pares de área, e MDD de 2,80 cm. Este parâmetro pode ser utilizado como indicador em 71,6% do Semiárido paraibano, restringindo-se principalmente a alguns municípios localizados na parte central da região (Figura 6).

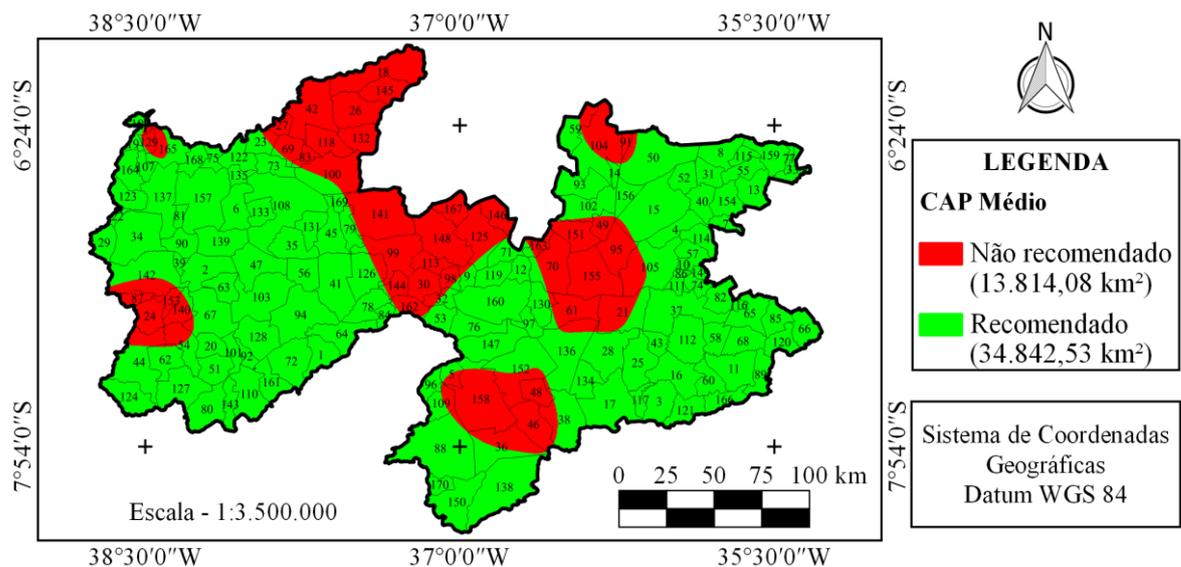


Figura 6. Áreas recomendadas para utilização da circunferência média a altura do peito (CAP-Médio), como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

É interessante salientar que parte das áreas não recomendadas para os parâmetros Altura média do dossel, CNB-M e CAP-M, está relacionada com valores antagônicos aos resultados médios, como observado no par da parcela 11, no qual valores na área desertificada foram superiores aos encontrados na área conservada. Esse resultado ocorreu em função do efeito combinado da utilização de valores médios e o elevado tempo de desertificação destas regiões, que favoreceu o crescimento e desenvolvimento da única árvore presente na parcela, identificada como *Mimosa tenuiflora*, elevando os valores dos parâmetros.

Os valores de referência dos indicadores de cobertura arbórea encontram-se na tabela 5. Estes valores podem ser utilizados para o monitoramento do nível de desertificação no Semiárido paraibano, uma vez que foram obtidos com base nos valores médios encontrados em áreas conservadas (22) e desertificadas (22), distribuídas em todo o Semiárido paraibano, através de levantamentos florísticos e fitossociológicos. Esses levantamentos são essenciais para o conhecimento da estrutura da vegetação, e possibilitam o entendimento a respeito do funcionamento do ecossistema estudado e, conseqüentemente, a elaboração de modelos para subsidiar a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais (Chaves et al., 2013).

Tabela 5. Valores de referência para parâmetros da cobertura arbórea, no Semiárido paraibano.

Ind.	Unid.	Nível de desertificação					
		Ausente (0)	Muito baixo (1)	Baixo (2)	Médio (3)	Alto (4)	Muito Alto (5)
NE*	Unid.	≥ 9,82	9,81-7,87	7,86-5,91	5,90-3,96	3,95-2,01	≤ 2,00
DP	I ha ⁻¹	≥ 4818	4817-3832	3831-2846	2845-1860	1859-874	≤ 873
A-M	m	≥ 4,09	4,08-3,53	3,52-2,97	2,96-2,41	2,40-1,85	≤ 1,84
CNB-M	Cm	≥ 13,47	13,46-12,21	12,20-10,95	10,94-9,69	9,68-8,43	≤ 8,42
CAP-M	Cm	≥ 10,78	10,77-9,50	9,49-8,21	8,20-6,93	6,92-5,65	≤ 5,64
DoA-T	m ² ha ⁻¹	≥ 18,3364	18,3363-13,9812	13,9811-9,6260	9,6159-5,2708	5,2707-0,9156	≤ 0,9155

Ind.: indicador; NE: número de espécies; DP: densidade de plantas; A-M: altura média do dossel; CNB-M: circunferência médio na base; CAP-M: circunferência média a altura do peito; DoA-T: dominância absoluta total.*: parcela de 100 m².

Com base na análise de componentes principais, confirmou-se a diferença significativa entre as coberturas ($p \leq 0,05$), com a formação de dois grupos distintos (Figura 7), o primeiro composto pelas áreas conservadas (C) e o segundo pelas áreas desertificadas (D). Esse resultado é explicado principalmente por dois componentes principais, PCA 1 e PCA 2 que explicam 69,77% e 21,29% da variação dos dados, respectivamente, totalizando 91,06%.

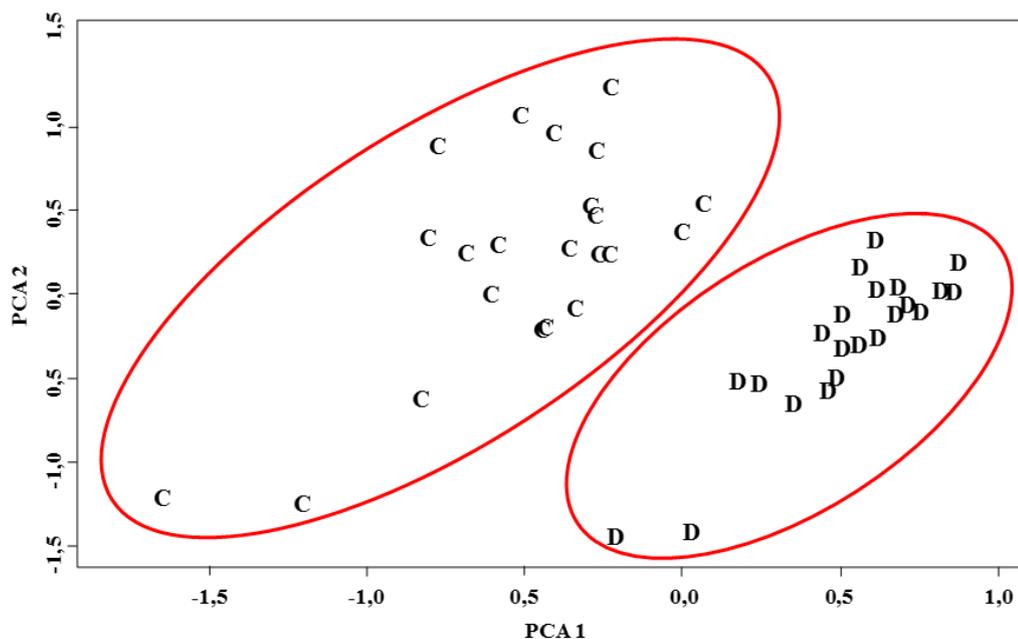


Figura 7. Componentes principais e grupos formados em função dos indicadores de cobertura florestal: número de espécies, densidade de plantas, altura média, CNB-M, CAP-M e DoA-T. C: áreas conservadas; D: áreas desertificadas.

Os valores dos autovetores, em módulo, variaram entre o PCA1 e o PCA 2: número de espécies (0,4089 e 0,4122), densidade de plantas (0,3119 e 0,6422), altura média (0,4591 e 0,0411), CNB-M (0,3738 e 0,5327), CAP-M (0,4387 e 0,3631) e DoA-T (0,4388 e 0,0192), respectivamente. Levando-se em consideração estes valores e a porcentagem de variação explicada por cada componente principal (PCA 1 = 69,77 e PCA 2 = 21,29%), como valor de ponderação para obtenção de uma média geral, obteve-se os seguintes pesos para os indicadores: CAP-M = 0,4210, CNB-M = 0,4110, número de espécies = 0,4097, densidade de plantas = 0,3891, altura média = 0,3614, e DoA-T = 0,3407.

Os valores dos pesos padronizados variaram dentro do Semiárido paraibano. Essa variação ocorreu em função de dois fatores, número e o tipo de indicador selecionado (Tabela 6).

Tabela 6. Valores de pesos padronizados em função dos indicadores selecionados.

NI	Indicadores selecionados	Nº da Parcela	NE	DP	A-M	CNB-M	CAP-M	DoA-T
3	NE, DP e DoA-T	6, 11 e 13	0,36	0,34	-	-	-	0,30
4	NE, DP, A-M e DoA-T	7, 9, 14 e 18	0,27	0,26	0,24	-	-	0,23
5	NE, DP, A-M, CAP-M e DoA-T	5, 15	0,21	0,20	0,19	-	0,22	0,18
5	NE, A-M, CNB-M, CAP-M e DoA-T	2	0,21	-	0,19	0,21	0,22	0,18
5	NE, DP, A-M, CNB-M e DoA-T	20	0,21	0,20	0,19	0,21	-	0,18
6	NE, DP, A-M, CNB-M, CAP-M e DoA-T	1, 3, 4, 8, 10, 12, 16, 17, 19, 21 e 22	0,18	0,17	0,15	0,18	0,18	0,15

NI: número de indicadores; NE: número de espécies; DP: densidade de plantas; A-M: altura média do dossel; CNB-M: circunferência média da base; CAP-M: circunferência média a altura do peito; DoA-T: dominância absoluta total.

Os valores do IND nas áreas conservadas variaram de 0 a 1,98 (Tabela 7), com 100% das áreas conservadas apresentando níveis ausentes à baixos de desertificação. Com relação aos valores do IND nas áreas desertificadas, verificou-se que houve variação de 3,52 a 5,00, com 68,18% das áreas apresentando níveis altos de desertificação e 31,82% níveis muito altos (Tabela 7). Esses resultados demonstram bom ajuste do IND para avaliação do nível de desertificação, visto que, dificilmente se encontra áreas conservadas ou desertificadas com o mesmo nível, principalmente em relação as conservadas, devido ao grande impacto antrópico na região.

Tabela 7. Índice do nível de desertificação (IND) em áreas do Semiárido paraibano.

Par	Área conservada							Área desertificada						
	NE	DP	A-M	CNB-M	CAP-M	DoA-T	IND	NE	DP	A-M	CNB-M	CAP-M	DoA-T	IND
	----- Nível de desertificação -----													
1	1	1	0	0	0	1	0,49	5	4	5	5	5	5	4,83
2	1	-	0	0	0	0	0,21	4	-	5	5	5	5	4,79
3	0	0	0	1	0	1	0,32	5	2	4	5	5	4	4,20
4	1	1	1	1	2	3	1,47	4	4	5	5	5	5	4,66
5	2	0	1	-	2	3	1,58	4	4	4	-	5	4	4,22
6	1	1	-	-	-	1	1,00	5	5	-	-	-	5	5,00
7	0	0	3	-	-	2	1,18	3	4	4	-	-	4	3,73
8	1	2	1	0	0	1	0,81	5	5	5	4	0	4	3,78
9	0	1	0	-	-	0	0,26	3	4	4	-	-	4	3,73
10	0	2	0	0	0	1	0,48	5	5	5	5	5	5	5,00
11	3	0	-	-	-	3	1,98	5	5	-	-	-	5	5,00
12	2	2	0	0	0	1	0,83	5	5	5	5	5	5	5,00
13	3	0	-	-	-	2	1,68	5	5	-	-	-	4	4,70
14	0	0	2	-	-	0	0,48	5	5	3	-	-	5	4,52
15	0	0	1	-	3	2	1,20	5	5	5	-	5	5	5,00
16	0	1	0	1	0	0	0,34	5	5	4	5	5	5	4,85
17	1	0	0	3	3	2	1,54	5	5	5	5	5	5	5,00
18	0	0	1	-	-	1	0,47	4	4	2	-	-	4	3,52
19	0	0	0	0	0	0	0,00	5	4	5	5	5	5	4,83
20	0	0	1	2	-	2	0,98	5	5	4	5	-	5	4,81
21	1	2	0	1	1	2	1,16	5	5	5	5	5	5	5,00
22	0	3	0	0	0	0	0,50	4	4	5	5	5	5	4,66
VM	1	1	1	1	1	1	0,86	5	4	4	5	5	5	4,58

Par: parcela; NE: número de espécies; DP: densidade plantas; A-M: altura média do dossel; CNB-M: CNB médio; CAP-M: CAP médio; DoA-T: Dominância absoluta total.

A avaliação da desertificação por meio de um índice, permite maior nível de precisão do diagnóstico, por integrar diversos indicadores mensuráveis e identificar os indicadores mais críticos de cada área em estudo. Com essas informações, é possível realizar um planejamento para prevenção do avanço da desertificação e recuperação de áreas desertificadas.

4. CONCLUSÃO

A perda de qualidade da cobertura vegetal arbórea reduz a proteção do solo, principalmente em relação a precipitação pluviométrica, favorecendo o processo de erosão, e consequentemente a desertificação.

Os parâmetros número de espécies, DoA-T, densidade de plantas, altura média do dossel, CAP-M e CNB-M, podem ser utilizados como indicadores em 100, 100, 97,9, 89,7, 71,6 e 56,8%, do Semiárido paraibano, respectivamente.

Os indicadores que tem maior peso são CAP-M (0,4210), CNB-M (0,4110), número de espécies (0,4097), densidade de plantas (0,3891), altura média (0,3614) e DoA-T (0,3407).

O índice do nível de desertificação (IND) permite estimar com precisão o nível de desertificação de áreas no Semiárido paraibano.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J.J.A.; SOUZA, E.M.; NASCIMENTO, S.S. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. **Revista RA E GA**, Curitiba, n. 17, p. 139-152, 2009.

ALMEIDA, H.A.; AGUIAR, D.B. SILVA, J.N.; DAMASECENO, J. Indicadores Hídricos do Núcleo de Desertificação da Microrregião do Seridó Ocidental da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 5, p. 784-797, 2014.

CAPUANI, S.; RIGON, J.P.G.; BELTRÃO, N.E.M.; BRITO NETO, J.F. ATIVIDADE MICROBIANA EM SOLOS, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1269-1274, dez. 2012.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, nov.-dez. 2003.

CHAVES, A.D.C.G.; SANTOS, R.M.S.; SANTOS, J.O.; FERNANDES, A.A.; MARACAJÁ, P.B.A. Importância dos levantamentos florístico e fitossociológico para a conservação e preservação das florestas. **Agropecuária Científica No Semiárido**, Patos, v. 9, n. 2, p. 43-48, abr.-jun. 2013.

COSTA, F.X.X.; BELTRÃO, N.M.E.M.; SILVA, F.E.A.A.; MELO FILHO, J.S.M.; SILVA, M.A.S. Disponibilidade de nutrientes no solo em função de doses de matéria orgânica no plantio da mamona. **Revista Verde**, Mossoró, v. 5, n. 3, p. 204-212, jul-set. 2010.

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

DOUSSEAU, S.; ALVARENGA, A.A.; ARANTES, L.O.; OLIVEIRA, D.M.; NERY, F.C. Germinação de sementes de tanchagem (*Plantago tomentosa* Lam.): influência da temperatura, luz e substrato. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 438-443, abr. 2008.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **Evaluación de los recursos florestales mundiales** - Informe principal 163. Roma: FAO, 2010. 346 p.

FEIJOO, A.M.L.C. Correlação. In: FEIJOO, A.M.L.C. (Ed). A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010, p. 70-77.

FEITOSA, P.H.C.; ANDRADE, K.S.; BARBOSA, M.P.; RIBEIRO, G.N. Avaliação do processo de degradação da cobertura vegetal em Serra Branca e Coxixola - PB. **Revista Verde**, Mossoró, v. 5, n. 1, p. 01-07, jan-mar. 2010.

FRANCELINO, M.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; RESENDE, M.; LEITE, H.G. Contribuição da caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão Norte-Rio-Grandense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 79-86, 2003.

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**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1283-1296, 2008.

GOTTLE, A.; SÉNE, E.H. Funciones protectivas y ambientales de los bosques. **Unasyva**, v. 48, n. 190-191, p. 3-4, 1997.

INSA-Instituto Nacional do Semiárido. **Flores da Caatinga**. Campina Grande: INSA, 2011. 114p.

LOBATO, F.A.O.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; SANTOS, J.C.N.; LOPES, J.F.B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 65-71, jul-dez. 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 1. Nova Odessa: Plantarum, 1992, 368p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 2. Nova Odessa: Plantarum, 1998. 368p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 3. Nova Odessa: Plantarum, 2009. 384p.

MAIA-SILVA, C.; SILVA, C.I.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R.T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. **Guia de plantas visitadas por abelhas na Caatinga**. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. 195p.

MEURER, E.J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 65-90.

NIMER, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p. 59-89, 1979.

NUPEEA – Núcleo de Publicações em Ecologia e Etnobotânica Aplicada. **Caatinga: biodiversidade e qualidade de vida**. Bauru: Canal6, 2010. 119p.

OLIVEIRA, G.M.; MATIAS, J.R.; DANTAS, B.F. Temperatura ótima para germinação de sementes nativas da Caatinga. **Abrates**, Londrina, v. 24, n. 3, p. 44-47, 2014.

PAVINATO, O.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, mai.-jun. 2008.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NUNES, F.N.; GEBRIM, F.O. Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos afetado pelo tipo, dose e época de incorporação de adubos verdes ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 997-1006, dez. 2006.

PINESE JUNIOR, J.F.; CRUZ, L.M.; RODRIGUES, S.C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia - MG. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 2, p. 157-175, dez. 2008.

R Code Team. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria, 2017. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, jan.-fev. 2008.

SATO, J.H.; FIGUEIREDO, C.C.; LEÃO, T.P.; RAMOS, M.L.G.; KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 189-193, fev. 2012.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SIQUEIRA FILHO, J.A.; SANTOS, A.P.B.; NASCIMENTO, M.F.S.; ESPÍRITO SANTO, F.S. **Guia de campo de árvores da Caatinga**. Petrolina: Franciscana, 2009. 64p.

SOUSA, E.P.; SILVA, V.P.R.; CAMPOS, J.H.B.C.; OLIVEIRA, S.D. A Teoria da Entropia na Análise da Precipitação no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 2, p. 386-399, 2012.

SOUZA, B.I.; MENEZES, R.; ARTIGAS, R.C. Efeitos da desertificação na composição de espécies do bioma Caatinga, Paraíba/Brasil. **Investigaciones Geográficas**, Alicante, v. 88: 45-59, dez. 2015.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

TONGWAY, D.; HINDLEY, N. Assessing and monitoring desertification with soil indicators. **Rangeland Desertification**, Camberra, v. 19, p. 89-98, 2000.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.;

BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 196-276, 2002.

UNCCD. **Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação, nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente a África**. Paris: ONU, 1994.

CAPÍTULO III

QUALIDADE DE SOLOS EM ÁREAS CONSERVADAS E DESERTIFICADAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO, BRASIL

*QUALITY SOIL IN CONSERVED AND DESERTIFIED AREAS IN
SEMIARID PARAÍBA OF STATE, BRAZIL*

RESUMO

VENDRUSCOLO, Jhony. **Qualidade de solos em áreas conservadas e desertificadas no Semiárido paraibano, Brasil.** Areia, Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, outubro de 2017, Tese, Pós-Graduação em Ciência do Solo, Orientador, Aldrin Martin Perez Marin e Bruno de Oliveria Dias.

O solo da região semiárida apresenta atributos que dificultam à formação da cobertura vegetal, elevando a sensibilidade ao processo de desertificação em áreas de floresta nativa e o reestabelecimento da cobertura florestal em áreas degradadas. Objetivou-se com o presente trabalho identificar as áreas mais suscetíveis ao processo de desertificação e críticas para restauração florestal, na Semiárido paraibano, e fornecer informações básicas para seleção de indicadores do processo de desertificação. Foram selecionadas 22 áreas conservadas, sem corte raso nos últimos 30 anos, e 22 áreas desertificadas, com dificuldade de reestabelecimento da cobertura vegetal nos últimos 10 anos, ambas com base em imagens temporais dos satélites Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8. Em cada área adotou-se parcelas de 100 m², onde coletou-se amostras de solo nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade, para análise química (pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Al³⁺, H+Al, carbono orgânico total, CTC efetiva, CTC potencial, saturação por bases, saturação por Al³⁺ e PST) e físicas do solo (textura e densidade do solo). Os valores dos atributos foram comparados com valores de referência para a região semiárida, obtendo-se o nível de qualidade para cada atributo (1 - alto, 2 - médio ou 3 - baixo). Posteriormente elaborou-se um índice de qualidade do solo para cada camada, e um mapa da distribuição da qualidade do solo, que foi comparado com o mapa de classificação climática, para se obter as áreas conservadas mais suscetíveis ao processo de desertificação e as áreas desertificadas com maiores problemas de reestabelecimento da cobertura florestal. As áreas conservadas apresentam alto nível de qualidade dos solos, em ambas as camadas. Os atributos que tornam a região naturalmente mais sensível ao processo de desertificação são pH, fósforo, carbono orgânico total, acidez potencial, CTC potencial, CTC efetiva, saturação por bases e densidade do solo. Os municípios mais suscetíveis ao processo de desertificação são Soledade e Picuí. As áreas desertificadas apresentam alto nível de qualidade na camada de 0-5 cm, e nível médio de qualidade na camada de 5-20 cm. Os atributos mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal foram carbono orgânico total (qualidade baixa) e P (qualidade baixa) em ambas as camadas. As áreas desertificadas

apresentam níveis médios (77%) à altos (23%) de qualidade do solo. As regiões mais críticas para o restabelecimento da cobertura vegetal estão localizadas nos municípios de São Domingos do Cariri, Picuí e Taperoá. Nas áreas desertificadas, recomenda-se o uso de manejos integrados priorizando o acúmulo de matéria orgânica e a elevação da disponibilidade de água.

Palavras-chave: Caatinga, atributos químicos e físicos, índice de qualidade, sensibilidade à desertificação.

ABSTRACT

The soil of the semi-arid region presents attributes that make it difficult to form vegetation cover, raising sensitivity to the desertification process in native forest areas and reestablishing forest cover in degraded areas. The objective of this work was to identify the areas most susceptible to desertification and forest restoration processes in the semiarid region of Paraíba, and to provide basic information for the selection of indicators of the desertification process. Twenty-two conserved areas were selected, with no clear cut in the last 30 years, and 22 desertified areas, with difficulty to reestablish vegetation cover in the last 10 years, both based on temporal images of the satellites Landsat 5, Landsat 7 and Landsat 8. In each area was adopted plots of 100 m², where it collected up soil samples in the 0-5 and 5-20 cm deep, for chemical analysis (pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Al³⁺, H+Al, total organic carbon (TOC), effective CEC, CEC at pH 7,0, base saturation, aluminium saturation, and exchangeable sodium percentage (ESP)) and soil physics (soil texture and bulk density). The values of the attributes were compared with reference values for the semi-arid region, obtaining the quality level for each attribute (1 - high, 2 - medium or 3 - low). Subsequently a soil quality index was elaborated for each layer, and a map of the soil quality distribution, which was compared with the climate classification map, to obtain the areas most susceptible to the desertification process and the desertified areas with the greatest problems of reestablishment of the forest cover. The Conserved areas have a high level of soil quality, in both layers. The attributes that make the region naturally more sensitive to the desertification process are: pH, P, TOC, CEC at pH 7,0, potential acidity, base saturation and bulk density. The municipalities most susceptible to the desertification process are Soledade and Picuí. The desertified areas present a high level of quality in the layer of 0-5 cm, and medium level of quality in the layer of 5-20 cm. The most limiting attributes to the growth and development of the vegetation cover were TOC (low quality) and P (low quality) in both layers. The desertified areas present average levels (77%) up to high (23%) soil quality. The most critical regions for the restoration of vegetation cover are located in the municipalities of São Domingos do Cariri, Picuí and Taperoá. In the desertified areas, the use of integrated management is recommended, prioritizing the accumulation of organic matter and the increase of water availability.

Keywords: Caatinga, chemical and physical attributes, quality index, sensitivity to desertification.

1. INTRODUÇÃO

O Semiárido paraibano apresenta o índice de aridez (razão entre precipitação anual e a evapotranspiração potencial) entre 0,05 e 0,6, sendo considerado como suscetível ao processo de desertificação (UNCCD, 1994). Além dos problemas hídricos, verifica-se que esta região pode apresentar solos de baixa fertilidade, que limitam o crescimento e o desenvolvimento da cobertura vegetal, elevando a sensibilidade ao processo de desertificação em áreas de floresta nativa ou dificultando o reestabelecimento da cobertura em áreas degradadas.

A fertilidade do solo ocupa um papel central no processo de desertificação (Mortmore, 1994), por estar relacionada diretamente com a qualidade da vegetação (Galindo et al., 2008), influenciando o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade dos agroecossistemas (Sposito e Zabel, 2003). A fertilidade do solo pode ser avaliada por meio de um índice de qualidade do solo, que leva em consideração os atributos químicos, físicos e biológicos (Carneiro et al., 2009), por possuírem propriedades mensuráveis que permitem monitorar as mudanças no ambiente (Karlen et al., 1997).

A avaliação de áreas conservadas e desertificadas por meio da qualidade do solo, associada com técnicas de geoprocessamento, possibilita a elaboração de mapas contendo a distribuição espacial da qualidade do solo, de forma a identificar as regiões mais sensíveis ao processo de desertificação e críticas para restauração da cobertura. Essas informações são essenciais para o monitoramento de áreas conservadas e o planejamento de estratégias de combate à desertificação, visando o manejo adequado de áreas específicas, assim como a conservação dos recursos naturais.

Objetivou-se com o presente trabalho identificar as áreas mais suscetíveis ao processo de desertificação e críticas para restauração florestal, na região semiárida paraibana, e fornecer informações básicas para seleção de indicadores do processo de desertificação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e características das áreas de estudo

O trabalho foi realizado na região do Semiárido paraibano, de outubro de 2015 a abril de 2016, em 22 áreas conservadas e 22 áreas desertificadas, distribuídas em 21 municípios (Figura 1). A região apresenta clima quente semiárido com 6 a 11 meses secos em 85,3% da área (Nimer, 1979), com precipitação anual inferior a 800 mm (Sousa et al., 2012).

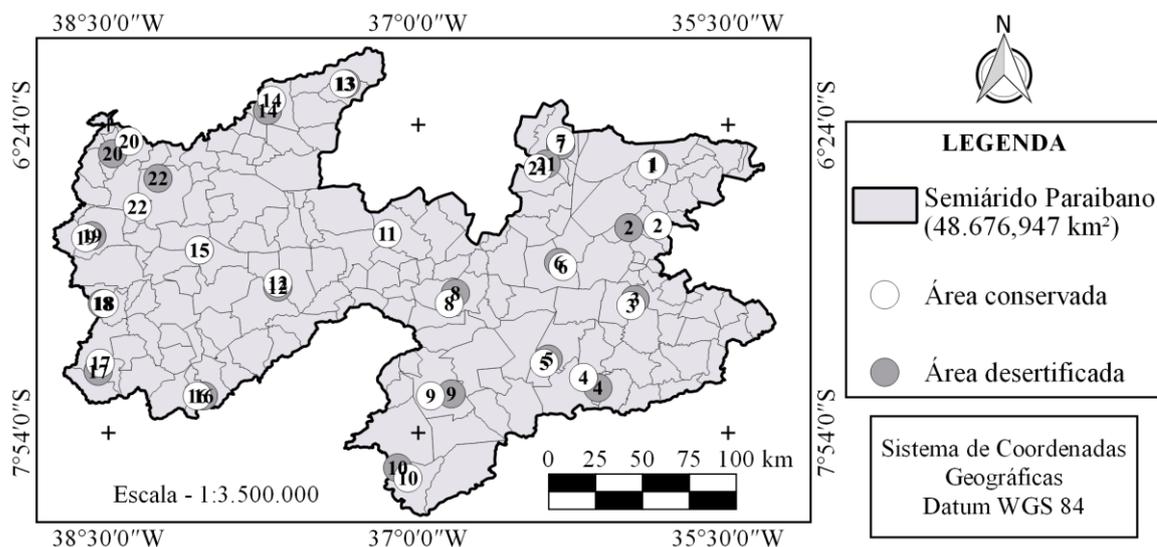


Figura 1. Distribuição geográfica das áreas conservadas e desertificadas no Semiárido paraibano. 1: Cacimba de Dentro; 2: Remígio; 3: Campina Grande; 4: Boqueirão; 5: São Domingos do Cariri; 6: Soledade; 7: Picuí; 8: Taperoá; 9: Sumé; 10: São Sebastião do Umbuzeiro; 11: Patos; 12: Catingueira; 13: São José do Brejo do Cruz; 14: Catolé do Rocha; 15: Coremas; 16: São José de Princesa; 17: Conceição; 18: Bonito de Santa Fé; 19: Cajazeiras; 20: Uiraúna; 21: Picuí; 22: Marizópolis.

Para seleção das áreas conservadas, considerou-se a ausência de corte raso desde o ano de 1984, selecionadas com base em imagens temporais dos últimos 30 anos, utilizando a ferramenta Landsat Annual Timelapse 1984-2012. Posteriormente, as áreas selecionadas foram comparadas com imagens atualizadas do Satélite Landsat 8 (bandas 4, 5 e 6), e confirmadas em campo utilizando um GPS de navegação, modelo 60CSX da Garmin.

Para a seleção das áreas desertificadas, considerou-se a dificuldade de reestabelecimento de cobertura vegetal, tendo como base imagens temporais (últimos 10

anos) dos satélites Landsat 7 (bandas 3, 4 e 5) e Landsat 8 (bandas 4, 5 e 6), com auxílio da ferramenta Earthengine. O período das imagens correspondeu ao período com maior pluviosidade e baixa incidência de nuvens, excluindo o fator água como limitante de crescimento vegetal. Após a seleção das áreas, localizou-se as áreas em campo, utilizando o GPS de navegação, modelo 60CSX da Garmin.

2.2. Coleta e análise das amostras de solo

As amostras foram coletadas em parcelas georeferenciadas de 100 m² (10 x 10 m), nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade. Em cada parcela, coletou-se uma amostra composta para cada camada, formada por 5 amostras simples para análise química, e 4 amostras simples por camada para análise física. As mesmas foram acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados, e encaminhadas para o laboratório de fertilidade do solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba.

Os atributos químicos analisados foram acidez ativa (pH em água), acidez potencial (H+Al), teores de sódio (Na⁺), alumínio (Al³⁺), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), carbono orgânico total (COT), P disponível (Mehlich-1) (EMBRAPA, 2011), soma de bases, CTC efetiva, CTC potencial, saturação por bases, saturação por Al³⁺ (Alvarez V. et al., 1999) e porcentagem de sódio trocável (PST) (Tabelas 1 e 2). Os atributos físicos analisados foram textura (EMBRAPA, 2011) e densidade do solo (anel volumétrico) (Tabelas 3 e 4).

Tabela 1. Atributos químicos dos solos em áreas conservadas do Semiárido paraibano, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade.

Camada	Parcela	pH em água	P	K ⁺	Na ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC efetiva	CTC potencial	COT	V	m	PST
--- cm ---			--- mg kg ⁻¹ ---						cmol _c kg ⁻¹				- g kg ⁻¹ -		----- % -----	
0-5	1	5,80	12,9	148	0,05	3,45	1,52	0,00	2,52	5,55	5,55	8,07	11,48	68,77	0,00	0,91
	2	6,15	10,14	125	0,13	5,64	1,99	0,00	3,20	8,09	8,09	11,29	30,62	71,66	0,00	1,32
	3	5,37	15,51	112	0,04	4,72	0,52	0,11	5,63	5,65	5,75	11,28	20,35	50,07	0,95	0,55
	4	6,29	2,92	92	0,07	6,75	2,43	0,00	1,93	9,48	9,48	11,41	26,48	83,1	0,00	0,61
	5	6,35	15,1	149	0,12	9,91	2,86	0,00	2,75	13,35	13,35	16,11	21,63	82,90	0,00	0,96
	6	5,62	18,63	141	0,15	3,29	1,72	0,00	3,56	5,54	5,54	9,10	18,96	60,85	0,00	2,11
	7	6,42	25,97	153	0,03	3,83	1,70	0,00	0,17	5,93	5,93	6,10	21,75	97,18	0,00	0,21
	8	6,45	6,82	89	0,04	7,68	2,02	0,00	3,04	10,04	10,04	13,08	29,42	76,76	0,00	0,41
	9	7,28	64,9	353	0,05	11,76	4,63	0,00	1,92	16,96	16,96	18,89	23,02	89,81	0,00	0,52
	10	7,10	5,2	177	0,06	11,45	7,34	0,00	2,28	19,18	19,18	21,46	41,23	89,37	0,00	0,32
	11	5,48	7,22	67	0,04	6,61	1,54	0,05	5,68	8,36	8,41	14,05	35,70	59,5	0,6	0,30
	12	6,06	4,58	127	0,06	8,06	1,79	0,00	4,65	10,54	10,54	15,20	40,34	69,38	0,00	0,45
	13	6,37	13,77	106	0,04	8,07	2,51	0,00	1,46	10,91	10,91	12,36	26,01	88,22	0,00	0,27
	14	7,20	20,7	81	0,05	6,84	1,00	0,00	0,00	8,10	8,10	8,10	30,99	100	0,00	0,53
	15	7,23	5,78	128	0,05	12,43	1,84	0,00	3,71	14,78	14,78	18,48	39,19	79,95	0,00	0,27
	16	6,54	9,28	113	0,03	6,33	1,09	0,00	2,08	7,79	7,79	9,87	35,43	78,97	0,00	0,51
	17	6,78	30,63	221	0,06	8,57	1,71	0,00	1,91	10,87	10,87	12,79	32,93	85,03	0,00	0,58
	18	5,78	9,82	143	0,02	2,76	1,32	0,00	3,23	4,51	4,51	7,74	18,90	58,28	0,00	0,54
	19	7,33	4,21	169	0,06	9,52	3,03	0,00	4,54	13,23	13,23	17,77	11,47	74,43	0,00	0,33
	20	6,22	15,43	101	0,04	7,30	1,38	0,01	5,27	9,21	9,22	14,48	16,62	63,60	0,10	0,36
	21	5,05	8,1	62	0,03	7,11	1,16	0,05	6,98	8,65	8,70	15,63	39,77	55,33	0,61	0,53
	22	6,17	50,66	248	0,08	11,45	3,73	0,00	7,12	16,46	16,46	23,59	15,57	69,80	0,00	0,39
5-20	1	6,50	5,33	226	0,08	1,64	2,19	0,00	0,34	4,48	4,48	4,82	2,67	92,89	0,00	2,19
	2	6,34	4,25	202	0,24	3,22	1,73	0,00	2,02	5,51	5,51	7,53	8,57	73,17	0,00	3,24
	3	5,12	5,14	90	0,12	1,95	0,49	0,74	5,26	2,81	3,55	8,07	7,53	34,84	9,17	1,76
	4	6,76	5,46	218	0,07	6,15	1,51	0,00	2,51	8,29	8,29	10,80	28,97	76,8	0,0	0,61
	5	5,94	8,8	145	0,28	9,62	3,89	0,00	2,92	14,15	14,15	17,07	10,88	82,90	0,00	1,60
	6	5,19	6,68	214	0,26	1,86	1,04	0,12	4,02	3,63	3,75	7,65	11,79	47,41	1,55	3,21
	7	5,59	9,04	148	0,07	2,42	0,83	0,00	2,32	3,79	3,79	6,11	18,96	62,01	0,00	1,49
	8	5,79	3,94	67	0,06	4,28	1,53	0,05	2,99	6,01	6,06	9,00	20,68	66,77	0,89	0,55
	9	7,06	55,61	461	0,09	9,38	3,52	0,06	2,08	14,15	14,20	16,22	21,05	87,19	0,39	1,00
	10	7,03	2,02	239	0,14	12,75	10,83	0,05	2,22	24,42	24,47	26,64	29,42	91,67	0,20	1,00
	11	5,48	3,69	79	0,06	6,54	2,21	0,11	3,80	9,01	9,12	12,81	27,55	70,30	1,16	0,49
	12	6,12	1,75	124	0,05	6,76	2,31	0,00	2,89	9,42	9,42	12,31	33,03	76,55	0,00	0,44

Camada	Parcela	pH em água	P	K ⁺	Na ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC efetiva	CTC potencial	COT	V	m	PST
--- cm ---			--- mg kg ⁻¹ ---						cmol _c kg ⁻¹				- g kg ⁻¹ -		%	
	13	6,11	5,43	131	0,08	6,13	2,95	0,00	2,37	9,49	9,49	11,86	19,56	80,00	0,00	1,02
	14	6,81	16,38	104	0,06	5,83	0,89	0,00	0,47	7,06	7,06	7,53	24,79	93,74	0,00	0,76
	15	7,29	3,24	226	0,10	14,90	1,92	0,00	3,84	17,45	17,45	21,29	21,95	81,97	0,00	0,31
	16	6,60	3,14	123	0,02	4,19	1,63	0,00	2,13	6,12	6,12	8,25	31,31	74,14	0,00	0,43
	17	6,36	5,06	123	0,06	6,09	2,14	0,00	2,19	8,59	8,59	10,77	12,52	79,71	0,00	0,55
	18	5,33	3,78	134	0,03	0,99	0,91	0,23	3,97	2,27	2,50	6,24	8,32	36,35	3,67	0,67
	19	6,71	0,97	259	0,04	7,70	2,85	0,00	4,84	11,31	11,31	16,16	8,99	70,02	0,00	0,31
	20	5,76	7,46	129	0,04	5,90	0,06	0,00	7,52	6,29	6,29	13,81	10,36	45,56	0,00	0,25
	21	5,34	2,31	99	0,06	3,28	0,93	0,12	4,60	4,54	4,66	9,14	32,46	49,65	2,65	1,17
	22	5,95	37,54	294	0,15	11,29	5,39	0,00	6,66	17,52	17,52	24,18	11,47	72,46	0,00	0,57

SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; V: saturação por bases; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável.

Tabela 2. Atributos químicos dos solos em áreas desertificadas do Semiárido paraibano, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade.

Camada	Parcela	pH em água	P	K ⁺	Na ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC efetiva	CTC potencial	COT	V	m	PST
--- cm ---			--- mg kg ⁻¹ ---						cmol _c kg ⁻¹				- g kg ⁻¹ -		%	
	1	5,89	5,90	273	0,15	0,27	1,27	0,00	1,47	2,32	2,32	3,79	6,62	61,28	0,00	4,04
	2	5,97	8,61	174	0,07	0,35	1,10	0,06	1,12	1,98	2,05	3,10	3,40	63,95	1,99	3,03
	3	5,82	2,89	89	0,26	1,15	3,50	0,10	2,32	5,13	5,23	7,45	8,93	68,89	1,35	3,26
	4	6,58	28,34	233	0,09	1,17	1,41	0,00	0,12	3,24	3,24	3,35	2,19	96,53	0,00	2,85
	5	6,47	48,34	155	0,16	4,65	2,02	0,00	1,43	7,26	7,26	8,69	2,79	83,52	0,00	2,16
	6	7,06	70,65	298	0,23	4,22	1,82	0,00	0,00	6,95	6,95	6,95	3,52	100	0,00	3,08
	7	6,83	6,04	84	0,26	9,03	3,76	0,06	0,00	13,35	13,41	13,35	1,94	100	0,44	1,79
	8	7,04	8,03	70	0,11	5,49	7,47	0,06	1,42	13,28	13,35	14,70	0,86	90,37	0,49	0,71
	9	7,25	303,0	205	0,12	12,29	8,28	0,06	2,10	21,16	21,22	23,26	3,51	90,96	0,29	0,53
0-5	10	6,37	14,94	212	0,07	7,18	3,50	0,07	2,41	11,08	11,15	13,49	2,71	82,12	0,60	0,74
	11	5,80	2,73	96	0,21	15,90	7,76	0,06	2,21	24,34	24,40	26,55	1,11	91,67	0,24	0,82
	12	5,38	2,15	52	0,04	5,80	2,24	0,15	2,50	8,20	8,35	10,69	3,20	76,65	1,79	0,39
	13	5,67	10,00	93	0,11	2,89	2,35	0,50	1,96	5,59	6,09	7,55	4,19	74,08	8,18	0,96
	14	5,45	4,00	111	0,04	3,27	0,92	0,05	0,42	4,57	4,62	4,99	1,09	91,51	1,07	0,79
	15	6,10	2,82	234	0,03	1,98	1,93	0,00	4,66	4,59	4,59	9,25	5,95	49,58	0,00	0,47
	16	6,37	10,23	271	0,03	4,27	1,52	0,06	2,00	6,61	6,67	8,61	3,09	76,76	0,84	0,46
	17	8,00	43,81	120	0,11	14,84	3,54	0,00	0,00	18,82	18,82	18,82	1,82	100	0,00	0,65
	18	5,76	2,99	130	0,07	1,22	1,28	0,16	1,84	2,92	3,08	4,76	3,65	61,40	3,34	1,63
	19	6,66	2,83	151	0,13	4,49	2,93	0,00	3,86	8,16	8,16	12,02	0,56	67,89	0,00	1,09

Camada	Parcela	pH em água	P	K ⁺	Na ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC efetiva	CTC potencial	COT	V	m	PST
--- cm ---			--- mg kg ⁻¹ ---						cmol _c kg ⁻¹				- g kg ⁻¹ -		%	
	20	6,26	7,37	201	0,05	3,28	2,26	0,00	4,55	6,25	6,25	10,80	1,61	57,85	0,00	0,50
	21	5,19	6,03	86	0,25	4,58	1,50	1,30	5,87	6,58	7,88	12,45	4,80	52,87	16,50	2,34
	22	5,62	6,91	211	0,23	1,86	1,04	0,00	5,60	3,78	3,78	9,38	2,29	40,29	0,00	2,50
5-20	1	4,88	1,68	94	0,08	0,40	1,06	0,18	0,98	1,82	2,00	2,80	1,28	50,70	6,36	3,84
	2	6,26	2,19	148	0,13	1,06	1,26	0,00	0,31	2,84	2,84	3,16	2,01	90,09	0,00	4,66
	3	6,06	2,85	49	0,55	0,56	1,06	0,00	1,70	2,34	2,34	4,04	3,77	57,89	0,00	14,18
	4	6,47	4,23	153	0,20	4,26	2,05	0,00	0,50	6,90	6,90	7,40	2,49	93,22	0,00	2,75
	5	6,25	9,28	59	0,50	7,28	3,52	0,00	1,05	11,45	11,45	12,50	2,92	91,61	0,00	3,80
	6	6,96	21,38	163	0,35	6,89	2,74	0,00	0,00	10,38	10,38	10,38	4,19	100	0,00	3,15
	7	6,59	8,43	47	0,43	9,87	3,77	0,00	0,10	14,20	14,20	14,29	2,37	99,33	0,00	2,92
	8	5,78	0,98	44	0,51	4,04	5,92	0,06	2,03	10,32	10,38	12,35	1,78	83,58	0,57	2,56
	9	7,17	162,5	94	0,16	12,63	6,68	0,06	2,42	19,88	19,94	22,30	3,02	89,13	0,28	0,73
	10	6,13	4,97	95	0,10	11,63	4,29	0,06	2,63	16,25	16,30	18,88	3,45	86,05	0,36	0,55
	11	5,68	2,07	50	0,64	16,62	9,14	0,06	1,74	26,08	26,14	27,81	7,02	93,76	0,23	0,52
	12	5,21	2,30	40	0,04	3,67	3,13	0,34	3,47	6,96	7,30	10,43	2,57	66,76	4,65	0,62
	13	5,44	7,89	39	0,61	3,21	4,70	0,05	1,94	8,62	8,67	10,56	6,87	81,62	0,63	5,59
14	5,26	3,75	72	0,10	2,92	1,37	0,00	0,55	4,57	4,57	5,12	0,79	89,30	0,00	1,90	
15	5,08	0,66	152	0,02	1,58	1,71	0,11	4,84	3,69	3,79	8,52	2,91	43,25	2,81	0,38	
16	5,55	5,52	141	0,01	4,35	1,33	0,06	3,11	6,04	6,10	9,15	2,29	66,06	0,93	0,34	
17	7,73	51,27	42	0,18	15,41	3,62	0,00	0,00	19,34	19,34	19,34	1,22	100	0,00	0,98	
18	5,71	1,01	60	0,17	0,48	2,25	0,27	1,32	3,09	3,35	4,40	1,82	70,13	6,03	4,19	
19	6,35	1,77	78	0,08	4,48	2,41	0,00	4,04	7,20	7,20	11,24	0,99	64,04	0,00	0,82	
20	6,48	3,25	173	0,06	4,54	2,78	0,00	4,12	7,84	7,84	11,95	1,61	65,57	0,00	0,63	
21	5,27	0,74	31	2,92	3,31	14,70	0,40	4,15	22,16	22,56	26,31	1,77	84,23	1,78	15,44	
22	4,99	3,52	153	0,35	1,61	0,63	0,77	6,11	2,98	3,75	9,09	1,92	32,79	20,45	3,83	

SB: soma de bases; COT: carbono orgânico total; V: saturação por bases; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável.

Tabela 3. Atributos físicos dos solos em áreas conservadas do Semiárido paraibano, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade.

Camada	Parcela	Areia					Silte	Argila	Textura	Densidade do solo
		AMG	AG	AM	AF	AMF				
		----- g kg ⁻¹ -----								----- g cm ⁻³ -----
0-5	1	38	86	182	338	146	168	42	Areia franca	1,15
	2	64	64	171	342	128	155	77	Franco arenoso	1,00
	3	79	79	205	297	114	144	83	Franco arenoso	1,06
	4	68	129	191	203	73	168	168	Franco arenoso	1,05
	5	126	84	86	118	79	304	203	Franco	1,25
	6	104	121	172	260	116	100	126	Franco arenoso	1,28
	7	147	119	419	206	32	29	49	Areia	1,12
	8	91	35	107	341	152	232	42	Franco arenoso	0,90
	9	77	91	132	223	115	220	142	Franco arenoso	1,16
	10	77	46	77	157	82	343	218	Franco	1,02
	11	42	73	133	258	132	209	153	Franco arenoso	1,14
	12	102	49	49	99	92	377	232	Franco	1,26
	13	98	87	108	227	139	199	142	Franco arenoso	0,93
	14	126	166	123	174	86	192	133	Franco arenoso	1,04
	15	66	92	145	175	65	229	229	Franco argilo arenoso	1,28
	16	161	172	122	114	51	174	206	Franco argilo arenoso	1,19
	17	113	105	85	103	59	294	241	Franco	1,08
	18	131	146	204	220	58	120	120	Franco arenoso	1,10
	19	39	85	132	190	87	246	221	Franco argilo arenoso	1,39
	20	43	77	130	265	153	210	123	Franco arenoso	1,46
	21	68	113	167	271	109	163	109	Franco arenoso	0,88
	22	149	189	113	106	55	206	183	Franco arenoso	0,88
5-20	1	33	88	188	359	151	60	121	Areia franca	1,28
	2	33	73	177	359	139	66	154	Franco arenoso	1,24
	3	28	71	210	283	111	191	106	Franco arenoso	1,29
	4	59	115	179	222	75	175	175	Franco arenoso	1,30
	5	93	109	109	145	80	257	206	Franco argilo arenoso	1,46
	6	56	99	157	271	134	182	101	Franco arenoso	1,37
	7	41	99	363	242	35	28	193	Franco arenoso	1,40
	8	22	48	118	207	128	341	137	Franco	1,26
	9	19	68	195	417	118	121	61	Areia franca	1,35

Camada	Parcela	Areia					Silte	Argila	Textura	Densidade do solo
		AMG	AG	AM	AF	AMF				
		----- g kg ⁻¹ -----							----- g cm ⁻³ -----	
	10	41	54	87	173	91	277	277	Franco argiloso	1,35
	11	39	60	111	274	145	214	157	Franco arenoso	1,32
	12	72	53	51	103	97	425	199	Franco	1,28
	13	120	102	121	231	127	164	136	Franco arenoso	1,28
	14	174	154	129	178	83	183	99	Franco arenoso	1,14
	15	89	95	132	161	53	125	345	Franco argilo arenoso	1,29
	16	117	153	123	120	56	186	244	Franco argilo arenoso	1,21
	17	108	98	90	114	57	266	266	Franco	1,21
	18	86	124	215	250	71	139	116	Franco arenoso	1,20
	19	48	74	96	145	78	265	294	Franco argiloso	1,35
	20	39	70	130	274	164	161	161	Franco arenoso	1,45
	21	86	127	183	282	112	120	90	Franco arenoso	1,20
	22	143	186	112	101	57	143	258	Franco argilo arenoso	1,12

AMG: Areia Muito Grossa; AG: Areia Grossa; AM: Areia Média; AF: Areia Fina; AMF: Areia Muito Fina.

Tabela 4. Atributos físicos dos solos em áreas desertificadas do Semiárido paraibano, nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade.

Camada	Parcela	Areia					Silte	Argila	Textura	Densidade do solo
		AMG	AG	AM	AF	AMF				
		----- g kg ⁻¹ -----							----- g cm ⁻³ -----	
0-5	1	80	114	169	189	79	196	171	Franco arenoso	1,31
	2	39	45	167	498	124	73	55	Areia	1,40
	3	69	89	170	195	93	203	181	Franco arenoso	1,30
	4	81	162	223	272	104	118	39	Areia franca	1,68
	5	65	98	158	275	130	200	75	Franco arenoso	1,71
	6	18	34	180	369	133	186	80	Franco arenoso	1,53
	7	7	40	186	408	111	213	35	Areia franca	1,52
	8	24	76	213	421	110	110	47	Areia franca	1,38
	9	50	101	145	223	111	342	28	Franco arenoso	1,36
	10	62	144	169	195	94	296	40	Franco arenoso	1,59
	11	71	112	145	223	106	293	50	Franco arenoso	1,36
	12	52	46	50	107	48	455	242	Franco	1,22
	13	22	79	138	256	149	260	96	Franco arenoso	1,52

Camada	Parcela	Areia					Silte	Argila	Textura	Densidade do solo
		AMG	AG	AM	AF	AMF				
		g kg ⁻¹								g cm ⁻³
	14	74	103	109	155	97	332	129	Franco arenoso	1,34
	15	47	72	110	194	106	259	212	Franco	1,28
	16	99	92	92	126	76	303	212	Franco	1,59
	17	79	139	169	212	118	231	51	Franco arenoso	1,38
	18	89	121	157	203	100	198	132	Franco arenoso	1,24
	19	83	134	124	165	99	307	88	Franco arenoso	1,51
	20	66	133	144	186	101	254	114	Franco arenoso	1,63
	21	144	74	92	184	74	178	254	Franco argilo arenoso	1,59
	22	167	133	113	133	78	226	151	Franco arenoso	1,38
5-20	1	52	176	263	223	70	120	96	Franco arenoso	1,33
	2	68	45	137	446	125	119	60	Areia franca	1,40
	3	80	99	217	200	77	175	153	Franco arenoso	1,42
	4	78	140	156	174	83	245	123	Franco arenoso	1,52
	5	116	137	153	200	85	214	95	Franco arenoso	1,34
	6	12	37	183	309	97	258	103	Franco arenoso	1,41
	7	7	36	188	414	118	203	34	Areia franca	1,45
	8	37	134	214	271	83	195	65	Areia franca	1,47
	9	66	124	143	182	81	264	140	Franco arenoso	1,34
	10	56	129	123	131	59	376	125	Franco	1,36
	11	79	146	203	223	106	224	20	Franco arenoso	1,31
	12	44	51	51	106	42	490	216	Franco	1,26
	13	26	88	138	224	127	255	142	Franco arenoso	1,33
	14	79	114	100	131	83	306	187	Franco	1,41
	15	73	189	191	154	62	151	181	Franco arenoso	1,39
	16	75	85	87	123	71	297	264	Franco	1,27
	17	114	146	162	198	99	225	56	Franco arenoso	1,33
	18	78	112	141	183	90	223	173	Franco arenoso	1,31
	19	146	170	150	165	86	227	57	Franco arenoso	1,69
	20	70	130	133	168	91	300	109	Franco arenoso	1,48
	21	64	50	79	164	74	172	397	Franco argiloso	1,46
	22	195	128	101	116	70	213	176	Franco arenoso	1,44

2.3 Classificação dos atributos e índice de qualidade do solo

Os valores dos atributos químicos e físicos do solo foram comparados com valores de referência para o semiárido (Tabela 5), obtendo-se o nível de qualidade para cada atributo. Os níveis de qualidade dos atributos variam de 1 a 3, sendo que o nível 3 é considerado o mais baixo.

Tabela 5. Valores de referência para a avaliação do nível de qualidade dos atributos químicos e físicos dos solos.

Atributo	Unidade	Nível			Fonte
		Baixo 3	Médio 2	Alto 1	
Atributos químicos					
pH em água		< 5,0 e > 6,5	5,0 - 5,5 e 6,0 - 6,5	5,5 - 6,0	A e B
P	mg kg ⁻¹	< 7,0	7,0 - 15,0	> 15,0	B
K ⁺	mg kg ⁻¹	< 30	30 - 60	> 60	B
Na ⁺	cmol _c kg ⁻¹	> 2,3	2,3 - 0,3	< 0,3	B
Ca ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	< 1,6	1,6 - 3,2	> 3,2	B
Mg ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8	B
Al ³⁺	cmol _c kg ⁻¹	> 1,0	1,0 - 0,5	< 0,5	B
H+Al	cmol _c kg ⁻¹	> 8,5	8,5 - 2,6	< 2,6	B
Soma de bases	cmol _c kg ⁻¹	< 2,4	2,4 - 6,5	> 6,5	B
CTC efetiva	cmol _c kg ⁻¹	< 2,9	2,9 - 7,4	> 7,5	B
CTC potencial	cmol _c kg ⁻¹	< 5,0	5,0 - 15,0	> 15,0	B
Carbono orgânico total	g kg ⁻¹	< 9,0	9,0 - 11,7	> 11,7	B
Saturação por bases	%	< 50	50 - 70	> 70	B
Saturação por Al ³⁺	%	> 15	15 - 5	< 5	B
PST	%	> 15	15 - 6	< 6	B
Atributos físicos					
Densidade do solo*	g cm ⁻³	> 1,25	1,0 - 1,25	< 1,0	C
Densidade do solo**	g cm ⁻³	> 1,40	1,25 - 1,40	< 1,25	C

A: Adaptado de Alvarez V. et al., 1999; B: Adaptado de Siqueira (2007); C: Adaptado de Kiehl (1979) e Santos et al. (2013); PST: Porcentagem de Sódio Trocável; *Solo argiloso: 35 a 60% de argila; **Solo arenoso: compreende as classes texturais areia, areia franca e franco-arenoso.

O Índice de Qualidade do Solo (IQS) foi obtido para cada camada, com base na média aritmética dos níveis dos atributos químicos e físicos. Os níveis de qualidade variam de 1 a 3, com maior qualidade os solos que apresentam nível 1 e menor qualidade os solos que apresentam nível 3. Posteriormente elaborou-se mapas da distribuição da qualidade do solo, levando-se em consideração a média ponderada das camadas (peso: 0,25 e 0,75 para as camadas de 0-5 e 5-20 cm, respectivamente), que foi comparado com o mapa de classificação climática (Figura 2), para se obter as áreas mais suscetíveis ao processo de desertificação e áreas mais críticas para restauração da cobertura florestal. A elaboração do mapa foi realizada com o software QGIS 2.10.1 (versão Pisa), utilizando o procedimento de Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW).

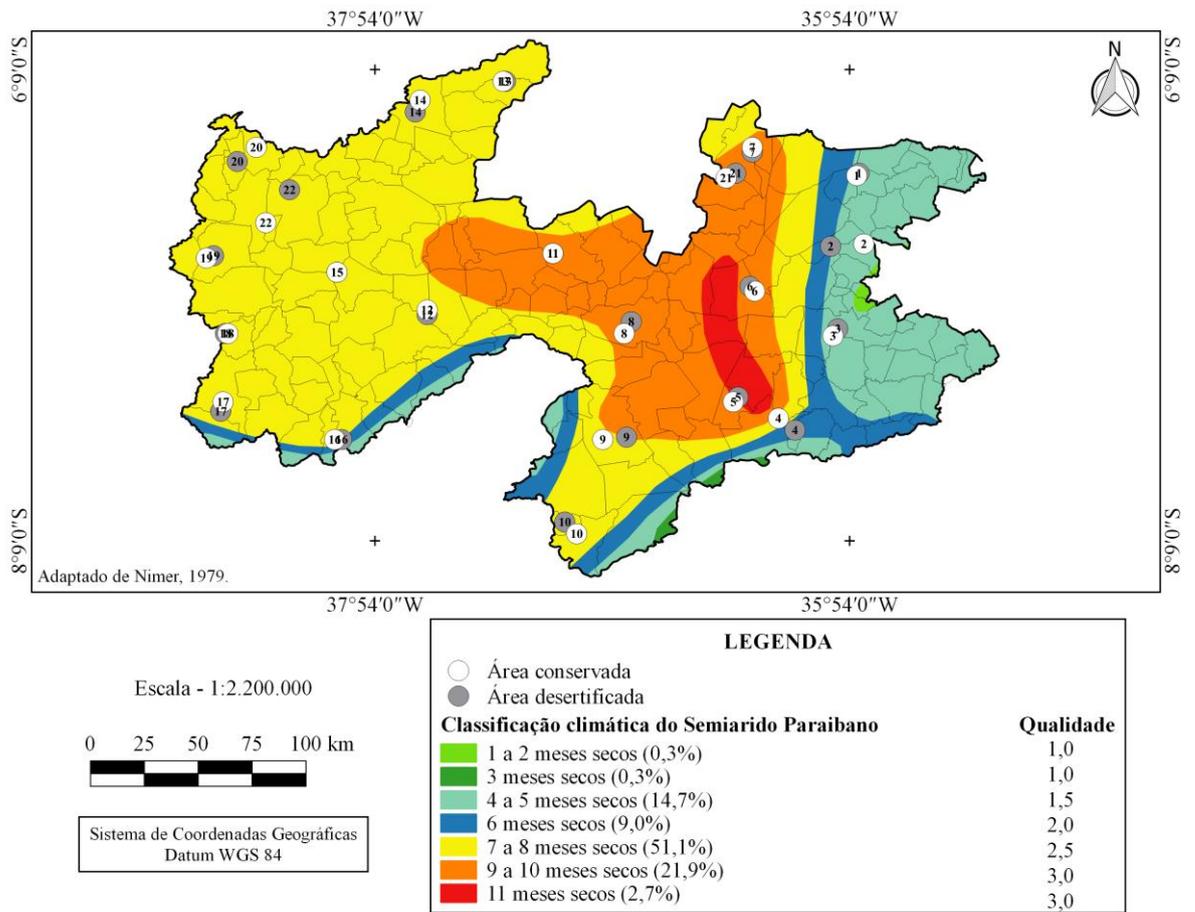


Figura 2. Nível de qualidade em função da classificação climática do Semiárido paraibano. Adaptado de Nimer, 1979.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Áreas conservadas

Os resultados dos níveis de qualidade dos atributos e dos solos nas áreas conservadas encontram-se na tabela 6. Na camada de 0-5 cm de profundidade, as áreas conservadas apresentaram valor médio de 1,30 (alto nível de qualidade), com níveis variando de 1,13 a 1,44. Na camada de 5-20 cm, as áreas conservadas apresentaram valor médio de 1,48 (alto nível de qualidade), com níveis variando entre 1,13 a 2,00.

A maior qualidade na camada de 0-5 cm está relacionada com a maior fertilidade na superfície do solo. Em trabalho realizado por Pavinato et al. (2009), constatou-se que a fertilidade do solo tende a diminuir com a profundidade, em função das reduções nos teores de matéria orgânica, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , e do valor de pH. Portanto, constata-se que a camada de 0-5 cm é mais sensível ao manejo do que a camada de 5-20 cm.

Os atributos mais limitantes à qualidade dos solos na camada de 0-5 cm em áreas conservadas foram pH (2,18), P (1,86), CTC potencial (1,64) e acidez potencial (1,59). Na camada de 5-20 cm são P (2,59), pH (2,09), densidade do solo (1,86), CTC potencial (1,73), COT (1,59), CTC efetiva (1,59), saturação por bases (1,59) e acidez potencial (1,55).

Os valores de pH na camada de 0-5 cm foram classificados principalmente como qualidade média (54,54%) à baixa (31,82%), com exceção para as parcelas 1C (Cacimba de Dentro), 6C (Soledade) e 18C (Bonito de Santa Fé). Na camada de 5-20 cm, 45,45% das áreas apresentaram pH com médio nível de qualidade e 31,82% apresentaram nível baixo, com exceção para as áreas localizadas nos municípios de São Domingos do Cariri (5C), Picuí (7C), Taperoá (8C), Uiraúna (20C) e Marizópolis (22C).

O pH do solo é considerado como um atributo muito importante por influenciar a disponibilidade de nutrientes e elementos tóxicos às plantas (ex. Al^{3+}) (Sousa et al., 2007). Neste contexto, verifica-se que as áreas que apresentaram pH acima do recomendado (5,5 à 6,0) podem apresentar baixa disponibilidade de micronutrientes catiônicos. O valor de pH acima de 6,0, encontrado na maioria das áreas, está relacionado com o baixo índice pluviométrico dessa região (< 800 mm) (Sousa et al., 2012), que reduz o intemperismo químico e físico de rochas e minerais (Frey et al., 2013), e a lixiviação de bases como Ca^{2+} e Mg^{2+} (Costa, 2011).

Camada (cm)	Parcela	pH em água	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC efetiva	CTC potencial	COT	V	m	PST	DS	IQS
	11	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1,38
	12	2	3	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1,38
	13	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1,31
	14	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1,25
	15	3	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1,44
	16	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1,44
	17	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1,25
	18	2	3	1	1	3	1	1	2	3	3	2	3	3	1	1	1	1,94
	19	3	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1,50
	20	1	2	1	1	1	3	1	2	2	2	2	2	3	1	1	3	1,75
	21	2	3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	3	1	1	1	1,56
	22	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1,13
VM		2,09	2,59	1,00	1,00	1,32	1,18	1,05	1,55	1,50	1,59	1,73	1,59	1,59	1,05	1,00	1,86	1,48

VM: valor médio; COT: carbono orgânico total; V: saturação por bases; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo; 1: nível alto de qualidade (verde); 2: nível médio de qualidade (amarelo); 3: nível baixo de qualidade (vermelho).

A maioria das áreas conservadas apresentaram qualidade alta (40,91%) a média (31,82%) em relação aos teores de P na camada de 0-5 cm, e baixa (72,73%) na camada de 5-20 cm (Tabela 6). As áreas mais críticas com relação a esse macronutriente, encontram-se nos municípios de Boqueirão, Taperoá, São Sebastião do Umbuzeiro, Catingueira, Coremas e Cajazeiras, na primeira camada, e de Cacimba de Dentro, Remígio, Campina Grande, Boqueirão, Soledade, Taperoá, São Sebastião do Umbuzeiro, Patos, Catingueira, São José do Brejo do Cruz, Coremas, São José de Princesa, Conceição, Bonito de Santa Fé, Cajazeiras e Picuí, na segunda camada.

A baixa disponibilidade de P está relacionada com a textura dos solos, tendo em vista que, a maioria das áreas apresenta textura variando de areia a franco arenosa (68,18% para ambas camadas) (Figura 3). Solos com textura arenosa apresentam menor adsorção de P do que solos com textura média ou argilosa (Machado et al., 2011), de modo que, com o tempo esse macronutriente por ser lixiviado para as camadas mais profundas do perfil após vários períodos de chuva, como observado por Galvão et al. (2008).

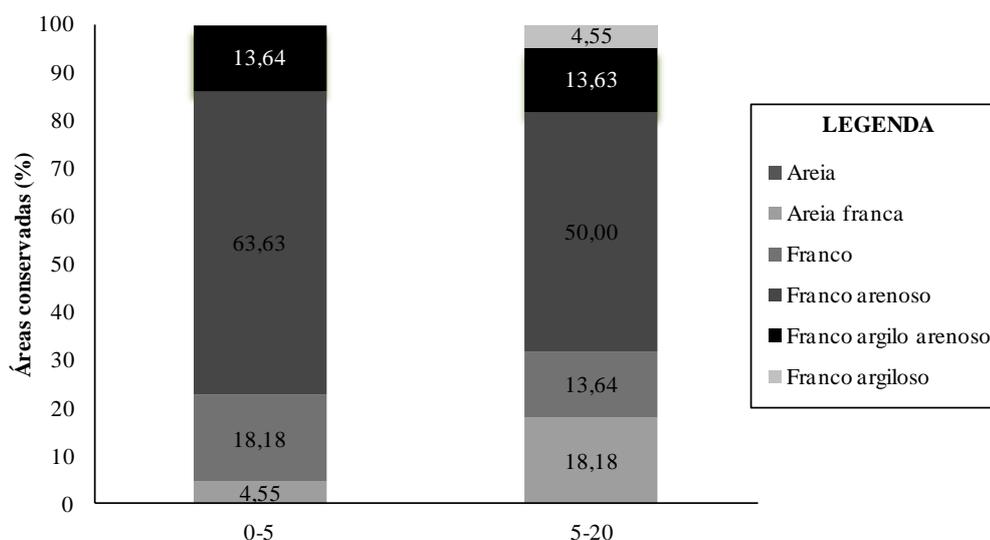


Figura 3. Porcentagem de áreas conservadas em função da textura do solo.

Nos solos com teores de P inadequados, as plantas normalmente apresentam sistema radicular superficial, e pouco desenvolvimento, resultando numa baixa exploração do solo e menor eficiência do uso de água e nutrientes (Silva e Delatorre, 2009). Assim constata-se que a manutenção da cobertura florestal nativa ocorre principalmente em função da ciclagem de P proveniente da decomposição da serrapilheira, como observado por Novais et al. (2007). Os teores de COT na camada de 0-5 cm foram classificados principalmente como de alta qualidade, abrangendo 81,82% das áreas, contudo, na camada de 5-20 verificou-se reduções das áreas com essa qualidade, passando para 59,09%. As

reduções em relação à camada ocorreram em função do maior acúmulo de serrapilheira na camada superficial do solo (Freitas et al., 2013), tendo em vista que as áreas conservadas estavam sem intervenção a pelos menos 30 anos.

A manutenção da cobertura florestal em solos com baixos teores de P, além de estar relacionada com a ciclagem de nutrientes proveniente da matéria orgânica, também é influenciada pela ações de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA), que se associam com algumas espécies nativas da caatinga. Como exemplo tem-se as espécies *Caesalpinia férrea* Mart. ex. Tul var. *férrea* (Pau-ferro), *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke (Jurema-branca) e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, que apresentam aumento do crescimento ao serem inoculadas com FMA (Santos et al., 2008; Feitosa e Santos, 2016). O incremento da biomassa dessas espécies esta relacionado com a maior disponibilidade de P, proveniente da associação com FMA. Neste contexto, verifica-se que apesar de algumas espécies não formar associação com os FMA, as mesmas são beneficiadas com o P proveniente da serrapilheira das espécies que formam tal associação.

O teor de COT influencia diretamente na qualidade do solo, destacando-se na região semiárida a grande relação com a capacidade de retenção de água. Em trabalhos realizados por Machado et al. (2008), constatou-se que o aumento do teor de COT resulta na elevação da capacidade de retenção de água no solo, devido à sua grande superfície específica. O efeito do COT na retenção de água no solo pode ser observado em todos os tipos de solos, sendo observados resultados mais expressivos em solos arenosos e siltosos (Rawls et al., 2003). Esses resultados demonstram a importância do COT para o fornecimento de água para a cobertura vegetal nativa, uma vez que mais de 80% das áreas conservadas apresentam textura variando entre areia e franco arenoso, com predominância do segundo (55 e 63,6% nas camadas de 0-5 e 5-20 cm, respectivamente) (Tabela 3).

O teor de COT está relacionado com o teor de matéria orgânica do solo, que favorece a manutenção da fertilidade do solo por apresentar um papel fundamental para o fornecimento de nutrientes às plantas (Costa et al., 2010), retenção de cátions (Lehmann e Kleber, 2015), complexação de elementos tóxicos (Pavinato e Rosolem, 2008; Santos e Rodella, 2007) e micronutrientes (Bezerra et al., 2009; Wichard et al., 2009) estabilidade de agregados (Salton et al., 2008), infiltração e retenção de água, e na atividade microbiana (Sato et al., 2012; Capuani et al., 2012). Apesar da importância da matéria orgânica para a região semiárida, Leite et al. (2010), constataram que esta região apresenta baixa produtividade primária líquida, propiciando o aparecimento de processos de degradação do solo.

Com relação à acidez potencial (H+Al), as áreas conservadas apresentaram níveis de qualidade média a alta em ambas as camadas, com predominância da qualidade média, observadas em 59,09% das áreas na camada de 0-5 cm, e 54,55% das áreas na camada de 5-20 cm. Os resultados dos níveis médios podem estar associados com as propriedades das camadas (granulometria), à natureza dos constituintes do solo (mineralogia), como observado com Vorob'eva e Avdon'kin (2006), e principalmente com o teor de matéria orgânica destes solos, que liberam H⁺ durante o processo de dissociação de hidroxilas de grupamentos carboxílicos, fenólicos e outros (Fontes et al., 2001).

Os valores de H+Al estão relacionados principalmente com o H, tendo em vista que as amostras apresentaram valores muito baixos de Al³⁺. Esse elemento pode competir com os nutrientes catiônicos no complexo de troca e na absorção pela planta (White, 2012), reduzindo a qualidade nutricional da vegetação.

A maioria das áreas conservadas (63,64%) apresentam nível médio de CTC potencial, em ambas as camadas do solo. Esse resultado está relacionado com o material de origem (rico em quartzo), que resultou em solos com predominância de textura arenosa, e com os baixos a médios níveis de COT em parte das áreas, principalmente na camada de 5-20 cm. De acordo com Santos et al. (2012), solos arenosos e com baixos teores de COT resultam em baixa capacidade de troca de cátions, favorecendo a lixiviação dos elementos durante as estações chuvosas. Em solos tropicais a CTC está relacionada principalmente com o teor de carbono orgânico, que pode ser responsável por até 80% do valor total deste atributo, tendo em vista que, a fração mineral destes solos geralmente tem poucas cargas negativas (Ronquin, 2010).

A CTC efetiva na camada de 5-20 cm apresentou predominância de qualidade média, abrangendo 50% das áreas conservadas. Os resultados deste atributo também estão relacionados com a textura do solo e com o teor de COT, assim como a CTC potencial. Apesar de algumas áreas apresentarem qualidade média, verifica-se que este atributo é composto principalmente por nutrientes (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺), sendo o suficiente para manter a cobertura florestal nativa. Contudo, a remoção da vegetação seguida de um manejo inadequado do solo pode resultar na perda de grande quantidade de nutrientes por erosão (Lobato et al., 2009) e no incremento dos elementos tóxicos como o Na⁺ por irrigação (Pedrotti et al., 2015), reduzindo a qualidade deste atributo a um ponto que dificulte o crescimento da vegetação.

As áreas com os menores níveis de qualidade da saturação por bases na camada de 5-20 cm encontram-se distribuídas principalmente em 5 municípios, sendo Campina

Grande (3C), Soledade (6C), Bonito de Santa Fé (18C), Uiraúna (20C) e Picuí (21C). As áreas localizadas nestes municípios apresentaram níveis considerados de baixa qualidade (3), por isso é comum práticas de derrubada e queima da vegetação para elevar a saturação por bases. Entretanto, o efeito dessa prática dura apenas 2 a 3 anos, como observado por Nunes et al. (2006), de modo que posteriormente, pode-se verificar a redução da saturação por bases a níveis inferiores aos constatados anteriormente.

A densidade do solo na camada de 5-20 cm foi classificada principalmente como média qualidade nas áreas conservadas, abrangendo 59,09% do total de áreas, mas também se verificou qualidade baixa em 13,64% das áreas. Densidades elevadas podem indicar camadas compactadas, que reduzem a infiltração (Mancuso et al., 2014), retenção e a disponibilidade de água (Klein e Klein, 2014), trocas gasosas, disponibilidade de nutrientes (Freddi et al., 2009) e a atividade microbiana (Miransari, 2013), afetando negativamente o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular (Bergamin et al., 2010).

As áreas conservadas mais sensíveis ao processo de desertificação, do ponto de vista de qualidade do solo, estão relacionadas com o nível médio de qualidade e abrangem 31,8% da área do Semiárido paraibano (Figura 4), incluindo os municípios de Bonito de Santa Fé, Cacimba de Dentro, Campina Grande, Soledade, Picuí, Remígio e Uiraúna.

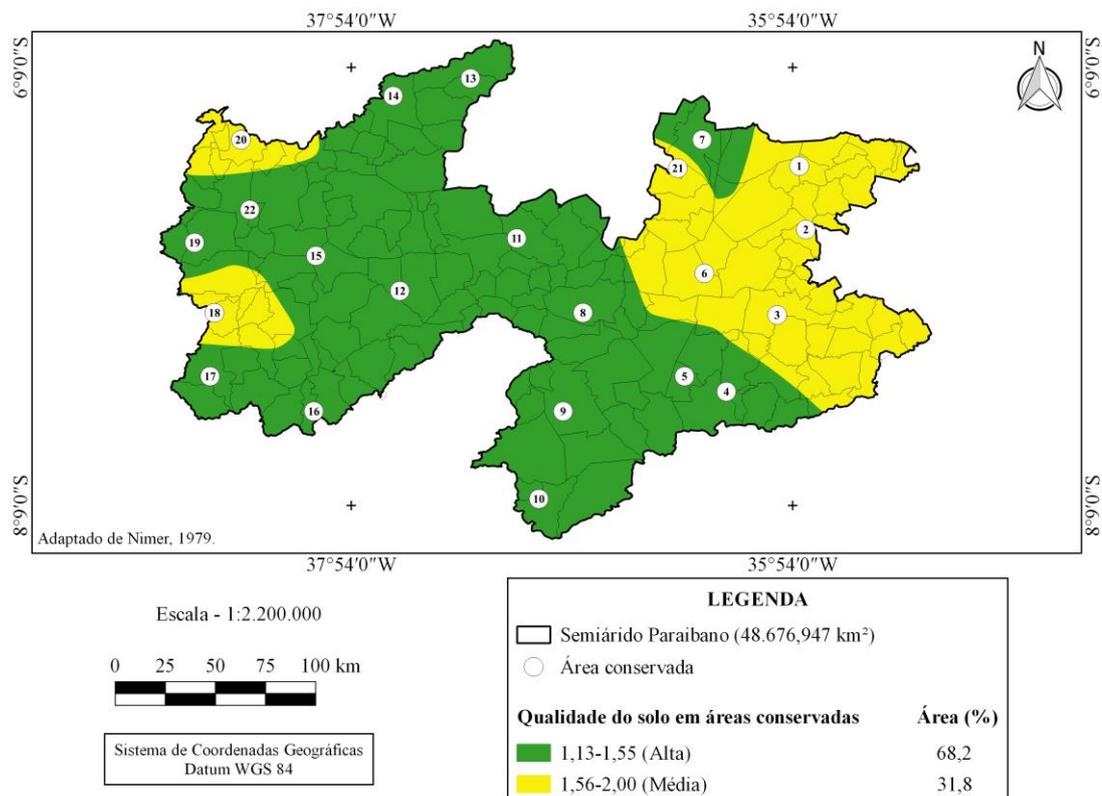


Figura 4. Qualidade do solo em áreas conservadas no Semiárido paraibano.

Ao comparar o mapa de qualidade do solo (Figura 4) com a classificação climática (Figura 2), constata-se que as áreas localizadas nos municípios de Cacimba de Dentro, Remígio e Campina Grande, apesar de apresentar nível de qualidade médio, também apresentam período seco de 4 a 5 meses. Esses municípios apresentam menor suscetibilidade ao processo de desertificação do que os municípios de Bonito de Santa Fé e Uiraúna, que apresentam período seco de 7 a 8 meses, e principalmente com relação aos municípios de Soledade e Picuí, que apresentam um período seco que varia entre 9 à 11 meses secos (3,00). Nessas áreas recomenda-se a adoção de práticas econômicas de baixo impacto ambiental como enriquecimento florestal (Brienza Júnior, 2012), planos de manejo florestal de recursos não madeireiro (Silva et al., 2015), e apicultura (Benevides e Carvalho, 2009).

3.2 Áreas desertificadas

Os resultados dos níveis de qualidade dos atributos e dos solos nas áreas desertificadas encontram-se na tabela 7. Na camada de 0-5 cm de profundidade, as áreas apresentaram valor médio de 1,54 (nível alto de qualidade), com níveis variando de 1,27 a 1,87. Na camada de 5-20 cm, as áreas apresentaram valor médio de 1,61 (nível médio de qualidade), com níveis variando entre 1,27 a 2,20.

A maior qualidade na camada de 0-5 cm está relacionada com a maior fertilidade na superfície do solo. Esse resultado também foi observado por Pavinato et al. (2009), que verificaram reduções nos teores de matéria orgânica, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , e do valor de pH, com o aumento da profundidade do solo. Neste contexto, verifica-se que a camada de 0-5 cm pode ser considerada como mais sensível ao manejo do que a camada de 5-20 cm.

Os atributos mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal na camada de 0-5 cm foram COT (3,00), densidade do solo (2,36), P (2,27), CTC potencial (2,05), pH (2,00), CTC efetiva (1,68) e Ca^{2+} (1,59). Na camada de 5-20 cm, os atributos mais limitantes foram COT (3,00), P (2,59), densidade do solo (2,41), pH (2,09), CTC potencial (1,95), CTC efetiva (1,64) e Ca^{2+} (1,55).

Tabela 7. Níveis de qualidade dos atributos químicos e físico, e índice de qualidade do solo (IQS) em áreas desertificadas do Semiárido paraibano.

Camada (cm)	Parcela	pH em água	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC efetiva	CTC potencial	COT	V	m	PST	DS	IQS	
0-5	1	1	3	1	1	3	1	1	1	3	3	3	3	2	1	1	2	1,87	
	2	1	2	1	1	3	1	1	1	3	3	3	3	2	1	1	2	1,80	
	3	1	3	1	1	3	1	1	1	2	2	2	3	2	1	1	2	1,67	
	4	3	1	1	1	3	1	1	1	2	2	3	3	1	1	1	3	1,67	
	5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	1	3	1,33	
	6	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	1	3	1,40	
	7	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	3	1,47	
	8	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	2	1,40	
	9	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1,27	
	10	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	3	1,33	
	11	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1,27	
	12	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1,47	
	13	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	3	1	2	1	3	1,53	
	14	2	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	1	1	1	2	1,60	
	15	2	3	1	1	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	2	1,73	
	16	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	1	3	1,40	
	17	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1,27	
	18	1	3	1	1	3	1	1	1	2	2	3	3	2	1	1	1	1,80	
	19	3	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3	2	1	1	3	1,47	
	20	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	1	1	3	1,60	
	21	2	3	1	1	1	1	1	3	2	1	1	2	3	2	3	1	3	1,80
	22	1	3	1	1	2	1	1	1	2	2	2	3	3	1	1	2	1,73	
VM		2,00	2,27	1,05	1,00	1,59	1,00	1,14	1,23	1,55	1,68	2,05	3,00	1,50	1,14	1,00	2,36	1,54	
5-20	1	3	3	1	1	3	1	1	1	3	3	3	3	2	2	1	2	2,07	
	2	2	3	1	1	3	1	1	1	2	3	3	3	1	1	1	2	1,80	
	3	2	3	2	2	3	1	1	1	3	3	3	3	2	1	2	2	2,13	
	4	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	1	3	1,47	
	5	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	2	1,47	
	6	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	3	1,40	
	7	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	3	1,53	
	8	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	3	1,47	
	9	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1,27	
	10	2	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1	2	1,40	

Camada (cm)	Parcela	pH em água	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC efetiva	CTC potencial	COT	V	m	PST	DS	IQS
	11	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1,40
	12	2	3	2	1	1	1	1	2	1	2	2	3	2	1	1	2	1,67
	13	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	2	1,47
	14	2	3	1	1	2	1	1	1	2	2	2	3	1	1	1	3	1,60
	15	2	3	1	1	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	2	1,80
	16	1	3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	1	1	2	1,60
	17	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1,33
	18	1	3	2	1	3	1	1	1	2	2	3	3	1	2	1	2	1,80
	19	2	3	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	2	1	1	3	1,53
	20	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3	2	1	1	3	1,40
	21	2	3	2	3	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	3	3	1,67
	22	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	3	2,20
VM		2,09	2,59	1,45	1,45	1,55	1,05	1,05	1,36	1,45	1,64	1,95	3,00	1,45	1,18	1,14	2,41	1,61

VM: valor médio; COT: carbono orgânico total; V: saturação por bases; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo; 1: nível alto de qualidade (verde); 2: nível médio de qualidade (amarelo); 3: nível baixo de qualidade (vermelho).

Os solos das áreas desertificadas apresentaram baixo nível de qualidade com relação ao COT, em todas as áreas e em ambas camadas. Os baixos teores de COT representam um problema para restauração da cobertura vegetal nas áreas desertificadas, por reduzir a disponibilidade de água (Machado et al., 2008) e de nutrientes para as plantas (Costa et al., 2010), assim como a capacidade de retenção de cátions (Lehmann e Kleber, 2015). Este atributo também está relacionado com a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes (Pavinato e Rosolem, 2008; Pegoraro et al., 2006) estabilidade de agregados (Salton et al., 2008), aeração (Souza e Alves, 2003) e atividade microbiana (Sato et al., 2012; Capuani et al., 2012).

Os teores de COT estão diretamente relacionados com os teores de matéria orgânica, de modo que, baixos teores deste atributo resultam na exposição do solo à incidência direta dos raios solares, elevando a temperatura na camada superficial do mesmo. Quando a temperatura encontra-se superior a faixa considerada ótima, entre 24 e 35°C (Pacheco et al., 2006; Guedes et al., 2010; Silva e Dantas, 2013; Oliveira et al., 2014), pode ocorrer a desnaturação de proteínas essenciais ao processo germinativo, afetando a porcentagem e a velocidade da germinação (Dousseau et al., 2008). Assim, constata-se que, a temperatura do solo exerce influência direta na germinação de sementes de espécies nativas da Caatinga (Oliveira et al., 2014), e na recuperação da cobertura vegetal de áreas com processo de desertificação.

Os teores de P indicam que a maioria dos solos de áreas desertificadas apresentam baixo nível de qualidade com relação a esse nutriente, independente da camada, sendo constatado abrangência de 50% das áreas na camada de 0-5 cm, e 72,73% na camada de 5-20 cm. Esses resultados estão relacionados com a textura dos solos que em sua maioria apresentaram classificação variando de areia a franco arenosa (77,28 e 72,73% das áreas nas camadas de 0-5 e 5-20 cm, respectivamente), com predominância da textura franco arenosa (59,08% das áreas em ambas as camadas) (Figura 5). Os solos de textura arenosa geralmente são formados por rochas com altos teores de quartzo, apresentando baixa disponibilidade natural de P. Estes resultados também foram influenciados pelo baixo teor de matéria orgânica do solo.

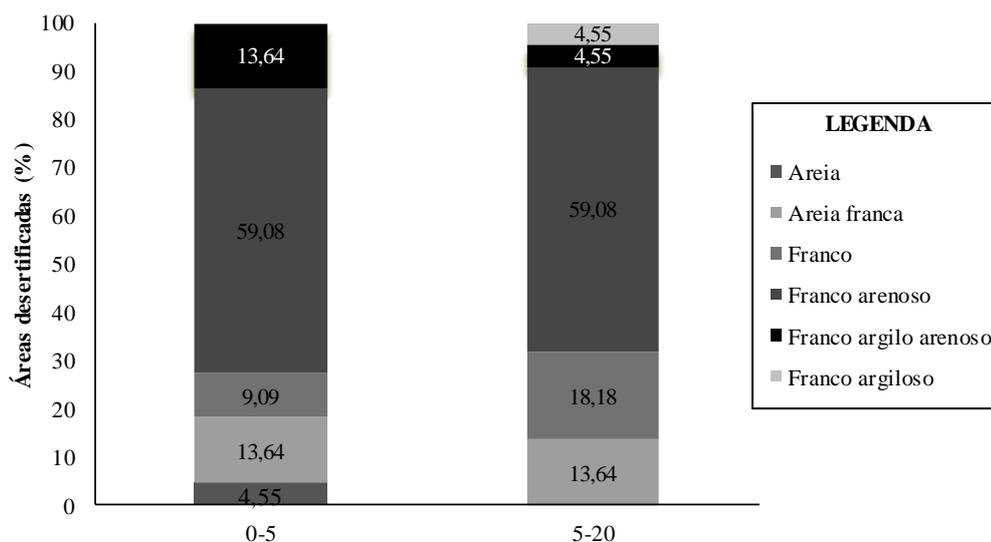


Figura 5. Porcentagem de áreas desertificadas em função da textura do solo.

Os baixos teores de P em áreas desertificadas potencializam o problema de escassez de água. Em solos com teores de P inadequados, as plantas normalmente apresentam sistema radicular superficial, e pouco desenvolvimento, resultando numa baixa exploração do solo e menor eficiência do uso de água e nutrientes (Silva e Delatorre, 2009). Este macronutriente apresenta baixa mobilidade no solo, sendo absorvido principalmente por difusão (Novais e Smyth, 1999), reduzindo sua disponibilidade para as plantas na região semiárida, cuja a precipitação não ultrapassa de 800 mm ano^{-1} (Sousa et al., 2012).

O baixo nível de cobertura do solo nas áreas desertificadas sugere que as condições podem não ser propícias para o desenvolvimento de FMA, provavelmente em função da baixa disponibilidade de água, visto que áreas conservadas apresentam bom nível de cobertura, mesmo com baixos teores de P. Assim, verifica-se a necessidade de realizar estudos para identificar as espécies florestais nativas e as espécies de FMA mais adaptadas à estas condições, com o intuito de disponibilizar informações que possibilitem um planejamento para recuperação das áreas degradadas.

Com relação à densidade do solo, constatou-se que as áreas desertificadas apresentaram principalmente níveis de qualidade baixa à média, abrangendo 90,9% das áreas em relação à camada de 0-5 cm, e 100% em relação à camada de 5-20 cm. O aumento da densidade do solo indica presença de camada compactada, que promove a reduções da infiltração (Mancuso et al., 2014), disponibilidade de água no solo (Klein e Klein, 2014), atividade microbiana (Miransari, 2013) e do fluxo das trocas gasosas no solo (Grzesiak et al., 2013), e o aumento de perdas de matéria orgânica e nutrientes (Lobato et al., 2009), dificultando o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular (Bergamin

et al., 2010), e da parte aérea da cobertura vegetal. No caso de espécies leguminosas, o aumento da densidade do solo também reduz a fixação e o acúmulo de nitrogênio (Zobiolo et al., 2007), por diminuir a abertura dos estômatos.

A baixa disponibilidade de água nas áreas desertificadas também está relacionada com a redução da espessura do perfil do solo, que diminui diretamente o volume a ser armazenado, e com a textura dos solos, que em sua maioria ficaram entre areia e franco arenoso (Figura 5). A menor capacidade de retenção de água em solos arenosos está relacionada com a grande quantidade de macroporos, que tendem a facilitar a drenagem (Libardi, 2010). Geralmente, observa-se que a capacidade máxima de retenção ocorre quando a soma dos teores de silte e argila está em 50%, independente da profundidade do solo (Pereira e Lombardi Neto, 2004).

Os valores da CTC potencial na camada de 0-5 cm apresentaram níveis de qualidade variando de baixo a alto, com predominância de níveis baixos à médios (86,36% das áreas). Na camada de 5-20, os valores foram classificados como baixo (18,18%), médio (59,09%) ou alto (22,73%). Os resultados nas áreas com níveis baixos ou médios de qualidade estão associados com a textura arenosa nas mesmas, com a perda de Ca^{2+} e K^+ , principalmente na camada de 5-20 cm, e com as perdas de matéria orgânica e COT em ambas as camadas do solo, provenientes da combinação das perdas por processos erosivos (Lobato et al., 2009), redução da capacidade da produção de biomassa (Souza et al., 2015) e fotodegradação (Austin e Vivanco, 2006). Este último ocorre pela alta exposição da matéria orgânica do solo a incidência de raios solares, em função da falta de cobertura vegetal arbórea densa.

Com relação ao pH, constatou-se que os solos apresentaram valores considerados de baixa à média qualidade principalmente, em ambas as camadas, abrangendo 68,18% das áreas desertificadas na camada de 0-5 cm, e 81,82% na camada de 5-20 cm. Também constatou-se que, a maioria das áreas apresentou valor de pH acima de 6,0 em ambas as camadas, com destaque para as áreas 4D, 5D, 6D, 7D, 9D, 10D, 17D, 19D e 20D. Estas áreas podem apresentar baixos teores de Fe, Cu, Mn e Zn (Sousa et al., 2007), reduzindo a capacidade de restauração da cobertura vegetal. As áreas 12D, 14D e 21D, por ter pH abaixo da faixa considerada ótima (5,5) em ambas as camadas, podem dificultar a restauração por apresentar reduções na disponibilidade de B, Mo, Cl, Ca, P, N e S (Sousa et al., 2007).

As áreas desertificadas apresentam CTC efetiva com qualidade baixa à média em 59,09% das áreas na camada de 0-5 cm, e em 50% das áreas na camada de 5-20 cm. Esses

resultados estão associados à textura destes solos, que em sua maioria são considerados como arenosos (Figura 5), e com a baixa disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes, proveniente de perdas por processos erosivos ou outras atividades, como visto anteriormente. Geralmente, observa-se que solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica apresentam baixa CTC, favorecendo a lixiviação dos elementos durante as estações chuvosas (Santos et al., 2012). Também é importante salientar que solos arenosos, com predominância de quartzo, contêm naturalmente poucas cargas negativas, resultando em baixos valores de CTC. Nessas condições a matéria orgânica pode ser responsável por até 80% da CTC do solo, em função de sua grande área de superfície específica (Ronquin, 2010).

Os teores de Ca^{2+} mais críticos foram constatados nos municípios de Cacimba de Dentro, Remígio, Campina Grande e Bonito de Santa Fé, em ambas as camadas. Estas áreas apresentaram baixo nível de qualidade com relação a esse atributo. O município de Riacho de Santo Antônio também apresentou baixa qualidade dos teores de Ca^{2+} , contudo, esse nível só foi observado na camada de 0-5 cm. Esses resultados estão relacionados com a perda deste elemento por erosão hídrica, tendo em vista que estes municípios se encontram nas regiões com maiores períodos de precipitação (Figura 2). Em trabalho realizado por Lobato et al. (2009), verificou-se que o processo erosivo resultou em grandes perdas de Ca^{2+} , com valores superiores aos constatados para o P, K^+ , Mg^{2+} , Fe e Mn.

O cálcio é um elemento essencial por apresentar função estrutural (parede celular), sendo observado que em condições de deficiência, ocorre clorose internerval, nas folhas, morte das gemas apicais, deformações nas pontas e nas bases das folhas, e reduções do sistema radicular (Sousa et al., 2007). Neste contexto, constata-se que nas áreas críticas citadas anteriormente, este elemento pode estar inibindo o crescimento adequado da cobertura vegetal, principalmente com relação a redução do sistema radicular, por afetar negativamente o volume de solo explorado, resultando em maior suscetibilidade a períodos de escassez de água. Esses períodos estão associados a irregularidade das chuvas na região semiárida (Marengo et al., 2011).

As áreas desertificadas com nível médio de qualidade abrangem 77% da região semiárida paraibana, enquanto que as áreas com nível alto de qualidade abrangem 23% (Figura 6).

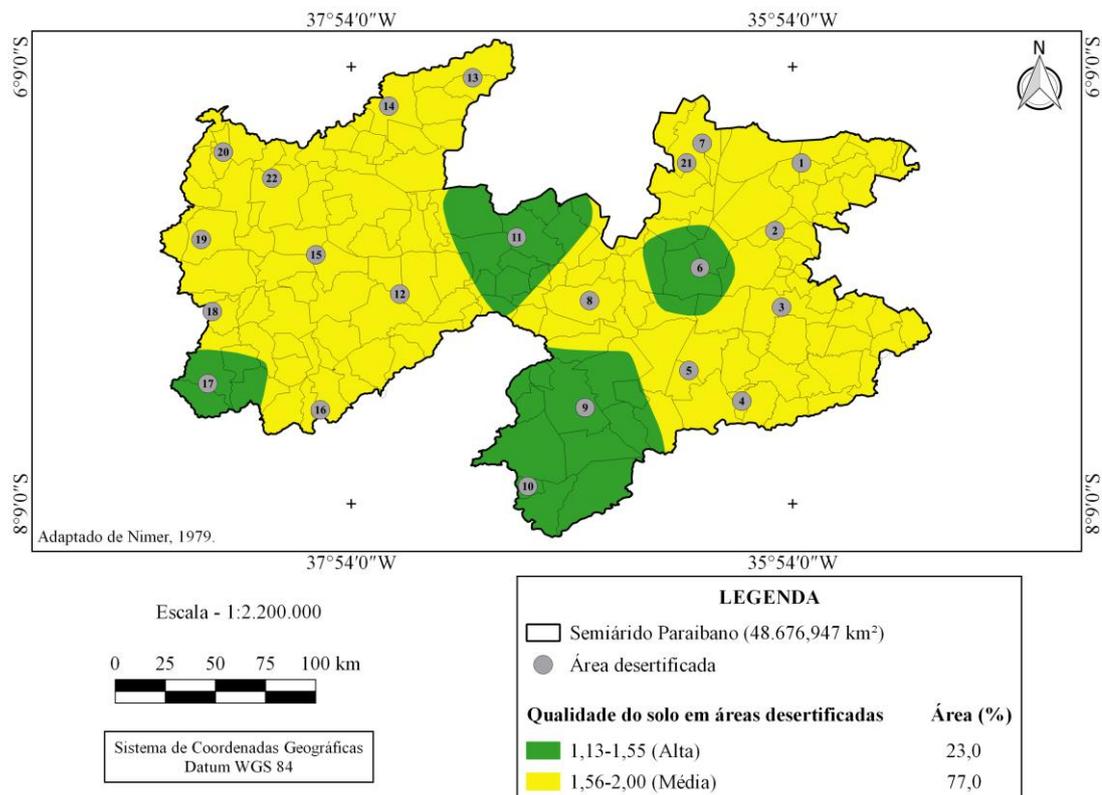


Figura 6. Qualidade do solo em áreas desertificadas no Semiárido paraibano.

As áreas que apresentaram a pior qualidade de solo encontram-se nos municípios de Algodão de Jandaíra, Bonito de Santa Fé, Cacimba de Dentro, Cajazeiras, Campina Grande, Catolé do Rocha, Coremas, Marizópolis, Olho D'Água, Picuí, Princesa Isabel, Riacho de Santo Antônio, São Domingos do Cariri, São José do Brejo do Cruz, Taperoá e Uiraúna. Nessas áreas, recomenda-se a adoção de práticas que promovam a cobertura vegetal do solo e o aumento da capacidade de armazenamento de água, principalmente nos municípios de São Domingos do Cariri, Picuí e Taperoá, tendo em vista que estas regiões também apresentam baixa disponibilidade de água, por apresentar um período seco maior, variando de 9 à 11 meses (Figura 2).

Dentre as alternativas de manejo, tem-se o enriquecimento das áreas com espécies leguminosas e/ou frutíferas, e a transposição de banco de sementes. As espécies leguminosas elevam os teores de nitrogênio no solo, favorecendo o incremento de biomassa e a elevação do estoque de C e N do solo (Weber e Mielniczuk, 2008). De acordo com Cong et al. (2014), a fixação de N₂ por leguminosas é um fator determinante para elevar o estoque de C e N do solo. As espécies frutíferas aumentam a diversidade de fonte de renda das propriedades, e permitem a expansão das áreas recuperadas com maior

eficiência, por elevar a quantidade de agentes dispersantes de sementes (ex. pássaros). A transposição do banco de sementes proveniente de áreas preservadas, juntamente com a serrapilheira, possibilita a recuperação de áreas degradadas por estimular a sucessão florestal, ao conter todos os grupos ecológicos (Rodrigues et al., 2010).

É importante salientar que as espécies utilizadas no enriquecimento florestal, devem apresentar características como resistência a escassez hídrica, baixa fertilidade do solo, principalmente com relação aos teores de P, Ca e N, e sistema radicular agressivo, para romper a camada compactada. As espécies recomendadas para o plantio são *Mimosa tenuiflora*, *Prosopis juliflora*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena* ssp e *Atriplex* spp, por disponibilizar N rapidamente para as outras espécies (Alves et al., 2011). As espécies feijão-de-porco, mucuna-cinza e mucuna-preta são recomendadas para as áreas mais ralas, por elevar a produção de fitomassa seca, a capacidade de recobrimento do solo e a retenção de umidade, e reduzir a temperatura do solo (Massad et al., 2013).

Os municípios de Santa Inês, Soledade, Sumé, Patos e Zabelê apresentaram alta qualidade do solo, contudo, os mesmos também apresentam atributos que limitam a disponibilidade de água para formação da cobertura vegetal, sendo o COT (nível de qualidade baixo) e a densidade do solo (nível de qualidade baixo à médio). Dentre estas áreas, a situação é mais crítica nos municípios de Patos, Soledade e Sumé, onde o período seco varia de 9 a 10 meses (Figura 2). Nessas regiões, também recomenda-se as práticas de manejo sugeridas anteriormente, associadas com práticas mecânicas, que permitam a redução do escoamento superficial e aumento da infiltração de água no solo, como construção de valas de infiltração e curvas de nível (Perez-Marin et al., 2015).

4. CONCLUSÃO

As áreas conservadas apresentam alto nível de qualidade dos solos, com valores médios de 1,30 na camada de 0-5 cm e 1,48 na camada de 5-20 cm.

Os atributos do solo que torna a região naturalmente mais sensível ao processo de desertificação são pH, fósforo, carbono orgânico total, acidez potencial, CTC potencial, CTC efetiva, saturação por bases e densidade do solo.

Os municípios de Bonito de Santa Fé, Cacimba de Dentro, Campina Grande, Soledade, Picuí, Remígio e Uiraúna, apresentam a menor qualidade do solo em áreas conservadas.

As áreas desertificadas apresentam alto nível de qualidade na camada de 0-5 cm, com valor médio de 1,54, e médio nível de qualidade na camada de 5-20 cm com valor médio de 1,75.

Os atributos mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal nas áreas desertificadas são carbono orgânico total (qualidade baixa), fósforo (qualidade baixa), densidade do solo (qualidade média), CTC potencial (qualidade média), pH (qualidade média), CTC efetiva (qualidade média) e cálcio (qualidade média).

As regiões mais críticas para o restabelecimento da cobertura vegetal em áreas desertificadas estão localizadas nos municípios de São Domingos do Cariri, Picuí e Taperoá.

Nas áreas desertificadas, recomenda-se o uso de manejos integrados priorizando o acúmulo de matéria orgânica, redução do processo erosivo e a elevação da disponibilidade de água, visando a recuperação da cobertura vegetal.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5 Aproximação. Viçosa, MG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p. 26-28.

ALVES, R.N.; MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H.; PEREIRA, W.E. Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1107-1114, 2011.

AUSTIN, A.T.; VIVANCO, L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. **Nature**, n. 442, p. 555-558, ago. 2006.

BENEVIDES, D.S.; CARVALHO, F.G. Levantamento da flora apícola presente em áreas de caatinga do município de Caraúbas – RN. **Sociedade e Território**, Natal, v. 21, n.1-2, p. 44-54, jan.-dez. 2009.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 681-691, jun. 2010.

BEZERRA, P. S. S.; TAKIYAMA, L. R.; BEZERRA, C. W. B. Complexação de íons de metais por matéria orgânica dissolvida: modelagem e aplicação em sistemas reais. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 639-648, set. 2009.

BRIENZA JÚNIOR, S. Enriquecimento de florestas secundárias como tecnologia de produção sustentável para a agricultura familiar. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, Belém, v. 7, n. 3, p. 331-337, set.-dez. 2012.

CAPUANI, S; RIGON, J.P.G.; BELTRÃO, N.E.M.; BRITO NETO, J.F. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1269-1274, dez. 2012.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, fev. 2009.

CONG, W.; VAN RUIJVEN, J.; MOMMER, L.; DE DEYN, G.B.; BERENDSE, F.; HOFFLAND, E. Plant species richness promotes soil carbon and nitrogen stocks in grasslands without legumes. **Journal of Ecology**, v. 102, n. 5, p. 1163-1170, jun. 2014.

COSTA, A.A. Teor e estoque de C, Nt, Ca e Mg em solos de diferentes agrossistemas: bioma Semi-árido e bioma Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-6, 2011.

COSTA, F.X.X.; BELTRÃO, N.M.E.M.; SILVA, F.E.A.A. MELO FILHO, J.S.M.; SILVA, M.A.S. Disponibilidade de nutrientes no solo em função de doses de matéria orgânica no plantio da mamona. **Revista Verde**, Mossoró, v. 5, n. 3, p. 204-212, jul.-set. 2010.

DOUSSEAU, S.; ALVARENGA, A.A.; ARANTES, L.O.; OLIVEIRA, D.M.; NERY, F.C. Germinação de sementes de tanchagem (*Plantago tomentosa* Lam.): influência da temperatura, luz e substrato. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 438-443, abr. 2008.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.

FEITOSA, A. G.; SANTOS, D. R. dos. Fósforo e fungos micorrizicos no crescimento de mudas arbóreas da caatinga. **ACSA**, Patos-PB, v. 12, n. 4, p. 392-396, out.-dez. 2016.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; DUARTE, A.P.; PERES, F.S.C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II - Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 805-818, ago. 2009.

FREITAS, E.C.S.; OLIVEIRA NETO, S.N.; FONSECA, D.M.; SANTOS, M.V.; LEITE, H.G.; MACHADO, V.D. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em Sistema Agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 409-417, jun. 2013.

FREY, H. M.; SZRAMEK, K. J.; MANON, M. R.; KISSANE, M. T. Slow chemical weathering in a semiarid climate: Changes in the mineralogy and geochemistry of subaerial lava flows in the Deschutes River Basin, central Oregon. **Chemical Geology**, v. 347, p. 135-152, jun. 2013.

FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-646, set. 2001.

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**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1283-1296, jun. 2008.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n. 1, p. 99-105, jan. 2008.

GUEDES, R.S.; ALVES, E.U.; GONÇALVES, E.P.; BRAGA JÚNIOR, J.M.; VIANA, J.S.; COLARES, P.N.Q. Substratos e temperaturas para testes de germinação e vigor de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n.1, p. 57-64, fev. 2010.

GRZESIAK, S.; GRZESIAK, M.T.; HURA, T.; MARCIŃSKA, I.; RZEPKA, A. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. **Environmental and Experimental Botany**, v. 88, p. 2-10, abr. 2013.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4-10, jan. 1997.

KIEHL, E.J. densidade aparente. In: KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. 1.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. p.77-88.

KLEIN, C.; KLEIN, V.A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3915-3925, dez. 2014.

LEITE, L.F.C.; PETRESE, V.G.; SAGRILO, E. Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos. In.: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL: CLIMA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS, 2. Fortaleza: CGEE, 2010. 11p.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, p. 60-68, nov. 2015.

LIBARDI, P. L. Água no solo. In. LIER, Q. J. V. **Física do solo**. Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 122-124.

LOBATO, F.A.O.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; SANTOS, J.C.N.; LOPES, J.F.B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 65-71, jul.-dez. 2009.

MACHADO, J. L. TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 495-502, abr. 2008.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 70-76, jan.-fev. 2011.

MANCUSO, M.A.; FLORES, B.A.; ROSA, G.M. SCHROEDER, J.K.; PRETTO, P.R.P. Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 2890-2998, fev. 2014.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; BESERRA, E.A.; LACERDA, F.F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: Instituto do Semiárido, 2011. p. 383-422

MASSAD, M.D.; DUTRA, T.R.; OLIVEIRA, J.C.; SARMENTO, M.F.Q. Comportamento de leguminosas anuais utilizadas como adubos verdes na região semiárida mineira. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 11, suplementar 2, p. S121-S127, 2013.

MIRANSARI, M. Corn (*Zea mays* L.) growth as affected by soil compaction and arbuscular mycorrhizal fungi. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, p. 1853-1867, jul. 2013.

MORTIMORE, M. **Desertification in North East Brazil: report on a visit to Nucleo Desert**. Federal University of Piauí: Teresina, 1994.

NIMER, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p. 59-89, 1979.

NOVAIS, F.R.; SMYTH, T.J. Formas de Fósforo no sistema solo-planta. In.: NOVAIS, F.R. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. p.166-168.

NOVAIS, F.R.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In.: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-570.

NUNES, L.A.P.L.; ARAÚJO FILHO, J.A.; MENEZES, R.I.Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no Semi-árido Nordeste. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 200-208, abr.-jun. 2006.

OLIVEIRA, G.M.; MATIAS, J.R.; DANTAS, B.F. Temperatura ótima para germinação de sementes nativas da Caatinga. **Abrates**, v. 24, n. 3, p. 44-47, 2014.

PACHECO, M.V.; MATOS, V.P.; FERREIRA, R.L.C.; FELICIANO, A.L.P.; PINTO, K.M.S. Efeito de temperaturas e substratos na germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 359-367, jun. 2006.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, jun. 2008.

PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1031-1040, ago. 2009.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R.M.; RAMOS, V.C.; PRATA, A.P.N.; LUCAS, A.A.T.; SANTOS, P.B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, mai.-ago. 2015.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NUNES, F.N.; GEBRIM, F.O. Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos afetado pelo tipo, dose e época de incorporação de adubos verdes ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 997-1006, dez. 2006.

PEREIRA, L.C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. Jaguariúna: Embrapa. 36p.

PEREZ-MARIN, A. M.; VASCONCELOS, W. A.; MEDEIROS, S. S.; TINOCO, L. B. M.; MOREIRA, J. M.; E ULLOA, L. F. **Manual Metodológico: práticas mecânicas, físicas e biotecnológicas de manejo e recuperação de áreas degradadas em condições Semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2015. 58 p.

RAWLS, W.J.; PACHEPSKYB, Y.A.; RITCHIEA, J.C.; SOBECKI, T.M. e BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 61-76, sep. 2003.

RODRIGUES, B.D.; MARTINS, S.V.; LEITE, H.G. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em áreas degradadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 65-73, fev. 2010.

RONQUIN, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite, 2010. 27p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8)

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, fev. 2008.

SANTOS, D. R. dos; COSTA, M. da C. S.; MIRANDA, J. R. P. de; SANTOS, R. V. dos. Micorriza e rizóbio no crescimento e nutrição em n e p de mudas de Angico-Vermelho. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 76-82, jan.-mar. 2008.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2013. 100p.

SANTOS, G. C. G.; RODELLA, A. A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 793-804, ago. 2007.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C.; BORGES, L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 683-695, jun. 2012.

SATO, J.H.; FIGUEIREDO, C.C.; LEÃO, T.P.; RAMOS, M.L.G.; KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 189-193, fev. 2012.

SILVA, A.A.; DELATORRE, C.A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.

SILVA, C.G.; MARINHO, M.G.V.; LUCENA, M.F.A.; COSTA, J.G.M. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais em área de Caatinga na comunidade do Sítio Nazaré, município de Milagres, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 133-142, mar. 2015.

SILVA, F.F.S.; DANTAS, B.F. Efeito da temperatura na germinação de sementes de *Sideroxylon obtusifolium* (Sapotaceae) de diferentes procedências. **Revista Sodebras**, v. 8, n. 90, p. 40-43, jun. 2013.

SIQUEIRA, O.J.W. Diagnóstico da fertilidade dos solos do estado de Sergipe. In: SOBRAL, L.F.; VIEGAS, P.R.A.; SIQUEIRA, O.J.W.; ANJOS, J.L.; BARRETTO, M.C.V.; GOMES, J.B.V. (Eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes no estado de Sergipe**. Aracajú: EMBRAPA, 2007. p.49-79.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In.: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 206-223.

SOUSA, E.P.; SILVA, V.P.R.; CAMPOS, J.H.B.C.; OLIVEIRA, S.D. A Teoria da Entropia na Análise da Precipitação no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 386-399, 2012.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

SOUZA, B.I.; MENEZES, R.; ARTIGAS, R.C. Efeitos da desertificação na composição de espécies do bioma Caatinga, Paraíba/Brasil. **Investigaciones Geográficas**, México, n. 88, p. 45-59, 2015.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.

UNCCD. Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação, nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente a África. Paris: ONU, 1994.

VOROB'EVAM, L.A.; AVDON'KIN, A.A. Potential Soil Acidity: Notions and Parameters. **Eurasian Soil Science**, v. 39, n.4, p. 377-386, apr. 2006.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 429-437, abr. 2009.

WHITE, P.J. Ion Uptake Mechanisms of Individual Cells and Roots: Short-distance Transport. In. MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Boca Raton: Academic Press, 2012. p.7-47

WICHARD, T.; MISHRA, B.; MYNENI, S.C.B.; BELLENGER, J.P.; KRAEPIEL, A.M.L. Storage and bioavailability of molybdenum in soils increased by organic matter complexation. **Nature Geoscience**, v. 2, p. 625-629, aug. 2009.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR., R.S.; TORMENA, C.A.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S.D.; ALONSO, D.G.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. Efeito da compactação do solo e do sulfentrazone sobre a cultura da soja em duas condições de água no solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 537-545, set, 2007.

CAPÍTULO IV

INDICADORES DO SOLO PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO, BRASIL

*SOIL INDICATORS FOR ASSESSING DESERTIFICATION LEVEL
IN SEMI-ARID PARAIBA STATE, BRAZIL*

RESUMO

VENDRUSCOLO, Jhony. **Indicadores do solo para avaliação do nível de desertificação no semiárido Paraibano.** Areia, Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, outubro de 2017, Tese, Pós-Graduação em Ciência do Solo, Orientador, Aldrin Martin Perez Marin e Bruno de Oliveria Dias.

O processo de desertificação ocasiona perdas de resiliência da cobertura florestal, produção agropecuária e sustentabilidade de áreas rurais, e seu nível pode ser avaliado com base em um índice formado por indicadores do solo, possibilitando a obtenção de informações para o planejamento da preservação e conservação dos recursos naturais, e recuperação de áreas degradadas. Objetivou-se com o presente trabalho, selecionar indicadores e disponibilizar valores de referência, para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano. O trabalho foi realizado em 22 áreas conservadas (C) com vegetação nativa (caatinga), e 22 áreas desertificadas (D), com dificuldade de reestabelecimento de cobertura vegetal nos últimos 10 anos. Em cada área foi instalada uma parcela georeferenciada com área de 100 m², onde foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade, e analisados os atributos químicos (pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Al³⁺, H+Al, carbono orgânico total (COT), soma de bases, CTC efetiva, CTC total, saturação por bases, saturação por Al e porcentagem de sódio trocável - PST) e físicos do solo (granulometria e densidade do solo - DS). Os resultados foram comparados pelo teste T pareado, sendo selecionados como indicadores os atributos que apresentaram diferença significativa $\leq 5\%$. A abrangência de cada indicador foi obtida com a menor diferença detectável (MDD), proveniente das diferenças médias dos pares de áreas conservadas e desertificadas. Posteriormente, obteve-se os valores de referência para avaliação do nível de desertificação, com base nos valores médios dos indicadores selecionados, mensurou-se os pesos dos indicadores com análise de componentes principais, e elaborou-se um índice do nível de desertificação final (IND_F), levando-se em consideração ambas as camadas. O processo de desertificação no Semiárido paraibano tende a reduzir os teores de carbono orgânico total e aumentar os valores de Na⁺, PST e DS, independente da camada, e diminuir os valores de Ca²⁺, H+Al, CTC total na camada de 0-5 cm, e de K⁺ na camada de 5-20 cm. A abrangência dos indicadores no Semiárido paraibano, para a camada de 0-5 cm, apresenta a seguinte ordem: carbono orgânico total (100%), densidade do solo (100%), H+Al (68,0%), CTC total (66,0%), Na⁺ (64,2%), Ca²⁺ (62,4%), porcentagem de sódio

trocável (61,4%) e saturação por Al^{3+} (18,2%). Na camada de 5-20 cm, segue a ordem: carbono orgânico total (91,2%), K^+ (78,0%), densidade do solo (55,6%), porcentagem de sódio trocável (53,0%) e Na^+ (29,0%). O índice do nível de desertificação final (IND_F), elaborado com base nas camadas de 0-5 e 5-20 cm, e seus respectivos indicadores por região, permite avaliar com precisão o nível de desertificação em áreas do Semiárido paraibano, e apontar quais atributos do solo são mais limitantes para restauração da cobertura florestal.

Palavras-chave: Caatinga; atributos químicos; atributos físicos; valores de referência; qualidade ambiental.

ABSTRACT

The desertification process results in loss of forest cover resilience, agricultural production and sustainability in rural areas, and its level can be evaluated based on an index formed by soil indicators, enabling information to be obtained for planning the preservation and conservation of natural resources, and recovery of degraded areas. The objective of this study was to select indicators and make reference values available for assessing the level of desertification in the semi-arid region of Paraíba. The work was carried out in 22 conserved areas (C) with native vegetation (caatinga), and 22 desertified areas (D), with difficulty to reestablish vegetation cover in the last 10 years. In each area, a georeferenced plot with 100 m² area was installed, where soil samples were collected in the 0-5 and 5-20 cm depth layers, and the chemical attributes (pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Al³⁺, H+Al, total organic carbon (TOC), sum of bases, effective CEC, potential CEC, base saturation, Al saturation and exchangeable sodium percentage (PST) and soil physicists (grain size and bulk density - BD). The results were compared by the paired T test, and the attributes that showed a significant difference $\leq 5\%$ were selected as indicators. The coverage of each indicator was obtained with the smallest detectable difference (SDD), derived from the average differences of pairs of conserved and desertified areas. Subsequently, the reference values were obtained for assessing the desertification level, based on the mean values of the selected indicators, the weights of the indicators were analyzed with principal components analysis, and a level of desertification index (IND_F), considering both layers. The desiccation process in the Paraíba semiarid region tends to reduce the TOC content and increase the values of Na⁺, PST and BD, independent of the layer, and decrease the values of Ca²⁺, H+Al, potential CEC in the 0-5 cm layer, and K⁺ in the 5-20 cm layer. The range of the indicators in the semiarid region for the 0-5 cm layer is as follows: TOC (100%), BD (100%), H+Al (68.0%), potential CTC (66.2%), Na⁺ (64.2%), Ca²⁺ (62.4%), exchangeable sodium percentage (61.4%) and Al³⁺ saturation (18.2%). The TOC (91.2%), K⁺ (78.0%), BD (55.6%), percentage of exchangeable sodium (53.0%), and Na⁺ (29.0%). The index of the final desertification level (IND_F), based on the 0-5 and 5-20 cm layers, and their respective indicators by region, allow to accurately assess the level of desertification in areas of the semiarid region of the Paraíba State, and indicate which Soil attributes are more limiting for forest cover restoration.

Keywords: Caatinga; chemical attributes; physical attributes; reference values; environmental Quality.

1. INTRODUÇÃO

O Estado da Paraíba apresenta uma área de 48.677 km² de região semiárida, abrangendo 86% da área do estado, considerada suscetível ao processo de desertificação (INSA, 2012). Essa condição gera grande preocupação com relação a sustentabilidade dos municípios que tem como base econômica a produção agropecuária, uma vez que, o processo de desertificação, quando em estágio avançado, resulta em mudanças dos componentes (riqueza e diversidade) e da composição florística da Caatinga (Souza et al., 2015), ocasionando problemas como encrostamento superficial, erosão e acúmulo de Na trocável no solo (Galindo et al., 2008).

A avaliação do processo de desertificação é realizada através de indicadores de qualidade. Os indicadores considerados chave para avaliação deste processo podem ser divididos em quatro categorias (qualidades do solo, do clima, da vegetação e da gestão) que estão relacionadas com a disponibilidade de água e resistência à erosão (Kosmas et al., 1999). Dentre os indicadores, verifica-se que a qualidade do solo ocupa um papel central na degradação da terra e, conseqüentemente, no processo de desertificação (Mortmore, 1994). Este indicador pode ser avaliado através de atributos químicos, físicos e biológicos (Carneiro et al., 2009), por possuírem propriedades mensuráveis que permitem monitorar as mudanças no ambiente (Karlen et al., 1997).

Apesar da literatura descrever vários indicadores para avaliação dos processos de desertificação, observa-se que no Semiárido paraibano, os trabalhos existentes foram realizados em pequenas áreas, dificultando sua extrapolação às demais áreas do estado. Assim, observa-se uma deficiência de valores de referência mais abrangentes para quantificar e qualificar o nível e o avanço da desertificação nesta região.

Diante da importância dos indicadores de qualidade do solo para o monitoramento e planejamento do combate ao processo de desertificação, objetivou-se selecionar indicadores e disponibilizar valores de referência, para avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na região do Semiárido paraibano, Brasil, de outubro de 2015 a maio de 2016, em 22 áreas conservadas e 22 áreas desertificadas (Figura 1). A região apresenta 170 municípios (Tabela 1), clima quente semiárido com 6 a 11 meses secos em 85,3% da área (Nimer, 1979), com precipitação anual inferior a 800 mm (Sousa et al., 2012).

As áreas conservadas foram selecionadas considerando-se a ausência de corte raso desde o ano de 1984, com base em imagens temporais dos últimos 30 anos, utilizando a ferramenta Landsat Annual Timelapse 1984-2012. Posteriormente, as áreas selecionadas foram comparadas com imagens atualizadas do Satélite Landsat 8.

As áreas desertificadas foram selecionadas considerando-se a dificuldade de reestabelecimento de cobertura vegetal, utilizando imagens temporais (últimos 10 anos) Landsat 7 (bandas 3, 4 e 5) e 8 (bandas 4, 5 e 6), com auxílio da ferramenta Earthengine. O período das imagens correspondeu ao período com maior pluviosidade e baixa incidência de nuvens, excluindo o fator água como limitante de crescimento vegetal.

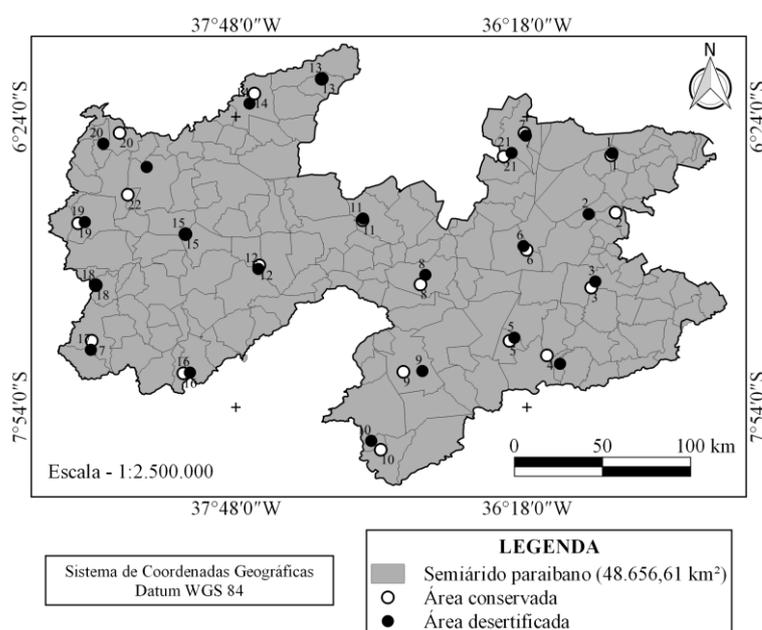


Figura 1. Localização das áreas conservadas e desertificadas no Semiárido paraibano, Brasil. 1) Cacimba de Dentro; 2) Algodão de Jandaíra; 3) Campina Grande; 4) Riacho de Santo Antônio; 5) São Domingos do Cariri; 6) Soledade; 7) Picuí; 8) Taperoá; 9) Sumé; 10) Zabelê; 11) Patos; 12) Olho D'Água; 13) São José do Brejo do Cruz; 14) Catolé do Rocha; 15) Coremas; 16) Princesa Isabel; 17) Santa Inês; 18) Bonito de Santa Fé; 19) Cajazeiras; 20) Uiraúna; 21) Picuí; e 22) Marizópolis.

Tabela 1. Municípios que compõem o Semiárido paraibano.

Nº	Município	Nº	Município	Nº	Município	Nº	Município	Nº	Município
1	Água Branca	35	Cajazeirinhas	69	Jericó	103	Piancó	137	São João do Rio do Peixe
2	Aguiar	36	Camalaú	70	Juazeirinho	104	Picuí	138	São João do Tigre
3	Alcantil	37	Campina Grande	71	Junco do Seridó	105	Pocinhos	139	São José de Lagoa Tapada
4	Algodão de Jandaíra	38	Caraúbas	72	Jurú	106	Poço Dantas	140	São José de Caiana
5	Amparo	39	Carrapateira	73	Lagoa	107	Poço de José de Moura	141	São José de Espinharas
6	Aparecida	40	Casserengue	74	Lagoa Seca	108	Pombal	142	São José de Piranhas
7	Arara	41	Catingueira	75	Lastro	109	Prata	143	São José de Princesa
8	Araruna	42	Catolé do Rocha	76	Livramento	110	Princesa Isabel	144	São José do Bonfim
9	Areia de Baraúnas	43	Caturité	77	Logradouro	111	Puxinanã	145	São José do Brejo do Cruz
10	Areial	44	Conceição	78	Mãe D'Água	112	Queimadas	146	São José do Sabugi
11	Aroeiras	45	Condado	79	Malta	113	Quixaba	147	São José dos Cordeiros
12	Assunção	46	Congo	80	Manaíra	114	Remígio	148	São Mamede
13	Bananeiras	47	Coremas	81	Marizópolis	115	Riachão	149	São Sebastião de Lagoa de Roça
14	Baraúna	48	Coxixola	82	Massaranduba	116	Riachão do Bacamarte	150	São Sebastião do Umbuzeiro
15	Barra de Santa Rosa	49	Cubatí	83	Mato Grosso	117	Riacho de Santo Antônio	151	Seridó
16	Barra de Santana	50	Cuité	84	Maturéia	118	Riacho dos Cavalos	152	Serra Branca
17	Barra de São Miguel	51	Curral Velho	85	Mogeirol	119	Salgadinho	153	Serra Grande
18	Belém do Brejo do Cruz	52	Damião	86	Montadas	120	Salgado de São Félix	154	Solânea
19	Bernardino Batista	53	Desterro	87	Monte Horebe	121	Santa Cecília	155	Soledade
20	Boa Ventura	54	Diamante	88	Monteiro	122	Santa Cruz	156	Sossego
21	Boa Vista	55	Dona Inês	89	Natuba	123	Santa Helena	157	Sousa
22	Bom Jesus	56	Emas	90	Nazarezinho	124	Santa Inês	158	Sumé
23	Bom Sucesso	57	Esperança	91	Nova Floresta	125	Santa Luzia	159	Tácima
24	Bonito de Santa Fé	58	Fagundes	92	Nova Olinda	126	Santana de Mangueira	160	Taperoá
25	Boqueirão	59	Frei Martinho	93	Nova Palmeira	127	Santana dos Garrotes	161	Tavares
26	Brejo do Cruz	60	Gado Bravo	94	Olho D'Água	128	Santarém	162	Teixeira
27	Brejo dos Santos	61	Gurjão	95	Olivedos	129	Santa Teresinha	163	Tenório
28	Cabaceiras	62	Ibiara	96	Ouro Velho	130	Santo André	164	Triunfo
29	Cachoeira dos Índios	63	Igaracy	97	Parari	131	São Bentinho	165	Uiraúna
30	Cacimba de Areia	64	Imaculada	98	Passagem	132	São Bento	166	Umbuzeiro
31	Cacimba de Dentro	65	Ingá	99	Patos	133	São Domingos	167	Várzea
32	Cacimbas	66	Itabaiana	100	Paulista	134	São Domingos do Cariri	168	Vieirópolis
33	Caiçara	67	Itaporanga	101	Pedra Branca	135	São Francisco	169	Vista Serrana
34	Cajazeiras	68	Itatuba	102	Pedra Lavrada	136	São João do Cariri	170	Zabelê

Após a seleção das áreas, com base em técnicas de sensoriamento remoto, localizou-se as áreas em campo, utilizando o programa Google Earth e GPS de navegação, modelo 60CSX da Garmin. Em campo realizou-se a avaliação visual da cobertura vegetal e do solo para alocação das parcelas, considerando a maior densidade de espécies e de plantas, e ausência de solo exposto nas áreas conservadas, e o inverso nas desertificadas (Apêndice 1).

Para a coleta das amostras adotou-se parcelas com área de 100 m² (10 x 10 m), onde foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade. Em cada parcela coletou-se uma amostra composta para análise química em cada camada, formada por cinco amostras simples, localizadas nos cantos e centro da parcela. Para análise física coletou-se quatro amostras simples, uma em cada extremidade da parcela.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados, e encaminhados ao laboratório de Fertilidade da Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, onde foram analisados os atributos pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al e carbono orgânico total (COT) (EMBRAPA, 2011), e calculados os valores de soma de bases, CTC efetiva, CTC total, saturação por bases, saturação por alumínio e porcentagem de sódio trocável (PST) (Apêndices 2 e 3). Os atributos físicos analisados foram a granulometria e a densidade do solo (EMBRAPA, 2011) (Apêndices 4 e 5).

Os resultados dos parâmetros foram comparados pelo teste T pareado (Procedure TTest), usando o programa estatístico R (R Core Team, 2017), sendo selecionados como indicadores quando apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$). Posteriormente, calculou-se a menor diferença detectável (MDD) para cada indicador, e elaborou-se os mapas de recomendação.

O mapeamento foi realizado para cada indicador com o software QGIS 2.10.1 (versão Pisa), em quatro etapas: 1) Criou-se a camada “raster C” com a interpolação dos dados das áreas conservadas; 2) Criou-se a camada “raster D” com a interpolação dos dados das áreas desertificadas; 3) Com a ferramenta “calculadora de campo” calculou-se a diferença de valores entre as duas camadas raster (raster C - raster D), gerando a camada “raster final”; e 4). Realizou-se a classificação do arquivo “raster final” com base na MDD, em áreas recomendadas (diferença entre pares \geq MDD) ou não recomendadas (diferença entre pares $<$ MDD, ou valores antagônicos aos resultados médios).

Posteriormente elaborou-se uma tabela com valores de referência para avaliação do nível de desertificação de áreas no Semiárido paraibano (Tabela 2), utilizando como base

os valores médios dos indicadores selecionados. A tabela apresenta 6 níveis de desertificação, que variam de 0 a 5.

Tabela 2. Valores de referência para os indicadores do solo, para avaliação do nível de desertificação, no Semiárido paraibano.

Indicador	Nível de desertificação					
	Ausente (0)	Muito baixo (1)	Baixo (2)	Médio (3)	Alto (4)	Muito alto (5)
A	VMAC	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF - VFF	VMAD
B	VMAC	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF - VFF	VMAD
...	VMAC	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF – VFF	VIF - VFF	VMAD

VMAC: Valor médio do indicador na área conservada; VMAD: Valor médio do indicador na área desertificada; VIF = Valor do início da faixa; VFF = Valor do final da faixa; 0: ausência de desertificação; 1: nível de desertificação muito baixo; 2: nível de desertificação baixo; 3: nível de desertificação médio; 4: nível de desertificação alto; 5: nível de desertificação muito alto.

O nível 0 indica total ausência do processo de desertificação, e foi obtido pelo valor médio de cada indicador nas áreas conservadas, por representar ambientes com condições estáveis (Tótola e Chaer, 2002). O nível 5 indica nível muito alto de desertificação, e foi obtido pelo valor médio de cada indicador nas áreas desertificadas, por representar ambientes com grandes problemas de revegetação, mesmo com precipitação adequada. As faixas dos níveis 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2), foram obtidas visando uma distribuição equidistante.

As características da cobertura arbórea das áreas com relação aos níveis de desertificação encontram-se na tabela 3.

Tabela 3. Relação entre as características da cobertura arbórea e o nível de desertificação das áreas em estudo.

Ind.	Unid.	Nível de desertificação					
		Ausente (0)	Muito baixo (1)	Baixo (2)	Médio (3)	Alto (4)	Muito Alto (5)
NE*	Unid.	≥ 9,82	9,81 - 7,87	7,86 - 5,91	5,90 - 3,96	3,95 - 2,01	≤ 2,00
NP*	Unid.	≥ 48,18	48,17 - 38,26	38,25 - 28,34	28,33 - 18,42	18,41 - 8,51	≤ 8,50
H*	M	≥ 4,09	4,08 - 3,53	3,52 - 2,97	2,96 - 2,41	2,40 - 1,85	≤ 1,84
CNB-M*	Cm	≥ 13,47	13,46 - 12,21	12,20 - 10,95	10,94 - 9,69	9,68 - 8,43	≤ 8,42
CAP-M*	Cm	≥ 10,78	10,77 - 9,50	9,49 - 8,21	8,20 - 6,93	6,92 - 5,65	≤ 5,64
DoA-T*	m ² ha ⁻¹	≥ 18,3364	18,3363- 13,9812	13,9811-9,6260	9,6159-5,2708	5,2707-0,9156	≤ 0,9155

NE: número de espécies; NP: número de plantas; H: altura média do dossel; CNB-M: circunferência média na base, à 0,30 cm do solo; CAP-M: circunferência média na altura do peito, à 1,30 do solo; DoA-T: Dominância absoluta total; 0: ausência de desertificação; 1: nível de desertificação muito baixo; 2: nível de desertificação baixo; 3: nível de desertificação médio; 4: nível de desertificação alto; 5: nível de desertificação muito alto; *Dados obtidos em 44 parcelas, de 100 m² cada.

A importância do indicador nas camadas de 0-5 e 5-20 cm, do Semiárido paraibano, foi estimada com base em um nível médio provenientes dos parâmetros peso e abrangência. Estes parâmetros foram classificados em níveis de 1 a 5, em ordem

decrecente de importância, onde valores de 0,0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6, 0,6-0,8 e 0,8-1,0, representam níveis de 5, 4, 3, 2 e 1, respectivamente para peso, e valores de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100%, representam níveis de 5, 4, 3, 2 e 1, respectivamente para abrangências.

Para elaboração do índice do nível de desertificação, realizou-se 4 etapas: 1^a) obtenção do peso dos indicadores, 2^a) elaboração do índice do nível de desertificação para a camada de 0-5 cm (IND_{0-5}), 3^a) elaboração do índice do nível de desertificação para a camada de 5-20 cm (IND_{5-20}) e 4^a) elaboração do índice do nível de desertificação final (IND_F).

Os pesos dos indicadores (1^a etapa), foram mensurados com base na análise de componentes principais, utilizando o programa estatístico R (R Core Team, 2017), através de uma média ponderada, considerando-se os valores dos autovetores e as proporções de variância nos componentes principais (até atingir $\geq 80\%$ de variância acumulada) (Equação 1), e padronizado na forma de porcentagem, associando o número de indicadores selecionados pela MDD (Equação 2).

$$P = [(A \times B) + (C \times D) + (...)] \div (B + D + \dots) \quad (1)$$

Onde: P = peso do indicador; A = valor do autovetor na PCA 1; C = valor do autovetor na PCA 2; B = valor da proporção da variância do PCA 1; D = valor da proporção da variância do PCA 2.

$$PPi = Pn \div (P1 + P2 + P3 + \dots) \quad (2)$$

Onde: PPi = peso padronizado do indicador; P1 = peso do indicador 1; P2 = peso do indicador 2; P3 = peso do indicador 3; Pn = peso do indicador P1, P2, P3 ou ...

Na segunda etapa, elaboração do IND_{0-5} , levou-se em consideração a falta de abrangência geral de alguns indicadores (Equação 3), visto que, variam em regiões no Semiárido paraibano.

$$IND_{0-5} = \Sigma(Ni \times PPi) \quad (3)$$

Onde: IND_{0-5} = índice do nível de desertificação para a camada de 0-5 cm; N_i = nível de desertificação do indicador (0 a 5); PP_i = peso padronizado do indicador.

Na terceira etapa, elaboração do IND_{5-20} , levou-se em consideração a falta de abrangência geral de alguns indicadores (Equação 4), visto que, variam em regiões no Semiárido paraibano.

$$IND_{5-20} = \Sigma(N_i \times PP_i) \quad (4)$$

Onde: IND_{5-20} = índice do nível de desertificação para a camada de 5-20 cm; N_i = nível de desertificação do indicador (0 a 5); PP_i = peso padronizado do indicador.

Na quarta etapa, mensurou-se o IND_F , através de uma média aritmética dos valores do IND_{0-5} e IND_{5-20} , para a obtenção de um índice geral de avaliação (Equação 5).

$$IND_F = \frac{IND_{0-5} + IND_{5-20}}{2} \quad (5)$$

Onde: IND_F = índice do nível de desertificação final; IND_{0-5} = índice do nível de desertificação para a camada de 0-5 cm; IND_{5-20} = índice do nível de desertificação para a camada de 5-20 cm.

Após a elaboração do IND_F , realizou-se a validação do mesmo, tendo como base as 44 áreas de estudo (22 conservadas e 22 desertificadas), que foram classificadas com valores de 0 a 5 (0: ausência de desertificação; 1: nível de desertificação muito baixo; 2: nível de desertificação baixo; 3: nível de desertificação médio; 4: nível de desertificação alto; 5: nível de desertificação muito alto).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Indicadores e índice de nível de desertificação para a camada de 0-5 cm

3.1.1 Seleção e abrangência de indicadores no Semiárido paraibano

As áreas conservadas apresentaram maiores teores de Ca^{2+} , H+Al, CTC total e COT, e menores valores de Na^+ , saturação por alumínio, PST e DS, que as áreas desertificadas, na camada de 0-5 cm de profundidade (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios e diferença entre médias dos atributos químicos e físicos do solo, na camada de 0-5 cm de profundidade, em áreas conservadas (C) e áreas desertificadas (D) do Semiárido paraibano.

Descrição	pH		P		K^+	
	C	D	C	D	C	D
Média	6,32 ± 0,65	6,25 ± 0,69	13,97 ± 11,13	14,08 ± 18,34	141 ± 66	161 ± 74
DM	0,07 ^{ns}		0,11 ^{ns}		20 ^{ns}	
CV	10,26	11,11	79,66	130,29	46,55	45,62
Descrição	Ca^{2+}		Mg^{2+}		Na^+	
	C	D	C	D	C	D
Média	7,43 ± 2,84	4,78 ± 3,94	2,22 ± 1,48	2,71 ± 1,93	0,06 ± 0,03	0,13 ± 0,08
DM	2,65**		0,49 ^{ns}		0,07**	
CV	38,27	82,29	66,67	71,18	56,70	62,50
Descrição	Al^{3+}		H+Al		Soma de bases	
	C	D	C	D	C	D
Média	0,01 ± 0,03	0,12 ± 0,28	3,11 ± 1,75	1,84 ± 1,42	10,07 ± 4,05	8,03 ± 5,32
DM	0,11 ^{ns}		1,27**		2,04 ^{ns}	
CV	264,74	232,88	56,36	77,16	40,24	66,27
Descrição	CTC efetiva		CTC a pH 7		Carbono orgânico total	
	C	D	C	D	C	D
Média	10,08 ± 4,05	8,16 ± 5,31	13,18 ± 4,38	9,88 ± 5,29	28,71 ± 8,18	3,21 ± 1,91
DM	1,93 ^{ns}		3,31**		25,50**	
CV	40,12	65,07	33,25	53,57	28,51	59,45
Descrição	Saturação de bases		Saturação por Al		PST	
	C	D	C	D	C	D
Média	76,01 ± 13,43	78,35 ± 15,73	0,15 ± 0,43	1,86 ± 3,85	0,49 ± 0,35	1,57 ± 1,12
DM	2,34 ^{ns}		1,71*		1,08**	
CV	17,67	20,08	293,01	207,59	70,85	71,25
Descrição	Areia muito grossa		Areia grossa		Areia média	

	C		D		C		D		C		D	
	g kg ⁻¹											
Média	71 ± 44	66 ± 39	101 ± 41	95 ± 37	149 ± 74	145 ± 41						
DM	5,09 ^{ns}		5,50 ^{ns}		3,18 ^{ns}							
	%											
CV	62,15	59,04	40,56	38,63	49,58	28,45						
Descrição	Areia fina				Areia muito fina				Silte			
	C		D		C		D		C		D	
	g kg ⁻¹											
Média	213 ± 78	237 ± 102	97 ± 36	103 ± 23	215 ± 79	232 ± 86						
DM	24 ^{ns}		6 ^{ns}		17 ^{ns}							
	%											
CV	36,75	43,04	37,07	22,40	37,04	37,03						
Descrição	Argila				Densidade do solo							
	C		D		C		D					
	g kg ⁻¹								g cm ⁻³			
Média	155 ± 60	121 ± 75	1,12 ± 0,16	1,45 ± 0,14								
DM	34 ^{ns}		0,33 ^{**}									
	%											
CV	38,45	62,05	14,13	9,94								

COT: carbono orgânico total; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo; CV: coeficiente de variação; DM: diferença entre médias (Módulo); *Significativo a 5%; **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t pareado.

Os teores de Ca²⁺ apresentaram diferenças de 0,53 a 10,44 cmol_c kg⁻¹, entre pares de áreas (conservada e desertificada), MDD de 1,85 cmol_c kg⁻¹, e resultados antagônicos aos valores médios para os pares das parcelas 6, 7, 9, 11 e 17. Neste contexto, verifica-se que este parâmetro não deve ser recomendado como indicador para todo o Semiárido paraibano, principalmente para as regiões dos municípios de Bonito de Santa Fé (24), Patos (99), Picuí (104), Santa Inês (124), Soledade (155) e Sumé (158) (Figura 2).

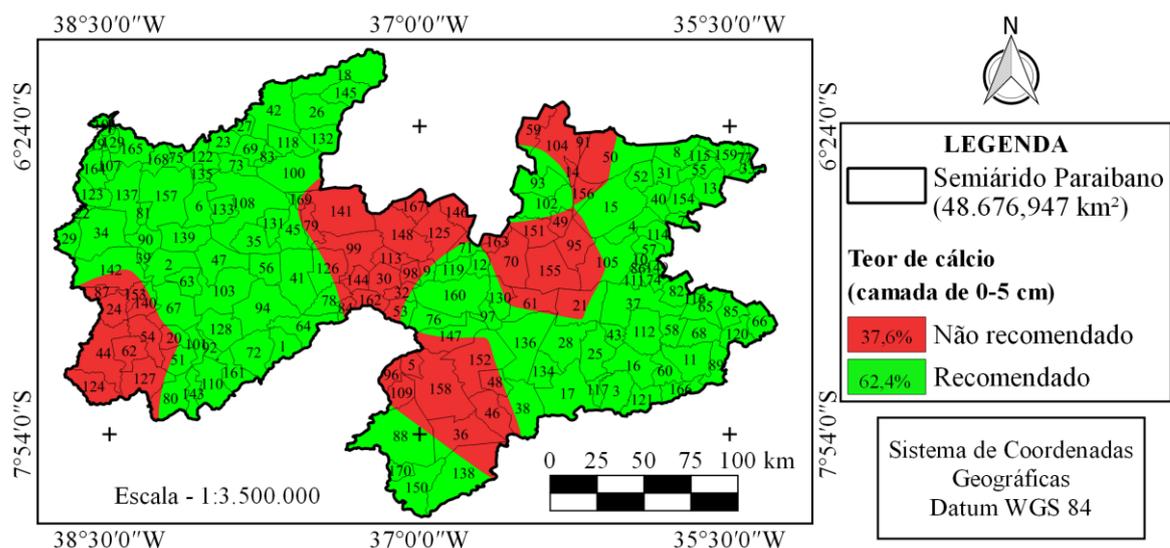


Figura 2. Áreas recomendadas para utilização dos teores de cálcio (Ca²⁺) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

A redução dos teores de Ca^{2+} , observadas nas áreas recomendadas para o uso do indicador estão associadas a retirada da cobertura florestal e uso inadequado do solo. A conversão de cobertura florestal geralmente é realizada através da derrubada e queima da vegetação, que promovem a mineralização de grande parte da matéria orgânica e a exposição do solo as precipitações, elevando as perdas deste nutriente. Em trabalho realizado por Lobato et al. (2009), em área de Caatinga, verificou-se que precipitações entre 30 e 50 mm podem ocasionar perdas de $38,97 \text{ g ha}^{-1}$ de Ca^{2+} , em áreas com cobertura herbácea rala, e perdas de $59,52 \text{ g ha}^{-1}$ com precipitações maiores que 50 mm, em áreas cobertas com alguns pinhões de pequeno porte. O uso inadequado do solo nas áreas desertificadas esta relacionado principalmente com a extração do massame para construção civil (ex. parcela 3), estradas (ex. parcela 22) e aterros de represas (ex. parcela 18), ocasionando a decaptação dos horizontes A e B, e a exposição do horizonte C.

Os resultados antagônicos para os pares das parcelas 6, 7, 9, 11 e 17, podem estar relacionados com o material de origem destes solos, que apresentam altos teores de Ca^{2+} , e encontram-se expostos em áreas desertificadas. Em trabalho realizado por Galindo et al. (2008), constatou o aumento dos teores de Ca^{2+} com a profundidade do solo, tanto em áreas de ambiente conservado, quanto em áreas de ambiente degradado.

Os pares de áreas apresentaram diferenças de COT, variando de $4,86$ a $38,52 \text{ g kg}^{-1}$, MDD de $3,95 \text{ g kg}^{-1}$, e ausência de valores antagônicos. Neste contexto, verifica-se que este parâmetro pode ser utilizado como indicador em todo o Semiárido paraibano (Figura 3).

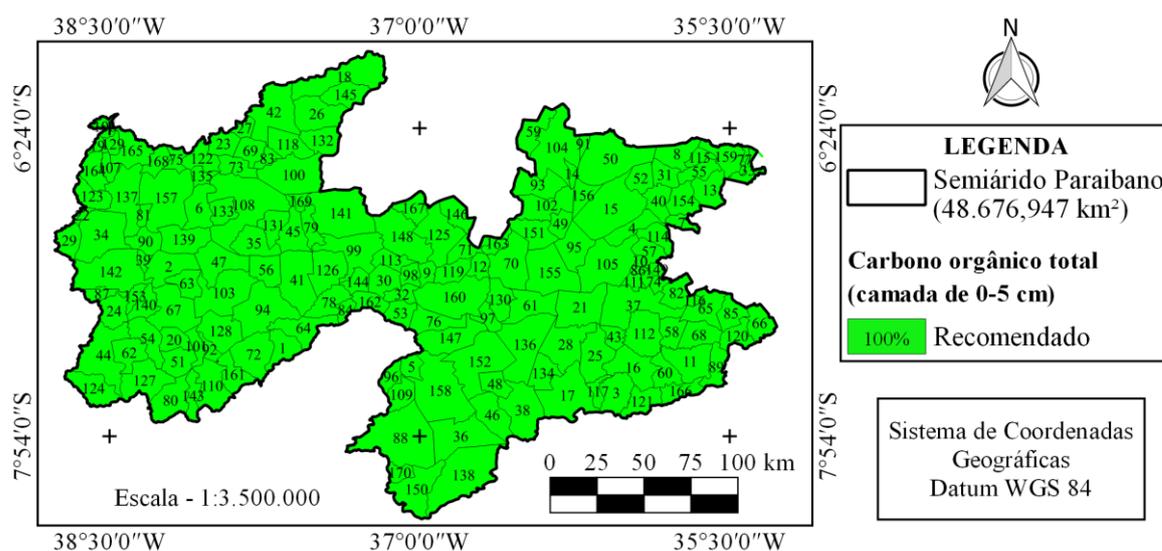


Figura 3. Áreas recomendadas para utilização dos teores carbono orgânico total (COT) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Os teores de COT estão diretamente relacionados com a densidade e composição da cobertura vegetal, por serem provenientes da serapilheira depositada ao longo dos anos. Este indicador está associado com o teor de matéria orgânica do solo, e sugere a redução do nível de resiliência da cobertura vegetal em áreas com processo de desertificação. A matéria orgânica apresenta papel fundamental para o fornecimento de nutrientes às plantas (Costa et al., 2010), retenção de cátions (Ciotta et al., 2003), complexação de elementos tóxicos e micronutrientes (Pavinato e Rosolem, 2008; Pegoraro et al., 2006), estabilidade de agregados (Salton et al., 2008), aeração (Souza e Alves, 2003), infiltração e retenção de água, e atividade microbiana (Sato et al., 2012; Capuani et al., 2012).

A perda de COT além de estar relacionada com a redução da produção de serapilheira, também está associada com a elevação nos níveis de processos erosivos, de origem hídrica e eólica. Em trabalho realizado por Lobato et al. (2009), constatou que a matéria orgânica é perdida facilmente por erosão devido ao seu alto teor nas camadas superficiais do solo, e por apresentar baixa densidade. De acordo com Melo Filho e Souza (2006), a erosão hídrica prevalece sobre a eólica em regiões semiáridas, visto que a primeira, apesar de ocorrer poucas vezes ao ano, tende a ocorrer com grande intensidade resultando em eventos erosivos de grande magnitude quando não há cobertura adequada do solo, e a segunda, apesar de existir, apresenta-se localizada e decorre de situações muito específicas.

A acidez potencial (H+Al) apresentou diferença variando de 0,07 a 3,77 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ entre os pares de área (conservada e desertificada), MDD de 0,56 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e resultados antagônicos aos valores médios para os pares das parcelas 9, 10, 13, 14 e 15. Com base nestes resultados, verifica-se que este parâmetro é recomendado como indicador para 68,9% do Semiárido paraibano, não sendo recomendado para a região dos municípios de Catolé do Rocha (42), Coremas (47), Picuí (104), Princesa Isabel (110), São José do Brejo do Cruz (145), Sumé (158) e Zabelê (170) (Figura 4).

A redução da acidez potencial (H+Al), observado para as áreas recomendadas na camada de 0-5 cm, é proveniente principalmente da perda de matéria orgânica do solo, visto que esta é composta por grupamentos carboxílicos, fenólicos e outros (Fontes et al., 2001), que podem liberar H^+ durante os processos de decomposição e mineralização (Ebeling et al., 2008).

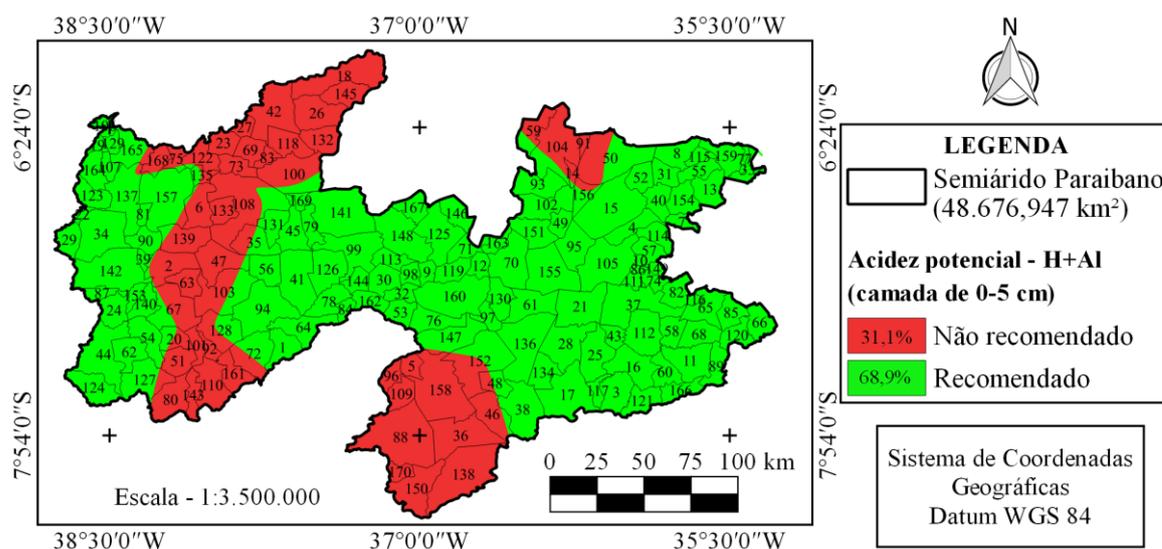


Figura 4. Áreas recomendadas para utilização da acidez potencial (H+Al) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Os resultados antagônicos da acidez potencial nos pares das parcelas 9, 10, 13, 14 e 15, estão associados com a pequena redução do pH com o processo de desertificação, que mesmo não sendo considerada significativa, tendeu a elevar os teores de H⁺ e Al. O pH do solo mede a atividade do íon hidrogênio, expresso em termos logarítmicos, de modo que, a cada unidade reduzida de pH tem-se um aumento de 10 vezes no grau de acidez (IPNI, 1998). A medida que se reduz o pH do solo, aumenta-se a disponibilidade de Al³⁺ (Sousa et al., 2007).

A CTC total apresentou diferença variando de 1,29 a 14,07 cmol_c kg⁻¹ entre os pares de áreas, MDD de 2,33 cmol_c kg⁻¹ e resultados antagônicos aos valores médios nos pares das parcelas 7, 8, 9, 11 e 17. Com base nestas informações, verifica-se que este parâmetro é recomendado para apenas 66,0% da região semiárida paraibana, não sendo recomendado para as regiões dos municípios de Patos (99), Picuí (104), Princesa Isabel (110), Santa Inês (124), Soledade (155), Sumé (158) e Taperoá (160) (Figura 5).

A redução da CTC total na camada de 0-5 cm está associada as reduções nos teores de Ca²⁺ e de matéria orgânica. O último atributo é considerado o principal, por conter grande quantidade de cargas negativas, sendo responsável por mais de 80% do valor total da CTC em solos tropicais (Ronquin, 2010). A redução do valor deste atributo afeta negativamente o crescimento e o desenvolvimento da cobertura vegetal, tendo em vista que, a CTC, segundo Ronquin (2010), favorece a manutenção da fertilidade por um longo período.

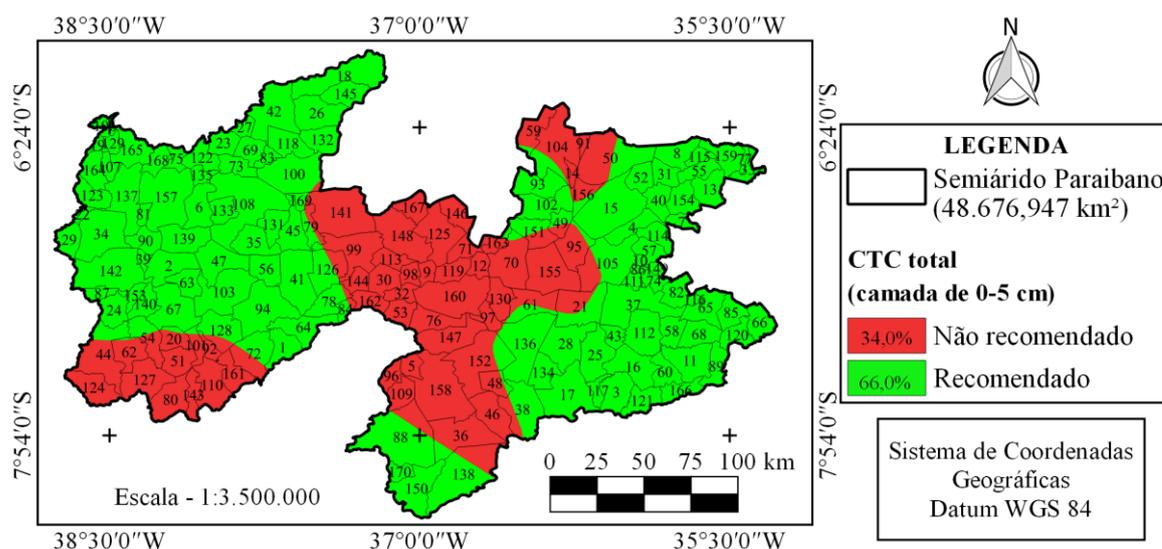


Figura 5. Áreas recomendadas para utilização CTC total na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Os resultados antagônicos observados nos pares de parcela 7, 8, 9, 11 e 17, estão relacionados principalmente com o aumento do valor da soma de bases, promovido pelo processo de desertificação, destacando-se os teores de Ca^{2+} nos pares das parcelas 7, 9, 11 e 17, e de Mg^{2+} e Na^+ em todos os pares. A alteração observada nos teores de Ca^{2+} , ocorreram em função do material de origem, que apresenta altos teores deste nutriente, como discutido anteriormente. A alteração constatada no Mg^{2+} , apesar de não ser considerada significativa pelo teste T pareado, tende a influenciar no resultado da CTC total, e assim como o Ca^{2+} , está relacionado com o material de origem.

Com relação ao Na^+ , constatou-se diferenças de 0,01 a 0,23 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ entre os pares de áreas (conservadas e desertificadas), com exceção do par referente à parcela 16 (resultados iguais), e MDD de 0,04 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Também se verificou resultados antagônicos para os pares das parcelas 2, 12, 14, 15 e 16. Assim, observou-se que este parâmetro pode ser recomendado como indicador em 64,2% do Semiárido paraibano, e não recomendado principalmente para as regiões dos municípios de Algodão de Jandaíra (4), Catolé do Rocha (42), Coremas (47), Olho D'Água (94), Princesa Isabel (110), Riacho de Santo Antônio (117), Uiraúna (165) e Zabelê (170) (Figura 6).

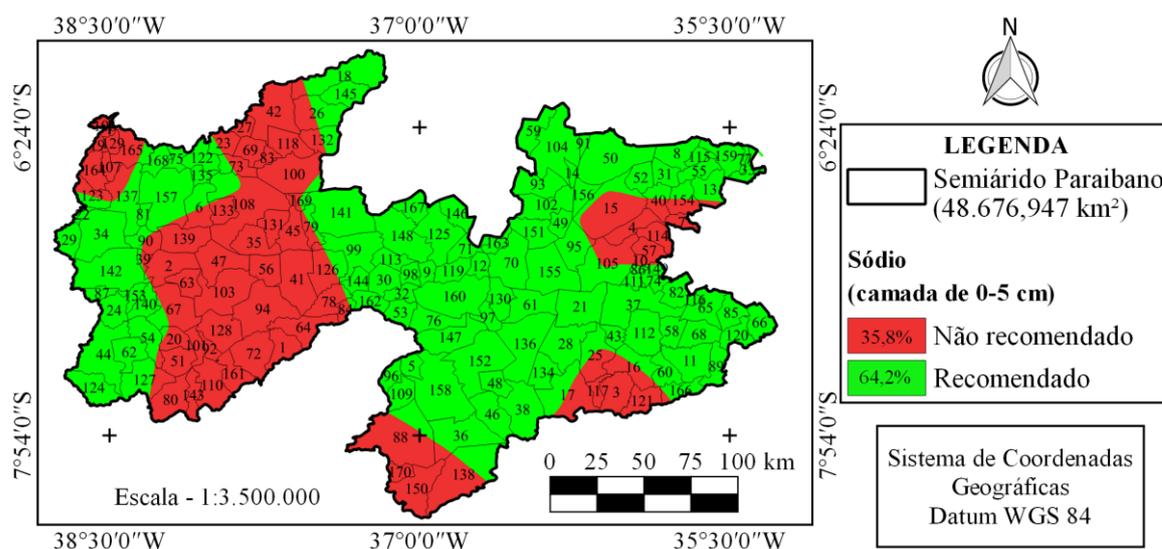


Figura 6. Áreas recomendadas para utilização dos teores de sódio (Na^+) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

A elevação nos teores de Na^+ no solo pode ocorrer em função da associação da formação geológica predominante na paisagem, má distribuição das chuvas, drenagem deficiente e exploração agrícola inadequada (Pedrotti et al., 2015). A formação geológica está relacionada com a composição da rocha matriz, que influencia a composição química dos solos, onde rochas com teores consideráveis de Na^+ podem formar solos com teores naturalmente elevados deste elemento, como é o caso dos PLANOSSOLOS NÁTRICOS, que apresenta altos teores no horizonte Btn. As baixas disponibilidades de precipitação ao longo do ano tendem a dificultar a lixiviação de Na^+ no perfil do PLANOSSOLO NÁTRICO, ficando concentrado no horizonte mais argiloso (B textural). Neste caso, quando há decapitação das camadas superficiais em função do manejo inadequado do solo, este horizonte fica exposto, juntamente com os altos teores de Na^+ .

Os pares de áreas apresentaram diferença variando de 0,03 a 15,94% para a saturação por alumínio, com exceção dos pares das parcelas 1, 4, 5, 6, 15, 17, 19 e 22 (resultados iguais), e MDD de $1,67 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Os pares referentes às parcelas 11 e 20 apresentaram resultados antagônicos aos valores médios. Com base nessas observações, verifica-se que este parâmetro pode ser recomendado como indicador em apenas 18,2% da região semiárida paraibana, abrangendo as regiões dos municípios de Algodão de Jandaíra (4), Bonito de Santa Fé (24), Olho D'Água (94), Picuí (104) e São José do Brejo do Cruz (145) (Figura 7).

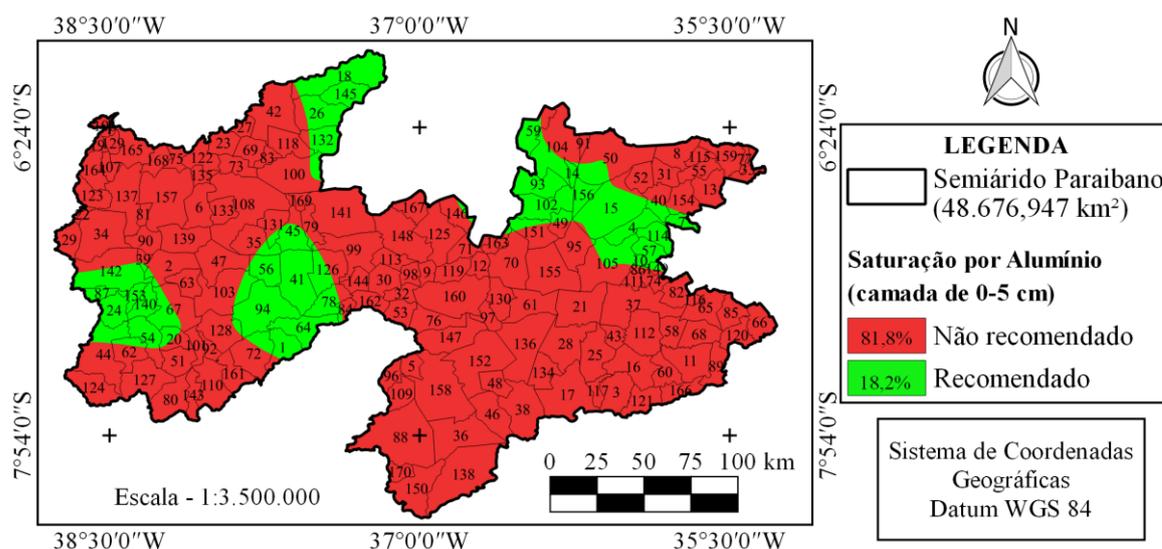


Figura 7. Áreas recomendadas para utilização da saturação por alumínio na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Em trabalho realizado por Menezes et al. (2005), constatou-se baixos níveis de Al^{3+} em 91% das 869 amostras coletadas no semiárido brasileiro, distribuídas nas classes NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (30), LUVISSOLOS CRÔMICOS Órtico (109), CAMBISSOLOS (49), LATOSSOLOS (91), NEOSSOLOS LITÓLICOS (139), PLANOSSOLOS HÁPLICOS (90), ARGISSOLOS (177), NEOSSOLOS REGOLÍTICOS (69), PLANOSSOLOS NÁTRICOS (45), VERTISSOLOS (48), CHERNOSSOLOS (7), NEOSSOLOS FLÚVICOS (10) e NITOSSOLOS (5). Estes resultados corroboram com resultados encontrados no presente estudo, confirmando que a região semiárida naturalmente tende a apresentar baixos teores de Al^{3+} .

A elevação da disponibilidade de Al^{3+} pode afetar o crescimento radicular das plantas, a exemplo do angico e moringa (Beutler et al., 2001), reduzindo a eficiência de absorção de água e nutrientes. Os teores de Al^{3+} estão diretamente relacionados com a saturação por Al^{3+} , explicando porque este parâmetro pode ser utilizado como indicador em somente 18,2% da região semiárida paraibana.

A PST apresentou diferenças variando de 0,04 a 3,29% entre os pares de áreas, com exceção do par de parcela 16 (sem diferença), e MDD de 0,44%. Também se constatou resultado antagônico aos valores médios para o par da parcela 12. Este parâmetro é recomendado como indicador para 61,4% do Semiárido paraibano, abrangendo os municípios de Algodão de Jandaíra (4), Bonito de Santa Fé (24), Cacimba de Dentro (31), Cajazeiras (34), Campina Grande (37), Marizópolis (81), Patos (99), Picuí (104), Riacho

de Santo Antônio (117), São Domingos do Cariri (134), São José do Brejo do Cruz (145), Soledade (155) e Taperoá (160) (Figura 8).

A PST está diretamente relacionada com os teores de Na^+ , de modo que, os resultados deste parâmetro também são influenciados pela formação geológica predominante na paisagem, má distribuição das chuvas, drenagem deficiente e exploração agrícola inadequada (Pedrotti et al., 2015). É interessante salientar que todos os valores de PST observados na camada de 0-5 cm e 90,9% dos valores na camada de 5-20 cm, nas áreas desertificadas, podem ser classificados como não sódico, de acordo com Amorim et al. (2010), de modo que este atributo não é considerado como limitante ao crescimento da cobertura florestal. Porém, os valores referentes as parcelas 3 (Campina Grande) e 21 (Picuí), foram classificados como mediamente sódicos, e podem ocasionar problemas para restauração da cobertura nas áreas desertificadas.

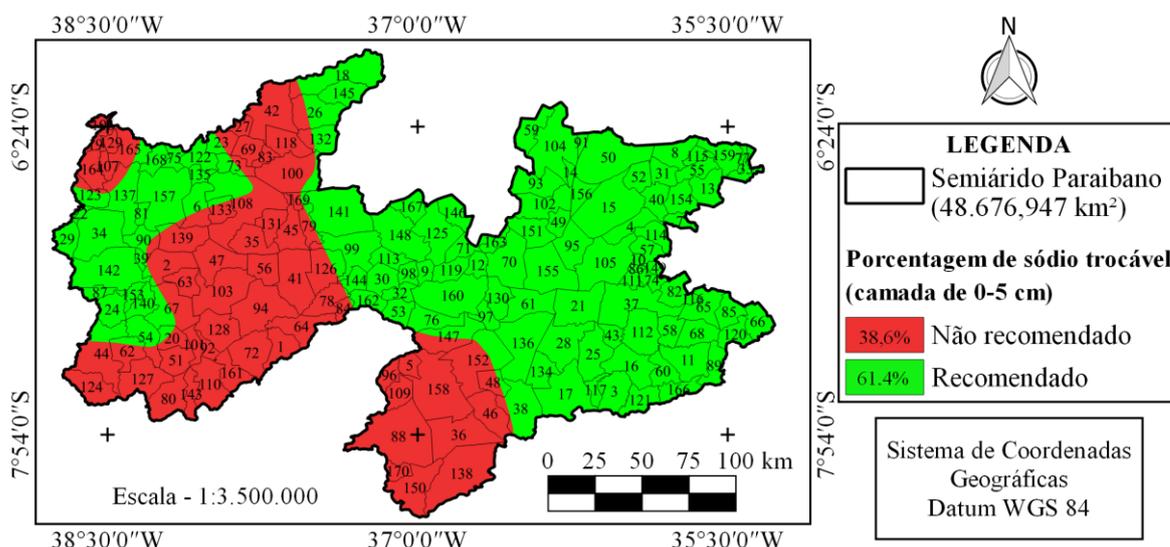


Figura 8. Áreas recomendadas para utilização da porcentagem de sódio trocável (PST) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Em relação à DS, verificou-se diferenças de 0,12 a 0,71 g cm⁻³ entre os pares de áreas, MDD de 0,08 g cm⁻³ e ausência de resultados antagônicos. Da mesma forma que o COT, este parâmetro pode ser recomendado como indicador para todo o Semiárido paraibano (Figura 9).

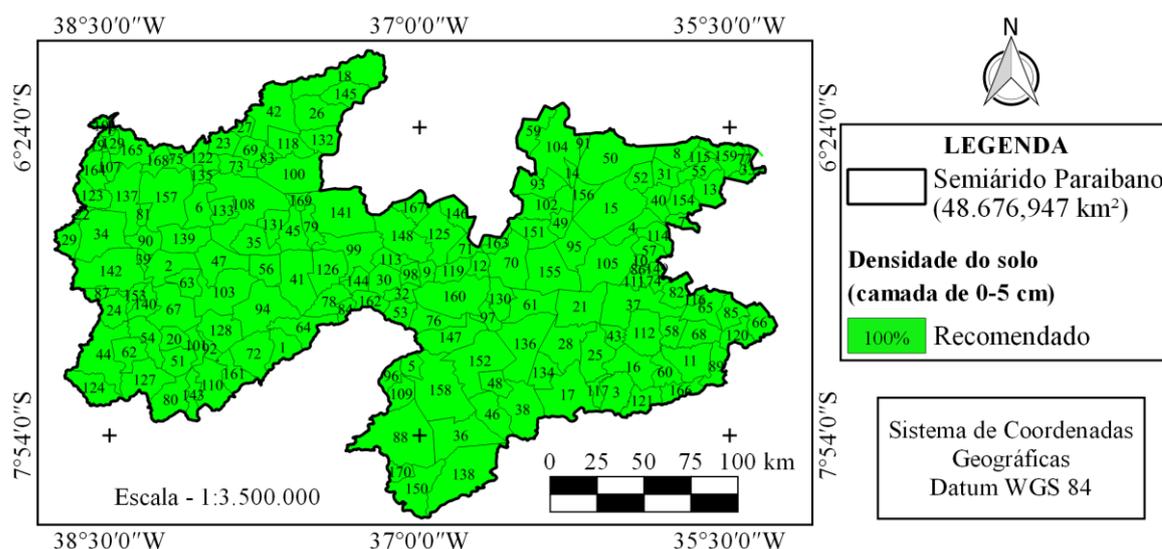


Figura 9. Áreas recomendadas para utilização da densidade do solo (DS) na camada de 0-5 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

O aumento da DS com o processo de desertificação está relacionado principalmente com a conversão de uso do solo (florestas nativas para uso agropecuário), e práticas de manejo inadequadas, que reduzem os teores de matéria orgânica do solo. A redução dos teores de matéria orgânica do solo representa sérios problemas ambientais, visto que, tem papel fundamental na proteção do solo contra o contato direto das gotas de chuva, que tendem a selar os poros superficiais, elevando o escoamento superficial e os processos erosivos, e na proteção contra o pisoteio animal, por dispersar parte da energia de compactação (Braida et al., 2006).

3.1.2 Valores de referência para os indicadores na camada de 0-5 cm

Os valores de referência variaram em função do parâmetro analisado (Tabela 5). Estes valores foram obtidos de toda a região semiárida paraibana, por isso podem ser utilizados para o monitoramento do nível de desertificação de áreas nessa região. Em trabalho realizado por Granatstein e Bezdicek (1992), constatou-se que a avaliação da qualidade do solo pode ser realizada por meio de pontos adequados de referência e intervalos ótimos.

Tabela 5. Valores de referência para avaliação do nível de desertificação na camada de 0-5 cm de profundidade, no Semiárido paraibano.

Indicador	Unidade	Nível de desertificação					
		Ausente (0)	Muito baixo (1)	Baixo (2)	Médio (3)	Alto (4)	Muito alto (5)
Ca ²⁺	cmol _c dm ³	≥ 7,43	7,42 - 6,77	6,76 - 6,11	6,10 - 5,45	5,44 - 4,79	≤ 4,78
Na ⁺	cmol _c dm ³	< 0,06	0,06 - 0,07	0,08 - 0,09	0,10 - 0,11	0,12 - 0,13	> 0,13
H+Al	cmol _c dm ³	≥ 3,11	3,10 - 2,80	2,79 - 2,49	2,48 - 2,17	2,16 - 1,85	≤ 1,84
CTC total	cmol _c dm ³	≥ 13,18	13,17 - 12,35	12,34 - 11,53	11,52 - 10,71	10,70 - 9,89	≤ 9,88
COT	g kg ⁻¹	≥ 28,71	28,70 - 22,33	22,32 - 15,96	15,95 - 9,59	9,58 - 3,22	≤ 3,21
M	%	≤ 0,15	0,16 - 0,57	0,58 - 0,99	1,00 - 1,42	1,43 - 1,85	≥ 1,86
PST	%	≤ 0,49	0,50 - 0,75	0,76 - 1,02	1,03 - 1,29	1,30 - 1,56	≥ 1,57
DS	g cm ⁻³	≤ 1,12	1,13 - 1,20	1,21 - 1,28	1,29 - 1,36	1,37 - 1,44	≥ 1,45

COT: carbono orgânico total; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo.

Os indicadores selecionados com base nos valores dos atributos do solo foram obtidos pelo método da EMBRAPA, ou seja, está acessível do ponto de vista financeiro e espacial, para a maior parte da região semiárida paraibana. Neste contexto, verifica-se que os indicadores selecionados são adequados para avaliação do nível de desertificação da região semiárida, tendo em vista que bons indicadores devem ser fáceis de mensurar (Gregorich et al., 1994), práticos para o uso de uma ampla gama de profissionais e ser utilizado em várias situações ambientais e econômicas (Granatstein e Bezdicek, 1992).

3.1.3 Peso dos indicadores na camada de 0-5 cm

Com base na análise de componentes principais, constata-se na camada de 0-5 cm a formação de 6 componentes principais, PCA 1, PCA 2, PCA 3, PCA 4, PCA 5 e PCA 6, que explicam 26,71, 18,17, 12,34, 11,19, 6,93 e 5,38% da variação dos dados, respectivamente, totalizando 80,42% da variação acumulada. Os pesos dos indicadores, na camada de 0-5 cm, variaram dentro dos componentes principais e entre componentes principais (Tabela 6).

Tabela 6. Peso dos indicadores na camada de 0-5 cm, para avaliação do nível de desertificação do Semiárido paraibano.

Indicador	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4	PCA 5	PCA 6
Ca ²⁺	0,3776	0,0271	0,0239	0,0382	0,0911	0,0867
Na ⁺	0,0823	0,1773	0,3424	0,1864	0,1249	0,0103
H+Al	0,0011	0,3392	0,1594	0,2326	0,1581	0,3795
CTC total	0,3649	0,0675	0,1583	0,0730	0,1482	0,1098
COT	0,1638	0,2621	0,1854	0,2681	0,0983	0,0876
M	0,1553	0,0984	0,4265	0,0457	0,2544	0,1728
PST	0,2363	0,1932	0,1384	0,2147	0,0064	0,0699
DS	0,1212	0,2210	0,2162	0,2915	0,1494	0,0100

H+Al: acidez potencial; COT: carbono orgânico total; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo.

Levando-se em consideração os valores da tabela 6 e a porcentagem de variação explicada por cada componente principal na camada de 0-5 cm (PCA 1 = 26,71, PCA 2 = 18,17, PCA 3 = 12,34, PCA 4 = 11,19, PCA 5 = 6,93 e PCA 6 = 5,38), como valor de ponderação para obtenção de uma média geral, obteve-se os seguintes pesos para os indicadores, em ordem crescente: Ca^{2+} = 0,1536, Na^+ = 0,1567, H+Al = 0,1722, DS = 0,1768, PST = 0,1778, saturação por Al = 0,1784, CTC total = 0,1903 e COT = 0,1930. A padronização dos pesos, variou em função do tipo e número de indicadores (Tabela 7), demonstrando que o nível de importância de cada indicador varia de região para região, dentro do Semiárido paraibano.

Tabela 7. Peso padronizado para os indicadores na camada de 0-5 cm, em função do tipo e número de indicadores na parcela.

NI	Indicadores selecionados	Nº da Parcela	Peso padronizado							
			Ca ²⁺	Na ⁺	H+Al	CTC total	COT	m	PST	DS
3	Na ⁺ , COT e DS	9	-	0,2976	-	-	0,3666	-	-	0,3358
3	Ca ²⁺ , COT e DS	16	0,2935	-	-	-	0,3687	-	-	0,3378
4	Na ⁺ , COT, PST e DS	7	-	0,2225	-	-	0,2740	-	0,2524	0,2510
4	Ca ²⁺ , CTC total, COT e DS	10, 14, 15	0,2152	-	-	0,2666	0,2704	-	-	0,2477
4	Na ⁺ , H+Al, COT e DS	17	-	0,2243	0,2465	-	0,2762	-	-	0,2530
5	Na ⁺ , H+Al, COT, PST e DS	6, 11	-	0,1788	0,1965	-	0,2202	-	0,2029	0,2017
5	Ca ²⁺ , H+Al, CTC total, COT e DS	20	0,1734	-	0,1944	0,2148	0,2179	-	-	0,1996
6	Ca ²⁺ , H+Al, CTC total, COT, PST e DS	4	0,1444	-	0,1619	0,1789	0,1814	-	0,1672	0,1662
6	Ca ²⁺ , Na ⁺ , H+Al, COT, PST e DS	8	0,1491	0,1521	0,1672	-	0,1874	-	0,1726	0,1716
6	Ca ²⁺ , H+Al, CTC total, COT, m e DS	12	0,1443	-	0,1618	0,1788	0,1813	0,1679	-	0,1661
7	Ca ²⁺ , Na ⁺ , H+Al, CTC total, COT, PST e DS	1, 3, 5, 19 e 22	0,1259	0,1284	0,1411	0,1559	0,1581	-	0,1457	0,1449
7	Ca ²⁺ , H+Al, CTC total, COT, m, PST e DS	2	0,1236	-	0,1386	0,1532	0,1553	0,1438	0,1431	0,1423
7	Ca ²⁺ , Na ⁺ , CTC total, COT, m, PST e DS	13	0,1252	0,1277	-	0,1551	0,1573	0,1457	0,1449	0,1441
7	Na ⁺ , H+Al, CTC total, COT, m, PST e DS	18	-	0,1258	0,1383	0,1528	0,1550	0,1435	0,1428	0,1420
8	Ca ²⁺ , Na ⁺ , H+Al, CTC total, COT, m, PST e DS	21	0,1098	0,1120	0,1231	0,1360	0,1379	0,1277	0,1271	0,1264

NI: número de indicadores; H+Al: acidez potencial; COT: carbono orgânico total; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de saturação por sódio; DS: densidade do solo.

Ao classificar a importância dos indicadores para a camada de 0-5 cm do Semiárido paraibano, com base nos pesos dos indicadores e níveis de abrangência, constatou-se que os indicadores apresentam o mesmo nível em relação ao peso (5), contudo, o COT e o DS se destacaram por apresentar os maiores níveis de abrangência (1), sendo considerados de maior importância.

3.1.4 Índice do nível de desertificação para a camada de 0-5 cm (IND_{0,5})

O índice do nível de desertificação para a camada de 0-5 cm (IND_{0,5}), apresentou níveis variando de 0 (ausência de desertificação) a 3 (médio nível de desertificação) nas áreas conservadas, com predominância de parcelas nos níveis 0 (36,36%), 1 (45,45%) e 2 (9,09%), totalizando 90,9%, e níveis variando de 3 (médio nível de desertificação) a 5 (alto nível de desertificação) nas áreas desertificadas, com predominância de parcelas nos níveis 4 (50,00%) e 5 (40,91%), totalizando 90,91% (Tabela 8). De modo geral, verifica-se que na camada de 0-5 cm, as áreas conservadas apresentaram um valor médio classificado como nível de desertificação muito baixo (1), e as áreas desertificadas um valor médio classificado como alto nível de desertificação (4).

A variação no nível das áreas conservadas e desertificadas eram esperadas devido a heterogeneidade do Semiárido paraibano. Essa região apresenta elevado grau de antropização, com aproximadamente 85% da área apresentando acentuado ou severo nível de desertificação (Sá et al., 2013), dificultando principalmente a obtenção de áreas preservadas ou até mesmo com alto nível de conservação.

Com base na tabela 8, verifica-se que a área conservada da parcela 1, pode ser manejada para melhorar os teores de Ca^{2+} , CTC total e COT, visando a melhor conservação dos recursos naturais. Com relação as áreas desertificadas, constata-se problemas generalizados, que estão relacionados principalmente com os baixos teores de COT, sendo recomendado sistemas de manejo que permitam a elevação do nível deste indicador, visto que, a matéria orgânica correlacionar-se com a maioria das propriedades do solo (Mielnickzuk, 2008). Neste contexto, observa-se o potencial deste sistema para o planejamento do manejo mais adequado para cada região do Semiárido paraibano.

Tabela 8. Níveis dos indicadores e índice do nível de desertificação na camada de 0-5 cm (IND_{0.5}), em áreas conservadas e desertificadas do Semiárido paraibano.

Parcela	Área conservada										Área desertificada										
	Ca ²⁺	Na ⁺	H+Al	CTC total	COT	m	PST	DS	IND _{0.5}		Ca ²⁺	Na ⁺	H+Al	CTC total	COT	m	PST	DS	IND _{0.5}		
	----- Nível -----																				
1	5	0	3	5	3	-	1	1	3	5	5	5	5	4	-	5	3	5			
2	3	-	0	2	0	0	3	0	1	5	-	5	5	4	5	5	4	5			
3	5	0	0	3	2	-	0	0	1	5	5	3	5	4	-	5	3	4			
4	2	-	4	3	1	-	1	0	2	5	-	5	5	5	-	5	5	5			
5	0	4	1	0	2	-	1	2	1	5	5	5	5	5	-	5	5	5			
6	-	5	0	-	2	-	5	2	3	-	5	5	-	4	-	5	5	5			
7	-	0	-	-	2	-	1	0	1	-	5	-	-	5	-	5	5	5			
8	0	0	1	-	0	-	1	0	0	3	3	5	-	5	-	2	4	4			
9	-	0	-	-	1	-	-	1	1	-	4	-	-	4	-	-	3	4			
10	0	-	-	0	0	-	-	0	0	1	-	-	1	5	-	-	5	3			
11	-	0	0	-	0	-	0	1	0	-	5	4	-	4	-	3	5	4			
12	0	-	0	0	0	0	-	1	0	3	-	2	4	5	4	-	2	3			
13	0	0	-	1	1	0	0	0	0	5	3	-	5	4	5	4	5	4			
14	1	-	-	5	0	-	-	0	2	5	-	-	5	5	-	-	3	5			
15	0	-	-	0	0	-	-	2	0	5	-	-	5	5	-	-	4	5			
16	2	-	-	-	0	-	-	1	1	5	-	-	-	5	-	-	5	5			
17	-	1	4	-	0	-	-	0	1	-	3	5	-	5	-	-	4	4			
18		0	0	5	2	0	0	1	1	-	1	5	5	5	5	4	2	4			
19	0	1	0	0	1	-	0	4	1	5	4	3	4	5	-	3	5	4			
20	1	-	0	1	0	-	-	5	1	5	-	1	5	5	-	-	5	4			
21	1	0	0	0	0	2	0	0	0	5	5	0	1	4	5	5	5	4			
22	0	2	0	0	0	-	0	0	0	5	5	0	5	5	-	5	4	4			
VM	1										VM	4									
Nível	0	1	2	3	4	5				Nível	0	1	2	3	4	5					
Nº Parcela	8	10	2	2	0	0				Nº Parcela	0	0	0	2	11	9					
%	36,36	45,45	9,09	9,09	0,00	0,00				%	0,00	0,00	0,00	9,09	50,00	40,91					

COT: carbono orgânico total; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo; - : parâmetro não recomendado como indicador; VM: valor médio; 0: ausência de desertificação; 1: nível de desertificação muito baixo; 2: nível de desertificação baixo; 3: nível de desertificação médio; 4: nível de desertificação alto; 5: nível de desertificação muito alto.

3.2 Indicadores e índice de nível de desertificação para a camada de 5-20 cm

3.2.1 Seleção e abrangência de indicadores no Semiárido paraibano

Na camada de 5-20 cm, constatou-se que o processo de desertificação tendeu a reduzir os teores de K^+ e COT, e o aumentar os valores de Na^+ , PST e DS (Tabela 9).

Tabela 9. Valores médios e diferença entre médias dos atributos químicos e físicos do solo, na camada de 5-20 cm de profundidade, em áreas conservadas (C) e desertificadas (D) no Semiárido paraibano.

Descrição	pH		P		K^+	
	C	D	C	D	C	D
Média	6,15 ± 0,65	5,97 ± 0,75	6,73 ± 7,81	6,65 ± 11,22	174 ± 90	90 ± 49
DM	0,18 ^{ns}		0,08 ^{ns}		84**	
CV	10,57	12,63	115,97	168,59	51,75	54,65
Descrição	Ca^{2+}		Mg^{2+}		Na^+	
	C	D	C	D	C	D
Média	6,04 ± 3,74	5,24 ± 4,33	2,35 ± 2,26	3,61 ± 3,18	0,10 ± 0,07	0,37 ± 0,60
DM	0,80 ^{ns}		1,26 ^{ns}		0,27*	
CV	61,87	82,59	96,02	87,93	74,30	162,27
Descrição	Al^{3+}		H+Al		Soma de bases	
	C	D	C	D	C	D
Média	0,07 ± 0,16	0,11 ± 0,19	2,89 ± 1,38	1,84 ± 1,37	8,93 ± 5,60	9,45 ± 6,38
DM	0,04 ^{ns}		1,05 ^{ns}		0,52 ^{ns}	
CV	241,01	166,95	47,70	74,74	62,72	67,51
Descrição	CTC efetiva		CTC a pH 7		Carbono orgânico total	
	C	D	C	D	C	D
Média	9,00 ± 5,55	9,56 ± 6,36	11,82 ± 5,73	11,29 ± 6,57	20,71 ± 10,25	2,59 ± 1,42
DM	0,56 ^{ns}		0,53 ^{ns}		18,12**	
CV	61,68	66,53	48,49	58,23	49,51	54,86
Descrição	Saturação de bases		Saturação por Al		PST	
	C	D	C	D	C	D
Média	72,19 ± 16,83	79,87 ± 16,13	1,75 ± 4,75	2,28 ± 4,81	0,98 ± 0,91	3,38 ± 3,58
DM	7,69 ^{ns}		0,53 ^{ns}		2,40**	
CV	23,32	20,19	271,33	210,68	91,98	106,26
Descrição	Areia muito grossa		Areia grossa		Areia média	
	C	D	C	D	C	D
Média	71 ± 42	71 ± 43	97 ± 36	108 ± 46	150 ± 65	146 ± 50
DM	0,64 ^{ns}		11,50 ^{ns}		3,23 ^{ns}	
CV	59,95	60,63	37,30	42,55	43,40	34,11

Descrição	Areia fina		Areia muito fina		Silte	
	C	D	C	D	C	D
	g kg ⁻¹					
Média	223 ± 88	205 ± 88	99 ± 37	85 ± 21	199 ± 95	236 ± 84
DM	18 ^{ns}		14 ^{ns}		37 ^{ns}	
	%					
CV	39,46	42,95	37,26	24,56	47,68	35,63

Descrição	Argila		Densidade do solo	
	C	D	C	D
	g kg ⁻¹		g cm ⁻³	
Média	162 ± 79	147 ± 87	1,29 ± 0,09	1,41 ± 0,10
DM	15 ^{ns}		0,12 ^{**}	
	%			
CV	48,99	59,04	6,96	7,14

COT: carbono orgânico total; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo; CV: coeficiente de variação; DM: diferença entre médias (Módulo); *Significativo a 5%; **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t pareado.

Os teores de K⁺ apresentaram diferenças variando de 18 a 367 mg kg⁻¹ entre os pares de áreas (conservadas e desertificadas), e MDD de 36,14 mg kg⁻¹. Com relação a esse parâmetro, também se verifica que os pares das parcelas 16 e 20, apresentaram resultados antagônicos aos valores médios. Este parâmetro pode ser recomendado como indicador em 78,0% do Semiárido paraibano, não sendo recomendado para as regiões dos municípios de Taperoá (160), Patos (99), Catolé do Rocha (42), Princesa Isabel (110) e Uiraúna (165) (Figura 10).

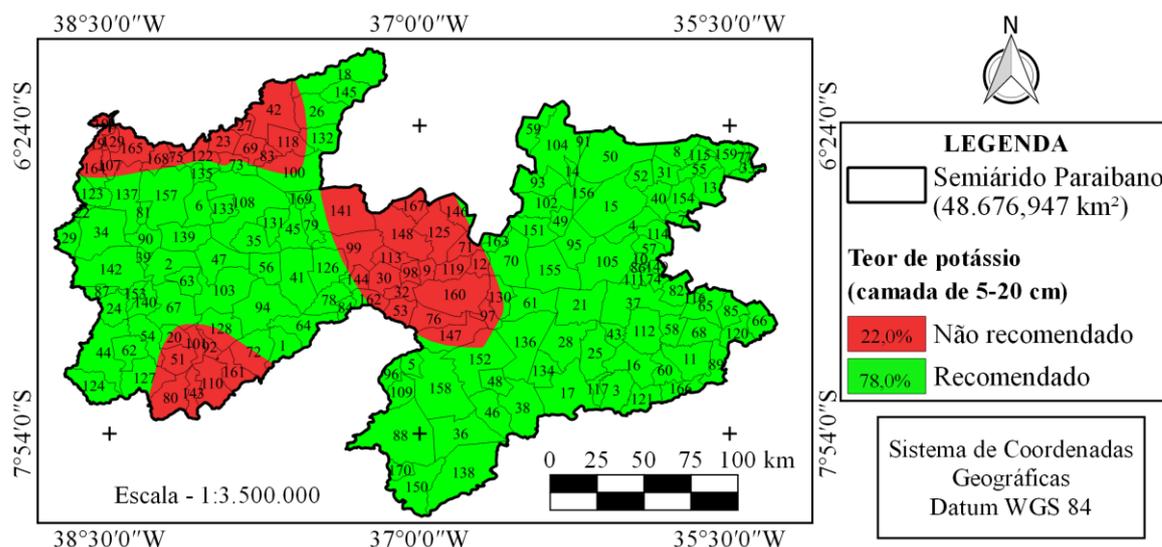


Figura 10. Áreas recomendadas para utilização dos teores de potássio (K⁺) na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

A redução nos teores de K⁺, observados nas áreas onde este parâmetro é recomendado como indicador, está associado principalmente com o manejo inadequado,

que expõem a superfície do solo e eleva o potencial do processo erosivo. Em trabalho realizado por Lobato et al. (2009), utilizando precipitações > 50 mm na região de Caatinga, verificou-se perdas de 4,59 g ha⁻¹ de K⁺, em uma área coberta com gramíneas e poucas espécies de porte arbustivo-arbóreo, e perdas de 5,54 g ha⁻¹ de K⁺, em área com cobertura herbácea rala e predomínio de gramíneas.

Os resultados antagônicos aos valores médios de K⁺ nos pares de parcelas 16 e 20, provavelmente estão relacionados com o elevado teor de K⁺ na rocha matriz destas regiões, que acabam sendo expostas nas áreas desertificadas, por apresentar a decapitação das camadas superficiais.

Os pares de parcelas apresentaram diferenças variando de 1,40 a 40,99 g kg⁻¹, e MDD de 4,53 g kg⁻¹, para os teores de COT, não havendo nenhum par de parcela com resultados antagônicos. Este parâmetro pode ser utilizado como indicador em 91,2% do Semiárido paraibano, não sendo recomendado para as regiões dos municípios de Cacimba de Dentro (31) e Campina Grande (37) (Figura 11).

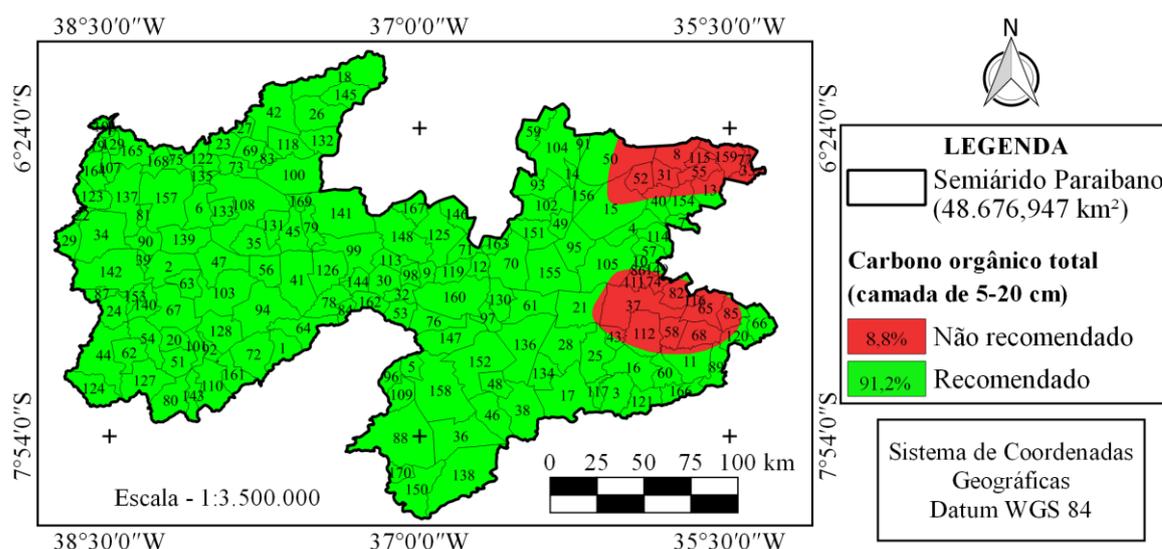


Figura 11. Áreas recomendadas para utilização dos teores de carbono orgânico total (COT) na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Assim como na camada de 0-5 cm, os teores de COT na camada de 5-20 cm também estão diretamente relacionados com a densidade e composição da cobertura vegetal, por serem provenientes da serapilheira depositada ao longo dos anos. A menor abrangência deste indicador na camada de 5-20 cm está associada com a maior profundidade de coleta. Em trabalho realizado por Pavinato et al. (2009), verificou-se que os teores de matéria orgânica, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, e o valor de pH, tendem a diminuir com a

profundidade do solo. Esses resultados indicam que a camada de 0-5 cm é mais sensível ao processo de desertificação do que a camada de 5-20 cm, e que a abrangência e o número de indicadores para a avaliação do nível de desertificação tendem a diminuir com a profundidade do solo.

Os teores de Na^+ apresentaram diferenças variando de 0,01 a 2,58 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ entre os pares de áreas (conservadas e desertificadas), com exceção para o par da parcela 1 (sem diferença), MDD de 0,27 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e resultados antagônicos aos valores médios para os pares das parcelas 2, 10, 12, 15 e 16. Este parâmetro é recomendado como indicador em apenas 29% do Semiárido paraibano, envolvendo as regiões dos municípios de Campina Grande (37), Picuí (104), Taperoá (160), Patos (99) e São José do Brejo do Cruz (145) (Figura 12).

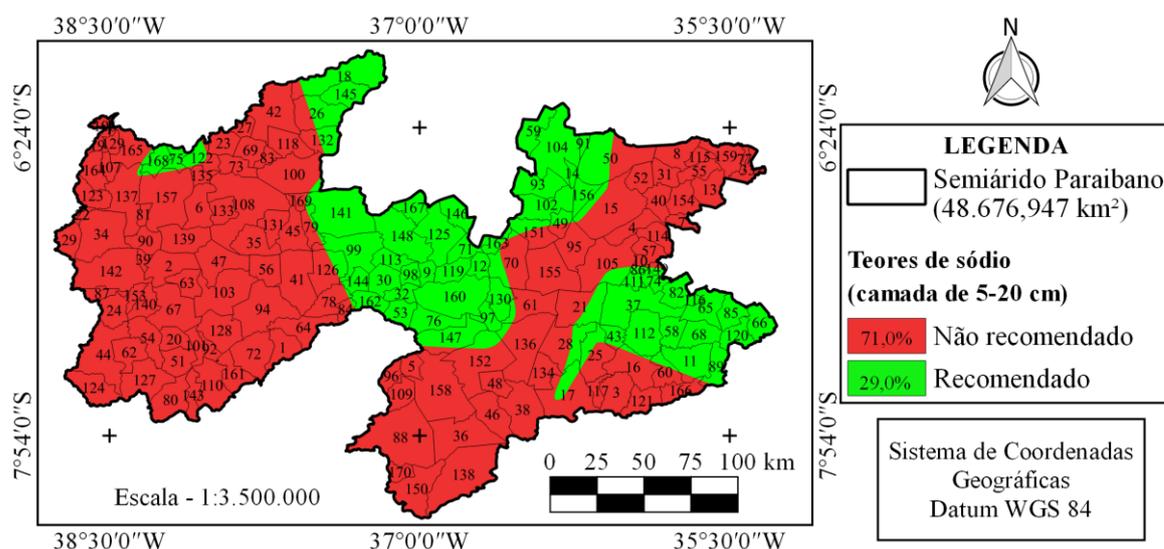


Figura 12. Áreas recomendadas para utilização dos teores de sódio (Na^+) na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Com o aumento do teor de Na^+ , observado nas áreas onde o indicador é recomendado, tende-se a reduzir a disponibilidade de água para as plantas, por afetar o potencial osmótico do solo (Lopes e Macedo, 2008), e diminuir a absorção de nutrientes (Lucena et al., 2012), comprometendo a germinação das sementes (Andréo-Souza et al., 2010), crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os valores de PST apresentaram diferenças de 0,03 a 12,94% entre os pares de áreas (conservadas e desertificadas), com exceção para o par da parcela 12 (sem diferença), MDD de 1,53%, e resultados antagônicos aos valores médios para os pares das parcelas 6, 15 e 16. Este parâmetro é recomendado como indicador em 53,0% do Semiárido paraibano, abrangendo a região dos municípios de Campina Grande (37), Riacho de Santo

Antônio (117), São Domingos do Cariri (134), Picuí (104), Taperoá (160), Patos (99), São José do Brejo do Cruz (145), Bonito de Santa Fé (24) e Marizópolis (81) (Figura 13).

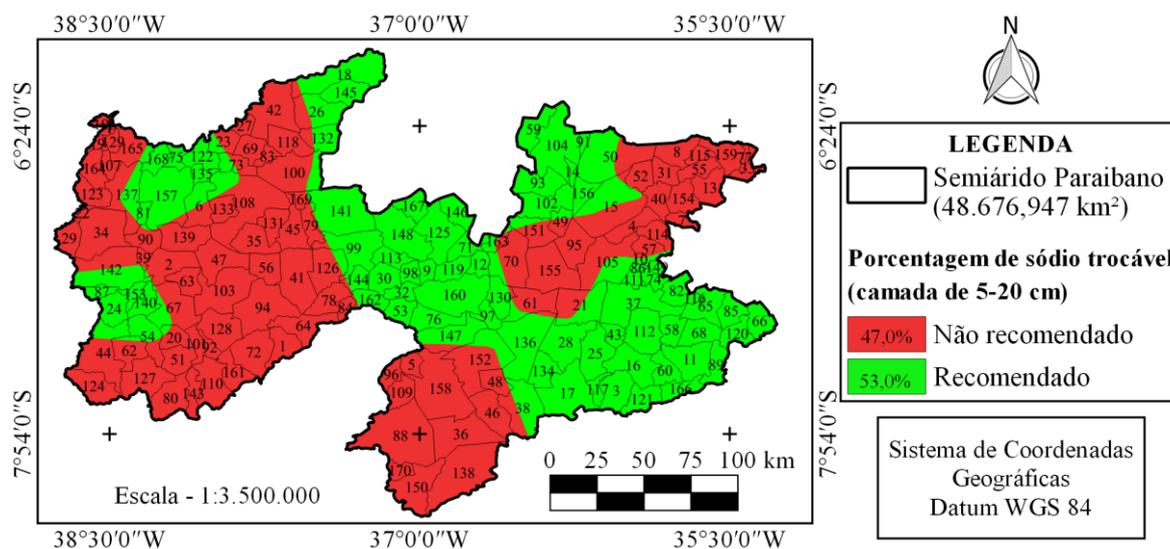


Figura 13. Áreas recomendadas para utilização da porcentagem de sódio trocável (PST) na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Os pares de área apresentaram diferenças variando de 0,01 a 0,34 g cm⁻³, MDD de 0,05 g cm⁻³ e valores antagônicos aos valores médios de DS para os pares das parcelas 5, 9 e 12. A DS é recomendada como indicador em 55,6% do Semiárido paraibano, abrangendo a região dos municípios de Algodão de Jandaíra (4), Bonito de Santa Fé (24), Cajazeiras (34), Campina Grande (37), Catolé do Rocha (42), Coremas (47), Marizópolis (81), Patos (99), Princesa Isabel (110), Riacho de Santo Antônio (117), Santa Inês (124) e Taperoá (160) (Figura 14).

A menor abrangência da DS como indicador no Semiárido paraibano na camada de 5-20 cm, em relação a camada de 0-5 cm, está relacionada com o menor teor de matéria orgânica desta camada. De acordo com Leite et al. (2010), a região semiárida tem naturalmente baixos estoques de matéria orgânica, principalmente nas camadas subsuperficiais, em função especialmente da baixa produtividade primária líquida, o que em última análise, tem sido decisivo para aparecimento de processos de degradação do solo.

A elevação da DS, observada nas áreas desertificadas, indicam a formação de uma camada compactada. Essa estrutura além de elevar o escoamento superficial, potencializando o processo erosivo (Souza et al., 2007) e as perdas de solo, nutrientes e de matéria orgânica (Lobato et al., 2009), também limita o crescimento do sistema radicular,

ocasionando reduções da taxa fotossintética, absorção de água e nutrientes (Kozlowski, 1999).

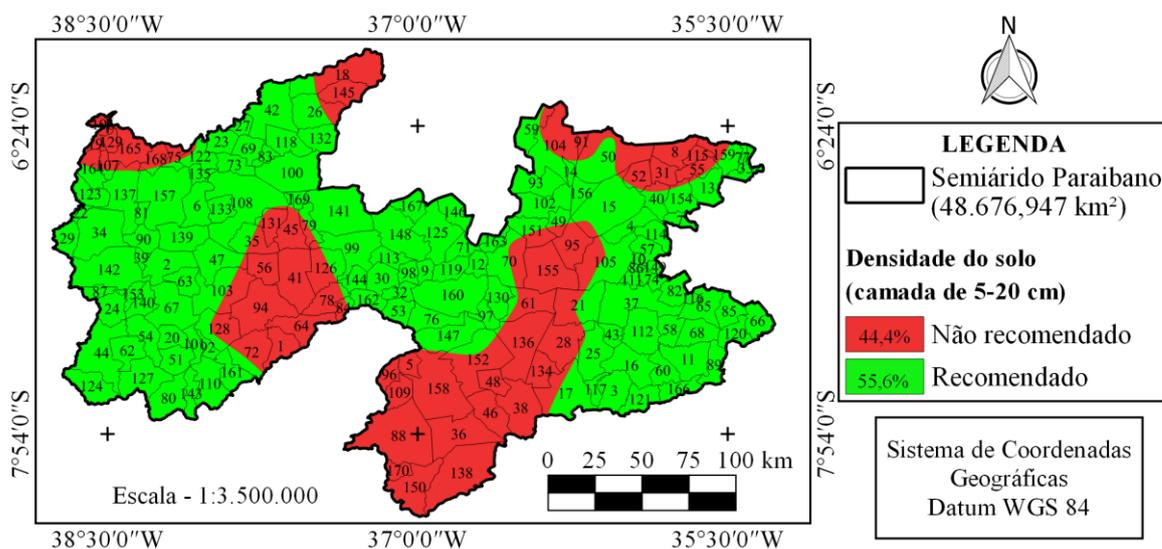


Figura 14. Áreas recomendadas para utilização da densidade do solo na camada de 5-20 cm de profundidade, como indicador do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

3.2.2 Valores de referência para os indicadores na camada de 5-20 cm

Os valores de referência variaram em função do parâmetro analisado (Tabela 10), e por serem de todo o Semiárido paraibano, como na camada de 0-5 cm, podem ser utilizados para o monitoramento do nível de desertificação de áreas nessa região.

Tabela 10. Valores de referência para avaliação do nível de desertificação na camada de 5-20 cm de profundidade, no Semiárido paraibano.

Indicador	Unidade	Nível de desertificação					
		Ausente (0)	Muito baixo (1)	Baixo (2)	Médio (3)	Alto (4)	Muito alto (5)
K ⁺	mg dm ⁻³	≥ 174	173 – 153	152 – 132	131 – 112	111 - 91	≤ 90
Na ⁺	cmol _c dm ³	≤ 0,10	0,11 - 0,16	0,17 - 0,22	0,23 - 0,29	0,30 - 0,36	≥ 0,37
COT	g kg ⁻¹	≥ 20,71	20,70 - 16,18	16,17 - 11,65	11,64 - 7,13	7,12 - 2,60	≤ 2,59
PST	%	≤ 0,98	0,99 - 1,58	1,59 - 2,18	2,19 - 2,77	2,78 - 3,37	≥ 3,38
DS	g cm ⁻³	≤ 1,29	1,30 - 1,32	1,33 - 1,35	1,36 - 1,37	1,38 - 1,40	≥ 1,41

COT: carbono orgânico total; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo.

3.2.3 Peso dos indicadores na camada de 5-20 cm

Na camada de 5-20 cm, observou-se a formação de 6 componentes principais, PCA 1, PCA 2, PCA 3, PCA 4, PCA 5 e PCA 6, que explicam 26,87, 15,97, 13,73, 9,61, 7,87 e 6,10%, respectivamente, totalizando 80,15% da variação acumulada. Os pesos dos

indicadores, na camada de 5-20 cm, variaram dentro dos componentes principais e entre componentes principais (Tabela 11).

Tabela 11. Peso dos indicadores na camada de 5-20 cm, para avaliação do nível de desertificação do Semiárido paraibano.

Indicador	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4	PCA 5	PCA 6
K ⁺	0,0586	0,1528	0,2273	0,2746	0,2231	0,1535
Na ⁺	0,1112	0,2359	0,3998	0,0006	0,1315	0,2297
COT	0,0902	0,0291	0,3358	0,3211	0,0069	0,3371
PST	0,0459	0,1156	0,4187	0,1268	0,1053	0,2534
DS	0,0200	0,0063	0,3218	0,1710	0,0163	0,0236

COT: carbono orgânico total; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo.

Com base nos valores da tabela 11 e na porcentagem de variação explicada por cada componente principal na camada de 5-20 cm (PCA 1 = 26,87, PCA 2 = 15,97, PCA 3 = 13,73, PCA 4 = 9,61, PCA 5 = 7,87 e PCA 6 = 6,10), como valor de ponderação para obtenção de uma média geral, obtiveram-se os seguintes pesos para os indicadores, em ordem crescente: DS = 0,0870, PST = 0,1550, K⁺ = 0,1555, COT = 0,1584 e Na⁺ = 0,1832. A padronização dos pesos variou em função do tipo e número de indicadores (Tabela 12).

Tabela 12. Peso padronizado para os indicadores na camada de 5-20 cm, em função do tipo e número de indicadores na parcela.

NI	Indicadores selecionados	Nº da Parcela	Peso padronizado				
			K ⁺	Na ⁺	COT	PST	DS
1	K ⁺	1	1,0000	-	-	-	-
1	COT	20	-	-	1,0000	-	-
2	K ⁺ e COT	6, 9, 10 e 12	0,4954	-	0,5046	-	-
2	COT e DS	14 e 16	-	-	0,6455	-	0,3545
3	K ⁺ , COT e DS	2, 15, 17 e 19	0,3879	-	0,3951	-	0,2170
3	K ⁺ , COT e PST	5	0,3316	-	0,3378	0,3306	-
4	K ⁺ , Na ⁺ , PST e DS	3	0,2678	0,3155	-	0,2669	0,1498
4	K ⁺ , COT, PST e DS	4, 18 e 22	0,2797	-	0,2849	0,2788	0,1565
4	K ⁺ , Na ⁺ , COT e PST	7 e 13	0,2385	0,2809	0,2429	0,2377	-
4	Na ⁺ , COT, PST e DS	8 e 11	-	0,3139	0,2714	0,2656	0,1491
5	K ⁺ , Na ⁺ , COT, PST e DS	21	0,2104	0,2479	0,2143	0,2097	0,1177

NI: número de indicadores; COT: carbono orgânico total; PST: porcentagem de saturação por sódio; DS: densidade do solo.

Ao avaliar a importância do indicador para a camada de 5-20 cm da região semiárida, com base em um nível médio proveniente dos parâmetros peso e abrangência, verificou-se que os indicadores apresentaram o mesmo nível de peso (5), porém, níveis diferentes em relação a abrangência, destacando-se o COT (1), e K⁺ (2), sendo estes indicadores os mais relevantes.

3.2.4 Índice do nível de desertificação para a camada de 5-20 cm (IND₅₋₂₀)

O índice do nível de desertificação para a camada de 5-20 cm (IND₅₋₂₀), apresentou níveis variando de 0 (ausência de desertificação) a 2 (baixo nível de desertificação) nas áreas conservadas, com predominância de parcelas nos níveis 0 (50,00%) e 1 (36,64%), totalizando 86,64%, e níveis variando de 3 (médio nível de desertificação) a 5 (alto nível de desertificação) nas áreas desertificadas, com predominância de parcelas nos níveis 5 (45,45%) e 4 (36,36%), totalizando 81,81% (Tabela 13). De modo geral, verifica-se que na camada de 5-20 cm, as áreas conservadas apresentaram um valor médio classificado como nível de desertificação muito baixo (1), e as áreas desertificadas um valor médio classificado como alto nível de desertificação (4).

Com base na tabela 13, constata-se que as áreas conservadas localizadas nas parcelas 3, 12, 13, 17 e 21 podem apresentar problemas com os teores de K⁺, e as parcelas 2, 5 e 18, problemas com os teores de COT, sendo recomendado o manejo destas áreas para melhorar os valores destes indicadores. Com relação às áreas desertificadas, constata-se que de um modo geral, há problemas com os baixos níveis de COT, assim como observado na camada de 0-5 cm. Portanto, recomenda-se a adoção de práticas de manejo que elevem os teores de COT no sistema, influenciando positivamente os demais indicadores.

Tabela 13. Níveis dos indicadores e índice do nível de desertificação na camada de 5-20 cm (IND₅₋₂₀), em áreas conservadas e desertificadas do Semiárido paraibano.

Parcela	Área conservada						Área desertificada					
	K ⁺	Na ⁺	COT	PST	DS	IND ₅₋₂₀	K ⁺	Na ⁺	COT	PST	DS	IND ₅₋₂₀
	-----Nível-----											
1	0	-	-	-	-	0	4	-	-	-	-	4
2	0	-	3	-	0	1	2	-	5	-	4	4
3	5	1	-	2	0	2	5	5	-	5	5	5
4	0	-	0	0	1	0	1	-	5	3	5	3
5	2	-	3	2	-	2	5	-	4	5	-	5
6	0	-	2	-	-	1	1	-	4	-	-	3
7	2	0	1	1	-	1	5	5	5	4	-	5
8	-	0	1	0	0	0	-	5	5	5	5	5
9	0	-	0	-	-	0	4	-	4	-	-	4
10	0	-	0	-	-	0	4	-	4	-	-	4
11	-	0	0	0	1	0	-	5	4	4	5	4
12	3	-	0	-	-	1	5	-	5	-	-	5
13	3	0	1	0	-	1	5	5	4	5	-	5
14	-	-	0	-	0	0	-	-	5	-	5	5
15	0	-	0	-	0	0	2	-	4	-	4	3
16	-	-	0	-	0	0	-	-	5	-	0	3
17	3	-	2	-	0	2	5	-	5	-	2	4
18	2	-	3	0	0	1	5	-	5	5	1	4
19	0	-	1	-	2	1	5	-	5	-	5	5

Parcela	Área conservada						Área desertificada					
	K ⁺	Na ⁺	COT	PST	DS	IND ₅₋₂₀	K ⁺	Na ⁺	COT	PST	DS	IND ₅₋₂₀
20	-	-	0	-	-	0	-	-	5	-	-	5
21	4	0	0	0	0	1	5	5	5	5	5	5
22	0	-	0	0	0	0	1	-	5	5	5	4
VM						1						4
Nível	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Nº parcelas	11	8	3	0	0	0	0	0	0	4	8	10
%	50,00	36,36	13,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,18	36,36	45,45

COT: carbono orgânico total; PST: porcentagem de sódio trocável; DS: densidade do solo; -: indicador não recomendado; VM: valor médio; 0: ausência de desertificação; 1: nível de desertificação muito baixo; 2: nível de desertificação baixo; 3: nível de desertificação médio; 4: nível de desertificação alto; 5: nível de desertificação muito alto.

3.3. Índice do nível de desertificação final (IND_F), para o Semiárido paraibano

Com relação ao IND_F, constatou-se que áreas conservadas apresentaram 31,82, 50,00 e 18,18% das parcelas com níveis ausentes, muito baixos e baixos de desertificação, respectivamente, e as áreas desertificadas apresentam 68,18 e 31,82% das parcelas com níveis altos a muito altos de desertificação, respectivamente (Tabela 14). De modo geral, verifica-se que as áreas conservadas apresentaram um valor médio classificado como nível de desertificação muito baixo (1), e as áreas desertificadas nível de desertificação alto (4). Esses resultados demonstram o ajuste do IND_F, para a avaliação do nível de desertificação no Semiárido paraibano.

Para se obter maior precisão do nível de desertificação, recomenda-se o uso de vários indicadores do processo, formando um índice, visto que, indicadores físicos e químicos testados individualmente podem não ser sensíveis para diferenciar áreas, como observado por Lima et al. (2007) no semiárido cearense.

A avaliação da desertificação por meio de um índice permite a obtenção de um valor único, que integra diversos parâmetros mensuráveis, assim como a identificação dos pontos mais críticos de cada área em estudo. Com essas informações é possível realizar um planejamento mais adequado para prevenção do avanço da desertificação, e para a recuperação de áreas desertificadas.

Tabela 14. Índice do nível de desertificação final (IND_F), em áreas conservadas e desertificadas, no Semiárido paraibano.

Área conservada							Área desertificada					
Parcela	IND_{0-5}	IND_{5-20}	IND_F				Parcela	IND_{0-5}	IND_{5-20}	IND_F		
1	3	0	1				1	5	4	4		
2	1	1	1				2	5	4	4		
3	1	2	2				3	4	5	5		
4	2	0	1				4	5	3	4		
5	1	2	2				5	5	5	5		
6	3	1	2				6	5	3	4		
7	1	1	1				7	5	5	5		
8	0	0	0				8	4	5	4		
9	1	0	0				9	4	4	4		
10	0	0	0				10	3	4	4		
11	0	0	0				11	4	4	4		
12	0	1	1				12	3	5	4		
13	0	1	1				13	4	5	5		
14	2	0	1				14	5	5	5		
15	0	0	0				15	5	3	4		
16	1	0	0				16	5	3	4		
17	1	2	2				17	4	4	4		
18	1	1	1				18	4	4	4		
19	1	1	1				19	4	5	5		
20	1	0	1				20	4	5	5		
21	0	1	1				21	4	5	4		
22	0	0	0				22	4	4	4		
VM							VM					
Nível	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Nº Parcelas	7	11	4	0	0	0	0	0	0	0	15	7
%	31,82	50,00	18,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,18	31,82

IND_{0-5} : índice do nível de desertificação na camada de 0-5 cm; IND_{5-20} : índice do nível de desertificação na camada de 5-20 cm; VM: valor médio; 0: ausência de desertificação; 1: nível de desertificação muito baixo; 2: nível de desertificação baixo; 3: nível de desertificação médio; 4: nível de desertificação alto; 5: nível de desertificação muito alto.

4. CONCLUSÃO

O processo de desertificação no Semiárido paraibano reduz os teores de carbono orgânico total e aumenta os valores de Na^+ , PST e DS, independente da camada, e diminui os valores de Ca^{2+} , H+Al, CTC total na camada de 0-5 cm, e de K^+ na camada de 5-20 cm.

A abrangência dos indicadores no Semiárido paraibano, para a camada de 0-5 cm, apresenta a seguinte ordem: carbono orgânico total (100%), densidade do solo (100%), H+Al (68,0%), CTC total (66,0%), Na^+ (64,2%), Ca^{2+} (62,4%), porcentagem de sódio trocável (61,4%) e saturação por Al^{3+} (18,2%). Na camada de 5-20 cm, segue a ordem: carbono orgânico total (91,2%), K^+ (78,0%), densidade do solo (55,6%), porcentagem de sódio trocável (53,0%) e Na^+ (29,0%).

O índice do nível de desertificação final (IND_F), elaborado com base nas camadas de 0-5 e 5-20 cm, e seus respectivos indicadores por região, permitem avaliar com precisão o nível de desertificação em áreas do Semiárido paraibano, e apontar quais atributos do solo são mais limitantes para restauração da cobertura florestal.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, J. R. A. de; CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S.; BASSOI, L. H.; SILVA FILHO, J. G. Espacialização da Porcentagem de Sódio Trocável do Solo no Perímetro Irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe. Aracajú: EMBRAPA, 2010. 17 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 61)

ANDRÉO-SOUZA, Y.; PEREIRA, A.L.; SILVA, F.F.S.; RIEBEIRO-REIS, R.C.; EVANGELISTA, M.R.V.; CASTRO, R.D.; DANTAS, B.F. Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 083-092, jun. 2010.

BARROS, M.F.C.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ V., V.H.; RUIZ, H.A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 59-64, abr. 2004.

BEUTLER, A.N.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 923-928, dez. 2001.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, fev. 2009.

CAPUANI, S; RIGON, J.P.G.; BELTRÃO, N.E.M.; BRITO NETO, J.F. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1269-1274, dez. 2012.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, dez. 2003.

COSTA, F.X.X.; BELTRÃO, N.M.E.M.; SILVA, F.E.A.A. MELO FILHO, J.S.M.; SILVA, M.A.S. Disponibilidade de nutrientes no solo em função de doses de matéria orgânica no plantio da mamona. **Revista Verde**, Mossoró, v. 5, n. 3, p. 204-212, jul.-set. 2010.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.

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**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1283-1296, jun. 2008.

GRANATSTEIN, D.; BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: Local and regional perspectives. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 1-2, p. 12-16, 1992.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, n. 4, p. 367-385, 1994.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A. de; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-646, set. 2001.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido. **Sinótese do Senso Demográfico para o Semiárido**. Campina Grande-PB: INSA, 2012. 203p.

IPNI – International Plant Nutrition Institute. **Manual internacional de Fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KOSMAS, C.; POESEN, J.; BRIASSOULI, H. Indicadores -chave de desertificação a escala das ESA. In.: KOSMAS, C.; KIRKBY, M.; GEESON, N. (Eds). The Medalus project Mediterranean desertification and land use: Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. Luxembourg: European Communities, 1999. p.13-30.

KOZLOWSKI, T.T. Soil compaction and growth of woody plants. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 14, n. 6, p. 596–619, 1999.

LEITE, L.F.C.; PETRESE, V.G.; SAGRILO, E. Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos. In.: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL: CLIMA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS, 2. Fortaleza: CGEE, 2010. 11p.

LIMA, H.V.; OLIVEIRA, T.S; OLIVEIRA, M.M.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.J.B.F. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-

árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1085-1098, out. 2007.

LOBATO, F.A.O.; ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; SANTOS, J.C.N.; LOPES, J.F.B. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 3, n. 2, p. 65-71, jul.-dez. 2009.

LOPES, J.C.; MACEDO, C.M.P. Germinação de sementes de sob influência do teor de substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008.

LUCENA, C.C.; SIQUEIRA, D.L.; MARTINEZ, H.E.P.; CECON, P.R. Efeito do estresse salino na absorção de nutrientes em mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 297-308, mar. 2012.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V. O manejo e a conservação do solo do semi-árido baiano: desafios para sustentabilidade. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 07, n. 03, p. 50-60, nov. 2006.

MENEZES, R. S. C.; GARRIDO, M. S.; MARIN, A. M. P. Fertilidade dos solos no semi-árido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2005. CD Rom.

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. p. 1-6.

MORTIMORE. M. Desertification in North East Brazil: report on a visit to Nucleo Desert. Federal University of Piauí: Teresina, 1994.

NIMER, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 41, n. 4, p. 59-89, 1979.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, jun. 2008.

PAVINATO, P.S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1031-1040, ago. 2009.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R.M.; RAMOS, V.C.; PRATA, A.P.N.; LUCAS, A.A.T.; SANTOS, P.B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, mai.-ago. 2015.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NUNES, F.N.; GEBRIM, F.O. Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos afetado pelo tipo, dose e época de incorporação de adubos verdes ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 997-1006, dez. 2006.

RONQUIN, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite, 2010. 27p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8)

SÁ, I.B.; CUNHA, T.J.F.; TAURA, T.A.; DRUMOND, M.A. Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 3112-3118.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, fev. 2008.

SAS INSTITUTE INC. SAS ® *university edition*: installation guide for Windows. Cary: SAS Institute, 2014.

SATO, J.H.; FIGUEIREDO, C.C.; LEÃO, T.P.; RAMOS, M.L.G.; KATO, E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p. 189-193, fev. 2012.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In.: NOVAIS, R. F. et al. (Ed). 1. ed. **Fertilidade do solo**. Viçosa, 2007. p. 206-223.

SOUSA, E.P.; SILVA, V.P.R.; CAMPOS, J.H.B.C.; OLIVEIRA, S.D. A Teoria da Entropia na Análise da Precipitação no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 386-399, 2012.

SOUZA, B.I.; MENEZES, R.; ARTIGAS, R.C. Efeitos da desertificação na composição de espécies do bioma Caatinga, Paraíba/Brasil. **Investigaciones Geográficas**, México, n. 88, p. 45-59, 2015.

SOUZA, E.S.; ANTONINO, A.C.D.; LIMA, J.R.S.; GOUVEIA NETO, C.G.; SILVA, J.M.; SILVA, I.F. Efeito do encrostamento superficial nas propriedades hidráulicas de um solo cultivado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 2, n. 1, p. 69-74, jan.-mar. 2007.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 196-276, 2002.

CONCLUSÃO GERAL

O Semiárido paraibano é naturalmente suscetível ao processo de desertificação por apresentar a combinação de baixa disponibilidade hídrica com problemas associados a qualidade de alguns atributos do solo, destacando-se pH, fósforo, carbono orgânico total, acidez potencial, CTC potencial, CTC efetiva e saturação por bases, que limitam o crescimento e o desenvolvimento da cobertura vegetal.

O processo de desertificação, geralmente iniciado com o manejo inadequado do solo, ocasiona perdas da biodiversidade e qualidade da estrutura florestal, proporcionando reduções da proteção contra precipitações pluviométricas e incidência direta de raios solares na superfície do solo, com consequente diminuição da resiliência da vegetação.

O nível de desertificação do Semiárido paraibano pode ser qualificado com base em índices, formados por indicadores de vegetação ou indicadores de solo. Os indicadores da vegetação estão relacionados com os parâmetros número de espécies, DoA-T, densidade de plantas, altura média do dossel, CAP-M e CNB-M, e podem ser utilizados em 100, 100, 97,9, 89,7, 71,6 e 56,8%, do Semiárido paraibano, respectivamente. Os indicadores do solo estão relacionados com a camada do solo, sendo observado que na camada de 0-5 cm tem-se carbono orgânico total, densidade do solo, acidez potencial, CTC total, Na^+ , Ca^{2+} , porcentagem de sódio trocável e saturação por Al^{3+} , que podem ser utilizados em 100, 100, 68, 66, 64,2, 62,4, 61,4 e 18,2% do Semiárido paraibano, respectivamente, e na camada de 5-20 cm tem-se carbono orgânico total, K^+ , densidade do solo, porcentagem de sódio trocável e Na^+ , que podem ser utilizados em 91,2, 78, 55,6, 53 e 29% do semiárido paraibano, respectivamente.

Os índices do nível de desertificação do semiárido paraibano, com base nos parâmetros da vegetação ou atributos do solo, associado a técnicas de geoprocessamento, permitem avaliar com precisão o nível de desertificação em áreas do semiárido paraibano, e apontar quais parâmetros da vegetação ou atributos do solo são mais limitantes para restauração da cobertura florestal.

APÉNDICE

Apêndice 1. Características das áreas conservadas e desertificadas, em imagens de satélite e em campo.

Imagem de satélite - Google Earth

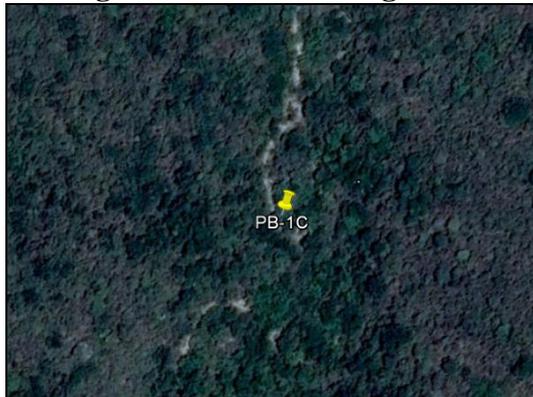


Foto da Área



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.

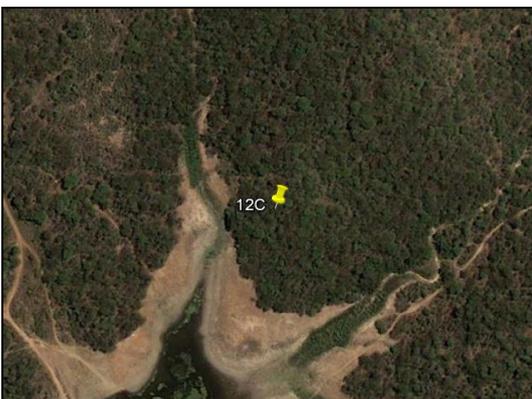


Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.



Foto: Jhony Vendruscolo.

Apêndice 2. Valores para os atributos químicos dos solos na camada de 0-5 cm, em áreas conservadas (C) e desertificadas (D) do semiárido paraibano.

Parcela	Área	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTCe	CTCt	COT	V	m	PST
1	C	5,80	12,90	148	0,05	3,45	1,52	0,00	2,31	5,39	5,39	7,70	11,48	70,0	0,0	0,6
2	C	6,15	10,14	125	0,13	5,64	1,99	0,00	3,47	8,08	8,08	11,55	30,62	70,0	0,0	1,1
3	C	5,37	15,51	112	0,04	4,72	0,52	0,11	5,28	5,57	5,67	10,85	20,35	51,3	1,9	0,4
4	C	6,29	2,92	92	0,07	6,75	2,43	0,00	1,93	9,48	9,48	11,41	26,48	83,1	0,0	0,6
5	C	6,35	15,10	149	0,12	9,91	2,86	0,00	2,89	13,27	13,27	16,16	21,63	82,1	0,0	0,7
6	C	5,62	18,63	141	0,15	3,29	1,72	0,00	3,30	5,53	5,53	8,83	18,96	62,6	0,0	1,7
7	C	6,42	25,97	153	0,03	3,83	1,70	0,00	0,17	5,96	5,96	6,13	21,75	97,2	0,0	0,5
8	C	6,45	6,82	89	0,04	7,68	2,02	0,00	3,04	9,98	9,98	13,01	29,42	76,6	0,0	0,3
9	C	7,28	-	353	0,05	11,76	4,63	0,00	1,92	17,35	17,35	19,27	23,02	90,0	0,0	0,3
10	C	7,10	5,20	177	0,06	11,45	7,34	0,00	2,28	19,31	19,31	21,59	41,23	89,4	0,0	0,3
11	C	5,48	7,22	67	0,04	6,61	1,54	0,05	5,68	8,36	8,41	14,05	35,70	59,5	0,6	0,3
12	C	6,06	4,58	127	0,06	8,06	1,79	0,00	4,65	10,24	10,24	14,89	40,34	68,8	0,0	0,4
13	C	6,37	13,77	106	0,04	8,07	2,51	0,00	1,46	10,90	10,90	12,35	26,01	88,2	0,0	0,3
14	C	7,20	20,70	81	0,05	6,84	1,00	0,00	0,00	8,09	8,09	8,09	30,99	100,0	0,0	0,6
15	C	7,23	5,78	128	0,05	12,43	1,84	0,00	2,67	14,64	14,64	17,31	39,19	84,6	0,0	0,3
16	C	6,54	9,28	113	0,03	6,33	1,09	0,00	2,08	7,73	7,73	9,81	35,43	78,8	0,0	0,4
17	C	6,78	30,63	221	0,06	8,57	1,71	0,00	2,15	10,91	10,91	13,06	32,93	83,6	0,0	0,5
18	C	5,78	9,82	143	0,02	2,76	1,32	0,00	3,14	4,47	4,47	7,60	18,90	58,8	0,0	0,3
19	C	7,33	4,21	169	0,06	9,52	3,03	0,00	3,15	13,04	13,04	16,19	22,95	80,6	0,0	0,3
20	C	6,22	15,43	101	0,04	7,30	1,38	0,01	4,05	8,98	8,99	13,03	33,24	68,9	0,1	0,3
21	C	5,05	8,10	62	0,03	7,11	1,16	0,05	6,98	8,47	8,52	15,45	39,77	54,8	0,6	0,2
22	C	6,17	50,66	248	0,08	11,45	3,73	0,00	5,81	15,90	15,90	21,71	31,13	73,2	0,0	0,4

Parcela	Área	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTCe	CTCt	COT	V	m	PST
1	D	5,89	5,90	273	0,15	0,27	1,27	0,00	1,32	2,38	2,38	3,70	6,62	64,3	0,0	3,9
2	D	5,97	8,61	174	0,07	0,35	1,10	0,06	0,91	1,96	2,02	2,86	3,40	68,3	3,1	2,4
3	D	5,82	2,89	89	0,26	1,15	3,50	0,10	2,31	5,14	5,24	7,45	8,93	69,0	1,9	3,4
4	D	6,58	28,34	233	0,09	1,17	1,41	0,00	0,08	3,27	3,27	3,35	2,19	97,5	0,0	2,6
5	D	6,47	48,34	155	0,16	4,65	2,02	0,00	1,07	7,23	7,23	8,30	2,79	87,1	0,0	2,0
6	D	7,06	70,65	298	0,23	4,22	1,82	0,00	0,00	7,03	7,03	7,03	3,52	100,0	0,0	3,2
7	D	6,83	6,04	84	0,26	9,03	3,76	0,06	0,00	13,26	13,32	13,26	1,94	100,0	0,4	2,0
8	D	7,04	8,03	70	0,11	5,49	7,47	0,06	1,42	13,25	13,32	14,67	0,86	90,4	0,5	0,8
9	D	7,25	-	205	0,12	12,29	8,28	0,06	2,10	21,22	21,28	23,32	3,51	91,0	0,3	0,5
10	D	6,37	14,94	212	0,07	7,18	3,50	0,07	2,41	11,29	11,36	13,70	2,71	82,4	0,6	0,5
11	D	5,80	2,73	96	0,21	10,96	3,98	0,06	1,91	15,40	15,46	17,31	4,85	89,0	0,4	1,2
12	D	5,38	2,15	52	0,04	5,80	2,24	0,15	2,50	8,20	8,35	10,70	3,20	76,7	1,8	0,4
13	D	5,67	10,00	93	0,11	2,89	2,35	0,50	1,96	5,58	6,08	7,54	4,19	74,1	8,2	1,4
14	D	5,45	4,00	111	0,04	3,27	0,92	0,05	0,42	4,51	4,56	4,93	1,09	91,4	1,1	0,8
15	D	6,10	2,82	234	0,03	1,98	1,93	0,00	3,20	4,54	4,54	7,74	2,98	58,6	0,0	0,3
16	D	6,37	10,23	271	0,03	4,27	1,52	0,06	2,00	6,52	6,57	8,52	3,09	76,5	0,9	0,4
17	D	8,00	43,81	120	0,11	14,84	3,54	0,00	0,00	18,80	18,80	18,80	1,82	100,0	0,0	0,6
18	D	5,76	2,99	130	0,07	1,22	1,28	0,16	1,73	2,90	3,06	4,64	3,65	62,6	5,2	1,5
19	D	6,66	2,83	151	0,13	4,49	2,93	0,00	2,39	7,93	7,93	10,32	0,56	76,9	0,0	1,2
20	D	6,26	7,37	201	0,05	3,28	2,26	0,00	2,97	6,10	6,10	9,07	1,61	67,2	0,0	0,5
21	D	5,19	6,03	86	0,25	4,58	1,50	1,30	5,87	6,55	7,85	12,42	4,80	52,8	16,6	2,0
22	D	5,62	6,91	211	0,23	1,86	1,04	0,00	3,97	3,67	3,67	7,64	2,29	48,0	0,0	3,0

H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTCe: CTC efetiva; CTCt: CTC total; COT: carbono orgânico total; V: saturação por bases; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável.

Apêndice 3. Valores para os atributos químicos dos solos na camada de 5-20 cm, em áreas conservadas (C) e desertificadas (D) do semiárido paraibano.

Parcela	Área	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTCe	CTCt	COT	V	m	PST
1	C	6,50	5,33	226	0,08	1,64	2,19	0,00	0,25	4,49	4,49	4,73	2,67	94,8	0,0	1,7
2	C	6,34	4,25	202	0,24	3,22	1,73	0,00	1,65	5,71	5,71	7,36	8,57	77,6	0,0	3,3
3	C	5,12	5,14	90	0,12	1,95	0,49	0,74	4,62	2,79	3,53	7,41	7,53	37,7	20,9	1,7
4	C	6,76	5,46	218	0,07	6,15	1,51	0,00	2,51	8,29	8,29	10,80	28,97	76,8	0,0	0,6
5	C	5,94	8,80	145	0,28	9,62	3,89	0,00	2,56	14,16	14,16	16,72	10,88	84,7	0,0	1,7
6	C	5,19	6,68	214	0,26	1,86	1,04	0,12	3,38	3,70	3,81	7,08	11,79	52,2	3,1	3,6
7	C	5,59	9,04	148	0,07	2,42	0,83	0,00	2,32	3,70	3,70	6,02	18,96	61,4	0,0	1,1
8	C	5,79	3,94	67	0,06	4,28	1,53	0,05	2,99	6,03	6,08	9,02	20,68	66,8	0,9	0,6
9	C	7,06	-	461	0,09	9,38	3,52	0,06	2,08	14,18	14,23	16,25	21,05	87,2	0,4	0,6
10	C	7,03	2,02	239	0,14	12,75	10,83	0,05	2,22	24,33	24,38	26,54	29,42	91,6	0,2	0,5
11	C	5,48	3,69	79	0,06	6,54	2,21	0,11	3,80	9,01	9,12	12,81	27,55	70,3	1,2	0,5
12	C	6,12	1,75	124	0,05	6,76	2,31	0,00	2,89	9,43	9,43	12,32	33,03	76,6	0,0	0,4
13	C	6,11	5,43	131	0,08	6,13	2,95	0,00	2,37	9,49	9,49	11,86	19,56	80,0	0,0	0,7
14	C	6,81	16,38	104	0,06	5,83	0,89	0,00	0,47	7,06	7,06	7,53	24,79	93,7	0,0	0,9
15	C	7,29	3,24	226	0,10	14,90	1,92	0,00	2,66	17,49	17,49	20,15	43,91	86,8	0,0	0,5
16	C	6,60	3,14	123	0,02	4,19	1,63	0,00	2,13	6,15	6,15	8,28	31,31	74,3	0,0	0,3
17	C	6,36	5,06	123	0,06	6,09	2,14	0,00	2,06	8,61	8,61	10,67	12,52	80,7	0,0	0,6
18	C	5,33	3,78	134	0,03	0,99	0,91	0,23	3,47	2,27	2,50	5,73	8,32	39,5	9,2	0,5
19	C	6,71	0,97	259	0,04	7,70	2,85	0,00	3,35	11,25	11,25	14,61	17,98	77,0	0,0	0,3
20	C	5,76	7,46	129	0,04	5,90	0,06	0,00	5,96	6,33	6,33	12,28	20,71	51,5	0,0	0,3
21	C	5,34	2,31	99	0,06	3,28	0,93	0,12	4,60	4,52	4,65	9,13	32,46	49,6	2,7	0,7
22	C	5,95	37,54	294	0,15	11,29	5,39	0,00	5,18	17,59	17,59	22,77	22,95	77,3	0,0	0,7
1	D	4,88	1,68	94	0,08	0,40	1,06	0,18	0,83	1,78	1,96	2,61	1,28	68,3	9,1	3,1

Parcela	Área	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTCe	CTCt	COT	V	m	PST
2	D	6,26	2,19	148	0,13	1,06	1,26	0,00	0,25	2,84	2,84	3,09	2,01	92,0	0,0	4,3
3	D	6,06	2,85	49	0,55	0,56	1,06	0,00	1,49	2,30	2,30	3,79	3,77	60,8	0,0	14,6
4	D	6,47	4,23	153	0,20	4,26	2,05	0,00	0,41	6,90	6,90	7,32	2,49	94,4	0,0	2,7
5	D	6,25	9,28	59	0,50	7,28	3,52	0,00	0,83	11,46	11,46	12,28	2,92	93,3	0,0	4,1
6	D	6,96	21,38	163	0,35	6,89	2,74	0,00	0,00	10,40	10,40	10,40	4,19	100,0	0,0	3,3
7	D	6,59	8,43	47	0,43	9,87	3,77	0,00	0,10	14,19	14,19	14,28	2,37	99,3	0,0	3,0
8	D	5,78	0,98	44	0,51	4,04	5,92	0,06	2,03	10,58	10,64	12,61	1,78	83,9	0,6	4,1
9	D	7,17	-	94	0,16	12,63	6,68	0,06	2,42	19,71	19,77	22,13	3,02	89,0	0,3	0,7
10	D	6,13	4,97	95	0,10	11,63	4,29	0,06	2,63	16,27	16,33	18,91	3,45	86,1	0,4	0,6
11	D	5,68	2,07	50	0,64	11,05	8,48	0,12	1,93	20,29	20,41	22,23	5,02	91,3	0,6	2,9
12	D	5,21	2,30	40	0,04	3,67	3,13	0,34	3,47	6,95	7,29	10,41	2,57	66,7	4,7	0,4
13	D	5,44	7,89	39	0,61	3,21	4,70	0,05	1,94	8,62	8,67	10,56	6,87	81,6	0,6	5,7
14	D	5,26	3,75	72	0,10	2,92	1,37	0,00	0,55	4,57	4,57	5,12	0,79	89,3	0,0	1,9
15	D	5,08	0,66	152	0,02	1,58	1,71	0,11	3,43	3,69	3,80	7,12	2,91	51,8	2,8	0,2
16	D	5,55	5,52	141	0,01	4,35	1,33	0,06	3,11	6,06	6,11	9,16	2,29	66,1	0,9	0,1
17	D	7,73	51,27	42	0,18	15,41	3,62	0,00	0,00	19,31	19,31	19,31	1,22	100,0	0,0	0,9
18	D	5,71	1,01	60	0,17	0,48	2,25	0,27	1,24	3,05	3,32	4,29	1,82	71,1	8,0	3,9
19	D	6,35	1,77	78	0,08	4,48	2,41	0,00	2,67	7,17	7,17	9,83	0,99	72,9	0,0	0,8
20	D	6,48	3,25	173	0,06	4,54	2,78	0,00	2,55	7,82	7,82	10,37	1,61	75,4	0,0	0,6
21	D	5,27	0,74	31	2,92	3,31	14,70	0,40	4,15	21,01	21,41	25,16	1,77	83,5	1,9	11,6
22	D	4,99	3,52	153	0,35	1,61	0,63	0,77	4,42	2,98	3,74	7,40	1,92	40,2	20,5	4,7

H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTCe: CTC efetiva; CTCt: CTC total; COT: carbono orgânico total; V: saturação por bases; m: saturação por Al³⁺; PST: porcentagem de sódio trocável.

Apêndice 4. Valores para os atributos físicos dos solos na camada de 0-5 cm, em áreas conservadas (C) e desertificadas (D) do semiárido paraibano.

Parcela	Área	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila	DS
1	C	39	87	184	339	148	163	41	1,15
2	C	24	65	173	342	129	178	89	1
3	C	31	80	207	297	116	171	98	1,06
4	C	68	129	191	203	73	168	168	1,05
5	C	61	85	89	118	80	340	226	1,25
6	C	54	123	174	261	118	120	150	1,28
7	C	20	119	419	206	32	77	128	1,12
8	C	11	35	107	341	152	300	54	0,9
9	C	52	91	132	223	115	234	152	1,16
10	C	57	46	77	157	82	354	226	1,02
11	C	42	73	133	258	132	209	153	1,14
12	C	78	49	49	99	92	392	241	1,26
13	C	105	87	108	227	139	195	139	0,93
14	C	141	166	123	174	86	183	127	1,04
15	C	66	92	145	175	65	229	229	1,28
16	C	161	172	122	114	51	174	206	1,19
17	C	114	107	87	103	61	291	238	1,08
18	C	132	148	207	220	60	117	117	1,1
19	C	39	85	132	190	87	246	221	1,39
20	C	43	77	130	265	153	210	123	1,46
21	C	68	113	167	271	109	163	109	0,88
22	C	149	188	114	106	55	206	183	0,88
1	D	80	114	169	189	79	196	171	1,31

Parcela	Área	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila	DS
2	D	39	45	167	498	124	73	55	1,4
3	D	69	89	170	195	93	203	181	1,3
4	D	81	162	223	272	104	118	39	1,68
5	D	65	98	158	275	130	200	75	1,71
6	D	18	34	180	369	133	186	80	1,53
7	D	7	40	186	408	111	213	35	1,52
8	D	24	76	213	421	110	110	47	1,38
9	D	50	101	145	223	111	342	28	1,36
10	D	62	144	169	195	94	296	40	1,59
11	D	26	67	122	254	125	170	236	1,45
12	D	52	46	50	107	48	455	242	1,22
13	D	22	79	138	256	149	260	96	1,52
14	D	74	103	109	155	97	332	129	1,34
15	D	47	72	110	194	106	259	212	1,28
16	D	99	92	92	126	76	303	212	1,59
17	D	79	139	169	212	118	231	51	1,38
18	D	89	121	157	203	100	198	132	1,24
19	D	83	134	124	165	99	307	88	1,51
20	D	66	133	144	186	101	254	114	1,63
21	D	144	74	92	184	74	178	254	1,59
22	D	167	133	113	133	78	226	151	1,38

AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; DS: densidade do solo.

Apêndice 5. Valores para os atributos físicos dos solos na camada de 5-20 cm, em áreas conservadas (C) e desertificadas (D) do semiárido paraibano.

Parcela	Área	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila	DS
1	C	33,0	89,0	190,0	360,0	152,0	140,0	35,0	1,3
2	C	34,0	75,0	179,0	359,0	140,0	142,0	71,0	1,2
3	C	29,0	72,0	212,0	284,0	113,0	185,0	106,0	1,3
4	C	59,0	115,0	179,0	222,0	75,0	175,0	175,0	1,3
5	C	94,0	110,0	111,0	146,0	82,0	274,0	183,0	1,5
6	C	56,0	100,0	159,0	271,0	136,0	123,0	154,0	1,4
7	C	41,0	99,0	363,0	242,0	35,0	83,0	138,0	1,4
8	C	22,0	48,0	118,0	207,0	128,0	404,0	74,0	1,3
9	C	19,0	68,0	195,0	417,0	118,0	111,0	72,0	1,4
10	C	41,0	54,0	87,0	173,0	91,0	339,0	216,0	1,4
11	C	39,0	60,0	111,0	274,0	145,0	214,0	157,0	1,3
12	C	72,0	53,0	51,0	103,0	97,0	425,0	199,0	1,3
13	C	120,0	102,0	121,0	231,0	127,0	164,0	136,0	1,3
14	C	174,0	154,0	129,0	178,0	83,0	183,0	99,0	1,1
15	C	89,0	95,0	132,0	161,0	53,0	125,0	345,0	1,3
16	C	117,0	153,0	123,0	120,0	56,0	186,0	244,0	1,2
17	C	109,0	100,0	92,0	114,0	58,0	289,0	237,0	1,2
18	C	87,0	125,0	217,0	250,0	72,0	125,0	125,0	1,2
19	C	48,0	74,0	96,0	145,0	78,0	265,0	294,0	1,4
20	C	39,0	70,0	130,0	274,0	164,0	161,0	161,0	1,5
21	C	86,0	127,0	183,0	282,0	112,0	120,0	90,0	1,2
22	C	143,0	186,0	112,0	101,0	57,0	143,0	258,0	1,1
1	D	52,0	176,0	263,0	223,0	70,0	120,0	96,0	1,3

Parcela	Área	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila	DS
2	D	68,0	45,0	137,0	446,0	125,0	119,0	60,0	1,4
3	D	80,0	99,0	217,0	200,0	77,0	175,0	153,0	1,5
4	D	78,0	140,0	156,0	174,0	83,0	245,0	123,0	1,5
5	D	116,0	137,0	153,0	200,0	85,0	214,0	95,0	1,3
6	D	12,0	37,0	183,0	309,0	97,0	258,0	103,0	1,4
7	D	7,0	36,0	188,0	414,0	118,0	203,0	34,0	1,5
8	D	37,0	134,0	214,0	271,0	83,0	195,0	65,0	1,5
9	D	66,0	124,0	143,0	182,0	81,0	264,0	140,0	1,3
10	D	56,0	129,0	123,0	131,0	59,0	376,0	125,0	1,4
11	D	29,0	62,0	109,0	231,0	107,0	172,0	290,0	1,5
12	D	44,0	51,0	51,0	106,0	42,0	490,0	216,0	1,3
13	D	26,0	88,0	138,0	224,0	127,0	255,0	142,0	1,3
14	D	79,0	114,0	100,0	131,0	83,0	306,0	187,0	1,4
15	D	73,0	189,0	191,0	154,0	62,0	151,0	181,0	1,4
16	D	75,0	85,0	87,0	123,0	71,0	297,0	264,0	1,3
17	D	114,0	146,0	162,0	198,0	99,0	225,0	56,0	1,3
18	D	78,0	112,0	141,0	183,0	90,0	223,0	173,0	1,3
19	D	146,0	170,0	150,0	165,0	86,0	227,0	57,0	1,7
20	D	70,0	130,0	133,0	168,0	91,0	300,0	109,0	1,5
21	D	64,0	50,0	79,0	164,0	74,0	172,0	397,0	1,5
22	D	195,0	128,0	101,0	116,0	70,0	213,0	176,0	1,4

AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; DS: densidade do solo.