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

JOSE ALEXSANDRO GUIMARAES LIMA

ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS ÀS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO

FORTALEZA
2016

JOSE ALEXSANDRO GUIMARAES LIMA

ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS ÀS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência do solo. Área de concentração: Pedologia.

Orientador: Prof. Dr. Raul Shiso Toma.
Coorientador: Prof. Dr. Fabricio da Silva Terra.

FORTALEZA

2016

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

L698a Lima, José Alexsandro Guimarães.
Adequação do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras às condições edafoclimáticas do Semiárido / José Alexsandro Guimarães Lima. – 2016.
115 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Raul Shiso Toma.
Coorientação: Prof. Dr. Fabrício da Silva Terra.

1. Classificação técnica. 2. Profundidade efetiva do solo. 3. Deficiência hídrica. 4. Uso e cobertura do solo. 5. Susceptibilidade à erosão. I. Título.

CDD 631.4

JOSE ALEXSANDRO GUIMARAES LIMA

ADEQUAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS ÀS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Pedologia.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Raul Shiso Toma (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____
Prof. Dr. Fabrício da Silva Terra
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)

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

Aos meus filhos, Gustavo e Matheus, pela inspiração.

A minha esposa Maria, pelo companheirismo, compreensão e apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, por ensinar-me a seguir o caminho certo, acreditar na vida, no trabalho e na dignidade.

Aos meus irmãos, pela amizade, cumplicidade, carinho e incentivo.

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), pela oportunidade oferecida por meio da política de aperfeiçoamento de pessoal.

Ao Prof. Dr. Raul Shiso Toma, pela excelente orientação e amizade.

Ao Prof. Dr. Fabrício da Silva Terra, pela excelente coorientação.

Aos professores Mirian Cristina Gomes Costa e Raimundo Nonato de Assis Júnior pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da UFC, pela oportunidade.

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, pela disponibilização dos dados vetoriais do levantamento pedológico da mesorregião Sul Cearense.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial ao servidor Edilson, pelo apoio e presteza.

Aos colegas de trabalho, pelo incentivo, e, sobretudo, pela amizade.

Aos colegas da pós-graduação, pelo convívio, amizade e incentivo.

“A vida aqui só ruim. Quando não chove no chão. Mas se chover dá de tudo. Fartura tem de montão. Tomara que chova logo. Tomara, meus deus, tomara. Só deixo o meu cariri. No último pau-de-arara.”

Venâncio, Curumba e José Guimarães

RESUMO

A exploração racional dos solos exige uma correta adequação dos usos agrícolas das terras, baseando-se nas potencialidades e limitações de cada área; para isso, existem diversos sistemas de classificação técnica interpretativa. O Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAT) é um dos mais usados sendo, inicialmente, desenvolvido para países de clima temperado e adaptado posteriormente para regiões do Brasil que apresentam clima tropical úmido, onde as condições edafoclimáticas são distintas das condições do semiárido nordestino. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi propor adequações ao SAAT para as condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro, atenuando as restrições impostas pelos atributos pedregosidade e profundidade efetiva do solo, e também pelo fator limitante disponibilidade de água. A execução do trabalho consistiu na avaliação da aptidão agrícola das terras da mesorregião Sul Cearense por meio do SAAT conforme proposta original, e posterior adaptação deste sistema às condições edafoclimáticas do semiárido. Estas adaptações foram denominadas de método adaptado I e método adaptado II. No método adaptado I foi desconsiderado o fator limitante disponibilidade de água. No método adaptado II além de desconsiderar o fator água, foram estabelecidos novos limites às classes de profundidade efetiva do solo. Além do mais, foram utilizadas geotecnologias para o levantamento do uso e cobertura do solo e para o mapeamento da susceptibilidade à erosão desta mesorregião. As modificações estabelecidas no SAAT resultaram em um aumento de 177,19% das áreas com aptidão regular para lavouras em detrimento das áreas com aptidão restrita para lavouras e das áreas com aptidão somente para pastagem plantada ou natural. Ao todo, as modificações introduzidas no SAAT resultaram numa ampliação da aptidão agrícola de 41,26% da área das unidades de mapeamento, sendo que 16,77% desta melhoria foram em função das modificações relacionadas ao atributo profundidade efetiva do solo e os outros 26,35% foram devido às mudanças relacionadas ao fator limitante disponibilidade de água. Os resultados relacionados ao fator disponibilidade de água foram equivalentes aos resultados observados por meio da análise da dinâmica do uso e cobertura do solo em consequência da pluviosidade, no qual foi demonstrado aumento das áreas destinadas à agricultura de sequeiro e redução das áreas de pousio e pastagens nos anos que ocorreram precipitações dentro da normalidade climática. Estes resultados demostraram que a deficiência hídrica é a principal limitação ao uso agrícola das terras do semiárido. Por meio do mapeamento da susceptibilidade à erosão foi constatado que apenas 16,53% da área estudada apresentam alta susceptibilidade à erosão hídrica, e que a ampliação da aptidão agrícola das terras em virtude

das modificações estabelecidas no SAAT, nem sempre, intensificaram o risco de degradação destas terras.

Palavras-chave: Classificação técnica. Profundidade efetiva do solo. Deficiência hídrica. Uso e cobertura do solo. Susceptibilidade à erosão.

ABSTRACT

The rational use of soil requires a correct adequacy of agricultural land uses, basing on the potentialities and limitations of each area; for this, there are several systems of interpretative classification technical. The System of Agricultural Land Suitability Evaluation (SALSE) is widely utilized, firstly developed for countries of the temperate climate and adapted afterwards to regions of Brazil that have humid tropical climate where edaphoclimatic conditions are distinct from conditions of the semiarid northeast. Thus, the aim of this study was to propose adjustments to the SALSE to edaphoclimatic conditions of the Brazilian semiarid region, reducing the restrictions imposed by the attributes rock fragments and effective soil depth, and also by the limiting factor water availability. This work assessed the agricultural potential of the land Mesoregion South of the Ceará using the SALSE, from a conventional method and from the adaptation of this system to the edaphoclimatic conditions of the semiarid region. These adaptations were denominated adapted method I and adapted method II. In the adapted method I the water availability factor was disregarded, while at method adapted II new limits were established for the classes of effective soil depth, besides disregarded the water availability factor. Furthermore, was used geotechnologies to survey the land use and land cover and the mapping of susceptibility to erosion of this mesoregion. The adaptations established in SALSE resulted in an increase of 177.19% of the areas with regular suitability for crops to the detriment of areas with limited suitability for crops and with suitability only planted or natural pasture. Altogether, the changes made to SALSE resulted in an expansion of the agricultural suitability of 41.26% of the mapping units, of which 16.77% of this increase was due to the changes related to the effective depth soil and the other 26 35% were due to changes related to the water availability factor. The results related to water availability factor were equivalent to results observed by analysing the use dynamics and land cover as a consequence of rainfall, then was demonstrated increase the land destined the dry farming and reduction of fallow areas, and pastures in the years that occurred rainfall within the normality climate. These results show that the water deficit is the main limitation to agricultural use of semiarid land. Moreover, 16.53% of the study area have a high susceptibility to water erosion and the modifications established in SALSE, not always, have intensified the risk of degradation of these lands.

Keywords: Technical classification. Effective soil depth. Water deficit. Land use and cover. Erosion susceptibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa do semiárido brasileiro.....	16
Figura 2	Localização da mesorregião Sul Cearense.....	34
Figura 3	Mapa de solos da mesorregião Sul Cearense.....	36
Figura 4	Fluxograma com os métodos adotados para avaliação da aptidão agrícola das terras da mesorregião Sul Cearense.....	38
Figura 5	Mapa de pluviometria da mesorregião Sul Cearense.....	41
Figura 6	Procedimento metodológico para determinação da susceptibilidade à erosão.....	49
Figura 7	Painel fotográfico dos principais uso e cobertura observados in loco.....	54
Figura 8	Mapas de uso e cobertura do Solo da mesorregião Sul Cearense.....	56
Figura 9	Comportamento dos usos e coberturas do solo em função da pluviosidade da região de estudo ao longo do tempo.....	59
Figura 10	Variação temporal das áreas com culturas temporárias em função das chuvas.....	60
Figura 11	Mapa de aptidão agrícola das terras pelo método convencional.....	66
Figura 12	Mapa de aptidão agrícola das terras pelo método adaptado I.....	67
Figura 13	Mapa de aptidão agrícola das terras pelo método adaptado II.....	68
Figura 14	Variação temporal do rendimento das principais culturas temporárias cultivadas na região estudada em função das chuvas.....	78
Figura 15	Mapa de susceptibilidade à erosão.....	80
Figura 16	Mapa de erodibilidade dos solos da mesorregião Sul Cearense.....	84
Figura 17	Mapa de declividade da mesorregião Sul Cearense.....	86
Figura 18	Mapa das unidades de mapeamento com aptidão ampliada em consequência da adoção do método adaptado II.....	88
Figura 19	Mapa de risco de degradação das terras.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de solos identificadas no semiárido brasileiro.....	18
Tabela 2	Variação da área plantada e da produtividade média das principais culturas temporárias cultivadas no estado do Ceará em virtude da pluviosidade.....	19
Tabela 3	Grupos, classes de aptidão e alternativas de uso.....	21
Tabela 4	Regras para simbolização da aptidão das unidades de mapeamento.....	39
Tabela 5	Limites das classes de profundidade efetiva do solo, utilizados para a avaliação da aptidão agrícola pelos diferentes métodos.....	42
Tabela 6	Classes de pedregosidade utilizadas para a avaliação da aptidão agrícola pelos diferentes métodos.....	43
Tabela 7	Graus de restrição ao uso devido à susceptibilidade à erosão.....	44
Tabela 8	Graus de restrição ao uso devido ao impedimento à mecanização.....	44
Tabela 9	Informações relacionadas às imagens selecionadas.....	46
Tabela 10	Qualidade da classificação conforme Índice Kappa.....	48
Tabela 11	Grau de risco de erosão em função da declividade do terreno.....	50
Tabela 12	Grau de risco de erosão em função do uso e cobertura do solo.....	50
Tabela 13	Correspondência entre classes de drenagem e permeabilidade do solo.....	51
Tabela 14	Grau de risco de erosão em função da erodibilidade do solo.....	51
Tabela 15	Classes de susceptibilidade à erosão.....	52
Tabela 16	Posicionamento e conferência das áreas observadas a campo e classificadas pela imagem no mapeamento de uso e cobertura do solo para o ano de 2015.....	53
Tabela 17	Valores de Exatidão Global e Índice Kappa.....	55
Tabela 18	Área percentual ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo.....	57
Tabela 19	Percentual das classes de uso e cobertura nas classes de solos da área de estudo ao longo dos anos.....	62
Tabela 20	Grupo e subgrupo de aptidão agrícola das terras, obtidos pelos diferentes métodos, com os respectivos percentuais de área.....	69
Tabela 21	Relação das unidades de mapeamento que apresentaram mudança na classificação em função da aplicação dos métodos adaptado I e adaptado II	71
Tabela 22	Distribuição das classes de suscetibilidade à erosão dentro das classes de solos mapeada na área.....	81
Tabela 23	Valores médios de erodibilidade associada às classes de solo.....	82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 REVISÃO DE LITERATURA 15
2.1 Semiárido brasileiro 15
2.1.1 Caracterização geral 15
2.1.2 Características dos solos do semiárido 17
2.1.3 Produção agrícola do semiárido 19
2.2 Sistemas técnicos para avaliação de uso das terras 20
2.2.1 Sistema de Avaliação da aptidão agrícola (SAAT) 21
2.2.2 Sistemas alternativos 23
2.3 Atributos do solo 25
2.3.1 Profundidade efetiva do solo 26
2.3.2 Pedregosidade 27
2.4 Uso e cobertura do solo 28
2.5 Mapeamento da susceptibilidade à erosão 29
2.6 Uso de geotecnologias aplicadas a estudos agrícolas e ambientais 30
2.6.1 Sensoriamento remoto 31
2.6.2 Sistema de informações geográficas - SIG 32
3 MATERIAIS E MÉTODOS 34
3.1 Caracterização fisiográfica da área de estudo 34
3.1.1 Geologia, Geomorfologia e Solos 34
3.1.2 Clima 37
3.2 Avaliação da aptidão agrícola das terras 37
3.3.1 Determinação da aptidão agrícola pelo método convencional 39
3.3.2 Determinação da aptidão agrícola pelos métodos adaptado I e adaptado II 42
3.3.2.1 Método adaptado I 42
3.3.2.2 Método adaptado II 42
3.4 Levantamento de uso e cobertura do solo 45
3.4.1 Seleção de imagens e pré-processamento 45
3.4.2 Mapeamento do uso e cobertura do solo 47
3.5 Levantamento de dados da produção agrícola 48
3.6 Mapeamento da susceptibilidade à erosão 49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 53
4.1 Levantamento de uso e cobertura do solo 53
4.1.1 Validação da classificação das imagens de satélite 53
4.1.2 Variação temporal dos usos e coberturas 55

4.1.3 Variação espacial dos usos e coberturas em relação às classes de solos 60
4.2Aptidão agrícola das terras 65
4.3 Mapeamento da susceptibilidade à erosão do solo 79
4.3.1 Erodibilidade do solo 82
4.3.2 Declividade do terreno e erosão do solo 85
4.3.3 Risco de degradação das terras em função do uso do solo 87
5 CONCLUSÃO 91
REFERÊNCIAS 92
ANEXOS 105

1 INTRODUÇÃO

O planejamento do uso das terras sempre fez parte da história da humanidade, desde as civilizações mais antigas até os dias atuais, cujo objetivo deste planejamento era a exploração das terras, conforme suas potencialidades e limitações. A exploração racional dos solos exige uma correta adequação dos usos agrícolas das terras de acordo com um programa antecipadamente estabelecido, levando-se em consideração preceitos conservacionistas e aspectos econômicos (LEPSCH, 2010). Para isso existem diversos sistemas usados para a classificação técnica das terras quanto ao seu potencial de uso agrícola, sendo os mais difundidos no Brasil o Sistema de Classificação de Uso das Terras e o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAT).

Apesar de ambos os sistemas serem bastante utilizados no Brasil, de norte a sul, vale ressaltar que estes foram desenvolvidos para outro País e, posteriormente, adaptados para as condições do Brasil, um País de dimensões continentais e com uma heterogeneidade climática considerável, uma vez que se tem na região sudeste clima tropical úmido enquanto que o nordeste apresenta como principal característica o clima semiárido. Além das diferenças climáticas entre estas regiões, há também uma diferença nas classes de solos predominantes para cada região, seja em função apenas do clima ou da combinação deste com os demais fatores de formação do solo, pois enquanto no sudeste predominam solos bastante intemperizados, a região nordeste é caracterizada pela ocorrência expressiva de solos jovens, pouco evoluídos, pouco profundos e pedregosos. Dessa forma, um sistema desenvolvido para as condições pedoclimáticas do sudeste do País não pode ser aplicado sem adaptações para as condições do semiárido, uma vez que esta região tem como característica principal a irregularidade climática, com índice de aridez variando de 0,21 até 0,65, resultando em uma heterogeneidade dos solos, bem como predomínio das classes de solos pouco desenvolvidas, devido principalmente às condições climáticas caracterizadas pelos baixos índices de pluviosidade.

Considerando que o semiárido brasileiro apresenta condições ambientais peculiares, bastante diferentes das demais regiões brasileiras, existe a necessidade de adequação dos sistemas de classificação técnica existentes para as condições edafoclimáticas da região em questão. Uma vez que os fatores de formação do solo, principalmente o clima, influenciaram na formação de solos heterogêneos e pouco intemperizados, resultando em um predomínio das classes de solos, cujas limitações ao manejo e conservação impostas pela pouca profundidade efetiva e pela pedregosidade são marcantes. Diante desta realidade surge

a necessidade de adaptação dos sistemas desenvolvidos para uma condição ambiental diferente das condições do semiárido. Porém, é preciso adotar os devidos cuidados para que as mudanças não resultem em aumento da degradação das terras da região, pois a intensidade de cultivo e as práticas de manejo empregadas no cultivo estão entre as principais causas de degradação destas.

As hipóteses deste trabalho são:

Alterações no sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (SAAT), por meio de modificações nos limites dos parâmetros pedregosidade e profundidade efetiva do solo permitem ampliar a aptidão agrícola das terras para as condições edáficas da região semiárida brasileira.

O fator limitante disponibilidade de água é a principal limitação da aptidão agrícola das terras do semiárido.

Neste sentido, o objetivo geral deste trabalho foi propor adequações ao SAAT para as condições edafoclimáticas do semiárido.

E para atingir o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes os objetivos específicos:

- Propor modificações no SAAT com a incorporação dos parâmetros pedregosidade e profundidade efetiva do solo;
- Classificar a aptidão agrícola das terras pelo método convencional, e com as adaptações propostas (método adaptado I e método adaptado II);
- Comparar os resultados das classificações obtidas pelos diferentes métodos;
- Realizar levantamento de uso e cobertura do solo;
- Analisar a dinâmica do uso e cobertura do solo ao longo da série temporal (2007 a 2015) em função da pluviosidade;
- Elaborar o mapa de susceptibilidade à erosão da área;
- Mapear o risco de degradação das terras em função da intensificação do uso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Semiárido brasileiro

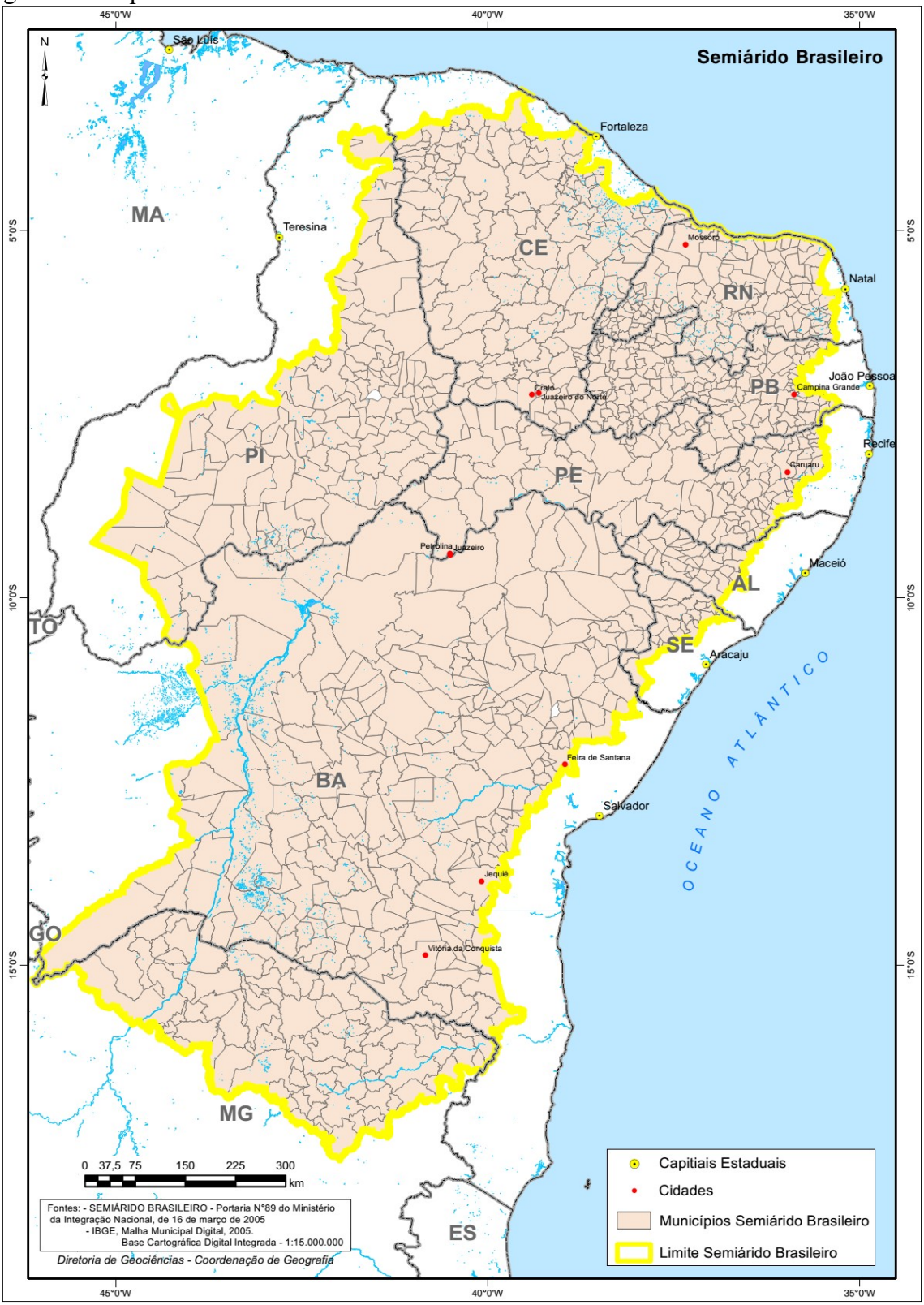
2.1.1 Caracterização geral

Considerando os critérios físico-ambientais e os instrumentos legais de demarcação, o semiárido do nordeste brasileiro possui uma área de 980.133,07 km² correspondendo a 56,55% da área total do Nordeste e 17,66% do estado de Minas Gerais, abrigando uma população superior a 22,5 milhões de habitantes residindo em 1.135 municípios (INSA, 2014). Em 2005, com a publicação da portaria interministerial nº 01, o semiárido nordestino ganhou uma nova delimitação com a inclusão de 102 novos municípios (CIRILO, 2008), ficando delimitado conforme a FIGURA 1.

O semiárido brasileiro é um dos mais chuvosos do planeta com precipitação média anual de 750 mm, porém com distribuição temporal irregular e elevados déficits hídricos resultante da evapotranspiração potencial média superior a 2.000 mm anuais (INSA, 2012). Conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, na região podem ser identificados os seguintes climas: BShw, BShw' e BShs' (ARAÚJO FILHO, 2013). Há predomínio do clima tipo BShw', definido como tropical quente semiárido com estação chuvosa concentrada entre os meses de janeiro a abril, podendo estender-se até o mês de maio, porém, as chuvas ocorrem com maior intensidade nos meses de março e abril. A irregularidade temporal e espacial característica das chuvas da região constitui fator relevante para a agricultura de sequeiro, que depende da manutenção da umidade do solo durante o período de cultivo (INSA, 2011).

A geologia do semiárido é marcada pela grande variação da litologia com ocorrência predominante de rochas do embasamento cristalino, seguido de bacias sedimentares e, em menor proporção, ocorrem áreas do cristalino recobertas por materiais arenosos ou argilosos (JACOMINE, 2002). O embasamento cristalino é formado principalmente por gnaisse, migmatitos, granitos, xistos, filitos e quartzitos (BRASIL, 1973). Na região semiárida ocorrem materiais relacionados ao Pré-Cambriano com cobertura pedimentar, constituída por materiais arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e macroclásticos, principalmente concreções ferruginosas e seixos de quartzo, sendo encontrada também, com certa frequência, pedregosidade superficial que constitui um pavimento desértico de calhaus e cascalhos de quartzo e quartzito (CORREIA H W, 2010).

Figura 1 – Mapa do semiárido brasileiro.



Fonte: IBGE (2016a).

O relevo da região é caracterizado por apresentar formas plana a forte ondulada com altitude média variando entre 400 e 500 m, podendo alcançar 1.000 m (CUNHA H W, D O 2010). Sendo que maior parte da região está inserida na Depressão Sertaneja que constitui uma superfície de pediplanação na qual ocorrem cristas e outeiros residuais, porém são verificadas outras superfícies como bacias sedimentares, superfícies cársticas, superfícies dissecadas, tabuleiros costeiros, baixadas aluviais e serras e maciços residuais (JACOMINE, 1996). A diversidade do relevo do semiárido resulta num grande número de paisagens e ambientes (CORREIA H W, 2010). Rodal e Sampaio (2002) identificaram 105 Unidades Geoambientais que compõe 17 Unidades de Paisagem com diferenças nos conjuntos de fauna, flora e classes de solo.

2.1.2 Características dos solos do semiárido

Os solos do semiárido brasileiro têm como característica marcante a heterogeneidade, com ocorrência de vários mosaicos de solos complexos com características variadas mesmo dentro de pequenas distâncias (SAMPAIO, 1995). Isso resulta, principalmente, da geologia, material de origem e do relevo (JACOMINE, 2002). A ocorrência de determinadas classes de solos consideradas caraterísticas do semiárido são condicionadas pelas condições climáticas marcadas por baixa pluviosidade e elevadas temperaturas (ROMERO; FERREIRA, 2010).

As condições climáticas do semiárido, associadas com a diversidade litológica e geomorfológica, resultam numa heterogeneidade das classes de solo que variam desde solos jovens a solos bastante evoluídos (JACOMINE, 2002), conforme TABELA 1. Porém, aproximadamente 43% das classes de solos (LUVISSOLOS, PLANOSSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS) que ocorrem no semiárido, podem apresentar limitações quanto à pedregosidade e profundidade efetiva (CUNHA H W., 2010). De um modo geral a profundidade destes solos varia de rasas (NEOSSOLOS LITÓLICOS) a pouco profundas (LUVISSOLOS e PLANOSSOLOS), indicando alta susceptibilidade à erosão (EMBRAPA, 2001). A profundidade efetiva dos NEOSSOLOS LITÓLICOS é limitada pelo contato lítico dentro dos 50 cm a partir da superfície do solo. Para LUVISSOLOS e PLANOSSOLOS essa limitação ocorre em função do acúmulo de argila no horizonte B, pois dependendo da intensidade deste acúmulo, o gradiente textural pode limitar a profundidade efetiva do solo (OLIVEIRA, J., 2008).

Tabela 1 – Classes de solos identificadas no semiárido brasileiro.

Classe de solo	% em Relação à Área Total
LATOSSOLOS	21,0
NEOSSOLOS LITÓTICOS	19,2
ARGISSOLOS	14,7
LUVISSOLOS	13,3
PLANOSSOLOS	10,5
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICO	9,3
NEOSSOLOS REGOLÍTICOS	4,4
CAMBISSOLOS	3,6
NEOSSOLOS FLÚVICOS	2,0
VERTISSOLOS	1,3
OUTRAS CLASSES (CHERNOSSOLOS, GLEISSOLOS e PLINTOSSOLOS)	0,7
Total	100

Fonte: Adaptado de Cunha H W(2D10).

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS são solos rasos que apresentam contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo (EMBRAPA, 2013a). O contato lítico nesta profundidade limita o desenvolvimento das raízes, principalmente de árvores que possuem sistema radicular mais profundo (OLIVEIRA, J., 2008). A pouca espessura destes solos, quando associada a relevo forte ondulado a montanhoso potencializa os processos erosivos e dificulta a mecanização agrícola (ROMERO; FERREIRA, 2010). Os LUVISSOLOS são solos minerais com presença de horizonte B textural, com argila de atividade alta e eutróficos (EMBRAPA, 2013a), normalmente são pouco profundos e frequentemente apresentam camadas de pedras e cascalhos, ou seja, pavimento desértico (LEPSCH, 2011). A maioria dos solos desta classe possui mudança textural abrupta com limitações também relacionadas à restrição à mecanização e risco de erosão, principalmente quando ocorre mudança textural abrupta associada a relevo acentuado e pedregosidade (ROMERO; FERREIRA, 2010).

Os PLANOSSOLOS são solos minerais com presença de horizonte B plânico caracterizado pela mudança textural abrupta, adensamento e baixa permeabilidade, podendo ocorrer mobilização e sorção do cátion sódio (EMBRAPA, 2013a). As limitações dos solos desta classe estão relacionadas ao horizonte B plânico que propicia uma má drenagem no perfil acarretando na formação de lençol freático suspenso no período chuvoso (OLIVEIRA, J., 2008) e susceptibilidade à erosão hídrica (ROMERO; FERREIRA, 2010).

Também há necessidade de mencionar os ARGISSOLOS que representam 14,7%

dos solos que ocorrem no semiárido, podendo apresentar limitação decorrente do relevo, da pedregosidade superficial e interna (CUNHA et al., 2010) e também da mudança textural (ROMERO; FERREIRA, 2010). Os ARGISSOLOS são solos minerais com a presença de horizonte B textural com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa (EMBRAPA, 2013a), compreendem uma classe de solos bastante heterogênea (LEPSCH, 2011) desde solos rasos a muito profundo, abruptos ou não, cascalhento ou não e bem drenados a imperfeitamente drenados (OLIVEIRA, J., 2008).

2.1.3 Produção agrícola do semiárido

A exploração agrícola do semiárido tem estreita relação com culturas temporárias que estão ligadas à agricultura de subsistência e, historicamente, são exploradas em regime de cultivo de sequeiro (SILVA et al., 2002), estando sujeitas às irregularidades espaço-temporal das chuvas (INSA, 2011). A agricultura de sequeiro ocupa a maior parte da área agrícola do semiárido nordestino, podendo ser permanente ou semipermanente nas áreas onde há maior disponibilidade de água ou itinerante nas regiões mais secas (SAMPAIO; MENEZES, 2002). Devido à predominância da agricultura de sequeiro a produção agrícola do semiárido é extremamente vulnerável à variabilidade climática (BRITO et al., 2012), pois a escassez de chuvas resulta numa redução da área plantada e principalmente, na produtividade das principais culturas cultivadas na região, conforme observado na TABELA 2.

Tabela 2 – Variação da área plantada e da produtividade média das principais culturas temporárias cultivadas no estado do Ceará em virtude da pluviosidade.

Cultura	Área Plantada (mil ha)		Produtividade (Mg/ha)		Precipitação Anual (mm)		
	Safra 2011	Safra 2012	Safra 2011	Safra 2012	Média	2011	2012
Arroz	31,76	25,26	2,94	2,06			
Feijão	600,14	456,79	0,44	0,12			
Mamona	49,03	32,13	0,31	0,84	800,60	1.034,50	388,80
Mandioca	85,08	89,12	9,83	5,26			
Milho	725,30	535,96	1,26	0,25			

Fonte: Adaptado de IBGE (2016b) e FUNCEME (2016).

2.2 Sistemas técnicos para avaliação de uso das terras

A classificação de qualquer objeto tem por objetivo agrupar os conhecimentos a seu respeito, em que objetos semelhantes em suas características e propriedades são ordenados em uma mesma classe ou grupo. As classificações de solos existentes podem ser ordenadas em duas categorias distintas, a saber: classificação taxonômica ou pedológica e classificação técnica ou utilitária (LEPSCH H W, 1991).

A classificação pedológica consiste na compreensão do solo como um corpo natural, já a classificação técnica é adotada para responder perguntas especificas tipo, resposta da terra ao uso agrícola da mesma (ROSSITER, 2000).

Um levantamento pedológico não é realizado para atender a um fim específico, mas quando convenientemente interpretado, pode servir como base para diferentes classificações técnicas, pois estas classificações agrupam a unidades de mapeamento em classes de terras, conforme características e propriedades escolhidas mais relacionadas com o comportamento agrícola dos solos (LEPSCH H W, 1991).

A avaliação das terras é uma ferramenta fundamental para predizer a capacidade de seu uso, permitindo o planejamento da utilização dos recursos naturais. A interpretação de levantamento de solos para atividades agrícolas ou outras atividades que utilizam o solo é da mais alta relevância para utilização racional desse recurso, pois essas interpretações permitem a classificação das terras conforme sua aptidão de uso e condições de manejo (RAMALHO FILHO e BEEK, 1994).

No Brasil, os sistemas utilizados para classificação das terras mais difundidos são o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso das Terras, proposto por Klingebiel e Montgomery (1961), difundido por Lepsch H W (1991), e o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras desenvolvido por Ramalho Filho e Beek (1994), também conhecido por Sistema Brasileiro ou Sistema FAO (SCHNEIDER; GIASSON; KLAMT, 2007). Além destes sistemas, há outros sistemas de avaliação de terras, com destaque para Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação com enfoque no semiárido proposto por Amaral (2011). Este sistema tem por objetivo atenuar as restrições impostas pelos fatores edáficos e climáticos característicos do semiárido por meio do uso da irrigação.

Quanto às limitações, tanto o sistema americano, quanto o sistema brasileiro têm certos pré-requisitos que podem limitar sua aplicação. Porém, o sistema brasileiro apresenta como principal vantagem o fato de ser um sistema mais apropriado ao planejamento em escala menor, ou seja, em nível regional ou até mesmo de áreas maiores (SCHNEIDER;

GIASSON; KLAMT, 2007).

2.2.1 Sistema de Avaliação da aptidão agrícola (SAAT)

A avaliação da aptidão agrícola das terras é um método de interpretação de levantamento de solos baseado em resultados de levantamentos sistemáticos realizados com o suporte de diversos atributos relacionados com o sistema terrestre, tais como solo, clima, vegetação, geomorfologia, entre outros (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994). Segundo estes autores, tal avaliação está em função da tecnologia predominante na época de sua realização, pois se trata de um processo interpretativo e de caráter efêmero, ou seja, temporário, podendo sofrer variações com a evolução tecnológica.

O SAAT consiste em seis grupos de aptidão (1, 2, 3, 4, 5 e 6), três níveis de manejo tecnológico (A, B e C) e quatro classes de aptidão (boa, regular, restrita e inapta), conforme TABELA 3 e também, subgrupos de aptidão. Os grupos 1 a 3 englobam as classes aptas para lavouras, o grupo 4, classe apta para pastagem plantada, o grupo 5, classe apta para pastagem natural e silvicultura e o grupo 6 refere-se as terras sem aptidão para uso agrícola (RESENDE et al., 2007).

Tabela 3 – Grupos, classes de aptidão e alternativas de uso.

Grupo de Aptidão Agrícola		Classe de Aptidão		Nível de Manejo			Tipo de Utilização
				A	B	C	
Aumento das limitações de uso ↓	**Aumento das alternativas de uso** ↑	1	Boa	1A	1B	1C	Lavoura
		2	Regular	2a	2b	2c	
		3	Restrita	3(a)	3(b)	3(c)	
		4	Boa	-	4P	-	Pastagem Plantada
			Regular	-	4p	-	
			Restrita	-	4(p)	-	
		5	Boa	5N	5S	-	Silvicultura e Pastagem Natural
			Regular	5n	5s	-	
			Restrita	5(n)	5(s)	-	
		6	Inapta	Sem aptidão para uso agrícola			Preservação Ambiental

Fonte: Adaptado de Resende H W(2D0Z).

Os níveis de manejo referem-se ao emprego de tecnologia, assim os níveis de manejo A, B e C refletem, respectivamente, os níveis tecnológicos baixo, intermediário e alto.

O nível de manejo A pode ser adotado para lavouras e pastagem natural, já o nível de manejo B é empregado para lavouras, pastagem plantada e silvicultura, enquanto que o nível de manejo C é adotado somente para lavouras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994).

A avaliação da aptidão agrícola tem como objetivo estabelecer as possibilidades de uso das terras, permitindo uma visão mais adequada do potencial dos solos por meio das classes de aptidão. Estas são determinadas em função das condições agrícolas dos solos em relação a um ideal quanto ao grau de deficiência de nutrientes, deficiência de água, deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimento à mecanização, sendo que, as limitações destes fatores são quantificadas em grau: nulo (0); ligeiro (1); moderado (2); forte (3) e muito forte (4) (EMBRAPA, 2004).

As classes de aptidão refletem o grau de intensidade com que as limitações afetam o uso das terras (RAMALHO FILHO e BEEK, 1994). De acordo com a FAO (1976), estas classes são assim definidas:

- Classe boa – terras sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando às condições do manejo considerado;
- Classe regular – terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições de manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, levando a necessidade de insumos de forma a aumentar as vantagens globais a serem obtidas do uso;
- Classe restrita – terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições de manejo considerado. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou então, aumentam os insumos necessários, que os custos só seriam justificados marginalmente;
- Classe inapta – terras que apresentam condições que parece excluir a produção sustentada do tipo de utilização em questão. As terras consideradas inaptas para os diversos usos (lavouras, pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural), têm como alternativa a preservação ambiental, extrativismo ou algum outro uso não agrícola.

Na determinação da classe de aptidão agrícola dos solos são considerados os passos seguintes: a) síntese da influência das várias propriedades dos ecossistemas, que são fundamentais para as plantas ou para utilização agrícola; b) análise da intensidade dos fatores limitantes e a possibilidade e dificuldade de redução dos seus graus, considerando-se as opções dos níveis de manejo e determinação das classes de aptidão, em função da viabilidade de melhoramento (EMBRAPA, 2004).

Os desvios podem ser corrigidos através de práticas agrícolas, cujo objetivo é a redução das limitações e são estabelecidas em quatro classes de viabilidade de melhoramento (RESENDE H W2007).

- Classe a – Melhoramento viável com práticas simples e pequeno emprego de capital;
- Classe b – Melhoramento viável com práticas intensivas e mais sofisticadas e considerável aplicação de capital, considerada economicamente compensadora;
- Classe c – Melhoramento viável somente com práticas de grande vulto, aplicadas a projetos de larga escala que estão, normalmente, além das possibilidades individuais dos agricultores;
- Classe d – Sem melhoramento técnica ou econômica de melhoramento.

O subgrupo é adotado para atender as variações que ocorrem dentro do grupo, representando a interação da classe de aptidão com o sistema de manejo e o tipo de uso considerado (PEREIRA, 2002). Assim no subgrupo exemplificado 1BC, tem-se o indicativo de terras com boa aptidão (grupo 1) para lavouras em qualquer nível de manejo empregado, já para o subgrupo 2b(c), tem-se terras com aptidão regular (grupo 2) para lavouras no nível de manejo tecnológico B e aptidão restrita (grupo 3) no nível de manejo C.

O SAAT tem o mérito de considerar os diferentes níveis de manejos tecnológicos empregados no campo, atendendo a realidade brasileira (SCHNEIDER; GIASSON; KLAMT, 2007). Permite a introdução de outros fatores limitantes, conforme o nível de estudo venha exigir (RAMALHO FILHO e BEEK, 1994). Entretanto, necessita de adaptações para o uso no planejamento conservacionista de propriedades rurais ou de microbacias hidrográficas (SCHNEIDER; GIASSON; KLAMT, 2007).

2.2.2 Sistemas alternativos

Na literatura é possível encontrar alguns trabalhos nos quais os autores vêm procurando suprir as carências dos sistemas interpretativos mais utilizados no Brasil, por meio de adequações a peculiaridades de cada região, propondo metodologias alternativas de avaliação (UBERTI H W, 1990; PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004; WADT H W, 2008). Geralmente, por meio da inclusão de novos atributos do solo para determinação dos fatores limitante a exploração agrícola (NÓBREGA, WADT e ANJOS, 2008) e / ou por meio do estabelecimento de novos limites às classes de determinado atributo do solo (FRANCISCO; CHAVES; LIMA, 2013).

Estas metodologias baseiam-se na construção de quadro-guias cujo objetivo é associar as diferentes limitações de uso que ocorrem no ambiente com suas respectivas intensidades, permitindo por esta associação separar glebas de terras homogêneas e, consequentemente, a devida indicação de uso e manejo (NEUBERT, 1995).

Para ter ideia da necessidade de desenvolver sistemas alternativos de interpretação técnica, pode-se citar o exemplo das encostas basálticas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, neste exemplo, terras com boa potencialidade para culturas anuais e intensamente cultivadas com o uso de tração animal, devido à presença de pedregosidade e relevo acidentado, têm sua capacidade de uso subestimada quando avaliadas no Sistema de Capacidade de Uso das Terras (SCHNEIDER; GIASSON; KLAMT, 2007).

No âmbito do semiárido, a classificação técnica das terras por meio da aplicação direta do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras resulta na marginalização destas. Como exemplo, pode-se citar Sousa (2003) que avaliou a aptidão agrícola das terras numa microbacia hidrográfica do semiárido pelo método convencional e apurou que 42% da área da microbacia pertencia à classe 6, ou seja, terras sem aptidão agrícola; 39% terras apresentaram aptidão restrita para pastagem e os outros 19% terras apresentaram aptidão restrita para lavouras. Sousa H W (2013) estudaram o potencial pedológico para o cultivo de cana de açúcar e constatou que 67% da área do município de Buenos Aires (PE) apresentou de baixo a muito baixo potencial pedológico, de modo que os principais fatores limitantes foram associados à pouca profundidade efetiva dos solos e ao relevo forte ondulado a montanhoso. Daí a justificativa para o desenvolvimento de sistemas ou metodologias alternativas de classificação técnica das terras, cujo objetivo é adaptar estes sistemas às condições edafoclimáticas e/ou sociais da região objeto do estudo.

Nessa linha, Uberti H W (1990) propuseram uma metodologia de classificação técnica adequada às condições do estado de Santa Catarina, caracterizadas principalmente por pequenas propriedades, topografia acidentada com predominância de solos pedregosos e/ou rasos. Esta metodologia consiste em cinco classes de aptidão de uso agrícola, na qual os fatores limitantes considerados foram: declividade, profundidade efetiva do solo, suscetibilidade à erosão, limitação por fertilidade e drenagem (SILVA, 2007). Outro exemplo recente é a metodologia alternativa para classificação da aptidão agrícola das terras, proposta por Schneider, Giasson e Klamt (2007), que consiste na identificação e mapeamento das classes e subclasses de aptidão de uso com auxílio do quadro-guia.

A problemática de adequação dos sistemas às particularidades específicas de cada região não é única e exclusiva do Brasil. Boix e Zinck (2008) analisaram e avaliaram o

potencial de diversificação de culturas com base na avaliação da aptidão agrícola como ferramenta para adequar o uso das terras, combater à degradação física do solo e lidar com a variabilidade climática da Planície Charco na Argentina. Emadi H W (2010) propuseram uma metodologia baseada em geotecnologias para avaliar a aptidão agrícola em ambientes áridos e semiárido no sul do Irã com a finalidade de identificar as limitações relacionadas ao solo, bem como auxiliar na recuperação de áreas degradadas.

Geralmente, a adequação destes sistemas consiste na inclusão de novos atributos para determinação dos fatores limitantes a exploração agrícola (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004; NÓBREGA, WADT e ANJOS, 2008) e/ou estabelecimento de novos limites às classes de pedregosidade, profundidade efetiva e declividade do terreno (FRANCISCO; CHAVES; LIMA, 2013; WADT H W, 2008).

2.3 Atributos do solo

Para o manejo adequado do solo deve-se levar em consideração seus atributos físicos, químicos e biológicos, pois a qualidade destes propicia condições adequadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas e à sustentabilidade das gerações futuras (DORAN; PARKIN, 1994).

Os atributos físicos, químicos e biológicos são influenciados e influenciam o tipo de manejo e uso do solo, resultando em variações que afetam na qualidade do solo (CARNEIRO H W., 2009). A degradação destes atributos é resultado do uso e manejo inadequados, sendo a erosão hídrica destacada neste processo de degradação do solo e potencializada em solos com horizontes A e B rasos (FERREIRA, 2005).

A profundidade efetiva influencia diretamente na erodibilidade do solo, pois classes de solos com elevada profundidade efetiva apresentam maior resistência às perdas de solos quando comparadas com classes de menor profundidade efetiva e gradiente textural, pois estes atributos limitam fortemente a infiltração de água no perfil do solo potencializando a erosão hídrica (BERTOL; ALMEIDA, 2000). A profundidade efetiva, aliada à pedregosidade, também constitui importante fator limitante à mecanização agrícola. Uma vez que as terras com grau de impedimento à mecanização forte a muito forte estão relacionadas aos NEOSSOLOS LITÓLICOS, LUVISSOLOS CRÔMICOS e ARGISSOLOS VERMELHO AMARELO, que compreendem as fases rasas, declivosos e/ou pedregosos, assim como a solos com horizonte B argilosos, caráter vértico ou caráter nátrico dentro dos 40 cm de profundidade (FRANCISCO; CHAVES; LIMA, 2013).

O aprofundamento das informações sobre os atributos pedregosidade e profundidade efetiva do solo fundamenta-se no fato que aproximadamente 58% das classes de solos que ocorrem no semiárido, podem apresentar limitações quanto à pedregosidade e/ou profundidade efetiva do solo (CUNHA et al., 2010).

2.3.1 Profundidade efetiva do solo

A profundidade efetiva do solo refere-se à espessura máxima na qual não existem impedimentos físicos restritivos para as raízes penetrarem livremente, permitindo a fixação das plantas no solo e proporcionando um ambiente favorável para que as mesmas possam absorver água e nutrientes (LEPSCH et al., 2015). Este atributo determina também a viabilidade da execução das práticas de preparo do solo, o armazenamento de água, bem como a tolerância à perda de solo por erosão, de modo que solos profundos são mais tolerantes do que solos pouco profundos (SCHNEIDER; GIASSON; KLAMT, 2007).

A profundidade efetiva pode ser limitada pelo contato lítico, camadas cimentadas e mudança textural abrupta (OLIVEIRA, J., 2008), estrutura coesa (SOUZA et al., 2008), entre outros. Este atributo corresponde à soma das espessuras dos horizontes A e B, ou ainda (A+E) + B. No caso específico dos PLANOSSOLOS, devido ao endurecimento e impermeabilidade do horizonte B plânico, considera-se apenas a espessura do horizonte A ou A+E para estabelecimento da profundidade efetiva desta classe (EMBRAPA, 2013b).

Alguns autores relatam a importância da profundidade para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (SOUZA et al., 2008) e, consequentemente, para o rendimento das mesmas (COSTA et al., 2010).

O estudo do impacto da profundidade e dos demais atributos físicos do solo no desenvolvimento das raízes da bananeira mostrou que o solo mais profundo favoreceu o sistema radicular das plantas (MIOTTI et al., 2013). O aumento da profundidade efetiva de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO compactado, por meio de subsolagem profunda entre linhas de plantas de citros resultou em melhoria das propriedades físico-hídricas do solo e, consequentemente, num aumento significativo no rendimento de frutos (MEDEIROS et al., 2013).

O conhecimento da profundidade efetiva do solo é fundamental na determinação da capacidade de armazenamento de água e de elementos nutritivos na rizosfera (LEPSCH et al., 2015), pois o incremento na profundidade efetiva do solo resulta em maior disponibilidade de água e nutrientes e, consequentemente, num aumento do rendimento das

culturas (REDDY H W, 2004; COSTA H W, 2016).

Considerando as classes de solos do semiárido, observa-se que 43% dos solos apresentam pouca profundidade efetiva, caracterizando impedimento físico ao desenvolvimento das raízes, à mecanização agrícola, à infiltração de água no solo e, consequentemente, maior susceptibilidade à erosão (JACOMINE, 2002; CUNHA H W., D O 2010). Havendo ainda 14,7% de ARGISSOLOS que podem apresentar limitação decorrente da presença de gradiente textural (ROMERO; FERREIRA, 2010). A presença do gradiente textural limita a capacidade de drenagem interna, aumentando a suscetibilidade dos ARGISSOLOS, LUVISSOLOS e PLANOSSOLOS à ação dos processos erosivos (OLIVEIRA, F. H W, 2008). Isso, em alguns casos, pode culminar na remoção do horizonte superficial dos LUVISSOLOS e PLANOSSOLOS. Devido a exígua profundidade de algumas classes de solos que ocorrem com certa relevância no semiárido, Francisco, Chaves e Lima (2013) classificando as terras do estado da Paraíba para fins de mecanização agrícola, estabeleceram novos limites para as classes de profundidade efetiva e pedregosidade para a região.

2.3.2 Pedregosidade

A pedregosidade pode ser definida pela presença de cascalhos, pedras soltas ou afloramentos rochosos que ocorrem no perfil do solo ou na superfície do terreno. A pedregosidade qualifica áreas que, na presença superficial ou subsuperficial de quantidades expressivas de calhaus (2 a 20 cm) e matacões (20 a 100 cm), interferem no uso das terras, sobretudo no emprego de máquinas e equipamentos agrícolas (IBGE, 2007) e que podem ser avaliadas quanto às restrições que impõem à execução de práticas agrícolas (SCHNEIDER; GIASSON; KLAMT, 2007).

A pedregosidade é um dos principais atributos responsáveis pelo impedimento à mecanização agrícola (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004). A presença de calhaus e matacões acima de 3% da massa do solo e/ou da superfície do terreno torna impraticável a mecanização agrícola convencional, e quando superior a 15% inviabiliza também o uso de implementos agrícolas manuais (SANTOS H W, 2015). Além do mais, este atributo do solo tem importância significativa para estudos relacionados à conservação da umidade do solo, controle de erosão hídrica e eólica, infiltração de água, desgaste de implementos agrícolas e desenvolvimento do sistema radicular (LEPSCH H W., 2005), afetando direta ou indiretamente a oferta hídrica e de nutrientes às plantas, bem como a germinação das

sementes (EMBRAPA, 2013b). Daí a necessidade de estudar a importância da pedregosidade do solo na avaliação da aptidão agrícola das terras do semiárido, pois esta é uma das características dos solos do semiárido.

2.4 Uso e cobertura do solo

O levantamento de uso e cobertura do solo consiste em uma pesquisa temática que pode ser sintetizada por meio de mapas, fornecendo subsídio para uma análise ambiental do espaço físico (FOLLETTO, 2014), sendo essencial para a obtenção de informações sobre o grau de preservação ou antropização de um determinado local, bem como para a compreensão dos padrões de disposição do espaço (ALVES; CONCEIÇÃO, 2015).

A cobertura atual da terra é resultado da ação antrópica, estando diretamente ligada ao uso e manejo da terra (SEABRA; CRUZ, 2013). O entendimento das interações entre uso da terra e cobertura do solo no espaço-temporal é fundamental para a compreensão das mudanças da cobertura da terra em função do uso do solo (JANSEN; DI GREGÓRIO, 2002).

O mapeamento do uso e cobertura do solo é ferramenta fundamental à avaliação da capacidade de suporte ambiental, bem como ao direcionamento de práticas de manejo conservacionista a serem empregadas com a finalidade do desenvolvimento sustentável de determinada região (SANTOS; SANTOS, 2010). Este é também uma ação importante para planejar a ocupação de um determinado espaço, além de permitir a análise da expansão urbana e rural de uma determinada localidade (MARCHESAN H W., 2010).

O estudo do uso e cobertura do solo pode servir de referência para o monitoramento da biodiversidade, das áreas florestais, dos campos de pastagens, das mudanças climáticas, bem como ser aplicado para o controle de desertificação (DI GREGÓRIO; JANSEN, 1998). Trata-se de uma importante ferramenta para o melhor conhecimento das rápidas transformações da paisagem (SANTOS; SANTOS, 2010), pois as variações no uso e cobertura do solo constituem um dos mais importantes indicadores das mudanças que ocorrem nos ecossistemas (GILANI H W, 2010), influenciando diretamente na qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos (VANZELA, HERNANDEZ e FRANCO, 2010).

Ao longo do tempo o mapeamento do uso e cobertura do solo vem sendo empregado em estudos relacionados à degradação da cobertura vegetal natural (SILVA; LIMA; MENDONÇA, 2014), indicando que a atividade agropecuária é a grande responsável

pela devastação desta cobertura (FLAUZINO et al., 2010) e que dependendo do nível, tal degradação pode resultar em processo de desertificação em caso de ambiente semiárido (SILVA, Ana et al., 2009). Porém, outras atividades também são responsáveis pela degradação da cobertura vegetal, com destaque à extração de lenha para produção de carvão vegetal (BRASILEIRO, 2009).

2.5 Mapeamento da susceptibilidade à erosão

O uso da terra sem o devido planejamento contribui para o aumento das perdas de solos em níveis acima dos limites toleráveis (MELLO; BUENO; PEREIRA, 2006), resultando na redução da fertilidade do solo e da produtividade agrícola e no assoreamento dos cursos de água (DEMARCHI e ZIMBACK, 2014).

Para suavizar os resultados dos processos erosivos, é necessário conhecimento da área, adequando a ocupação do solo às condições de cobertura vegetal, tipo de solo e relevo (ARAGÃO et al., 2010). Neste sentido, o mapeamento da susceptibilidade do solo à erosão constitui um fator imprescindível para o planejamento agrícola e ambiental de uso das terras (VALLADARES et al., 2012), possibilitando o planejamento do uso e ocupação do espaço de forma sustentável ((DEMARCHI e ZIMBACK, 2014), podendo também ser aplicado na gestão territorial (MOTA et al., 2015).

A erosão é um processo trifásico que consiste no desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo (PRUSKI, 2009) por meio da ação dos agentes erosivos vento e água (MORGAN, 2005), podendo ocorrer naturalmente ou mediante intervenção antrópica (LEPSCH, et al., 2015). A ação antrópica como desflorestamento, pastoreio intensivo e descontrolado, aração e cultivo em áreas íngremes e queima da biomassa potencializa a susceptibilidade dos solos à erosão (BLANCO; LAL, 2008), bem como a ocorrência de chuvas torrenciais tão comuns no semiárido brasileiro (SILVA; PAIVA; SANTOS, 2009).

A suscetibilidade do solo à erosão diz respeito à facilidade com que o solo é removido pela ação do vento ou da água (PEREIRA, 2002) e depende de uma série de fatores. Entretanto, os principais fatores são: clima, tipo de solo, relevo e uso e manejo do solo (LEPSCH, 2010). A influência do solo na ação dos processos erosivos deve-se às suas propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas. Por exemplo, solos rasos ou pouco profundos e com textura argilosa contribuem para o escoamento superficial das águas e consequente aumento da susceptibilidade à erosão (FEITOSA et al., 2010).

A erodibilidade do solo é o efeito interligado de processos que regulam a resistência do solo à ação erosiva da chuva, indicando assim o nível de suscetibilidade à erosão em função das propriedades do solo (ARRAES; BUENO; PISSARRA, 2010), sendo um atributo próprio de cada solo (SILVA, Antônio H W., 2009). Esta é influenciada pela estrutura, consistência e agregação do solo e também pela sua resistência ao cisalhamento, pois o conjunto destas propriedades influencia o movimento da água, a distribuição de forças erosivas e a resistência ao arraste das partículas (BRYAN, 2000).

A textura e a estrutura do solo, o teor de matéria orgânica, as propriedades hidráulicas e a capacidade de armazenamento de água estão entre os atributos que afetam a erodibilidade do solo (BLANCO; LAL, 2008).

Devido ao elevado custo e a morosidade para determinar a erodibilidade do solo (DENARDIN, 1990) e diversos autores têm empreendido esforços no intuito de determiná-la por meio de funções de pedotransferência (MARQUES H W., 1997; SILVA H W., 2000; MANNIGEL H W., 2002), outros por meio de observações em condições de campo (ALBUQUERQUE H W., 2005; BERTOL et al., 2007; SILVA, Antônio H W., 2009), culminando nos mais diversos resultados para a diferentes classes de solo, independentemente do método.

2.6 Uso de geotecnologias aplicadas a estudos agrícolas e ambientais

As geotecnologias são definidas como o conjunto de tecnologias destinadas a coleta, processamento, análise e oferta de informações georreferenciadas, com destaque para sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas (SIG), sistema de posicionamento global (GPS), cartografia digital e topografia (ROSA, 2005). Atualmente é crescente a aplicação de geotecnologias para estudos agrícolas e ambientais, pois estas possibilitam uma visão abrangente do meio, facilitando a tomada de decisão. As geotecnologias se apresentam como instrumentos imprescindíveis para atividades de diagnóstico, análise, planejamento e gestão, facilitando a visualização e a distribuição de fenômenos geográficos físicos e sociais (MARTINS; ROSA, 2012). Neste cenário, as geotecnologias estão cada vez mais atuantes como um instrumento capaz de permitir a geração e manipulação de diversos produtos no sentido de se conhecer e diagnosticar as condições agrícolas e ambientais do espaço (FLAUZINO H W, 2010).

2.6.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é uma técnica para coleta de informações sobre a superfície terrestre por meio de imagens obtidas a distâncias remotas a partir da perspectiva de cima (MENESES; ALMEIDA, 2012), usando radiação eletromagnética em uma ou mais faixas do espectro eletromagnético refletidas ou emitidas a partir da superfície da terra (CAMPBELL; WYNNE, 2011). O espectro eletromagnético é contínuo cujo comprimento de ondas varia de nanômetros (raios gamas) a metros (ondas de rádio) (PURKIS; KLEMAS, 2011). Cada comprimento de onda interage de forma diferente com cada tipo de objeto terrestre, resultando numa assinatura espectral própria para cada alvo (REDDY, 2008).

O sensoriamento remoto configura-se como uma poderosa ferramenta para estudos ambientais, uma vez que facilita o levantamento de informações em áreas remotas, bem como possibilita o estudo de inúmeros problemas relacionados aos recursos naturais (RIBEIRO H W, 2008). Ao longo do tempo o sensoriamento remoto vem sendo aplicado nas mais diversas áreas do conhecimento científico, tais como no auxílio de levantamentos geológicos (SOUZA H W, 2016) e pedológicos (RIZZO H W, 2016), no monitoramento de incêndios florestais (GRANEMANN; CARNEIRO, 2009), bem como no levantamento de uso e cobertura do solo (FERNANDES H W, 2015).

Esta ferramenta permite, de forma rápida e eficiente, a obtenção de dados para o levantamento de uso e cobertura do solo (GIONGO H W, 2013), além de fornecer séries temporais que podem ser utilizadas para futuros planejamentos (CAMPOS, H W, 2004), daí sua importância para o mapeamento do uso e cobertura do solo. A análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo, por meio do uso de imagens de satélite, possibilita a identificação das principais mudanças ocorridas ao longo do tempo (MARCHESAN H W, 2016; ASSIS H W, D O 2014).

Entretanto, mapeamentos obtidos a partir de dados oriundos do sensoriamento remoto devem ser associados a um controle de qualidade (ANTUNES, 2004), pois os usuários precisam saber a confiabilidade destes mapas temáticos (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007). Para tanto, é necessário realizar algum procedimento estatístico que defina a acurácia ou exatidão da classificação de um produto derivado do sensoriamento remoto (BERNARDES, 2006). Neste sentido, a matriz de confusão possibilita determinar a precisão da classificação e caracterizar os erros, contribuindo para o refinamento da classificação (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007).

2.6.2 Sistema de informações geográficas - SIG

Nos dias atuais é indiscutível a importância do uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta no auxílio para a compreensão e gestão do espaço terrestre, uma vez que o SIG permite a aquisição, gestão, análise e visualização de dados espaciais para fins de planejamento, gestão e controle (KONECNY, 2003). O SIG é caracterizado por uma diversidade de aplicações, sendo utilizado nas mais diversas áreas do conhecimento científico, tais como: agricultura, meio ambiente, geografia, ecologia, economia, entre outras (HUISMAN; BY, 2009).

Numa ênfase ambiental, o sistema de informações geográficas pode auxiliar na avaliação de impactos ambientais, pois este é utilizado com sucesso na previsão do potencial de uso dos recursos naturais e dos solos (MIRANDA, 2012). O SIG também pode ser eficaz no suporte à decisão para recomendação de uso e manejo da terra (GIBOSHI; RODRIGUES; LOMBARDI NETO, 2006), bem como para mapeamento da degradação ambiental (MOTA; VALLADARES, 2011; CHAVES H W, 2010).

Devido à grande importância do SIG para o planejamento agrícola e ambiental, e também para o mapeamento da aptidão agrícola das terras, é possível relacionar alguns trabalhos na literatura que têm utilizado esta geotecnologia tanto na avaliação da aptidão agrícola das terras (PEDRON H W, 2006; SILVA; NOGUEIRA; UBERTI, 2010), como em estudos relacionados à erosão (LOPES H W, 2010).

O uso de álgebra de mapas entre atributos de solos, tais como: capacidade de troca de cátions, soma de bases, textura, erodibilidade solo, para estimativa da aptidão agrícola das terras demonstrou que o tratamento destas informações por meio de SIG tem permitido a representação da variabilidade espacial a partir de dados de campo (ASSAD; HAMADA; LANA, 2009). Ainda, a sobreposição dos mapas temáticos permite a análise espacial e individual de áreas quanto à aptidão agrícola e suas principais limitações e a espacialização do uso atual e os conflitos de uso das terras por parcela imobiliária com significativa redução de tempo e subjetividade nos cruzamentos, quando comparado com o método manual (SILVA; NOGUEIRA; UBERTI, 2010).

A avaliação de terras por meio de SIG baseado em análise multicritério, mostrou-se eficaz na identificação de áreas com potencial de expansão para o cultivo da seringueira (+HYHD EUDVLOLHQVLV) no interior da província de Quang Tri, Vietnã (NGUYEN H W, 2010). Quanto ao uso de SIG em estudos relacionados à erosão, esta geotecnologia possibilitou a geração de mapa de susceptibilidade à erosão por meio do método multicritério aditivo

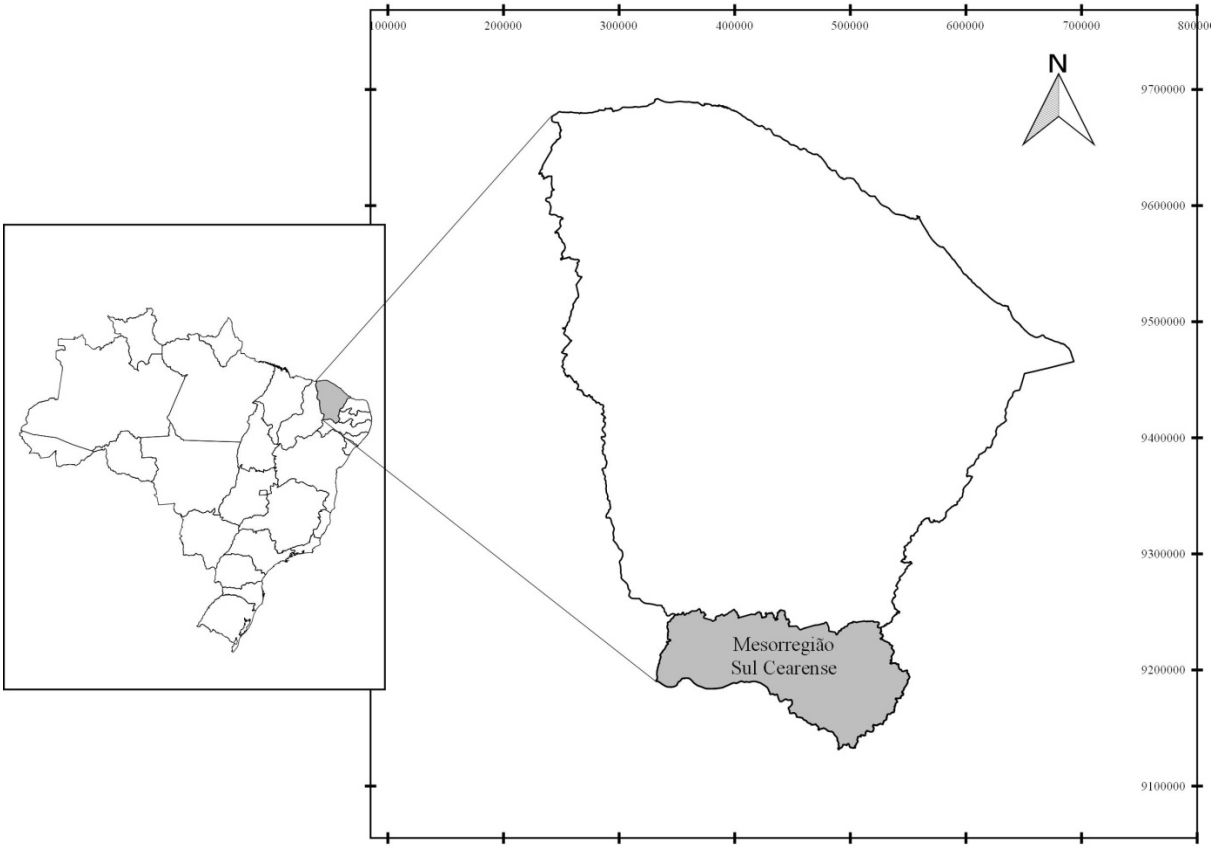
considerando os fatores pedologia, relevo e uso e cobertura do solo (VALLADARES H W, D O 2012). A utilização de SIG associada à USLE é uma importante ferramenta para estimar a perda de solo, pois permite a espacialização e quantificação destas perdas (PEREIRA H W, D O 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização fisiográfica da área de estudo

A área objeto do estudo situa-se na mesorregião do Sul Cearense (FIGURA 2), sendo formada por 25 municípios e compreendida na região semiárida do estado do Ceará, conforme delimitação estabelecida pela portaria interministerial nº 01, de 09 de março de 2005. De acordo com o IBGE (2016c), essa mesorregião ocupa uma área de 14.892,13 km², que corresponde a aproximadamente 10% da área total do estado do Ceará.

Figura 2 – Localização da mesorregião Sul Cearense.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.1 Geologia, Geomorfologia e Solos

A geologia da mesorregião Sul Cearense, não obstante, da geologia do estado do Ceará, é marcada pelo predomínio do embasamento rochoso pertencente ao domínio cristalino, representado principalmente por gnaisses, migmatíticos, micaxistos e granitos

(BRASIL, 1973). Entretanto, há também ocorrência de formações sedimentares, com destaque para a Chapada do Araripe e os depósitos aluviais e coluviais que ocorrem nas regiões dos vales e rampas de dessecação, respectivamente (FUNCEME, 2006).

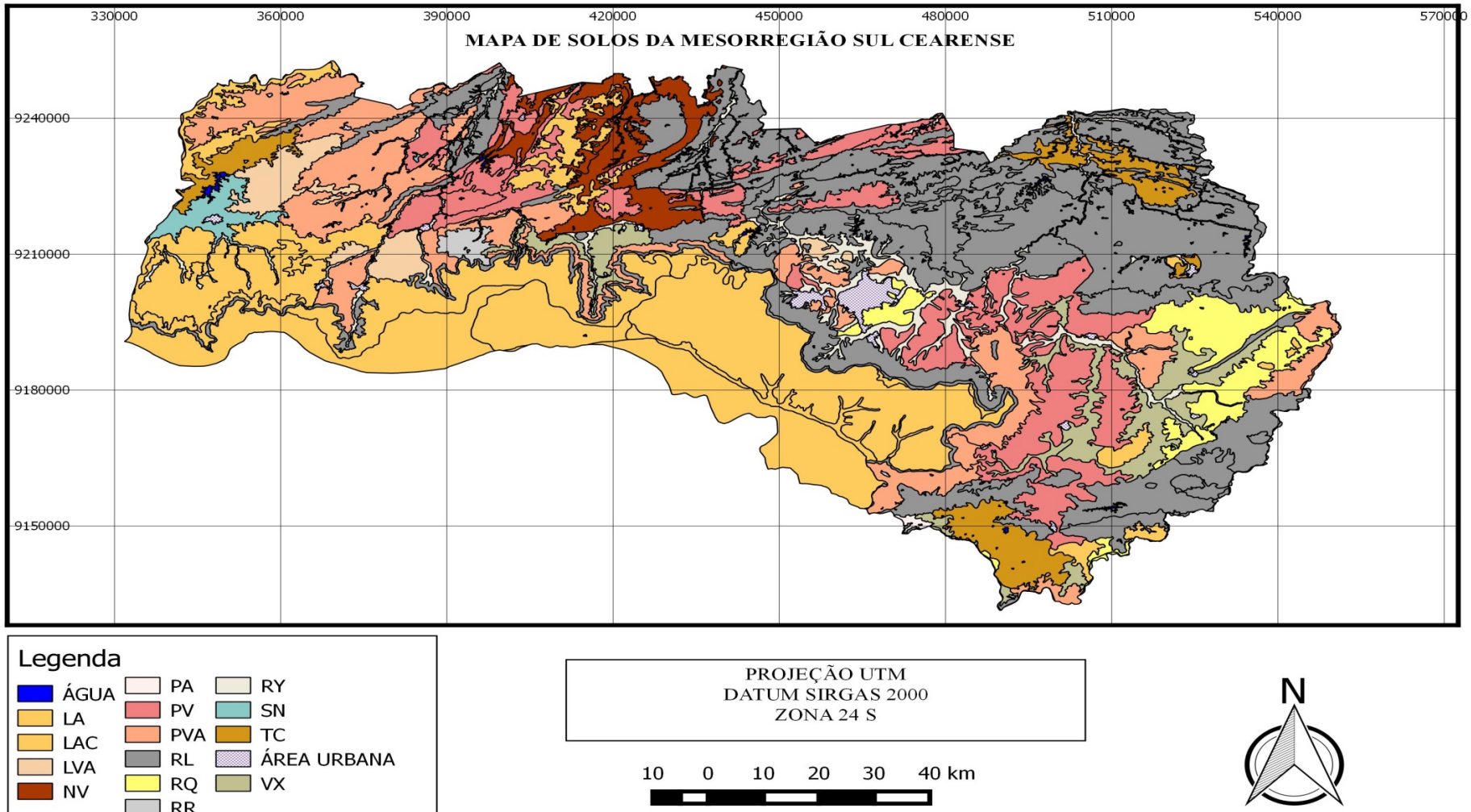
Na região de estudo são identificadas quatro unidades geomorfológicas: Chapada, Planícies Fluviais, Depressão Sertaneja e os Maciços Residuais (SOUZA, 2000). A Chapada do Araripe é uma formação sedimentar com altitude entre 850 a 900 m acima do nível do mar, o relevo varia de plano a suave ondulado e os declives não são superiores a 8% (FUNCEME, 2012).

As planícies fluviais abrigam as melhores condições de solos e disponibilidade hídrica, uma vez que essas formações acompanham os cursos dos rios, constituindo zonas geoambientais diferenciadas no âmbito do semiárido (COSTA, 2004).

A Depressão Sertaneja apresenta acentuadas mudanças de natureza litológicas e pedológicas, sendo caracterizada por vasto aplainamento consequente do processo de pediplanação, já os Maciços Residuais são serras constituídas por rochas do embasamento cristalino que apresentam extensões variadas e níveis altimétricos intermediários entre o planalto sedimentar e a Depressão Sertaneja (FUNCEME, 2012).

Os aspectos geológico e geomorfológico da mesorregião favoreceram a grande heterogeneidade da cobertura edáfica desta mesorregião, conforme FIGURA 3. Porém, há predomínio das seguintes classes de solos: ARGISSOLOS AMARELO (PA), ARGISSOLOS VERMELHO (PV), ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO (PVA), LATOSSOLOS AMARELO (LA), LATOSSOLOS ACINZENTADO (LAC), LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELO (LVA) e NEOSSOLOS LITÓLICOS (RL). Juntos esses solos correspondem a aproximadamente a 79% da área total da mesorregião, os demais 21% são ocupados pelos LUVISSOLOS CRÔMICOS (TC), NEOSSOLOS FLÚVICOS (RY), NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (RQ), NEOSSOLOS REGOLÍTICOS (RR), NITOSSOLOS VERMELHO (NV), PLANOSSOLOS NÁTRICO (SN) e VERTISSOLOS HÁPLICO (VX).

Figura 3 – Mapa de solos da mesorregião Sul Cearense.



Fonte: Adaptado de FUNCEME, (2012).

3.1.2 Clima

Conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima predominante na mesorregião é do tipo BShw', definido como Tropical Quente Semiárido, sendo caracterizado pela irregularidade das chuvas, deficiência hídrica e elevada evaporação (FUNCEME, 2012).

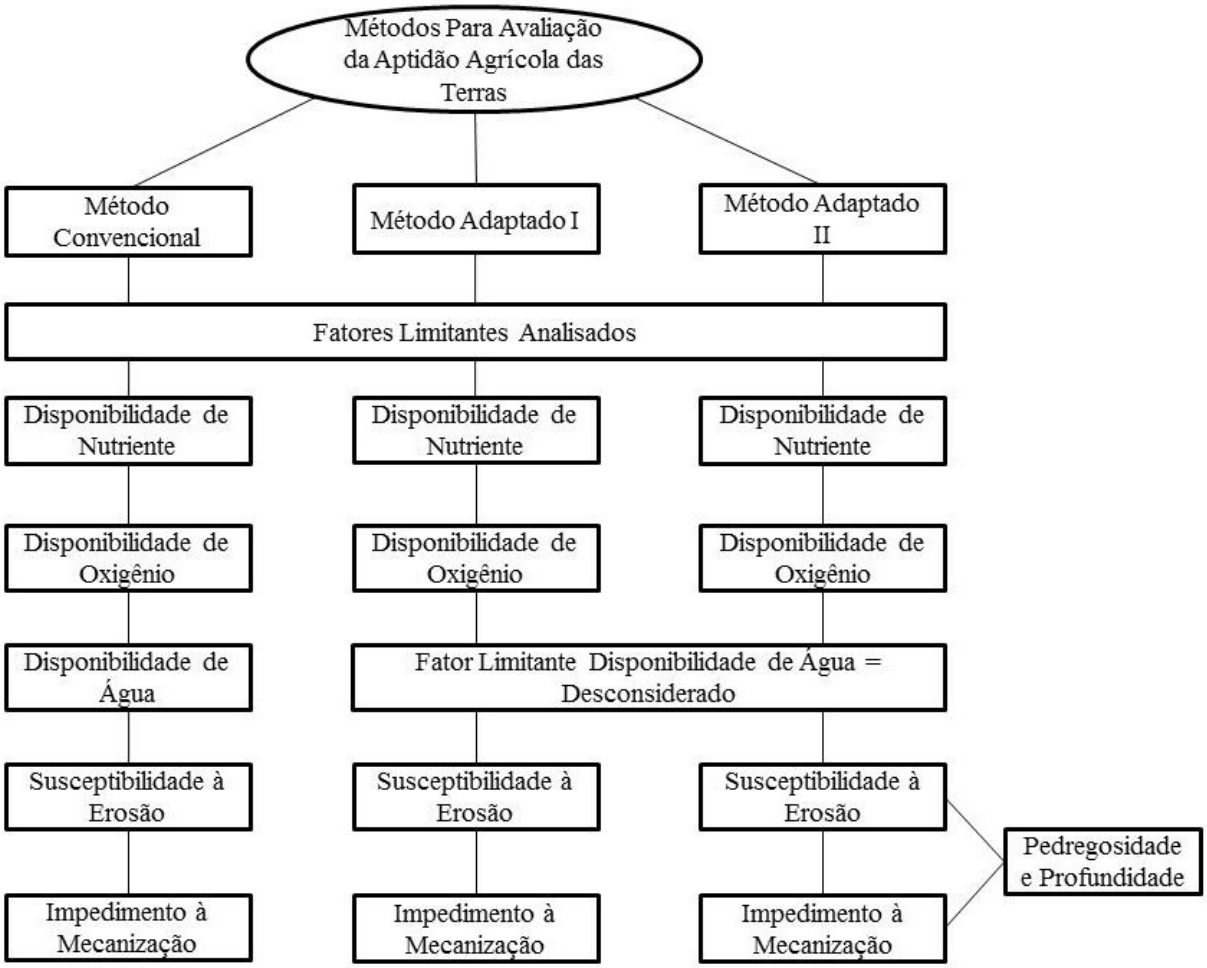
Essa região, não obstante, do restante do semiárido, apresenta grande variabilidade espacial na distribuição das chuvas entre os municípios, pois, enquanto que nos municípios de Barbalha, Caririaçu, Crato e Granjeiro a precipitação média anual supera 1.000 mm, nos municípios de Campos Sales e Penaforte a precipitação média anual fica na faixa dos 600 mm e a média histórica da mesorregião é de 840,0 mm (FUNCEME, 2016). De acordo com Mamede H W(2D12), a bacia hidrográfica do açude Orós que engloba alguns municípios do mesorregião Sul Cearense, apresenta evaporação potencial acima dos 2.000 mm anuais.

3.2 Avaliação da aptidão agrícola das terras

A aptidão agrícola das terras da mesorregião Sul Cearense foi determinada pelo método convencional proposto por Ramalho Filho e Beek (1994), pelo método adaptado I e pelo adaptado II (FIGURA 4), ambos adaptados a partir do método convencional.

Neste estudo, independentemente do método empregado para determinação da aptidão agrícola das terras, considerou-se para lavouras apenas os níveis de manejo B e C, pois as práticas adotadas no nível de manejo A não fazem uso dos princípios conservacionistas (EMBRAPA 2013b).

Figura 4 – Fluxograma com os métodos adotados para avaliação da aptidão agrícola das terras da mesorregião Sul Cearense.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O SAAT considera cinco fatores limitantes relacionados aos solos e ao ambiente: disponibilidade de nutrientes (N), disponibilidade de água (A), disponibilidade de oxigênio (O), impedimento à mecanização (M) e susceptibilidade à erosão (SE). Para a estimativa destes fatores limitantes e consequente obtenção da aptidão agrícola das terras, foi consultado o relatório técnico e extraídos os dados analíticos e morfológicos de 93 perfis de solos representativos das unidades de mapeamento (UMs) que compõem o Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da mesorregião Sul Cearense na escala 1:100.000 (FUNCEME, 2012). Com esses dados foram obtidas informações sobre os atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos solos que ocorrem nesta mesorregião.

Por se tratar de um levantamento de reconhecimento de média intensidade em escala de 1:100.000, na maioria das vezes, as UM's costumam ser constituídas por

associações de solos, ou seja, formadas por duas ou mais classes de solos (IBGE, 2007). Estas classes de solos que compõem as UM's podem apresentar atributos físicos, químicos e mineralógicos diferentes e, por consequência, aptidões distintas. Por essa razão, foram estabelecidas três regras para a simbolização da aptidão agrícola destas UM's, conforme detalhadas abaixo:

1 – No caso das unidades de mapeamento simples, o símbolo foi igual ao da aptidão da UM, conforme exemplificado na unidade de mapeamento LA1 (TABELA 4);

2 – Quando as classes de solos que compõem a unidade de mapeamento composta apresentaram aptidões semelhantes e o somatório da área destas classes representaram no mínimo 70% da área total da UM, adotou-se o símbolo que representa aptidão de, no mínimo 70% da área total da UM para identificar a aptidão da unidade de mapeamento composta, conforme exemplificado por meio das unidades PVA1 e LA3 (TABELA 4);

3 – No caso de unidades de mapeamento composta, sem aplicabilidade da regra n° 2, usou-se um símbolo composto, conforme PV12 (TABELA 4).

Tabela 4 – Regras para simbolização da aptidão das unidades de mapeamento.

Unidade de mapeamento	Classes de solos da unidade de mapeamento	Aptidão	Legenda
LA1	LA Distrófico típico (100%)	2bc	2bc
PVA1	PVA Distrófico típico (40%) + LVA Distrófico típico (30%) + LA Distrófico típico (30%)	2bc/3(bc)/2bc	2bc
LA3	LA Distrófico típico (60%) + LA Distrófico plíntico (40%)	2bc/2bc	2bc
PV12	PV Distrófico latossólico (50%) + RL Eutrófico fragmentário (25%) + NV Eutrófico típico (25%)	4P/6/5n	4P/6/5n

Fonte: Elaborado pelo autor.

2bc – terras com aptidão regular nos níveis de manejo tecnológico B e C; 3(bc) – terras com aptidão restrita nos níveis de manejo tecnológico B e C; 4P – terras com aptidão boa para pastagem plantada; 5n – terras com aptidão regular para pastagem natural; e 6 – terras inaptas para uso agrícola.

3.3.1 Determinação da aptidão agrícola pelo método convencional

A classificação da aptidão agrícola das terras foi realizada conforme metodologia do sistema FAO⁄Brasileiro proposta por Ramalho Filho e Beek (1994). Na qual a determinação da aptidão agrícola deu-se por meio de estudo comparativo entre os graus de limitação observados nos atributos dos solos e do ambiente (N, A, O, M e SE) e os graus de

limitação atribuídos em um quadro-guia para região semiárida (Anexo A). Os graus de limitação ou grau de desvio (Δ) são maiores ou iguais a zero e expressos em ordem crescente, conforme severidade da limitação, sendo 0 – nulo; 1 – ligeiro; 2 – moderado; 3 – forte e 4 – muito forte.

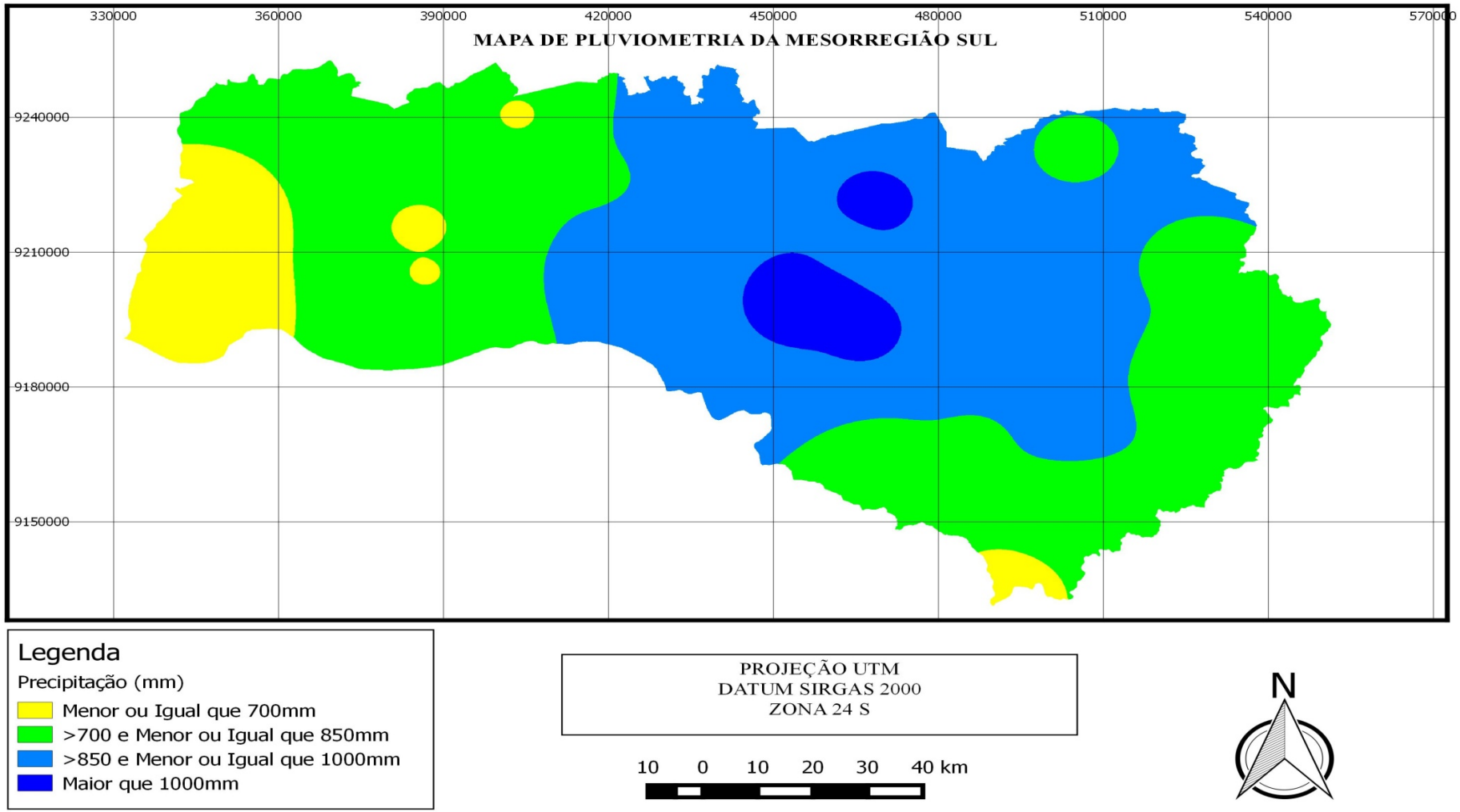
As informações inerentes aos atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo, bem como a descrição morfológica, foram obtidas por meio da interpretação de 93 perfis de solos representativos das unidades de mapeamento dos solos da mesorregião do Sul Cearense.

A caracterização do relevo de cada unidade de mapeamento para fins de classificação da aptidão agrícola das terras deu-se, associando as informações sobre o relevo da área contidas no levantamento pedológico com o mapa de classes de declividade obtido por meio do uso de geotecnologias.

Para analisar a limitação da disponibilidade de água, conforme previsto na metodologia convencional, foram utilizados dados de precipitações extraídos da série histórica (1974 a 2015) de 25 postos de observações da FUNCEME (2016). Com essas informações foi possível gerar as isoietas e, consequentemente, o mapa de pluviometria da região (FIGURA 5). A geração das isoietas foi importante, pois possibilitou a espacialização do nível de limitação do fator disponibilidade de água dentro da região de estudo.

Seguindo as recomendações do SAAT (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994) em relação ao fator água, determinou-se o grau de desvio deste fator em função da ocorrência de chuvas. Às zonas que apresentam precipitação média abaixo de 700 mm anuais foram atribuídas grau de limitação forte (3); o grau de limitação moderado (2) foi atribuído às regiões que apresentam precipitação média superior a 850 mm, enquanto que as áreas com precipitação histórica entre 700 e 850 mm receberam grau de limitação intermediário (2/3) entre moderado e forte (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994; RESENDE H W, 2007).

Figura 5 – Mapa de pluviometria da mesorregião Sul Cearense



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.2 Determinação da aptidão agrícola pelos métodos adaptado I e adaptado II

0 p W R G R D G D S W D G R ,

O método adaptado I consistiu numa adaptação do método convencional para avaliação da aptidão das terras proposto por Ramalho Filho e Beek (1994). No qual o fator limitante disponibilidade de água foi desconsiderado, porém os demais fatores limitantes foram analisados igualmente à metodologia convencional, inclusive o número de perfis de solo analisados.

Havendo assim, modificação somente quanto ao fator limitante disponibilidade de água (FIGURA 4), pois este consiste numa problemática comum a toda região semiárida, podendo ser contornado somente com uso de técnicas de irrigação. De acordo com Araújo H W D. Q(2013) a deficiência hídrica é a principal limitação das terras semiáridas do nordeste, independentemente do nível de manejo empregado.

0 p W R G R D G D S W D G R , ,

O método adaptado II consistiu em desconsiderar o fator limitante disponibilidade água. Além disso, neste método foram estabelecidas modificações com a finalidade de adaptar o SAAT as condições edáficas do semiárido (FIGURA 4). Dessa forma, foram incorporados novos limites às classes de profundidade efetiva do solo, considerando as profundidades dos solos da região (TABELA 5). Bem como, considerou-se o atributo pedregosidade.

Tabela 5 – Limites das classes de profundidade efetiva do solo, utilizados para a avaliação da aptidão agrícola pelos diferentes métodos.

Método Convencional e Adaptado I		Método Adaptado II	
Classe	Profundidade (cm)	Classe	Profundidade (cm)
Muito profundo	> 200	Muito profundo	> 100
Profundo	100 – 200	Profundo	60 – 100
Pouco profundo	50 – 100	Pouco profundo	40 – 60
Raso	25 – 50	Raso	20 – 40
Muito raso	< 25	Muito raso	< 20

Fonte: Adaptado de Pereira e Lombardi (2004), Wadt H W(2008) e Francisco, Chaves e Lima (2013).

Em relação ao atributo pedregosidade foram adotados os parâmetros já definidos (TABELA 6) por Pereira e Lombardi Neto (2004) para fins de avaliação da aptidão agrícola das terras, pois não foi possível estabelecer novos limites às classes de pedregosidade devido à insuficiência de informações quantitativas no relatório de levantamento pedológico sobre as frações granulométricas calhaus, cascalho e terra fina. No relatório estão disponíveis apenas informações qualitativas sobre pedregosidade na descrição dos perfis do solo.

Tabela 6 – Classes de pedregosidade utilizadas para a avaliação da aptidão agrícola pelos diferentes métodos.

Classe	Pedregosidade (%)
Não pedregosa	Sem fragmentos
Pedregosa	< 15
Muito Pedregosa	15 a 50
Extremamente pedregosa	> 50

Fonte: Adaptado de Pereira e Lombardi (2004).

Os novos limites das classes de profundidade efetiva adotados estão em conformidade aos propostos por Francisco, Chaves e Lima (2013), que estabeleceram uma profundidade limite de 40 cm, pois consideraram esta como o alcance máximo de penetração dos referidos implementos no solo, bem como os limites propostos por Wadt H W(2008), que estabeleceram a profundidade de 100 cm como limite superior. Além do mais, o sistema radicular das principais espécies vegetais cultivadas na região em regime de sequeiro (arroz, feijão, mandioca e milho) apresenta maior desenvolvimento em profundidades em torno de 40 cm.

Guimarães H W(2010) estudando o sistema radicular do arroz constataram que as raízes concentram-se nos primeiros 40 cm. As raízes de feijão concentram seu sistema radicular dentro dos primeiros 30 cm de profundidade (PIRES H W, 1990; STONE, 2002). Já a profundidade do sistema radicular do milho varia de 40 a 50 cm (ALBUQUERQUE; RESENDE, 2002).

A profundidade efetiva do solo, além de influenciar diretamente nos fatores impedimento à mecanização e susceptibilidade a erosão, influencia também nos fatores limitantes disponibilidade de água e oxigênio do solo. Porém, neste estudo foram estabelecidas modificações relacionadas somente aos fatores limitantes susceptibilidade à erosão e restrição à mecanização agrícola. Ressaltando que o fator limitante disponibilidade de água também foi desconsiderado. Os demais fatores limitantes que compõe o sistema de

avaliação da aptidão agrícola das terras não foram alterados, permanecendo idênticos ao método convencional, conforme já retratado na FIGURA 4.

As modificações com a finalidade de atenuar as restrições impostas pelas condições edáficas do semiárido modificaram a determinação dos fatores limitantes susceptibilidade à erosão e impedimento à mecanização. Dessa forma, o fator limitante susceptibilidade à erosão foi determinado associando declividade do terreno aos novos limites das classes de profundidade efetiva do solo (TABELA7).

Tabela 7 – Graus de restrição ao uso devido à susceptibilidade à erosão.

Relevo		Profundidade efetiva do solo (cm)				
Relevo	Declividade	>100	60 a 100	40 a 60	20 a 40	<20
		Graus de restrição				
Plano	0 a 3 %	0	1	2	3	4
Suave ondulado	3 a 8 %	1	1	2	3	4
Moderadamente ondulado	8 a 13 %	2	2	3	4	4
Ondulado	13 a 20 %	3	3	4	4	4
Forte ondulado	20 a 45 %	4	4	4	4	4
Montanhoso e Escarpado	>45 %	4	4	4	4	4

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1994), Wadt H W (2008) e Francisco, Chaves e Lima (2013).

0 = Nulo; 1 = Ligeiro; 2 = Moderado; 3 = Forte; e 4 = Muito Forte.

Já o fator limitante impedimento à mecanização foi determinado em função do grau de limitação dos atributos declividade do terreno, pedregosidade e profundidade efetiva do solo (TABELA 8).

Tabela 8 – Graus de restrição ao uso devido ao impedimento à mecanização.

Grau de limitação	Declividade	Pedregosidade (% volume ocupado)	Profundidade efetiva (cm)
0: Nulo	0 - 3%	Sem fragmentos	> 100
1: Ligeiro	3 - 8%	< 15	60 a 100
2: Moderado	8 - 20%	15 a 50	40 a 60
3: Forte	20 - 45%	> 50	20 a 40
4: Muito Forte	>45%	> 50	< 20

Fonte: Adaptado de Pereira e Lombardi Neto (2004), Wadt H W (2008) e Francisco, Chaves e Lima (2013).

Para determinação da aptidão agrícola pelo método adaptado II foram analisados somente 46 perfis representativos das unidades de mapeamento que contemplaram as classes de solos com restrições relacionadas à pedregosidade e profundidade efetiva do solo. Os demais perfis que compõem o levantamento pedológico não foram novamente analisados, pois os mesmos são representativos de classes de solos que não apresentam limitações relacionadas aos atributos investigados. Os 46 perfis novamente analisados representam as classes dos ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS e PLANOSSOLOS.

Por último foi realizado um comparativo dos produtos obtidos por meio da classificação da aptidão agrícola das terras pelos métodos convencional, adaptado I e adaptado II. Com finalidade de mensurar em termos percentuais o quanto que as modificações incorporadas ao SAAT ampliaram a aptidão agrícola das terras do semiárido cearense.

3.4 Levantamento de uso e cobertura do solo

3.4.1 Seleção de imagens e pré-processamento

Para o levantamento de uso e cobertura dos solos foram utilizadas imagens dos sensores TM/Landsat 5 e OLI/Landsat 8 correspondentes às órbitas/pontos 216/065 e 217/065.

O satélite Landsat 5 foi lançado em 1º de março de 1984, sendo desativado somente em 05 de junho de 2013, já o Landsat 8 foi lançado em 11 de fevereiro de 2013 e continua operacional. Ambos satélites possuem tempo de revisita (resolução temporal) de 16 dias. O Landsat 5 possui resolução espectral de 7 bandas, enquanto que a resolução espectral do Landsat 8 é de 11 bandas. As imagens geradas pelos sensores TM/Landsat 5 e OLI/Landsat 8 tem resolução espacial de 30 metros, porém apresentam diferentes resoluções radiométricas, pois enquanto as imagens do sensor TM/Landsat 5 possuem resolução radiométrica de 8 bits, as imagens do sensor OLI/Landsat 8 possui resolução radiométrica de 16 bits.

As imagens utilizadas neste trabalho foram adquiridas gratuitamente junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS). Devido ao tamanho da área de estudo, foram necessárias duas cenas para o total recobrimento da mesma.

Neste trabalho foi utilizada uma série temporal com objetivo de representar a evolução dos diferentes usos e coberturas ao longo do tempo. A série foi compreendida entre os anos de 2007 e 2015, porém para os anos de 2010 e 2012 não havia imagens com boa

qualidade disponível, por isso que estes dois anos não foram investigados. Sendo assim, foi selecionado um par de imagens para cada ano de estudo, correspondendo ao período da estação seca.

A escolha das imagens da estação seca deve-se ao fato destas apresentarem menor cobertura de nuvens quando comparada com as imagens correspondente ao período chuvoso, influenciando positivamente a classificação (SOUZA H W., 2007). As imagens utilizadas correspondentes a cada ano estão apresentadas na TABELA 9.

Tabela 9 – Informações relacionadas às imagens selecionadas.

Satélite	Sensor	Ano	Data	Órbita	Ponto
Landsat 5	TM	2007	28/09	216	65
			18/08	217	
		2008	14/09	216	
			21/09	217	
		2009	01/09	216	
			24/09	217	
		2011	06/08	216	
			29/08	217	
Landsat 8	OLI	2013	12/09	216	65
			19/09	217	
		2014	15/09	216	
			22/09	217	
		2015	04/10	216	
			09/09	217	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na etapa de análise e processamento das informações geográficas, imagens de satélite e mapas de uso e cobertura pelas diferentes metodologias, foram utilizados os softwares ENVI versão 4.7, Qgis versão 2.8 e Google Earth Pro versão 7.1.

Inicialmente realizou-se a correção geométrica (georreferenciamento) das imagens provenientes do satélite Landsat 5, tendo como base para esta correção as imagens obtidas pelo satélite Landsat 8, uma vez que estas já estão devidamente georreferenciadas e podem ser adotadas como base para tal processamento (DUARTE et al., 2015).

O georreferenciamento de imagens consiste em estabelecer uma relação geométrica entre pixels da imagem e as coordenadas geográficas da área correspondente (IBGE, 2001) por meio de transformações geométricas simples, usualmente transformações polinomiais (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Para identificação dos alvos terrestres de interesse, utilizou-se a composição R (red) G (green) B (blue) falsa cor composta pelos comprimentos de onda correspondentes ao infravermelho, vermelho e verde, respectivamente. Tais comprimentos de onda referem-se respectivamente às bandas 4, 3 e 2 do sensor TM (Landsat 5) e às bandas 5, 4 e 3 do sensor OLI (Landsat 8). Tal composição possibilitou uma melhor identificação entre solo, água e, principalmente, diferenças na vegetação.

3.4.2 Mapeamento do uso e cobertura do solo

O levantamento e mapeamento de uso e cobertura do solo da mesorregião Sul Cearense foi realizado por meio de classificação supervisionada utilizando algoritmo estatístico de reconhecimento de padrões espectrais Máxima Verossimilhança Gaussiana (Maxver). Como limiar de probabilidade (probability threshold) foi utilizado o valor de 5%.

Com objetivo de entender o comportamento e a evolução do uso e cobertura do solo da região de estudo ao longo de uma sequência temporal, foram definidas cinco classes de uso e cobertura, sendo estas: água, cultivo I, cultivo II, floresta densa e floresta rala.

A classe água compreende lagos e reservatórios artificiais presentes na área. A classe cultivo I compreende áreas de pousio e pastagens natural e plantada, e a classe cultivo II compreende culturas agrícolas de sequeiro e solo exposto. A classe floresta densa é representada por áreas de vegetação arbórea densa, principalmente cerradão que ocorre em áreas de altitudes mais elevadas, e a classe floresta rala pela vegetação de porte baixo a médio, sendo caracterizada pela caatinga arbustiva e áreas de cerrado arbustivo. Para identificação destas classes foi amostrado um número representativo de pixels para cada classe de uso e cobertura do solo.

Além da utilização de imagens para levantamento de uso e cobertura do solo, alguns locais previamente definidos foram escolhidos para serem visitados com objetivo de reconhecimento da área, validação do processo de classificação e identificação dos principais usos e coberturas do solo. Os critérios pré-estabelecidos para a visita “in loco” foram os seguintes: visitar locais que apresentavam confusão na classificação, abranger a maior área possível e identificar em campo as principais classes de uso e cobertura do solo.

Para mensurar e avaliar a qualidade e exatidão da classificação supervisionada das imagens e, consequentemente, o mapeamento em questão, foram adotados os coeficientes de concordância Exatidão Global (Equação 1) e Índice Kappa (Equação 2) obtidos por meio de matriz de confusão resultante da correlação dos dados de referência com os dados

classificados (PRINA; TRENTIN, 2015). A matriz de erros ou confusão é uma matriz quadrada, onde geralmente, as colunas representam os dados de referência (dados verdadeiros) e as linhas representam a classificação gerada a partir dos dados de sensoriamento remoto (CONGALTON, 1991).

$$G = \frac{\Sigma X_{ii}}{n} \quad (1)$$

Onde, exatidão global (G) é calculada dividindo o somatório da diagonal principal da matriz de confusão x_{ii}, pelo número total de amostras coletadas n.

$$K = \frac{\mathbf{n}\,\Sigma X_{ii} - \Sigma X_{i+} X_{+i}}{\mathbf{n}^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} \quad (2)$$

Onde K é uma estimativa do coeficiente Kappa; x_{ii} é o valor na linha i e coluna i; x_{i+} é a soma da linha i e x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de amostras.

Para avaliação do índice Kappa foram utilizados os parâmetros propostos por Landis e Koch (1977), conforme TABELA 10. Em relação à exatidão global para que a classificação seja aceitável, o valor mínimo é de 85% (GUPTILL; MORRISON, 1995).

Tabela 10 – Qualidade da classificação conforme Índice Kappa.

Valor de Kappa	Qualidade da classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

3.5 Levantamento de dados da produção agrícola

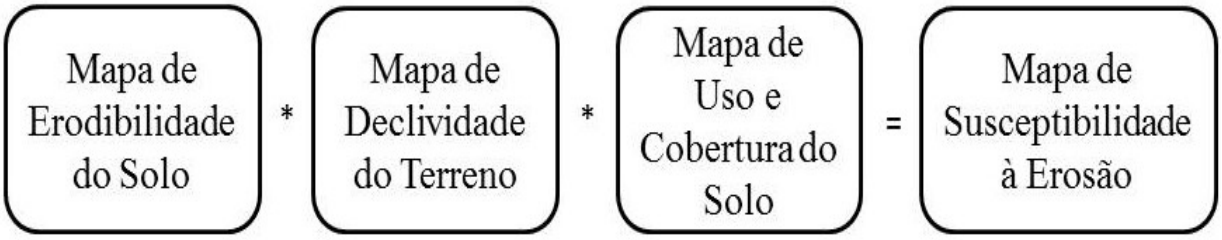
As informações sobre a produção agrícola da região objeto de estudo, foram levantadas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016b), pois este detêm dados estatísticos confiáveis sobre a produção agrícola anual de todo território nacional.

Os dados sobre área plantada, área colhida e produtividade das principais culturas temporárias cultivadas na região entre os anos de 2007 e 2014 foram utilizadas para comparar o comportamento da produção e rendimento destas em função da pluviosidade anual.

3.6 Mapeamento da susceptibilidade à erosão

O mapa de susceptibilidade à erosão foi gerado a partir do cruzamento dos mapas de erodibilidade do solo, de declividade e de uso e cobertura do solo por meio de operações de álgebra de mapas. Para tanto, foi adotado o método multiplicativo, conforme esquematizado na FIGURA 6, no qual foi atribuído peso igual a ambos os temas e utilizada à ferramenta calculadora raster do Software Qgis versão 2.8. A álgebra de mapas consiste no uso de expressões contendo operadores ou funções que possibilitem realizar análise espacial cartográfica utilizando dados matriciais.

Figura 6 – Procedimento metodológico para determinação da susceptibilidade à erosão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o mapeamento da susceptibilidade à erosão foi necessária primeiramente à obtenção do mapa de uso e cobertura do solo, mapa de declividade e mapa de erodibilidade do solo.

O mapa de declividade foi gerado a partir do modelo digital de elevação (MDE) da área, este foi derivado de dados TOPODATA, com auxílio do software livre Quantum Gis versão 2.8. Estes dados foram obtidos por meio de krigagem que consistiu no refinamento de dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) com resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) (VALERIANO, 2008).

Para elaborar o MDE com recobrimento de toda área foi necessário realizar mosaico das seguintes folhas com 1º latitude por 1,5º longitude: 06S39, 06S405, 06S42, 07S39, 07S405 e 07S42 disponibilizadas pelo projeto TOPODATA (INPE) através do site: http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php.

O modelo digital de elevação possibilitou a definição da declividade da área que posteriormente foi reclassificada em classes de declividade conforme parâmetros propostos por Ramalho Filho e Beek (1994) e atribuído uma nota e um grau de risco a cada classe de declividade (TABELA 11).

Tabela 11–Grau de risco à erosão em função da declividade do terreno.

Classe de Declividade	Limites de Classe	Grau de Risco de Erosão
Plano	0 – 3%	1 – Muito Baixo
Suave ondulado	3 – 8%	2 – Baixo
Moderado ondulado	8 – 13%	3 – Médio
Ondulado	13 – 20%	4 – Alto
Forte ondulado	>20%	5 – Muito Alto

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1994) e Chaves H W.(2015).

O mapa de uso e cobertura do solo foi obtido conforme metodologia anteriormente descrita no item 3.4. Porém, foi utilizado somente o mapa referente ao ano de 2014 por apresentar menor influência de nuvens no produto final quando comparado aos demais anos. O mapa de uso e cobertura também foi reclassificado a fim de estabelecer uma nota correspondente ao grau de risco para cada classe de uso (TABELA 12).

Estudos sobre susceptibilidade à erosão têm relacionado áreas de florestas a baixa susceptibilidade à erosão (CHAVES H W, 2015), as áreas de pastagem ao risco intermediário e solos expostos a alta susceptibilidade à erosão (VALLADARES et al., 2012.

Tabela 12 – Grau de risco de erosão em função do uso e cobertura do solo.

Classe de Uso e Ocupação do Solo	Grau de Risco de Erosão
Corpos hídricos	1 – Muito Baixo
Floresta Densa	1 – Muito Baixo
Floresta Rala	2 – Baixo
Cultivo I	3 – Médio
Cultivo II	4 – Alto

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para obtenção do mapa de erodibilidade do solo foi necessário calcular esta a partir das informações de textura e permeabilidade contidas em cada perfil de solo que compõe o levantamento pedológico da mesorregião e, em seguida, espacializá-la, ou seja, associá-la a cada unidade de mapeamento. Uma vez gerado o mapa em formato vetorial, este foi convertido para formato matricial (raster), por meio da ferramenta “Rasterizar” do Software Qgis versão 2.8, a fim de permitir o posterior cálculo.

A erodibilidade do solo foi calculada de acordo com metodologia proposta por Denardin (1990) e adaptada por Chaves H W. (2015) para as condições edafológicas do Estado da Paraíba, cuja a equação matemática (Equação 3) para calcular a erodibilidade do solo (K) foi:

$$K = 0{,}00000797(M) + 0{,}0029283(P) \qquad (r^2 = 0{,}9561) \qquad (3)$$

Onde: “M” é a variável granulométrica que representa as frações silte e areia muito fina, pois estas são as frações granulométricas do solo mais facilmente dispersas e transportadas pela água (PRUSKI, 2009) e a variável “P” refere-se às classes de permeabilidade e foi estimada a partir da correspondência com as classes de drenagem descritas no Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos – Mesorregião do Sul Cearense (TABELA 13).

Tabela 13 – Correspondência entre classes de drenagem e permeabilidade do solo.

Classe de Drenagem	Classe de Permeabilidade	Índice da Variável “P”
Muito mal drenado	Muito lenta	6
Mal drenado	Muito lenta	6
Imperfeitamente drenado	Lenta	5
Moderadamente drenado	Lenta a Moderada	4
Bem drenado	Moderada	3
Acentuadamente drenado	Moderada a Rápida	2
Fortemente drenado	Rápida	1
Excessivamente drenado	Rápida	1

Fonte: Adaptado por Francisco (2013).

Neste estudo foi calculado apenas a erodibilidade do horizonte superficial. Nos casos das associações de solos, foi adotada a erodibilidade da classe de solo dominante, de modo que foi atribuído um valor para cada unidade de mapeamento e agrupado em cinco classes de erodibilidade, conforme a TABELA 14.

Tabela 14 – Grau de risco de erosão em função da erodibilidade do solo.

Erodibilidade ($Mg.mm.MJ^{-1}.ha^{-1}$)	Grau de Risco de Erodibilidade
<0,01	1 – Muito baixo
0,01 – 0,02	2 – Baixo
0,02 – 0,03	3 – Médio
0,03 – 0,04	4 – Alto
>0,04	5 – Muito alto

Fonte: Adaptado de Chaves H W(2D1S).

Uma vez obtido, o mapa de susceptibilidade foi reordenado em classe de risco de erosão de acordo com as classes estabelecidas na TABELA 15.

Tabela 15 – Classes de susceptibilidade à erosão.

Classe de suscetibilidade à erosão	Intervalo de classe
Muito Baixa	0 – 1
Baixa	1 – 8
Média	8 – 27
Alta	27 – 64
Muito Alta	>64

Fonte: Adaptado de Chaves H W(2D1S).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Levantamento de uso e cobertura do solo

4.1.1 Validação da classificação das imagens de satélite

Para validação da classificação supervisionada das imagens utilizadas, foram obtidos a campo o posicionamento por meio da coleta de pontos de GPS, de algumas das classes utilizadas no processo. Em seguida, foi realizado o cruzamento das informações coletadas em campo com os dados extraídos das imagens classificadas correspondentes aos pixels de mesmo posicionamento para o ano de 2015, a fim de confirmar se as informações extraídas com o levantamento estão de acordo com os usos reais encontrados “in loco”.

Analisando a TABELA 16, constatou-se que apenas uma área identificada em campo (ponto 3) não correspondeu com a classe de uso identificada pelo algoritmo Maxver.

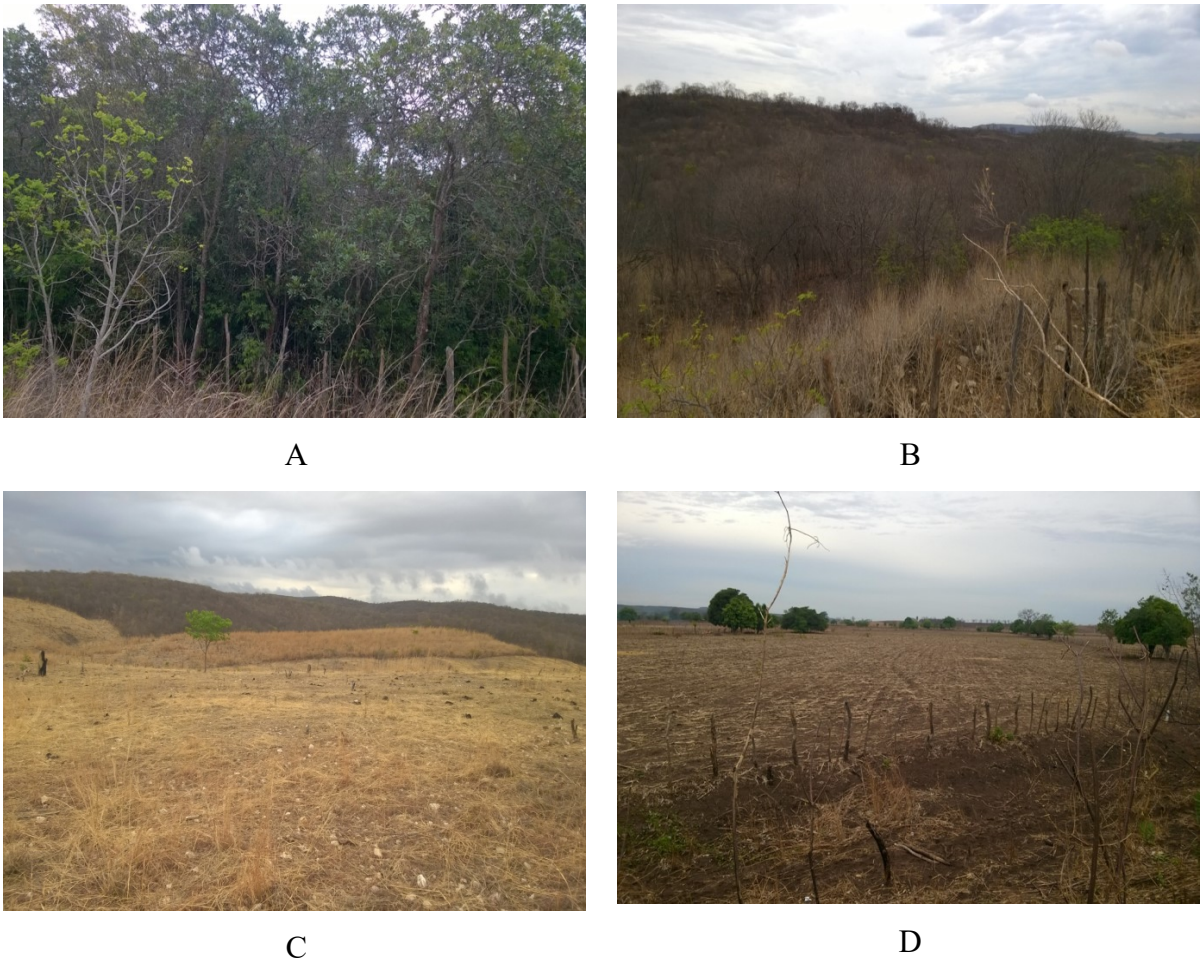
Tabela 16 – Posicionamento e conferência das áreas observadas a campo e classificadas pela imagem no mapeamento de uso e cobertura do solo para o ano de 2015.

	Coordenadas UTM Zona 24S		Classe	
ID	X	Y	Observada	2015
1	406445,62	9244151,91	Cultivo I	Cultivo I
2	403432,28	9239768,70	Cultivo II	Cultivo II
3	403077,51	9234989,62	Cultivo I	Cultivo II
4	401985,59	9229479,93	Floresta Rala	Floresta Rala
5	403789,09	9219302,68	Floresta Rala	Floresta Rala
6	410602,69	9217161,64	Cultivo II	Cultivo II
7	428471,67	9213249,23	Floresta Rala	Floresta Rala
8	433470,57	9207531,65	Floresta Densa	Floresta Densa
9	441291,54	9202192,55	Floresta Densa	Floresta Densa
10	471645,21	9192506,73	Cultivo I	Cultivo I
11	486677,12	9198312,80	Cultivo I	Cultivo I
12	493518,38	9194735,54	Floresta Rala	Floresta Rala
13	500149,35	9191816,70	Cultivo II	Cultivo II
14	522740,21	9204564,07	Floresta Rala	Floresta Rala
15	524297,76	9214228,04	Floresta Rala	Floresta Rala
16	524360,44	9214238,66	Cultivo I	Cultivo I
17	523795,31	9217469,81	Cultivo II	Cultivo II
18	5264412,93	9224361,35	Cultivo II	Cultivo II

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na FIGURA 7 são retratados os principais usos e coberturas observados em campo durante a visita. Portanto, as FIGURAS 7A, 7B, 7C e 7D são referentes às classes Floresta Densa, Floresta Rala, Cultivo I e Cultivo II, respectivamente.

Figura 7 – Painel fotográfico dos principais uso e cobertura observados in loco.



A B C D

Fonte: Elaborado de autor.

Os valores de exatidão global obtidos por meio da matriz de confusão (TABELA 17) indicaram que, em média, 93,29% dos pixels foram classificados corretamente, havendo uma variação entre 89,29% para o ano de 2007 e 94,83% para o ano de 2008, resultando num coeficiente de variação igual a 2,03. Dessa forma, todos os valores de exatidão global encontrados são considerados aceitáveis, pois estão acima do limite mínimo aceitável de 85% estabelecido por Guptill e Morrison (1995).

Os Índices Kappa obtidos apresentaram média de 0,9224 e CV igual a 0,60%, indicando que todas as classificações foram excelentes, conforme a classificação estabelecida por Landis e Koch (1977), pois ficaram entre 0,8 e 1,0.

Os valores de exatidão global e índice Kappa considerados excelentes indicaram que os mapas de uso e cobertura do solo gerados a partir de técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens possuem confiabilidade.

Tabela 17 – Valores de Exatidão Global e Índice Kappa das classificações supervisionadas.

Índice	2007	2008	2009	2011	2013	2014	2015
Exatidão Global (%)	89,29	94,83	93,83	92,72	93,65	94,58	94,11
Índice Kappa	0,8734	0,9382	0,9255	0,9362	0,9244	0,9294	0,9297

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Variação temporal dos usos e coberturas

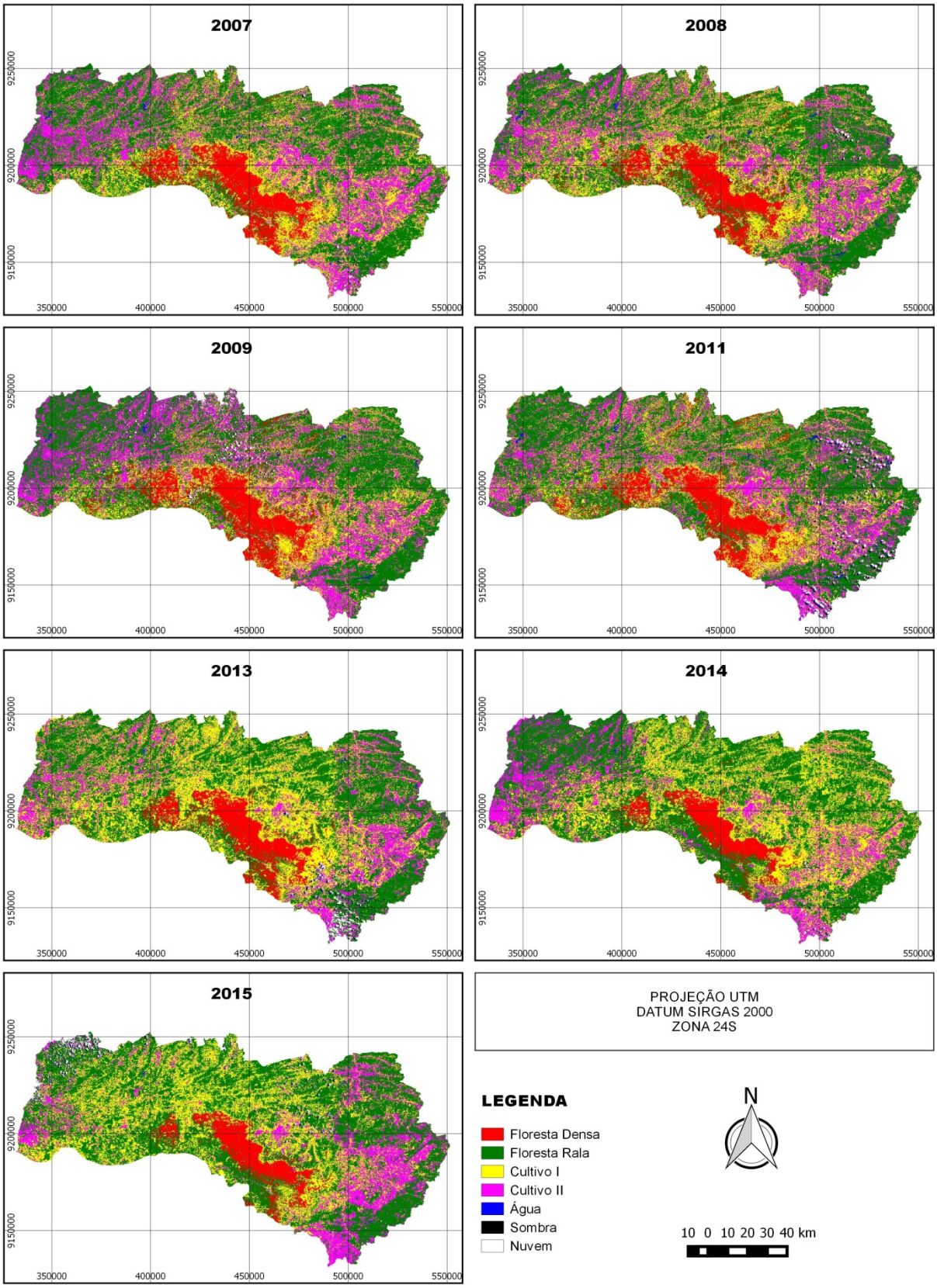
O levantamento de uso e cobertura do solo, por meio de classificação supervisionada de imagens de satélite resultou em um conjunto de 7 mapas da mesorregião em estudo devido à série temporal analisada (FIGURA 8).

Devido à dificuldade de individualização de algumas classes de uso e cobertura do solo, bem como o nível de detalhe do trabalho (reconhecimento), foi necessário agrupar algumas dessas classes. Assim, as áreas de pousio e pastagem foram agrupadas em única classe denominada Cultivo I, já os alvos agricultura de sequeiro, solo exposto e também as manchas de áreas urbanas também foram agrupados em única classe denominada Cultivo II.

Analisando a FIGURA 8 observa-se que a classe Floresta Densa ocorre concentrada numa determinada região da área de estudo, coincidentemente sobre a Chapada do Araripe com altitude média de 800 m com variação de 690 m a 1005 m de oeste a leste, respectivamente (SANTOS; FLOREZANO; NORA, 2009). Para explicar a ocorrência desse tipo de cobertura considera-se que em regiões semiáridas de maiores altitudes ocorre um enriquecimento no número de espécies vegetais favorecido pelo clima ameno e também por uma menor atividade humana (SILVA H W, 2014).

As áreas da classe Floresta Rala foram observadas por toda área, porém observa-se uma concentração desta cobertura nas partes leste e nordeste da região coincidentemente onde há uma maior ocorrência dos NEOSSOLOS LITÓLICOS. Observa-se ainda aumento substancial da classe Cultivo I em detrimento da classe Cultivo II com o passar dos anos, tal fato pode estar diretamente relacionado ao período de escassez pluviométrica que o estado do Ceará vem enfrentando desde 2012.

Figura 8 – Variação temporal do uso e cobertura do solo da mesorregião Sul Cearense, no período de 2007 a 2015



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na TABELA 18 constam os resultados do levantamento de uso e cobertura do solo para cada ano que compõe a série temporal, bem como o comportamento de cada classe ao longo do tempo. Observa-se que as classes Floresta Densa e Floresta Rala, juntas representam pouco mais de 50% da cobertura do solo. As áreas que tiveram sua cobertura vegetal nativa suprimida representam aproximadamente 45%, sendo que estas são compostas pelas classes Cultivo I e Cultivo II. Assim, foi possível constatar o alto grau de antropização da mesorregião em estudo. A progressiva redução da cobertura vegetal nativa do semiárido é resultado do processo de supressão desta para implantação da atividade agropecuária (COELHO H W, 2014) e também da extração de lenha para o abastecimento de olarias e a produção de carvão vegetal (BRASILEIRO, 2009).

Tais níveis de antropização da região semiárida já foram constatados anteriormente. Vieira H W (2013) constataram por meio de levantamento de uso e cobertura do solo que o semiárido brasileiro apresenta 57% do território ocupado por áreas antrópicas. Chaves H W. (2015) verificaram que 59,2% da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB apresenta altos níveis de degradação da vegetação.

Tabela 18 – Área percentual ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo.

Classe	2007	2008	2009	2011	2013	2014	2015	CV
	----------%----------							
Floresta Densa	9,30	9,17	10,47	10,16	8,14	6,13	6,08	21,14
Floresta Rala	43,03	44,66	44,61	45,11	44,18	47,80	48,32	4,29
Cultivo I	25,01	24,62	18,39	20,36	30,63	29,25	27,37	17,87
Cultivo II	21,67	20,68	24,72	21,68	15,44	16,19	16,20	18,28
Outros	1,00	0,86	1,81	2,69	1,61	0,63	2,02	48,07

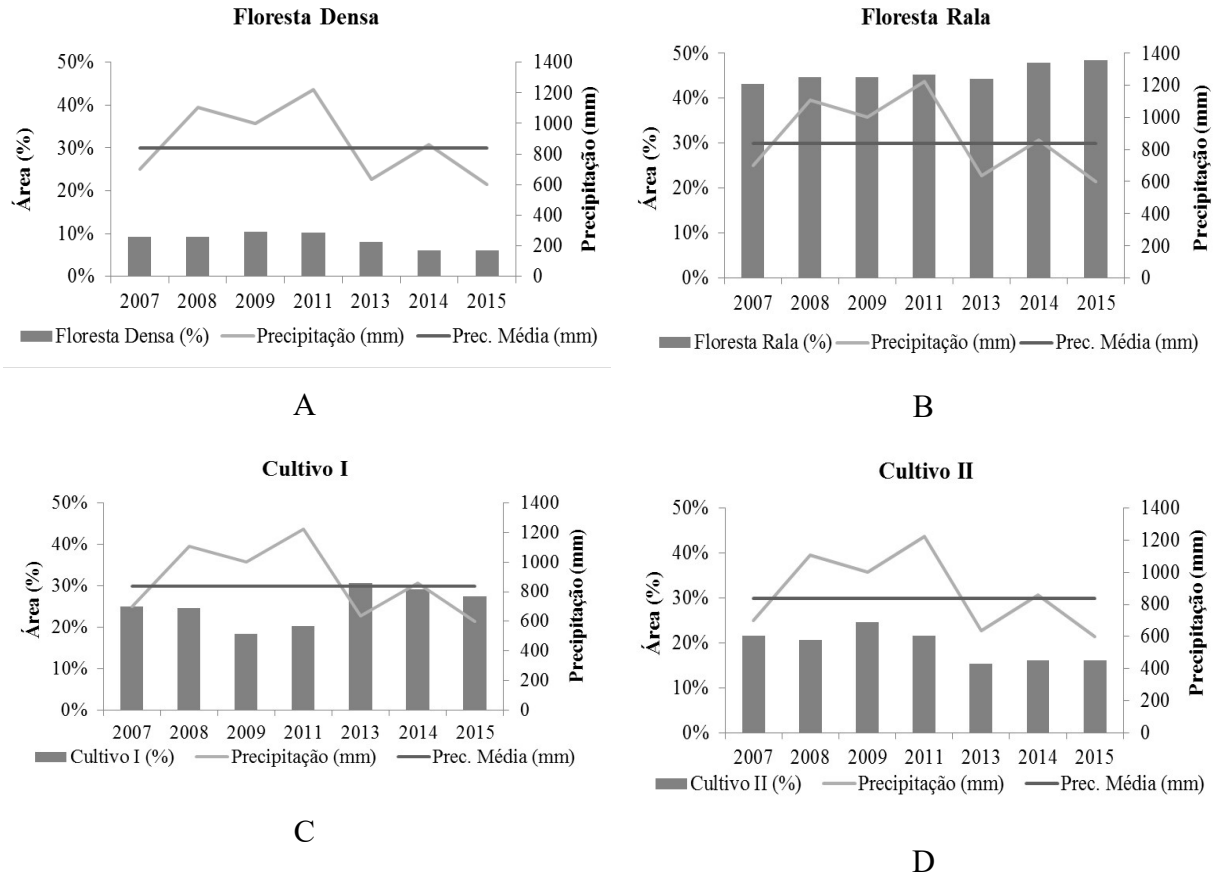
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao comportamento de cada classe de uso e cobertura em função do tempo, constatou-se que a classe Floresta Rala foi a que apresentou menor coeficiente de variação (CV=4,29%). A classe Floresta Densa apresentou CV maior que 20%. As classes Cultivo I e II apresentaram coeficiente de variação maior que 17%, porém com comportamento diferente ao longo da sequência temporal, pois enquanto a classe Cultivo II apresentou redução, a classe Cultivo I apresentou ganho de área ao longo do tempo.

O comportamento observado para as classes Cultivo I e Cultivo II podem ser explicados pelo regime hídrico, uma vez que houve uma redução das chuvas na região. As áreas das classes de uso e cobertura do solo variam em virtude do índice pluviométrico

(BATISTA; SANTOS, 2013), daí a necessidade de analisar a influência da pluviometria no comportamento do uso e cobertura do solo ao longo tempo (FIGURA 09).

Figura 9 – Comportamento dos usos e coberturas do solo em função da pluviosidade da região de estudo ao longo do tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A precipitação média histórica da região é de 840 mm, porém o semiárido é caracterizado por uma variabilidade pluviométrica intensa, sendo constante a alternância de anos com precipitação acima da média e abaixo da média, bem como períodos de longa estiagem (INSA, 2011).

Ao analisar o comportamento das classes em função da precipitação anual da mesorregião para cada ano de estudo, foi possível constatar que diminuiu a área da classe Floresta Densa (FIGURA 9A) devido à redução da precipitação, enquanto que as áreas da classe Floresta Rala (FIGURA 9B) aumentaram significativamente com a escassez pluviométrica, principalmente nos anos 2014 e 2015, sendo que neste último ano choveu 28,3% abaixo da média histórica.

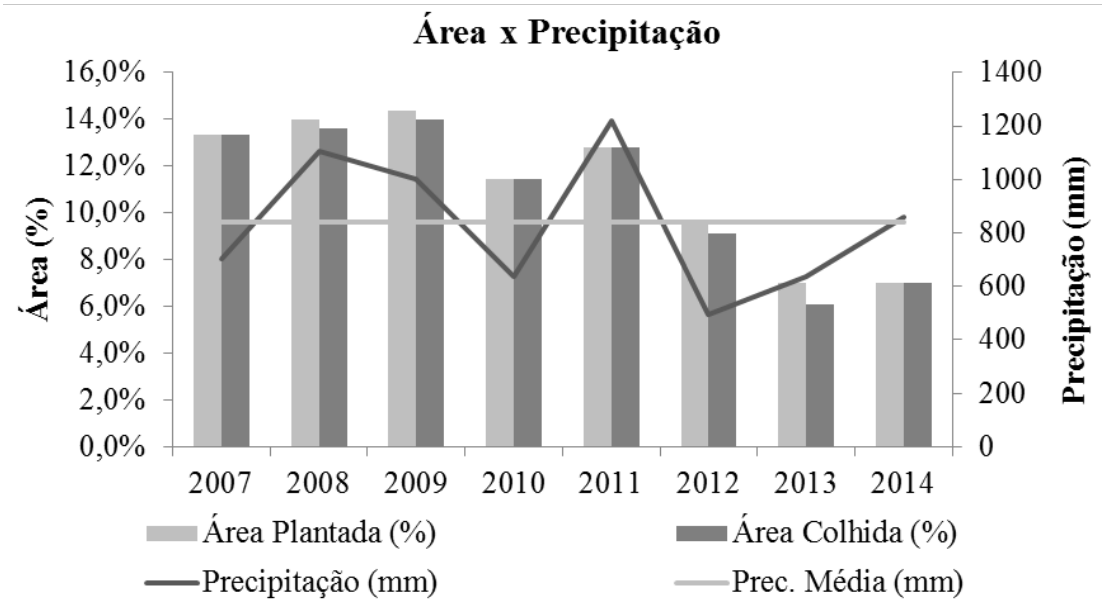
O aumento das áreas de Floresta Rala em detrimento das áreas de Floresta Densa, em virtude da escassez de chuvas ou o comportamento contrário em função do aumento da pluviosidade, podem ser justificados pela sensibilidade do Bioma Caatinga à presença ou ausência de chuvas (SANTOS; BRITO, 2007). Há aumento substancial da massa foliar da Caatinga em períodos em que as precipitações ocorrem de forma mais intensa (SILVA H W, D O 2014), já as áreas de Floresta Densa apresentam aumento significativo em anos em que a precipitação ocorre acima da normalidade climática (MAIA, 2015).

Analisando a FIGURA 9C, constatou-se que a classe Cultivo I (áreas de pousio e pastagem) aumentou significativamente em função da escassez de chuvas, sendo que essa classe apresentou os maiores percentuais de áreas nos anos de 2013, 2014 e 2015, ocupando 30,63%, 29,25% e 27,37% respectivamente. Neste período, apenas no ano de 2014 choveu dentro da normalidade climática, já nos anos de 2013 e 2015 as precipitações foram 24,4% e 28,3% abaixo da média histórica, respectivamente.

As áreas da classe Cultivo II (agricultura de sequeiro e solo exposto) apresentaram comportamento contrário, diminuindo nos anos em que ocorreram chuvas abaixo da normalidade climática, conforme FIGURA 9D. Estas áreas apresentaram maiores percentuais de ocupação nos anos em que as chuvas ocorreram acima da normalidade climática, exceto para o ano de 2007, no qual as chuvas foram abaixo da média histórica, mas a classe Cultivo II representou 23% de ocupação territorial. Tal fato pode ser justificado pela distribuição temporal das chuvas, de modo que houve boa distribuição ao longo do tempo, e ainda pelo fato de ter ocorrido confusão do classificador estatístico, mesmo mediante dos bons resultados dos coeficientes de concordância adotados para avaliar a qualidade do mapa.

Os dados da produção agrícola dos 25 municípios que compreendem a mesorregião Sul Cearense entre os anos 2007 e 2014, compilados do site de IBGE (IBGE, 2016b), comprovam a influência das chuvas no comportamento das áreas cultivadas com as principias culturas temporárias de subsistência (arroz, fava, feijão, mandioca e milho) em regime de sequeiro (FIGURA 10). O levantamento da produção agrícola mostrou redução drástica das áreas com culturas temporárias em virtude da ocorrência de chuvas abaixo da média histórica, confirmando os resultados observados para a classe Cultivo II (agricultura de sequeiro e solo exposto) por meio do levantamento de uso e cobertura do solo.

Figura 10 – Variação temporal das áreas com culturas temporárias em função das chuvas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3 Variação espacial dos usos e coberturas em relação às classes de solos

O cruzamento das informações de uso e cobertura do solo com as informações pedológicas da área possibilitou observar a variação espacial dos usos e cobertura em relação às classes de solo, a saber: ARGISSOLOS, LATOSSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS e PLANOSSOLOS. Estas classes de solos representam 83,50% da cobertura edáfica da região, sendo os NEOSSOLOS LITÓLICOS (28,70%), os LATOSSOLOS (28,05%) e ARGISSOLOS (22,35%) as mais representativas. Os LUVISSOLOS e PLANOSSOLOS representam apenas 3,50% e 0,90% da área, respectivamente. As demais classes de solos representam os 16,50% restante.

Destas classes, apenas os LATOSSOLOS não apresentam limitações relacionadas aos atributos pedregosidade e profundidade efetiva do solo, permitindo fazer um comparativo com as demais classes (ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS e PLANOSSOLOS) que podem apresentam restrições ao uso agrícola devido os atributos pedregosidade e profundidade efetiva do solo.

Analisando o uso e cobertura dos ARGISSOLOS (TABELA 19), observou-se que a classe Floresta Rala foi a mais representativa e também a que apresentou menor coeficiente de variação (3,22%). Por outro lado, a classe Floresta densa foi a que apresentou maior coeficiente de variação (72,31%) e a menos representativa. Observou-se ainda que as áreas de

pousio (cultivo I) aumentaram nos anos em que as chuvas ocorreram abaixo da média histórica, atingindo assim os maiores índices nos anos de 2013 e 2015. Coincidentemente, nesses anos as chuvas ocorreram abaixo da média histórica. As áreas de agricultura de sequeiro (cultivo II) apresentaram comportamento contrário, foram reduzidas em função da escassez das chuvas. No ano de 2014 houve aumento das áreas de agricultura de sequeiro em relação a 2013. Coincidentemente no ano 2014 as chuvas ocorreram dentro da normalidade climática.

O mesmo foi observado também para as classes dos LATOSSOLOS, LUVISSOLOS e PLANOSSOLOS. Os resultados observados para estas classes de solo podem ser explicados pela capacidade destes solos em armazenar água, seja em razão das características físicas, no caso dos LATOSSOLOS, ou devido à presença de horizonte B textural nos demais. Em regiões semiáridas, a capacidade do solo em armazenar água pode aumentar a produtividade das culturas, bem como garantir a manutenção das mesmas durante períodos de estiagem (AUSTIN H W, 1998).

Nos LATOSSOLOS, verificou-se que uma parcela significativa da classe Floresta Densa passou à condição de Floresta Rala em virtude da escassez das chuvas. Entretanto, o oposto também foi observado, ou seja, nos anos em que choveu consideravelmente acima da média (2008, 2009 e 2011) as áreas de Floresta Densa aumentaram em detrimento das áreas de Floresta Rala.

A classe Floresta Densa tem estreita relação com os LATOSSOLOS, pois, em média, 84,15% desta classe de cobertura ocorrem sobre LATOSSOLOS localizados no topo da Chapada do Araripe. Isto pode estar relacionado com a boa profundidade dos LATOSSOLOS que favorecem o desenvolvimento do sistema radicular. Além do mais, solos profundos favorecem a manutenção da umidade, reduzindo o estresse hídrico e, consequentemente, propiciam o desenvolvimento de floresta densa (DIAS H W, 2002).

As áreas de pousio aumentaram substancialmente nos anos em que choveu abaixo da média e as áreas de agricultura de sequeiro apresentaram redução drástica para os anos de 2013 e 2015 e no ano de 2014, apresentando nos LATOSSOLOS o mesmo comportamento apresentado nos ARGISSOLOS, conforme já discutido anteriormente.

Tabela 19 – Percentual das classes de uso e cobertura nas classes de solos da área de estudo ao longo dos anos.

Classe de solo	Classe de uso	2007	2008	2009	2011	2013	2014	2015	Média	CV
		----------%----------								
ARGISSOLOS	Floresta Densa	0,85	1,79	2,76	2,77	1,01	0,41	0,39	1,43	72,04
	Floresta Rala	45,91	45,74	46,61	47,98	45,03	48,88	48,45	46,94	3,18
	Cultivo I	25,28	26,96	19,06	23,26	33,70	29,64	31,64	27,08	18,67
	Cultivo II	26,92	24,91	30,18	24,31	18,14	20,27	16,50	23,03	21,39
	Outros	1,04	0,60	1,39	1,68	2,12	0,80	3,02	1,52	55,30
LATOSSOLOS	Floresta Densa	29,73	27,07	29,84	28,03	25,31	19,21	19,30	25,50	17,80
	Floresta Rala	33,85	34,12	35,66	37,43	35,11	43,95	44,80	37,85	12,20
	Cultivo I	23,43	25,01	18,29	21,38	29,71	22,17	26,54	23,79	15,63
	Cultivo II	12,70	13,58	15,49	12,85	9,45	14,56	8,23	12,41	21,32
	Outros	0,29	0,22	0,72	0,31	0,42	0,11	1,13	0,46	77,32
LUVISSOLOS	Floresta Densa	0,04	0,06	0,06	0,11	0,00	0,00	0,00	0,04	108,38
	Floresta Rala	33,43	40,81	42,94	40,79	42,36	38,73	37,86	39,56	8,22
	Cultivo I	23,10	19,67	14,76	11,17	16,29	23,76	12,75	17,36	28,49
	Cultivo II	41,51	38,64	41,76	39,31	31,09	34,93	45,35	38,94	12,12
	Outros	1,92	0,82	0,48	8,62	10,26	2,58	4,04	4,10	94,03
NEOSSOLOS LITÓLICOS	Floresta Densa	2,35	3,50	4,38	4,58	2,45	2,01	1,92	3,03	36,98
	Floresta Rala	60,36	62,93	60,66	58,24	61,81	62,16	63,21	61,34	2,82
	Cultivo I	22,24	19,40	14,33	15,47	24,65	28,96	22,08	21,02	24,34
	Cultivo II	13,84	13,01	18,02	17,42	9,92	6,29	10,86	12,77	32,64
	Outros	1,21	1,16	2,61	4,29	1,17	0,58	1,93	1,85	68,01
PLANOSSOLOS	Floresta Densa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Floresta Rala	37,40	40,69	48,77	46,18	38,76	40,95	40,30	41,86	9,78
	Cultivo I	8,39	11,49	1,52	12,50	20,95	1,86	23,89	11,51	74,88
	Cultivo II	53,97	47,59	49,57	41,01	40,18	57,12	26,28	45,10	22,98
	Outros	0,24	0,23	0,14	0,31	0,11	0,07	9,53	1,52	232,70

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos LUVISSOLOS, a classe Floresta Rala apresentou pouca variação (CV=8,22%), representando, aproximadamente, 40% da área com exceção para o ano de 2007 no qual a cobertura foi de apenas 33,43%. Porém, isto pode ter ocorrido em razão de confusão no classificador estatístico.

A classe Cultivo I (pousio e pastagens) apresentou alta variação (CV=28,49%) ao longo do tempo quando comparada à classe Cultivo II (CV=12,12%). Notou-se uma dinâmica entre estas classes de uso, pois ocorreu ganho de área da classe Cultivo II em detrimento da classe Cultivo I, ou vice versa. Nos anos de 2011 e 2015 ocorreu maior amplitude entre as áreas destas duas classes de uso, coincidentemente em 2011 choveu 45,64% acima da média histórica, justificando o aumento da área da classe Cultivo II em detrimento da área da classe Cultivo I. Em 2015 as chuvas observadas foram abaixo da média, mas este resultado pode ser explicado pela variabilidade espaço-temporal das chuvas, bem como pela presença de gradiente textural em subsuperfície. Em condições semiáridas, a manutenção da reserva hídrica na zona de enraizamento tem sido beneficiada pelos aspectos negativos de restrições físicas (SOUSA, 2013).

Na avaliação do uso e cobertura dos PLANOSSOLOS, foi constatado ao longo do tempo que as áreas de pousio e pastagem aumentaram substancialmente nos anos em ocorreram precipitação abaixo da normalidade climática da região. Já as áreas de agricultura de sequeiro diminuíram com exceção do ano de 2007. Observou-se ainda incremento significativo das áreas de agricultura de sequeiro em 2014 em relação a 2013, conforme já discorrido anteriormente. Notou-se também que o somatório das áreas das classes de uso Cultivo I e Cultivo II correspondem, em média, a 56,70% da área total dos PLANOSSOLOS. Este valor é praticamente o mesmo percentual observado para os LUVISSOLOS (56,40%) e um pouco acima do percentual observado para os ARGISSOLOS (50,15%).

Estes dados reforçam a importância destas classes de solos para exploração agrícola do semiárido em regime de sequeiro, pois a mudança textural favorece a disponibilidade de água no perfil do solo (PRADO, 2005). De acordo Sousa (2013), PLANOSSOLOS com ocorrência do horizonte B plânico em menor profundidade têm favorecido o cultivo de mamona, pois possibilitam maior umidade na área de enraizamento, disponibilizando água às plantas no início do período seco.

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS apresentaram pequena área de Floresta Densa que foi sendo reduzida ao longo do tempo em função da diminuição das chuvas. A classe Floresta Rala manteve-se praticamente constante ao longo dos anos com CV igual a 2,82%.

Nos anos de 2011 e 2015 as classes Floresta Densa e Floresta Rala apresentaram os valores extremos, porém com comportamento contrário. Enquanto que em 2011 a classe Floresta Rala apresentou menor cobertura percentual, a classe Floresta Densa apresentou comportamento oposto, ou seja, maior cobertura para o período estudado. Coincidentemente, neste ano ocorreu o maior volume de chuvas na região. Em 2015 a classe Floresta Rala apresentou a maior cobertura percentual e a Floresta Densa apresentou a menor cobertura. Da mesma forma, neste ano foi registrada a menor média de chuvas na região para o período estudado, comprovando a influência da precipitação na variação da massa foliar do Bioma Caatinga.

Contatou-se também que esta classe de solo apresentou o maior percentual de cobertura florestal, representando em média 64,37%. Tal fato pode estar relacionado às condições de relevo acidentado onde ocorre esta classe de solo associada às condições edáficas caracterizadas por solos rasos e pedregosos.

Por outro lado, mesmo com todas estas restrições, em média, 33,80% dos NEOSSOLOS LITÓLICOS foram explorados com pastagens ou pousio (em média 21%) e com agricultura de sequeiro (em média 12,80%). A alta variação que ocorreu na classe Cultivo II (agricultura de sequeiro) sob os NEOSSOLOS LITÓLICOS denotou o quanto a mesma tem sido susceptível à variabilidade temporal das chuvas. Enquanto que nos anos 2009 e 2011, com pluviosidade acima da média histórica, o índice de ocupação do solo atingiu em torno de 18%. No ano de 2013, no qual choveu 24,40% abaixo da média, este índice caiu para aproximadamente 10%. Tal susceptibilidade dos NEOSSOLOS LITÓLICOS à escassez hídrica associada à baixa capacidade de armazenamento de água destes solos, consequência da reduzida profundidade efetiva (CARDOSO, 2002).

Os resultados do uso e cobertura do solo em função da ocorrência de chuvas retratam a importância do fator limitante disponibilidade de água à exploração agrícola do semiárido. Entretanto, estes resultados comprovam que as limitações físicas comuns a algumas classes de solos (ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, PLANOSSOLOS E NEOSSOLOS LITÓLICOS) predominantes no semiárido não inviabilizam a exploração agrícola destas. Isso é comprovado pelo fato de que nos anos em que as precipitações ocorreram em torno da média histórica, houve aumento das áreas destinadas à exploração agrícola. Com isso, justificam-se as modificações estabelecidas no SAAT a fim de adequá-lo às condições edafoclimáticas do semiárido.

4.2Aptidão agrícola das terras

Os resultados da avaliação da aptidão agrícola das terras obtida por meio da adoção dos três métodos são apresentados nas FIGURAS 11, 12 e 13 e na TABELA 20.

Analisando as FIGURAS 11, 12 e 13, foi constatado que as áreas da classe de aptidão inapta (grupo 6) praticamente não apresentaram variação em função das modificações estabelecidas no SAAT. Pois estas áreas ocorreram principalmente sobre as manchas de NEOSSOLOS LITÓLICOS, cujas limitações ao uso agrícola desta classe do solo são fortes.

A pequena espessura do solo, a presença de pedregosidade e rochosidade e a ocorrência em áreas de relevo acidentado são as principais limitações ao uso agrícola desta classe de solo (CUNHA H W, 2010).

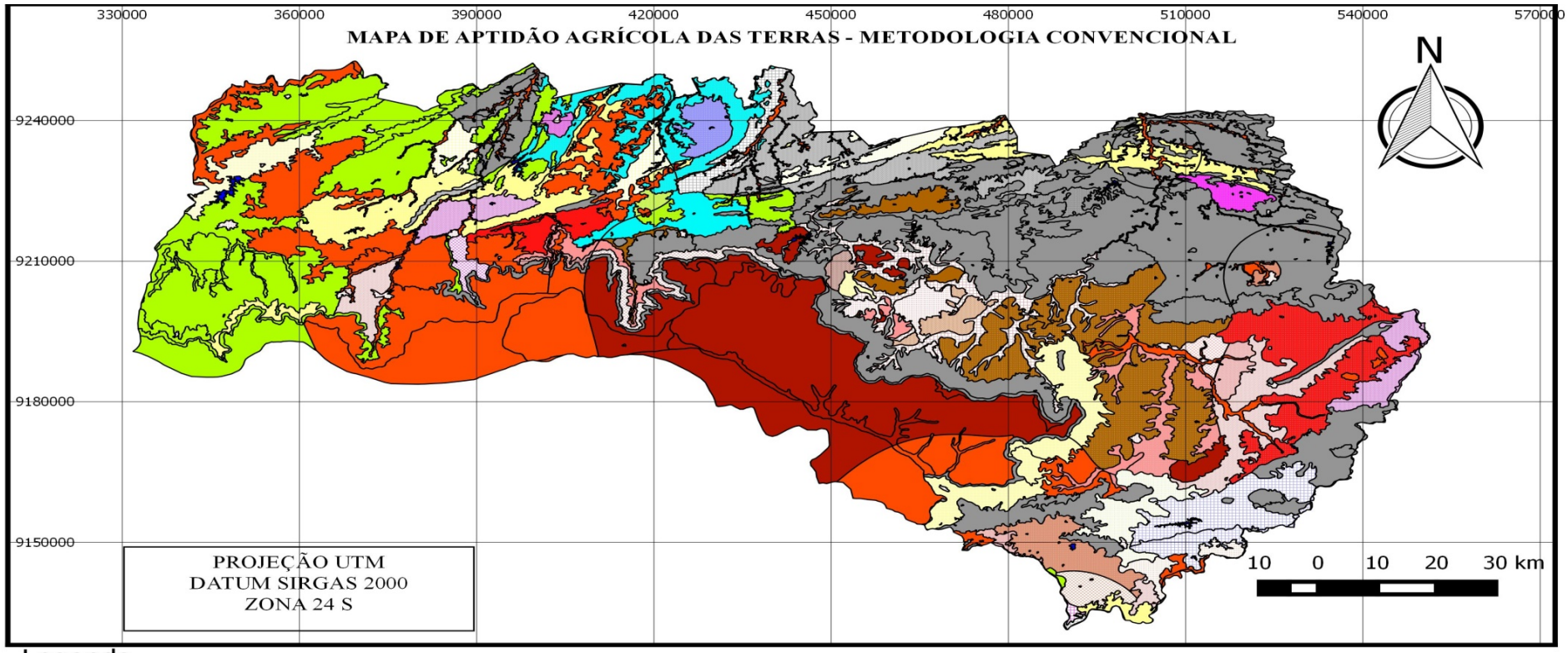
As áreas com aptidão para pastagem plantada, quando avaliadas pelo método convencional (FIGURA 11), ocorreram principalmente sobre manchas de ARGISSOLOS e LATOSSOLOS localizados a noroeste e sudoeste da mesorregião Sul Cearense, respectivamente e também sobre manchas de LUVISSOLOS, NITOSSOLOS e PLANOSSOLOS. Porém, quando avaliadas pelo método adaptado I (FIGURA 12), somente as áreas de LATOSSOLOS e parte dos ARGISSOLOS apresentaram ampliação da aptidão agrícola, passando a condição de terras com aptidão regular para lavouras – 2bc.

Quando avaliadas pelo método adaptado II (FIGURA 13), as áreas de NITOSSOLOS passaram a condição de terras com aptidão restrita para lavouras – 3(bc) e os PLANOSSOLOS, antes classificados como terras com aptidão restrita para pastagem plantada – 4(p) foram classificados como terras com boa aptidão para pastagem plantada – 4P.

Quanto aos LUVISSOLOS, apenas pequena porção apresentou melhoria, passando a ser classificado como terras com aptidão regular para lavouras no nível de manejo tecnológico B e restrita no nível de manejo C – 2b(c).

Parte dos ARGISSOLOS que apresentam restrições de natureza físicas, quando avaliados por meio do método adaptado II apresentaram mudanças, passando de terras com aptidão restrita para pastagem plantada – 4(p) ou regular para pastagem natural – 5n à condição de terras com aptidão boa para pastagem plantada – 4P ou restrita para lavouras– 3(bc), ou ainda regular para lavouras no nível de manejo B e restrita no C – 2b(c).

Figura 11 – Mapa de aptidão agrícola das terras pelo método convencional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

)LJXUD ± 0DSD GH DSWLGmR DJUtFROD GDV WHUUDV SHOR PpWRGR DGDSWDGR ,

)RQWH (ODERUDGR SHOR DXWRU