



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**

PAULO RAFAEL BENÍCIO PINHO

**USO DOS ÍNDICES NDVI E TGSÍ PARA DISTINÇÃO DE ÁREAS
DESERTIFICADAS NO CEARÁ**

**FORTALEZA
2017**

PAULO RAFAEL BENÍCIO PINHO

Uso dos índices NDVI e TGSi para distinção de áreas desertificadas no Ceará.

Monografia submetida ao Curso de Agronomia
Centro de Ciências Agrárias da Universidade
Federal do Ceará, como parte das exigências
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Raul Shiso Toma

Fortaleza

2017

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)

P724u Pinho, Paulo Rafael Benício.
 Uso dos índices NDVI e TGSI para distinção de áreas desertificadas no Ceará / Paulo Rafael Benício
 Pinho. – 2017.
 57 f. : il. color.

 Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
 Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2017.
 Orientação: Prof. Dr. Raul Shiso Toma.

 1. Desertificação. 2. NDVI. 3. TGSI. 4. Irauçuba. 5. Sobral. I. Título.

CDD 630

PAULO RAFAEL BENÍCIO PINHO

Uso dos índices NDVI e TGSÍ para distinção de áreas desertificadas no Ceará.

Monografia submetida ao Curso de Agronomia
Centro de Ciências Agrárias da Universidade
Federal do Ceará, como parte das exigências
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Raul Shiso Toma

Aprovada em: 14/12/2017

BANCA EXAMINADORA

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

Eng. Agrônoma Msc. Eurileny Lucas de Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Agrônomo Msc. Thiago Costa dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente devo agradecer aos meus pais e minha avó que batalharam a vida toda para que eu pudesse ter uma boa educação e, se não fosse por eles eu não estaria aqui hoje.

Especialmente a minha mãe, Dona Katya, que é meu exemplo de vida e de pessoa, batalhadora, amante da sua profissão e responsabilidades representando um modelo de profissional competente que eu espero um dia poder alcançar.

Agradecer ao meu orientador Prof Dr. Raul Shiso Toma que sua enorme paciência comigo seja um dia recompensa-do com muitas alegrias e mais sucesso, pois, orientador como ele existem poucos e, que por muitas vezes, foi mais do que um orientador, e foi um grande amigo me dando bons conselhos de vida.

Ao Thiago Costa que gentilmente me cedeu os dados de sua defesa de mestrado para que eu os explanasse com minha visão.

Aos meus grandes amigos que caminharam junto comigo me ajudando de todas as formas possíveis: Gabriel Ferreira, Caroline Rosa, Tiago Freitas, Marcio Regys, Elber Lopes e a todos os outros que de alguma forma se fizeram presente nesta minha jornada.

RESUMO

A aplicação do sensoriamento remoto para identificação de áreas desertificadas ou em processos de desertificação tem tomado força à medida que aumenta a necessidade de alimentos e decaem as áreas aptas ao plantio. Bom exemplo de áreas que perderam a capacidade produtiva é o Núcleo de desertificação de Irauçuba localizado no sertão Norte do estado do Ceará. Neste trabalho foi realizada a análise das variáveis, cobertura vegetal e Granulometria do solo representadas pelos NDVI e TGSI respectivamente, comparando áreas em processo de desertificação com área não desertificada, sendo esta a Floresta Nacional de Sobral. Utilizando imagens obtidas através do satélite Landsat 5 por meio da plataforma *United States Geological Survey* para aquisição das cenas sendo projetadas pelo software Envi 4.8 concluiu-se que apenas dois índices não são capazes de definir o estado de desertificação de uma área. Pode-se inferir que a Floresta Nacional de Sobral se encontra em estado parecido com uma área dentro do Núcleo de desertificação, sofrendo com escassez de cobertura vegetal, o que pode ocasionar danos irreversíveis a área.

Palavras-chave: Desertificação, Irauçuba, Sobral, NDVI, TGSI

ABSTRACT

The remote sensing application to identify desertified areas, or areas in desertification process have been gaining traction as the food demand increases and the plantation areas become smaller. A good example of an area that lost its production capacity is the Núcleo de Desertificação de Irauçuba, located in North of the Ceará Estate area. In this research, a variable analysis was contemplated, including vegetation cover and Soil Granulometry, represented by NDVI and TGSI respectively, to enable a comparison between this data to a not desertified area, in Sobral's National Forest. Using images obtained through the Landsat 5 and 8 satellites through the United States Geological Survey platform to acquire the scenes since 2000 until 2008 being projected by the Envi 4.8 software, we reached the conclusion that the only two indices are not able to define the desertification condition of an area, only we can infer that the Floresta Nacional de Sobral is in a condition similar to an area inserted the Núcleo de desertificação, suffering from a shortage of vegetation cover, which can cause irreversible damages in the area.

Keywords: Desertification, Irauçuba, Sobral, NDVI, TGSI

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do Município de Irauçuba no Estado do Ceará.....	21
Figura 2: Precipitação 2000-2008 Irauçuba	22
Figura 3: Floresta Nacional de Sobral.....	23
Figura 4: Estação Pluviométrica de Jaibara nos anos de 2000-2008	24
Figura 5: Mapas de NDVI no Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte na série temporal 2000 a 2008	29
Figura 6: Mapas de NDVI para Floresta Nacional de Sobral	33
Figura 7: Relação entre NDVI, TGSi e precipitação para o centro de desertificação de Irauçuba	36
Figura 8: Mapas do TGSi no Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte na série temporal 2000 a 2008	38
Figura 9: Mapas de TGSi para Floresta Nacional de Sobral.....	42
Figura 10: Pontos analisados no núcleo de desertificação de Irauçuba	44
Figura 11: Voçorocas, pastejo de animais e erosão laminar no núcleo de desertificação de Irauçuba	45
Figura 12: FLONA de Sobral, 1 – representa mata banhada pelo açude, 2 área desmatada...	46
Figura 13: Fotografias do FLONA de Sobral, presença de animais na área e erosão hídrica.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites para classificação de zonas climáticas	12
Tabela 2: Valores de Mínimo, Máximo, Médio, Desvio Padrão e Coeficiente de variação para NDVI	27
Tabela 3: Valores NDVI FLONA	31
Tabela 4: Valores do TGSI para Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte	35
Tabela 5: TGSI para Floresta Nacional de Sobral	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 objetivo	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Desertificação no Mundo.....	11
2.2 Desertificação no Brasil.....	13
2.3 Sensoriamento Remoto Aplicado a Desertificação	16
2.4 Normalized Difference Vegetation Index – NDVI.....	17
2.5 Top Soil Grain Size Index - TGSi	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Área de estudo	21
3.1.1 Área Desertificada.....	21
3.1.2 Área não desertificada.....	22
3.2 Índices.....	24
3.2.1 Índice de Diferença Normalizada da Vegetação - NDVI.....	24
3.2.2 Índice de Tamanho de Grãos na Superfície do Solo - TGSi.....	25
3.3 Dados orbitais	25
3.3.1 Processamento de Imagens.....	26
3.3.2 Validação de dados	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5 CONCLUSÕES.....	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. Introdução

A Organização das Nações Unidas (ONU, 1992) define a Desertificação como a degradação do solo em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores, dentre eles se destacam as variações climáticas e as diversas atividades antrópicas.

Nas regiões do Brasil, onde o consumo de recursos naturais não exime a população da pobreza, ocorre muitas vezes a degradação ambiental pela contínua retirada desses recursos aliada ao clima desfavorável com secas intensas. A região semiárida é a mais afetada por esses problemas, que ocasiona o aumento da susceptibilidade dessas áreas a processos erosivos, se tornando a área desertificada (MARENGO, 2007)

Devido as condições adversas esses agroecossistemas são inteiramente dependentes das chuvas que é a força principal para a disponibilidade de cobertura vegetal. Com isso o semiárido é um indicador sensível às alterações climáticas e como elas interagem para a produção de biomassa (BRINKMANN *et al.*, 2011). Sob essas condições fragilizadas de produção de biomassa, a chuva torna-se a principal vilã causando a degradação e com isso, ocorrendo a perda de solo por erosão superficial e subsuperficial, um dos fatores que causadores da perda de aptidão agrícola do semiárido (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

As áreas de maior susceptibilidade a desertificação no Brasil são classificadas como Núcleos de Desertificação, O Instituto Nacional do Semiárido (Insa) as regiões afetadas são, 1º Cabrobó (PE), 2º Gilbués (PI), 3º Inhamus (CE), 4º Irauçuba (CE), 5º Jaguaribe (CE) e 6º Seridó (PB e RN), atualmente com 59 municípios ao todo, especificamente no Ceará estão localizados 12 municípios (INSA, 2014).

A relevância de estudos sobre o tema desertificação no Ceará se justifica entre outros motivos, pelo fato de que, de acordo com Lemos (2001), dos oito estados do Nordeste do país que abrangem o semiárido brasileiro (SAB), o Ceará apresenta a maior proporção de áreas afetadas severamente pelo fenômeno. Ainda segundo o mesmo autor, são cerca de 30% de seu território em diferentes níveis de desertificação, atingindo diretamente 14% da população cearense.

Diante deste cenário, faz-se necessário lançar mão de novas tecnologias no campo do imageamento por satélite e na área de programas computacionais, promovendo o entendimento do dinamismo dessas áreas em processo de desertificação. O emprego do Sensoriamento Remoto em análises ambientais orientadas ao estudo da degradação de paisagem, vem se tornando uma prática cada vez mais comum e possibilitando significativa rapidez, eficiência e confiabilidade dos dados coletados (ROSENDO, 2005).

Nos dias de hoje, os avanços tecnológicos possibilitam o surgimento de diversas metodologias de coleta de informações acerca do espaço geográfico. Dentre estes vários métodos, o Sensoriamento Remoto (SR) se destaca por representar uma fonte acessível e com melhor relação custo-benefício, se comparado às técnicas tradicionais de levantamento de campo que demandam tempo, custo e trabalho intenso, resultando em um monitoramento oneroso e de difícil implementação (HIGGINBOTTOM; SYMEONAKIS, 2014).

Neste sentido, o Geoprocessamento se destaca como o ramo dos estudos sobre desertificação pois alia conceitos, métodos e técnicas capazes de tratar e atuar sobre uma base de dados georreferenciados, como efeito, torna-se possível propiciar, através de computação eletrônica, análises que consideram as propriedades topográficas, cobertura de solo e os padrões espaciais de paisagens com a finalidade de produzir uma informação útil no suporte aos tomadores de decisão.

1.1 Objetivos Gerais

- Determinar NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para o período de 2000 a 2008;
- Determinar TSGI (Top Soil Grain Size Index) para o período de 2000 a 2008;
- Verificar a eficácia dos dados de cada índice;
- Verificar a capacidade de todos os índices no reconhecimento de áreas desertificadas.

1.1.1 Objetivos Específicos

Por meio dos índices comparar duas áreas, uma em processo de desertificação e outra que está introduzida no mesmo bioma e não se encontra desertificada, afim de obter dados que futuramente possam servir de padrão para reconhecimento de áreas em processo de desertificação.

2. Referencial Teórico

2.1 Desertificação no Mundo

Nos últimos 200 anos os danos causados pelas sociedades ao ambiente são claros e perceptíveis até para olhos leigos, o clima dessas regiões aliado a indústria e a agricultura são as grandes culpadas dessa degradação ambiental (LASZLO, 2001)

Está claro em fenômenos como o Dust Bowl nos EUA na década de 30, a grave seca na região de Sahel na África entre 1967 e 1970, as intensas secas e perdas de solo no nordeste cearense que o processo de desertificação é um problema global. Sabendo dessa gravidade em 1972 fora convocada a Conferência de Estocolmo e fora decidido realizar a I Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (UNCOD) realizada em 1977 em Nairóbi, no Quênia. Após a conferência, a problemática da desertificação começou a ser considerado um problema de alta escala (AQUINO *et al.*, 2012).

Nos anos seguintes várias definições para o que é desertificação foram consideradas. Uma delas é que a desertificação pode ser compreendida como o processo de degradação do solo nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas (ONU, 2015).

Essa degradação tem sua complexidade oriunda de condições pretéritas que variam de diferentes causas, muitas delas presentes quase que ao todo nas regiões semiáridas (KASSAS, 1999), a intensa ação desses fatores bióticos altera negativamente as funções físicas, químicas e biológicas do solo motivando também relações socioeconômicas na região (LAL AND STEWART, 1990; PUIGDEFABREGAS; MENDIZABAL, 1998).

Com o crescimento da degradação, ocorre o aumento na vulnerabilidade do ecossistema, tornando-o mais suscetível as intempéries naturais (BOUABID *et al.*, 2010). Entendem-se atividades e intempéries naturais áreas com cobertura natural escassa ou inexistente, declividade acentuada e índices pluviométricos escassos ou irregulares (INCERTI *et al.*, 2007).

Aridez e seca são fenômenos diferentes, enquanto a seca é um fenômeno meteorológico temporário do clima de uma região, provocada pelo baixo índice pluviométrico por um curto período de tempo, a aridez é uma característica inerente e permanente da área (AZEVEDO e SILVA, 1995)

Mais detalhadamente, a aridez é uma característica climática da região onde a precipitação é insuficiente para manter uma vegetação nativa ou voltada à agropecuária, sendo assim a relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial é desfavorável, podendo

ser obtida através da metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1941) e Penman(1953) (PATRÍCIO *et al.*, 2014).

Há inúmeras metodologias para identificar a aridez de uma região específica. O pesquisador Thornthwaite (1941) desenvolveu uma metodologia que posteriormente, em 1953, foi ajustada por Penman (1953) para o uso no Plano de Ação de Combate à Desertificação, elaborado pelas Nações Unidas, segundo a qual o índice de aridez (IA) de uma região consiste na diferença da precipitação e da evapotranspiração potencial (CAETANO *et al.*, 2011)

De acordo com UNESCO (1979) o índice de aridez (IA) é medido em razão da precipitação anual (P) e evapotranspiração anual (ETp), como demonstra a Equação 01.

$$AI = \frac{P}{ETp} \quad \text{Eq. 01}$$

Ainda em 1979 a UNESCO propôs uma tabela em que, baseada em cálculos expandidos para as diversas áreas do mundo, estipulou limites para classificar zonas climáticas com base no IA. Os valores propostos pela UNESCO encontram-se na Tabela 01.

Tabela 01: Limites para classificação de zonas climáticas.

<i>Classificação</i>	<i>Índice de Aridez</i>
<i>Hiperárido</i>	IA < 0,03
<i>Árido</i>	0,03 < IA < 0,20
<i>Semiárido</i>	0,20 < IA < 0,50
<i>Subúmido Seco</i>	0,50 < IA < 0,65

Fonte: UNESCO (1979)

A tabela proposta pela UNESCO foi obtida através da compilação de dados das médias anuais de precipitação, as médias anuais de evapotranspiração potencial e as coordenadas das estações climatológicas (CAETANO *et al.*, 2011)

É sabido que o índice de aridez é eficaz no estudo para áreas secas auxiliando na identificação de processos que venham a degradar de forma mais intensa a área, sendo consenso que a susceptibilidade da área está diretamente ligada ao nível de aridez do local (MATALLO JÚNIOR, 2003).

Dito isso, a importância da utilização dessa metodologia para determinação de áreas em desertificação está no fato de a ocorrência deste processo se limitar a áreas secas, e o cálculo deste índice indica exatamente esta condição climática. O índice de aridez atinge grande precisão na determinação dessas áreas pois ele trabalha com variáveis que englobam processos de degradação como um todo. (SAMPAIO, 2003).

No Brasil, as Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) estão quase em sua totalidade localizadas na região Nordeste. Predominando climas semiáridos e subúmidos secos, o Índice de Aridez varia de 0,21 a 0,65 devido a escassez e má distribuição das precipitações pluviométricas, alta taxa de transpiração e mau uso da terra torna a região Nordeste um grande centro de estudo sobre a desertificação (AQUINO *et al.*, 2012).

Dito isso é imprescindível à detecção e levantamento dessas áreas. No cenário atual dos estudos sobre desertificação os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) relacionados ao sensoriamento remoto se apresentam como ferramentas essenciais para avaliar e monitorar tais acontecimentos ao ambiente.

2.2 Desertificação no Brasil

Enquanto a desertificação está relacionada a áreas áridas, semiáridas e subsumidas secas (ONU, 1992), a arenização é um processo de degradação intensa atuando em áreas úmidas que ao contrário da desertificação em si ocorre devido fundamentalmente a abundância de água (SUERTEGARAY, 2001).

Os processos de desertificação e arenização são as causas do montante de 10% dos 8.516.000km² da área total degradada do Brasil (SAADI, 2000). Sendo aproximadamente 5,2 % da área total do Rio Grande do Sul, devido ao processo de arenização tornando o solo extremamente vulnerável (SCHUMAKER, 2000). No Ceará, a área sob forte processo de desertificação chega a 22,82% (RODRIGUES, 2006).

Entretanto, este fenômeno não é restrito a faixas de solos submetidos à climas mais quentes. Um bom exemplo disso é a ocorrência no bioma dos Pampas, mais especificamente no sudoeste do Rio Grande do Sul, com formação de solos de textura arenosa derivados de formações areníticas (MEDEIROS *et al.*, 2005) e vegetação de pradaria com sistema radicular fasciculado, que formam um ecossistema extremamente suscetível aos agentes erosivos (AB'SABER, 1995).

Devido à intensa atividade agropecuária aliada as condições climáticas a frágil vegetação é retirada do solo, desprotegendo-o por inteiro e facilitando o transporte do solo arenoso ocorrendo assim à formação de bancos de areia no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, esse fenômeno é conhecido como arenização (SUERTEGARAY, 1998). A formação desses bancos de areia pela ação do vento, em algumas situações se tornam tão drásticas que se assemelham a reais dunas, fato esse que tem levado aos pesquisadores a associarem essa situação a áreas de desertificação (ANDREY e VERDUM, 2015).

Estas áreas sofrendo com essa degradação no sudoeste do Rio Grande do Sul são exceções ao conceito de desertificação da ONU (2015). As áreas mais susceptíveis estão localizadas no clima semiárido, que representam 20% do território brasileiro e afeta a vida de mais de 32 milhões de brasileiros, que sofrem com as constantes perdas de áreas agricultáveis resultando em problemas de ordem social, por isso a região Nordeste necessita de projetos que visem a melhoria dos meios de convivência no semiárido e para recuperar áreas em estágio mais crítico (CONAMA,2008).

O semiárido nordestino apresenta uma extensão territorial de 1.554.387,7 km², e, destas cerca de 180.000 km² são áreas em processo de degradação devido a fragilidade do clima e atividades antrópicas, dividida entre os níveis de grave a muito grave (MMA, 2007).

O estado do Ceará apresenta área total de 148.920,472 km² e 92% desse montante é considerado como semiárido. Aliado as práticas agropecuárias primitivas e aliado forma a só preda os recursos naturais levando o solo a exaustão tornando-o sensível aos processos de desertificação (TAYRA, 2002). Estudo concluiu-se que trinta e um municípios apresentam alta propensão a desertificação, totalizando uma área de 33.969km², condizendo a 22,82% da área total e afetando diretamente 3.093.079 habitantes, ou seja, 41,62% da população (RODRIGUES, 2006). Com 75% de sua área total incluída na isoietia abaixo de 800 mm anuais e médias térmicas elevadas, variando de 23° a 27° C, o Ceará apresenta zonas com balanço hídrico anual negativo (FUNCEME, 1991)

Sobrinho (1977) foi o pioneiro nos estudos sobre a desertificação no Nordeste. Em 1977, em parceria com a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), o autor selecionou áreas para um projeto-piloto e posteriormente elegeu, desse projeto, seis áreas para observação e mapeamento, as áreas se apresentavam afetadas mais agressivamente pelos processos erosivos. Já na década 1990, o Núcleo Deserto da Universidade Federal do Piauí – UFPI aliada ao Ministério da Agricultura e a Embrapa Semiárido efetuaram novos estudos utilizando os dados obtidos por J.V Sobrinho. (MMA, 2005).

Os novos estudos efetuados apresentaram evidências sobre as áreas sujeitas aos processos de desertificação mostrando que a principal causa foram ações antrópicas. Como por exemplo, a substituição da mata nativa em prol da exploração agropecuária e a exploração de minérios do solo. Por fim, essas áreas foram caracterizadas como núcleos de desertificação (MMA, 2005). Os núcleos compreendem uma área total de 18.740km², e estão localizados em quatro regiões em cinco estados. Irauçuba (CE), Seridó (RN) e (PB), Cabrobó (PE), Gilbués (PI). (MMA, 2007).

Quando nos referimos à preservação do solo, a Matéria Orgânica em áreas descobertas corrobora com sua proteção contra agentes erosivos assim diminuindo as chances de degradação desse solo (SILVA, 2011). Porém, caso haja perda dessa camada protetora, por fatores como o desmatamento, intensificará o processo de desertificação dessa região (SAMPAIO e ARAÚJO, 2005b). Sendo um dos principais métodos de controle a degradação contra os agentes erosivos eólicos e hídricos, a M.O atua mantendo a umidade do solo e age diretamente na sua fertilidade beneficiando as composições químicas físicas e biológicas do solo (SAMPAIO e ARAÚJO, 2005a).

Com a remoção das camadas superficiais, a influência antrópica acelera ainda mais no processo de degradação da terra, assim acelerando a desertificação (ARAUJO, 2010.) A constante degradação do solo e da cobertura vegetal, ocorre principalmente através do manejo incorreto como, queimadas sem devidas precauções ocasionando a lavoura itinerante, criação extensiva do gado, destruição do banco de sementes e morte dos agentes polinizadores (SOBRINHO, 1983).

As consequências dessa degradação geram grandes problemas econômicos e culturais, influenciando de forma significativa na qualidade de vida da população (MMA, 2007). Das inúmeras e graves consequências da degradação dos solos, a mais grave dentre elas é a perda de área cultivada devido à diminuição da capacidade produtiva, ou seja, sua fertilidade (SAMPAIO e ARAÚJO, 2005a).

Estudando a erosão do solo podemos detectar a influência e agressividade dos fatores erosivos a fim de prevê-los, possibilitando a criação de estratégias para amenizar as perdas de solo. Assim, pode-se selecionar as mais eficientes práticas de manejo que possibilitem diminuir os impactos ou amenizar a erosão do solo (CORRECHEL, 2003) ao máximo. Porém, determinar as perdas de solo por erosão através de métodos diretos é muito dispendiosa (FOSTER *et al.*, 1985).

O método mais utilizado para prever as perdas de solo em longo prazo, por meio de determinadas condições de manejo é a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE - Universal Soil Loss Equation) (WISCHMEIER, 1984).

Nesta equação, a perda de solo média anuais por área unitária é dada pelo produto dos fatores (WISCHMEIER; SMITH, 1978) agrupados na Equação II abaixo.

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Eq. 02

Onde, A é perda de solo média anual ($t\ ha^{-1}.ano^{-1}$), R é a erosividade da chuva e da enxurrada ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$), K é a erodibilidade do solo ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$), L é o fator de comprimento de rampa (adimensional), S é o fator de gradiente da vertente (adimensional), C é o fator de uso e manejo do solo (adimensional), P é o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

A erodibilidade aplicada na USLE é referente a susceptibilidade do solo a erosão hídrica, que está diretamente ligada a fatores químicos, morfológicos, físicos e biológicos (DUMAS, 1965). Destrinchando os fatores físicos podemos correlacionar que o nível de erodibilidade é coerente com a falta de cobertura verde e granulometria, onde um solo desprotegido e com granulometria em sua maioria arenosa apresenta alta taxa de erodibilidade (LAL, 1988).

2.3 Sensoriamento Remoto Aplicado a Desertificação

Em 1970, começaram a ser usadas as técnicas de sensoriamento remoto para estudos relacionados ao levantamento e uso da terra e da evolução da cobertura vegetal apresentando grande vantagem por permitirem a análise em larga escala e de forma temporal (AQUINO *et al.* 2012).

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter dados da superfície terrestre, por meio da reflectância e a assinatura espectral emitida pelos objetos (ROSA, 2005; FLORENZANO, 2007).

Colwell (1983) especifica que o sensoriamento remoto trata da aquisição de dados sem precisar que o objeto esteja perto, então, sem ter contato direto com o alvo. Para a obtenção desses dados são utilizados sensores que detectam radiação eletromagnética. Então sabendo que todos os alvos da superfície terrestre apresentam propriedades físicas, químicas e biológicas diferentes e conhecendo o comprimento de onda absorvido pelo alvo em estudo, torna possível obter interpretações e dados precisos para identificar variações no ambiente (STAR e ESTES, 1990).

A reflectância é energia refletida pelo alvo é relacionada por fatores correlacionados, como, a energia eletromagnética que incide, que corresponde à razão entre radiância e irradiância (STONER e BAUMGARDNER, 1986). As técnicas desenvolvidas para o estudo do solo têm como principal método a espectrorradiometria de reflectância, cujo método quantifica a radiação eletromagnética refletida pelo alvo. Tal aplicação para fins de análise e estudo na ciência do solo ainda tem muito a crescer. (MADEIRA NETTO, 2001).

Devido ao solo ser constituído por diferentes materiais a incidência dos raios eletromagnéticos é refletido de forma diferente em cada tipo de constituição. Além das características mineralógicas a reflectância varia também com a quantidade matéria orgânica, umidade e granulometria (DALMOLIN, 2005).

Podemos exemplificar o conceito de reflectância analisando a mineralogia de solos como Neossolos, devido à sua composição mineralógica ser grande parte quartzarênica, esses apresentam alta reflectância (MARTINEZ, 2015). Na maioria dos casos estão localizados em áreas de baixo índice de cobertura vegetal, caracterizando-se como uma das principais variáveis para identificação de áreas em processo de degradação. (STONER, 1979).

O estudo de ecossistemas naturais e suas transformações, monitoramento de fenômenos naturais, uso potencial do manejo do solo são algumas das aplicações do sensoriamento remoto ligado à agricultura e ao meio ambiente (LIU, 2007; JENSEN, 2010). No processo de identificação de áreas desertificadas ou em processo de desertificação é necessário analisar a intensidade dos agentes erosivos em suas ações com o solo. Devido à possibilidade de estudar grandes extensões territoriais, o sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta que nos permite apurar estas mudanças em escala espacial e temporal (SÁ, 2011).

A utilização da cobertura vegetal como indicador nos estudos ambientais é corroborada pelas afirmativas de Accioly *et al*, (2005), Bertrand (2004), Vasconcelos Sobrinho (1978) e de Vieira (1978), que consideram este o indicador biológico-agrícola mais importante da desertificação, em função das modificações sofridas pela cobertura vegetal de plantas perenes durante a estação seca.

Em estudos mais recentes os autores, Barbosa *et al*, (2009), Sá *et al*, (2010), Silva & Silva (2011) em suas diferentes pesquisas usando os métodos de identificação de cobertura vegetal como NDVI, afirmaram a importância e grande utilidade do uso da cobertura vegetal como fator atenuante na identificação das áreas em processos erosivos de degradação.

2.4 Normalized Difference Vegetation Index – NDVI

O NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) foi proposto por Rouse *et al*. (1973) para estimar e quantificar o crescimento de biomassa. Técnica originada do sensoriamento remoto é o índice mais utilizado no entendimento sobre cobertura vegetal. Atua avaliando a oscilação espacial e temporal das condições da vegetação e a dinâmica dos ecossistemas (PERRY e LAUTENSCHLAGER, 1984; COHEN,1991). Possibilita o estudo da natureza mutável do ecossistema, utilizado como ferramenta para estudo das alterações

antrópicas, desertificação e processos de mudanças climáticas em escala regional e global (Karniely *et al.*, 1996).

Neste sentido, utilizar os índices de vegetação, como o NDVI, pode ser útil para correlacionar o vigor da vegetação verde, porcentagem de cobertura do solo e atividade fotossintética produtividade. Os dados obtidos através do NDVI nos permitem diferenciar áreas agrícolas, áreas de vegetação nativa e áreas em desmatamento baseados na intensidade fotossintética da área (EPIPHANIO *et al.*, 1996).

Como acentua Wardlow *et al.*, (2007), o fato das assinaturas espectrais conseguirem distinguir vegetação nativa, área agrícola e área desmata da em processo de desmatamento, facilitam a ação do estado na questão de políticas públicas na intervenção para manter a conservação da água e do solo.

A aplicação do NDVI para o semiárido brasileiro originou-se de uma necessidade de monitoramento da grande degradação dessa região. Em 1998 baseado no trabalho de Mouat (1994), o autor Kazmierczak (1998) cita o uso de NDVI em estudos de áreas degradadas no sertão nordestino para a elaboração de um algoritmo a fim de mapear as áreas suscetíveis a desertificação (MELO, 2011)

Imagens de satélite são frequentemente utilizadas porque elas propiciam observações de dia, possibilitando atualização constante do status da vegetação. NDVI é definido como a diferença entre o infravermelho próximo e as reflexões vermelhas divididas pela soma dos dois. (TUCKER, 1979).

É calculado utilizando a equação 03 abaixo:

$$NDVI = \frac{(IV - VI)}{IV + VI} \quad \text{Eq. 03}$$

Onde, IV é a resposta espectral do pixel na banda do infravermelho próximo e o VIS é a resposta espectral do pixel referente ao vermelho.

Mesmo o NVDI sendo afetado pela emissão de infravermelho da terra, dispersão dos gases atmosféricos, e ser relativamente insensível a elevados níveis de biomassa, ele se apresenta estável o suficiente para capturar mudanças sazonais e interanuais na condição da vegetação (HUETE *et al.*, 2000).

Os valores variam de -1 a 1, sendo que quanto maior o índice maior a presença de vegetação (ROUSE *et al.*, 1973). O mapeamento da cobertura do solo e variação através do tempo, por meio do NVDI, é amplamente utilizado em projetos de investigação e

desenvolvimento relacionados com monitoramento global da vegetação (BARBOSA *et al.*, 2006).

A vegetação do solo exerce importante papel sobre a atenuação da diminuição da erosão hídrica, auxiliando de forma a interceptar as gotas de chuva que caem com grande energia cinética, o impacto das gotas de chuva é amenizado, reduzindo a desestruturação, velocidade da enxurrada e aumentando a infiltração de água no solo (CARDOSO *et al.*, 2012).

Autores como Oliveira *et al.*, (2012) ratificam a eficiência do uso do índice NDVI em avaliar as variações de densidade de diferentes coberturas vegetais em suas áreas de estudo, grande parte da área foi ocupada por pastagens degradadas, onde apresentaram NDVI baixo e comprometendo a preservação do solo em questão.

Já para Lima *et al.*, (2013) utilizaram o índice NDVI para determinar e quantificar as classes de solos na sub-bacia das Posses, Extrema –MG partindo do princípio da importância da análise da cobertura vegetal para conservação do solo e da água.

Dito isto, pode-se inferir que essa técnica tem grande importância nos estudos no Nordeste do Brasil, devido à economia nordestina ser formada basicamente pelo extrativismo dos recursos naturais, o sobrepastejo de áreas nativas e exploração agrícola sem qualquer tipo de manejo pró-preservação (SAMPAIO; SALCEDO, 1997).

2.5 Top Soil Grain Size Index - TGSi

O índice TGSi, representa as assinaturas espectrais de diferentes tipos de solo determinadas a partir de análises físicas em laboratório. As flutuações da vegetação que ocorre devido as precipitações irregulares gerando desconfiância nos dados obtidos pelo índice NDVI, o TGSi é usado para corroborar as análises e apresentar mais precisão nos dados (XIAO *et al.*, 2006)

Entendendo-se que a textura do solo é medida de forma indireta pela sua granulometria e que a fração mais grosseira na camada superficial do solo é um símbolo visível de degradação, Xiao *et al.*, (2006) desenvolveram um novo índice para detectar a composição da granulometria da camada superficial do solo e seus atributos físicos através da mensuração de sua reflectância e análises físicas do solo. Haja vista que diferentes tipos de solo apresentam diferentes tipos de granulometria, podemos identificar e correlacionar seus dados espectrais com sua reflectância e detectar alterações em uma topossequencia (DEMATTE *et al.*, 2000). Seu estudo conseguiu detectar áreas em situação de desertificação na Mongólia Interior e na China. O autor, ainda, ratifica que o rápido processo de degradação

do solo é em grande parte causado pela ação antrópica.

O índice TGSi pode ser obtido através da Equação (04) abaixo:

$$TGSi = \frac{(Rb3 - Bb1)}{(Rb3 + Bb1 + Gb2)} \quad \text{Eq. 04}$$

Onde, R é a resposta espectral do pixel na banda do vermelho; B: Resposta espectral do pixel na banda do azul; G: Resposta espectral do pixel na banda do verde.

Valores negativos do TGSi indicam áreas cobertas com a vegetação, valores positivos representa expressiva quantidade de areia grossa, valores de 0,20 indicam altos teores de areia fina (XIAO *et al.*, 2006).

O solo que se mantém em estado natural com cobertura vegetal nativa apresentando características físicas favoráveis ao crescimento da vegetação, dentre os quais se destacam a estrutura, permeabilidade e densidade (ANDREOLA *et al.*, 2000). Na medida em que há o aumento da atividade da agropecuária local, este solo sofre alterações que tendem a ser prejudiciais ao crescimento vegetal, contribuindo para a exposição onde ocorre o engrossamento da camada superficial (SANTOS, 2010)

A perda da qualidade física do solo começa pela deterioração de sua estrutura, perdendo camadas superficiais e expondo a camada mais grosseira do solo, assim, além de aumentar a vulnerabilidade pela exposição da camada superficial ocorre devido à perda da capacidade do solo de sustentar vida (OMUTO, 2008).

Devido essa reação em cadeia com o produto sendo a total transformação do solo, os autores Zhao *et al.*, (2005) afirmaram que a granulometria do solo é um indicador de degradação do solo assim como, Zhu *et al.*, (1989) demonstraram em sua pesquisa que a desertificação age em níveis e para cada nível o solo apresenta diferentes texturas e o nível mais severo apresenta alta taxa de fração grosseira no na camada superficial.

3. Material e Métodos

3.1 Áreas de Estudo

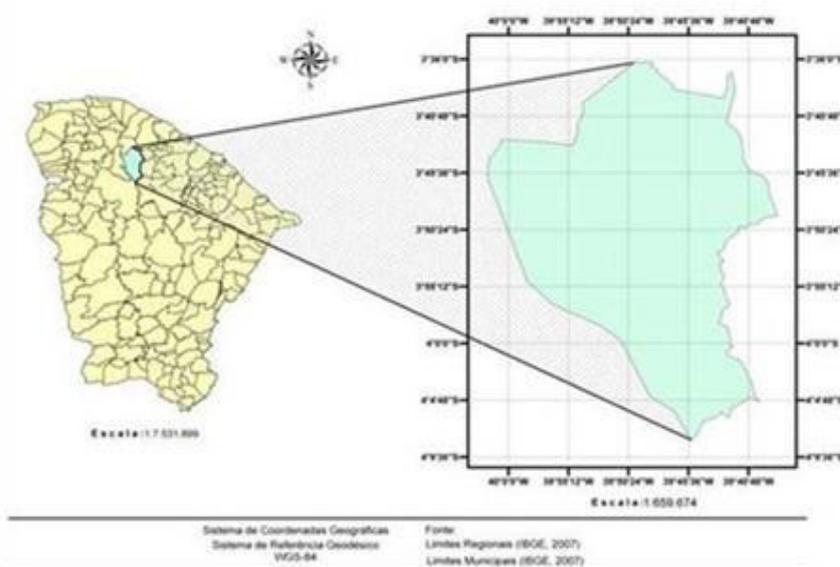
3.1.1 Área Desertificada

A área em estudo está localizada no Núcleo de Desertificação, mais precisamente no núcleo em que os processos de desertificação encontram-se presentes de forma mais acentuada. Irauçuba, apresentado na Figura 1, está a 153 m de altitude, 150 km distante de Fortaleza e com população estimada em 21.921 habitantes. Tem uma área de 1.384 km² correspondente a 0.98% da área total do estado e pontualmente situa-se na latitude de 3°44'S e longitude 39°47'W. Localizada na microrregião de Sobral, apresenta clima Tropical quente semiárido com pluviometria média de 539,5 mm (IBGE, IPECE 2014).

Tem como principais culturas, as de subsistência, como mandioca, milho e feijão. Para a pecuária a criação de bovinos, suínos e aves. (LANDIM *et al*, 2011).

Predominam solos do tipo LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, PLANOSSOLOS, ARGISSOLO vermelho-amarelo, relevo em sua maior parte, são depressões sertanejas e maciços residuais. A vegetação é caatinga arbustiva aberta e abastecida pela bacia do Curu. (FUNCEME, IPECE 2014).

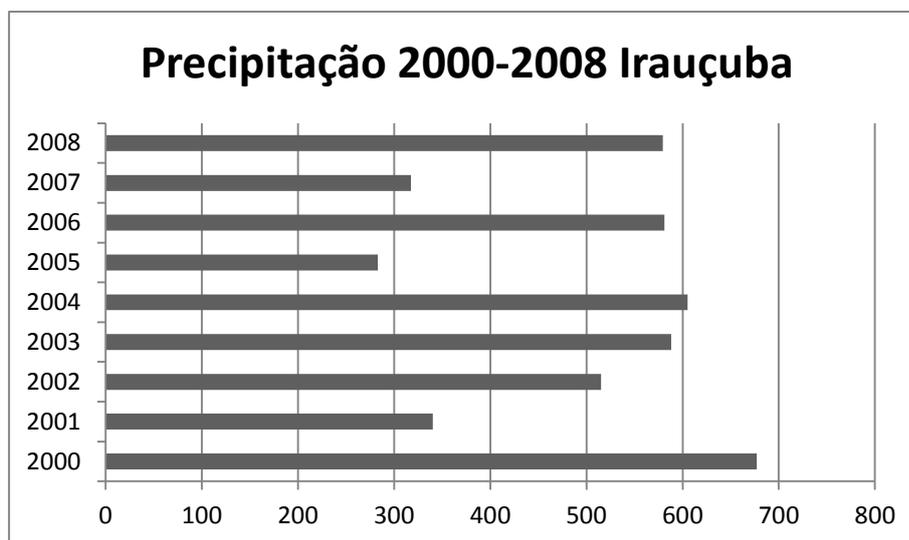
Figura 1: Mapa de localização do Município de Irauçuba no Estado do Ceará.



Fonte: Elaboração, Henrique R.R.C. Almeida 2001

Os dados pluviométricos de Irauçuba de 2000-2008 foram obtidos através dos registros da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Precipitação 2000-2008 Irauçuba



Fonte: Funceme

Os baixos índices pluviométricos, a grande taxa de evaporação, intenso pastejo e extrativismo tornou Irauçuba uma das regiões que compõe os núcleos de desertificação do Ceará, compreende uma área de 8.000 km² e inclui os municípios Miraíma, Itapagé, Irauçuba, Santa Quitéria e Canindé.

Torna-se necessário o conhecimento dos dados da precipitação para os anos estudados pois os índices variam de acordo com a cobertura presente no solo como por exemplo a vegetação nativa para o NDVI. Após analisados os dados apresentam notável correlação entre medidas pluviométricas observados e variação das médias obtidas pela aplicação dos índices

3.1.2 Área não Desertificada

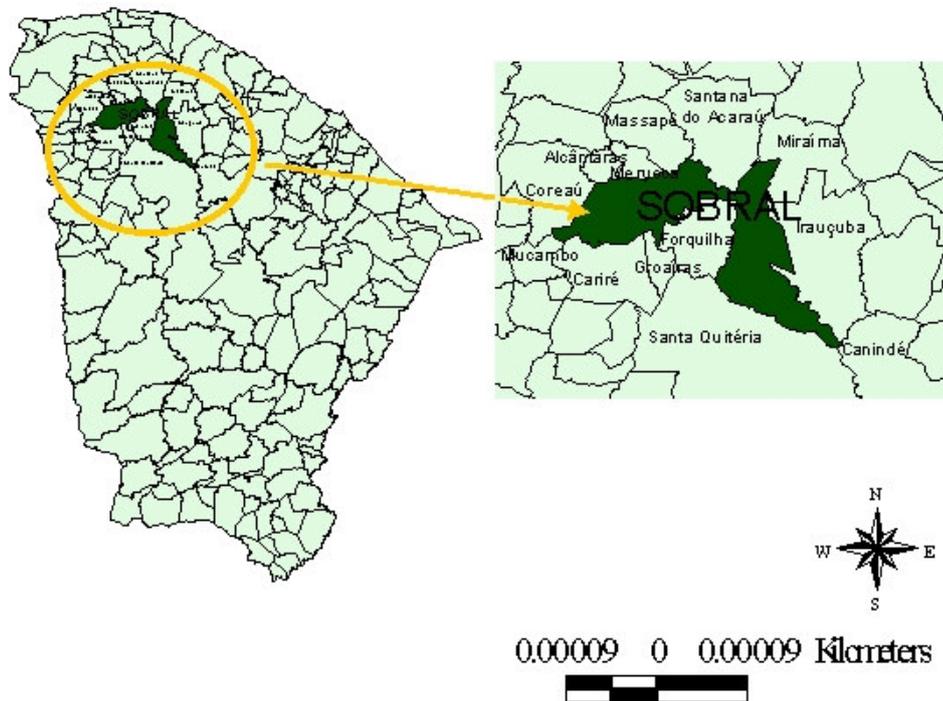
De forma a comparar os dados foi escolhido uma área onde apresentava vegetação já estabelecida e preservada que apresentam características climáticas, topográficas e culturais semelhantes, sendo assim selecionou-se a Floresta Nacional de Sobral.

Encontra-se a 76 km do núcleo de desertificação de Irauçuba e 240km da Capital Cearense, com 598 hectares representa aproximadamente 28% da área total de Sobral e está

pontualmente localizada nas coordenadas $03^{\circ} 41' 10\text{S}$ e $40^{\circ} 20' 59\text{W}$, encontra-se alocada no bioma caatinga (IBGE, 2008). Administrada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), está localizada próximo ao açude Aires de Sousa (Jaibaras) alimentado pelo rio Jaibaras que pertencente a bacia do Acaraú.

A Floresta Nacional de Sobral (Flona), no Município de Sobral, visa promover o manejo adequado dos recursos naturais, garantir a proteção dos recursos hídricos, fomentar o desenvolvimento da pesquisa científica básica e aplicada da educação ambiental (Figura 3).

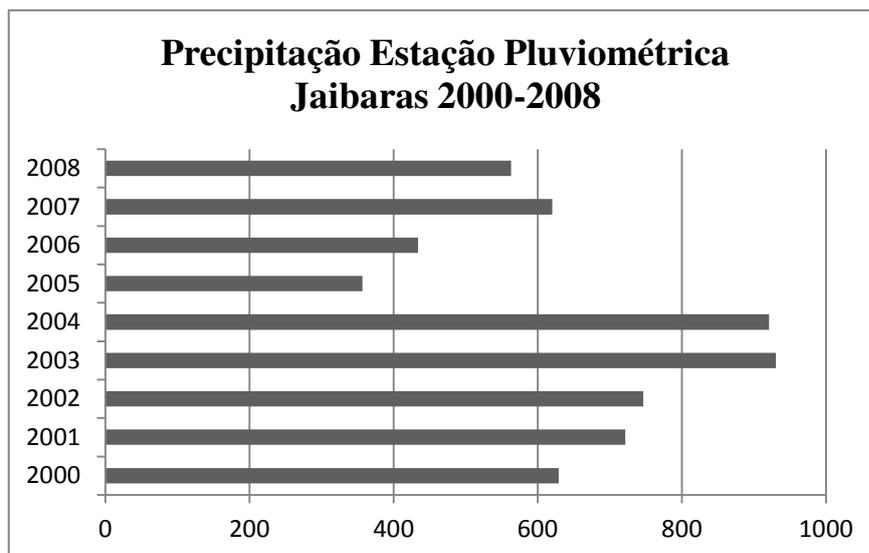
Figura 3: Floresta nacional de Sobral



Fonte: ICMBio

Assim, como para Irauçuba, faz-se necessário os dados pluviométricos dos anos para melhor entendimento das variações dos dados analisados. Os níveis de precipitação da estação pluviométrica de Jaibaras podem ser observados a seguir na Figura 4

Figura 4: Precipitação Estação Pluviométrica de Jaibara nos anos de 2000-2008



Fonte: Funceme

Por essas características a Floresta Nacional de Sobral foi escolhida para comparar os dados correspondendo à área não desertificada, por apresentar características climáticas e estar inserida no mesmo bioma.

3.2 Índices

Para uma melhor análise dos dados coletados é necessário a utilização de índices complementares como NDVI e TGSI. Apesar da cobertura vegetal ser um dos fatores de proteção do solo e de grande importância na detecção de áreas degradadas, apenas o NDVI não apresenta dados satisfatórios devido a rapidez com que a caatinga se regenera ocorrer leves precipitações. Logo, um índice que seja eficiente na identificação da granulometria do solo através de seus dados espectrais o é de suma importância para que os dados sejam mais confiáveis. Por este motivo os índices NDVI e TGSI foram utilizados em conjunto neste trabalho.

3.2.1 Índice de Diferença Normalizada da Vegetação - NDVI

O NDVI foi o índice a ser calculado para analisar o comportamento da vegetação no período 2000 a 2008 estudados, será obtido por meio das diferenças de valores a partir da conversão dos níveis de cinza (GL) para valores de radiância e refletância.

Os valores obtidos nas bandas 3 e 4 correspondentes ao vermelho e infravermelho foram agrupados e calculados através da equação do NDVI (Equação 03).

Os valores de NDVI foram comparados entre si pela média da classe predominante em duas diferentes épocas do ano, final do período chuvoso (FC) e o final do período seco (FS).

3.2.2 Índice de Tamanho de Grãos na Superfície do Solo - TGSÍ

Devido ao fenômeno de oscilação de precipitações no estado do Ceará, apenas os dados obtidos através da aplicação do NDVI, não se tornam suficientes para um bom embasamento na determinação as áreas em processo de desertificação.

Então, para aprofundar o uso do SIG nessa análise o índice TGSÍ proposto por Xiao *et al* (2006), é aplicado como uma forma de análise da reflectância da superfície do solo a partir de análises granulométricas realizadas em laboratório.

Para obter os resultados foram utilizados os valores de reflectância das bandas 1,2 e 3 e posteriormente agrupadas e calculadas por meio da Equação 04.

3.3 Dados Orbitais

Com intuito de identificar, caracterizar e mapear as áreas há serem estudadas do Núcleo de desertificação de Irauçuba e da Floresta Nacional de Sobral no período de 2000 a 2008, foi realizada uma análise por meio das imagens obtidas usando o sensor Thematic Mapper Landsat 5.

As cenas foram obtidas da plataforma da *United States Geological Survey*, referente a órbita ponto 217/063 – 218/062 – 218/063 do período de 2000 a 2008, para aquisição das cenas levou-se em consideração a baixa cobertura de nuvens na área de interesse e o volume de chuva ocorrido, para isso utilizou-se como base os gráficos de precipitação da Fundação Cearense de Meteorologia. As imagens foram reprojctadas para zona 24 Sul e DATUM WGS – 84, no software Envi® 4.8 utilizando o algoritmo layer stracking.

3.3.1 Processamento Imagens

As imagens foram submetidas ao processo de correção atmosférica usando o módulo Flaash do Envi® 4.8, em seguidas registradas com base em imagens Landsat 8 usando a ferramenta Map, foram escolhidos em torno de 10 a 12 pontos de controles para registro das imagens cujos valores de RMS foram inferiores a 2 pixels atendendo a recomendação para a resolução espacial de 30 metros.

3.3.2 Validação dos Dados

Para que os dados sejam validados e tenha certa correlação com a realidade de cada área é necessária à visita pessoal nas áreas para vistoria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Núcleos de Desertificação Irauçuba Centro Norte

4.1.1 NDVI

De posse dos valores de cada área foi utilizada estatística descritiva para obter as médias, coeficientes de variação e desvio padrão através da ferramenta Destiny Slice oferecida pelo software Envi 4.8.

Os valores de NDVI foram comparados entre si pela média da classe predominante em duas diferentes épocas do ano, final do período chuvoso (FC) e o final do período seco (FS). Na Tabela 2 encontram-se os valores de NDVI relacionados ao período de 2000 - 2008 notam-se os baixos valores de NDVI para ambos os períodos estudados. Além disso, os menores valores apresentados foram 0,00 e o maior foi 0,75 em toda a área delimitada em nosso estudo.

Tabela - 2 Valores Médios, Desvio Padrão e Coeficiente de variação para NDVI.

VARIÁVEL	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV (%)
NDVI	2000 (FS)	0,3204	0,0292	9,11
	2000 (FC)	0,5987	0,0707	11,81
	2001 (FC)	0,5995	0,0477	7,97
	2003 (FS)	0,3259	0,0322	9,80
	2004 (FS)	0,3236	0,0265	8,19
	2004 (FC)	0,5994	0,1155	19,27
	2005 (FS)	0,3182	0,0244	7,67
	2005 (FC)	0,3194	0,0323	10,11
	2006 (FS)	0,3012	0,029	9,63
	2006 (FC)	0,6375	0,0901	14,14
	2007 (FC)	0,3174	0,0371	11,68
	2008 (FS)	0,3129	0,0323	10,34
	2008 (FC)	0,3307	0,0430	13,01

FS: Final Seco; FC: Final Chuvoso.

Fonte: Santos, (2017)

Essas variações apresentam dados equivalentes com a realidade e ainda sim preocupantes, variando de 0,3129 a 0,6375 os anos 2000 (FS), 2003 (FS), 2004 (FS), 2005 (FS)/ (FC), 2006 (FS), 2007 (FS), 2008 (FS)/ (FC) mostraram-se compatíveis com trabalhos relacionados, como, Leivas *et al*, (2013) e Landim *et al*, (2011) ambos analisando áreas do semiárido e obtendo médias baixas.

Nos dois semestres de 2006 observa-se como a vegetação da caatinga responde bem a precipitação, com elevados valores de NDVI. E neste âmbito, a menor média apresentada corresponde a 0.3012 para o Final Seco, enquanto após um bom nível de chuvas para os municípios do Núcleo estudado a média mais que dobrou atingindo 0,6375 para o Final Chuvoso. Essa variação é facilmente explicada devido à flutuação da precipitação ao longo do ano, já que o índice é extremamente sensível a essa oscilação (GONZAGA *et al*, 2011).

A capacidade de resiliência da caatinga se mostra eficiente para os anos de 2000, 2004 e 2006 ocorrem aumento nos valores observados demonstrando que mesmo com alta taxa de evaporação e baixa taxa de precipitação a caatinga, conseguiu se regenerar.

Porém no ano de 2005 e 2008 não houve diferença significativa para as médias, isso demonstra que mesmo a caatinga apresentando alta resiliência somente o umidade não é necessária para alterar a vegetação nativa.

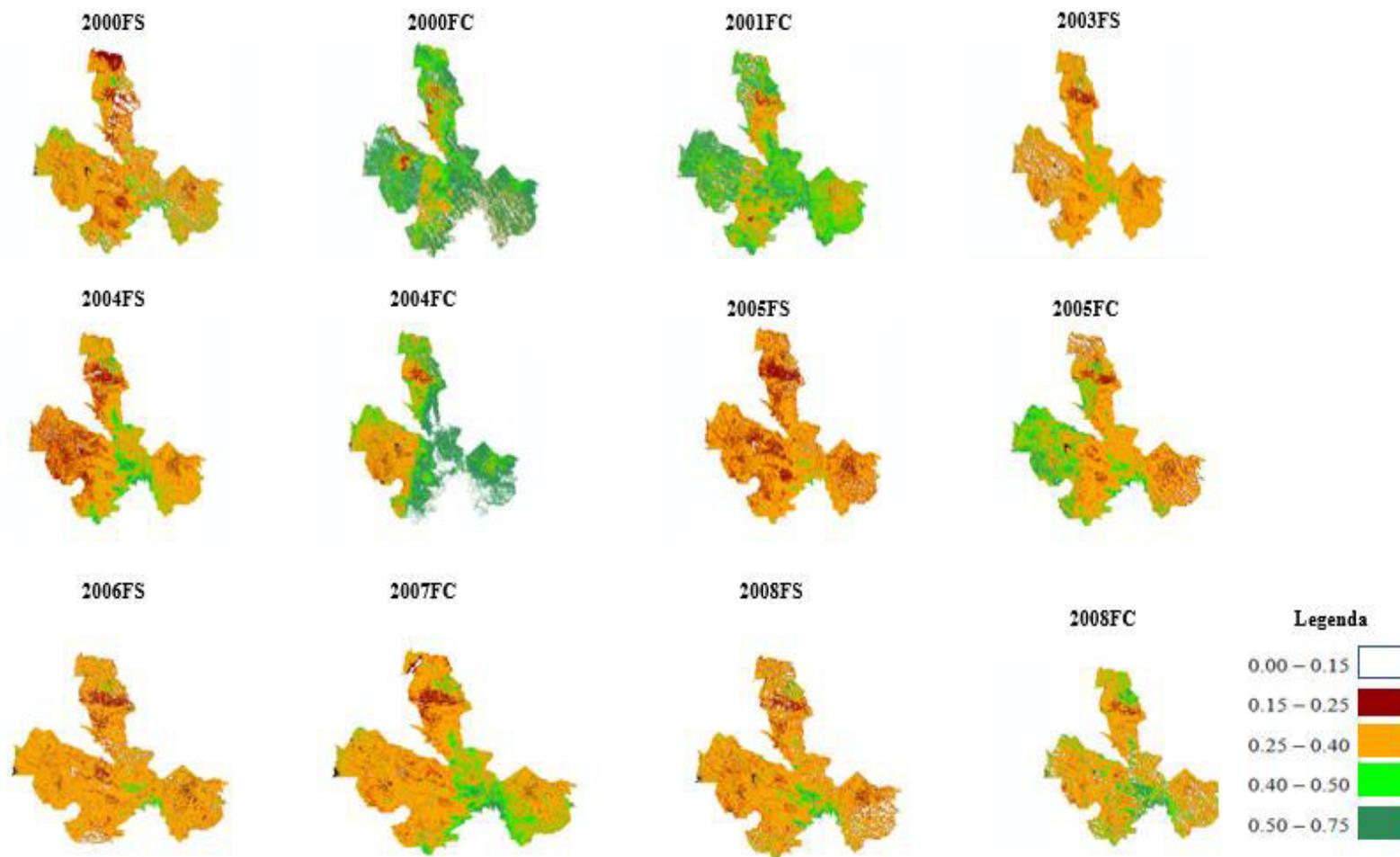
Mesmo com as alterações nos valores devido às precipitações, em alguns anos as

chuvas não foram o suficiente para essa variação ser notável. Como podemos observar nos anos 2005 e 2008 que não obedeceram ao padrão de crescimento da média no Final Chuvoso (FC) em relação ao Final Seco (FS), provavelmente se deve ao fato das chuvas terem sido irregulares em toda a área dos municípios.

Devido a essas variações espaciais chuvosas, faz-se necessário o uso de outros índices para se chegar a conclusões mais detalhadas e confiáveis a cerca do nível de desertificação que se encontra o núcleo de Irauçuba.

A figura 5 mostra em escalas de cores os valores de NDVI obtidos antes do cálculo da média.

Figura 5 – Mapas de NDVI no Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte na série temporal 2000 a 2008.



Fonte: Santos, (2017)

Na Figura 5 podemos ver claramente a má distribuição espacial das chuvas nos anos 2005FC e 2008FC devido as áreas onde há variação de 0.40 a 0.50 (verde) se mostrarem espaçadas e em baixa quantidade, Landim *et al.* (2011) citam em seu trabalho que, além da baixa atividade hídrica, outro motivo da diminuição das áreas de vegetação nativa podem ser o desmatamento para atividade agrícola.

Com a obtenção das médias e construção dos mapas de NDVI é necessário ainda, para obter maior precisão nas conclusões, a determinação do TGSÍ para a mesma área, este índice trata da visualização da textura do solo que, em áreas desertificadas apresenta textura mais grosseira, relacionando a perda de nutrientes com a fração silte e argila.

4.1.1.2 NDVI FLONA DE SOBRAL

Na Tabela 3 pode-se observar os resultados de NDVI obtidos através do processamento das imagens para a Floresta Nacional de Sobral (FLONA). Os valores obtidos foram relativamente baixos de acordo com os valores delimitados por Rouse *et al.* (1973) para uma área que deveria ser preservada. Para os anos 2003FS, 2004FS e 2006FS os baixos valores de NDVI se deve a provável baixo vigor da vegetação aliados a elevados níveis lixiviação decorrente da percolação da água da chuva, pois os anos de 2003FS e 2004FS foram os que apresentaram maiores médias dos anos estudados sendo, 930.5mm e 921.1mm respectivamente. Porém, pela discrepância dos dados obtidos para 2003FS podemos inferir que a média obtida foi devido à intensa cobertura de nuvens na região, enquanto para 2006FS a média NDVI foi coerente com a precipitação do ano.

Tabela 3. Valores NDVI no FLONA

ÍNDICE	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV %
NDVI	2000 (FS)	0,3208	0,039	121,689
	2000 (FC)	0,6152	0,0529	85,996
	2001 (FC)	0,6258	0,0561	89,729
	2003 (FS)	0,0692	0,022	318,195
	2004 (FS)	0,2998	0,0337	112,396
	2004 (FC)	0,3220	0,0192	59,742
	2005 (FS)	0,3167	0,0341	107,647
	2005 (FC)	0,3294	0,0317	96,320
	2006 (FS)	0,2903	0,0181	62,500
	2006 (FC)	0,3438	0,0281	81,905
	2007 (FC)	0,3100	0,0258	83,354
	2008 (FS)	0,3069	0,0262	85,442
	2008 (FC)	0,3132	0,0202	64,748

Fonte: Santos, (2017)

Ainda para na Tabela 3, os valores de NDVI para os anos 2000FC e 2001FC foram os maiores obtidos devido à proximidade da data de coleta da imagem pelo sensor as chuvas de início de ano. Como podemos observar apenas os anos 2000FC e 2001FC apresentaram valores de NDVI que correspondem a uma área com alta cobertura vegetal como deveria ser uma área de preservação, entretanto os demais anos estudados apresentaram valores de NDVI que oscilaram entre 0,3069 e 0,3438 tanto para FS quanto para FC isso nos diz que, mesmo com boas precipitações a vegetação não conseguiu se estabelecer por completo ou se regenerar do período seco. Isso pode estar relacionado diretamente com atividades antrópicas como o sobrepastejo (XIAO *et al.*, 2006).

Diante disso, Frota (2013) afirma que as alterações na cobertura vegetal tanto de áreas agrícolas quanto naturais provocam mudanças no balanço natural do ambiente, assim, essas modificações aceleram os processos erosivos, reduzem a recarga absorção de água e a degradação do solo.

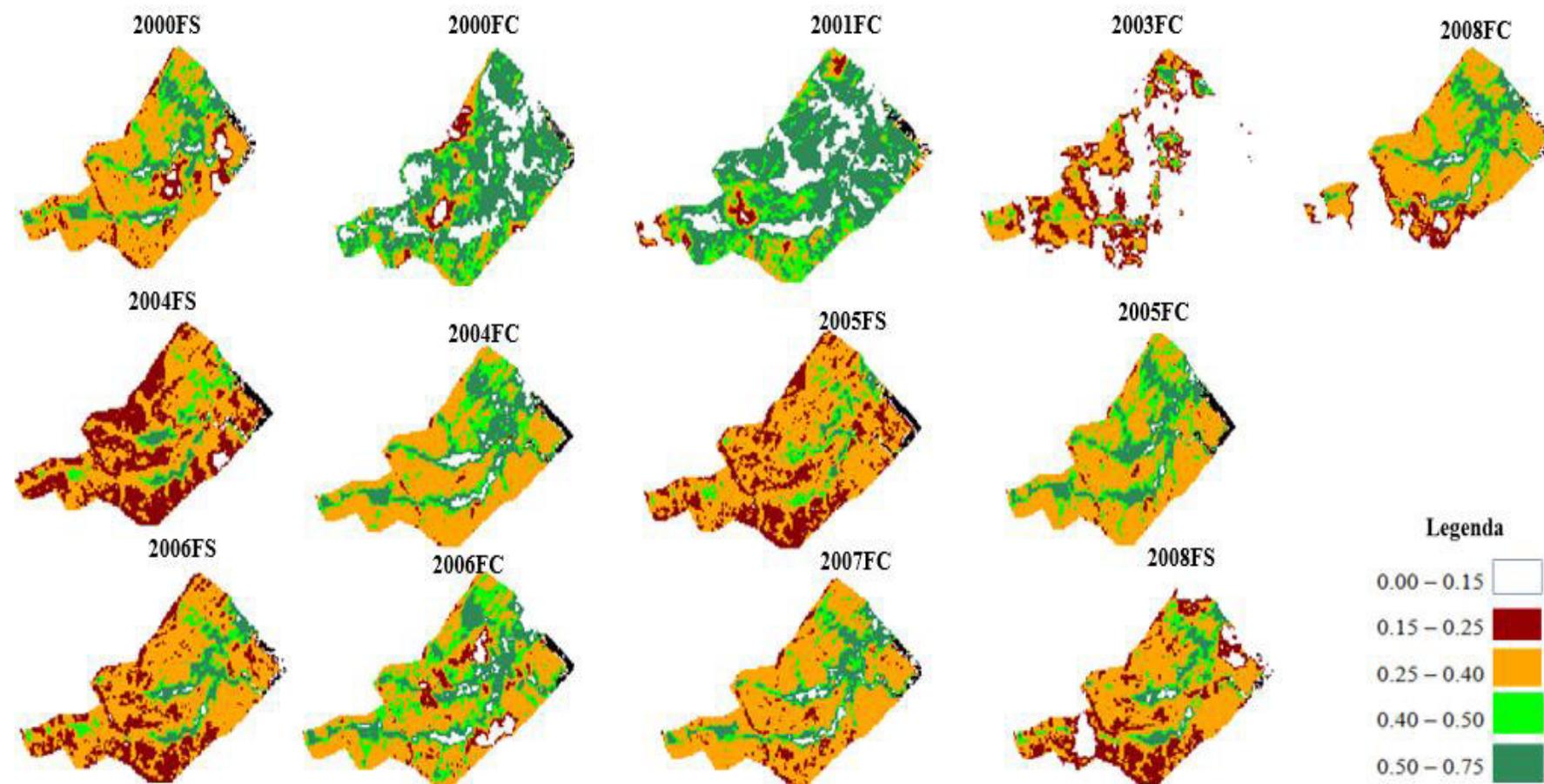
Após a análise dos valores obtidos, podemos deduzir que o FLONA de Sobral se encontra em uma situação preocupante devido às médias apresentadas serem tão baixas, os anos de 2004 e 2008 com médias variando 0,2998 a 0,3438 indica uma vegetação rala, e rasteira e muito espaçada.

A situação é agravada pelo fato de que o instituto que coordena os FLONAS no Brasil, não apresenta plano de manejo para o FLONA de Sobral o que infere problemas operacionais na área. Dito isto, pode-se levantar a hipótese que os índices resultantes desta análise aliado a falta de um plano de gestão e de manejo, contextualizados por intensas

condições climáticas, levam o FLONA de Sobral a apresentar baixos valores de NDVI, apresentando semelhanças às médias obtidas em áreas sabidamente desertificadas.

A figura 6 mostra as variações de cobertura vegetal ao longo da série temporal 2000-2008, corroborando com as médias obtidas.

Figura 6 - Mapas de NDVI para Floresta Nacional de Sobral.



Fonte: Santos, (2017)

As áreas em tons de verdes no mapa representam a vegetação. Nos anos 2000 FC e 2001FC, onde encontramos a maior variação entre período seco e chuvoso há grande concentração de vegetação tendo variações de dois tons diferentes. Há áreas que tiveram variações de 0,50 a 0,75 representada pelo verde com tonalidade escura, enquanto as áreas em verde claro apresentam variação de 0,40 a 0,50, essa oscilação pode ser explicada pela presença de cursos d'água, já que o mapa mostra áreas em branco, que seriam representativas para espelhos d'água ou simplesmente solo exposto.

Enquanto para os anos 2004 a 2008, as médias não apresentaram grandes variações, poucas áreas de vegetação, poucos espelhos d'água, grandes áreas marrons e vermelhas representam solo descoberto ou vegetação rala. As áreas que antes comportavam espelhos d'água, apresentam-se secas e com baixos níveis de vegetação.

Comparando as médias do FLONA de Sobral com o Núcleo de desertificação de Irauçuba, para os mesmos anos, temos uma situação preocupante, pois as médias das duas áreas e os mapas não mostram diferenças significativas. No FLONA as médias chuvosas são maiores que as de Irauçuba, o que nos mostra que o problema em si não é mais a falta de umidade e sim intensa atividade antrópica nessas áreas. Porém, não podemos afirmar com certeza o que o FLONA de Sobral se encontra desertificado, com a aplicação do índice TGSI poderemos ter mais informações e chegar mais perto de um entendimento maior.

4.1.2 TGSI NÚCLEO DE IRAUÇUBA

A perda das frações argila/silte é um símbolo visível de degradação do solo, assim a mudança nas frações, tornando a areia predominante da camada superior, pode ser usada para monitorar os níveis de degradação em uma determinada área (XIAO *et al*, 2006). Dito isto o uso do índice TGSI, que identifica as áreas com presença desta fração grosseira é imprescindível.

Os dados coletados apresentam-se na Tabela 4, onde se agrupam as médias da série temporal 2000 a 2008. No ano de 2000FC foi observado o menor valor 0,1335, enquanto para os demais anos, as médias aumentaram drasticamente até o máximo de 0,2562 no ano 2001FC, indicando que houve um grave aumento da fração grosseira do solo e com isso aumento dos níveis de desertificação no núcleo de Irauçuba.

Tabela 4: Médias do TGSÍ para Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte.

VARIÁVEL	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV (%)
TGSÍ	2000 (FS)	0,2469	0,0197	7,99
	2000 (FC)	0,1335	0,0302	22,66
	2001 (FC)	0,2562	0,0231	9,01
	2003 (FS)	0,2429	0,0228	9,42
	2004 (FS)	0,2345	0,0242	10,35
	2004 (FC)	0,2346	0,0241	10,29
	2005 (FS)	0,2523	0,0237	9,41
	2005 (FC)	0,2277	0,0159	7
	2006 (FS)	0,2422	0,0208	8,6
	2006 (FC)	0,1725	0,0373	21,62
	2007 (FC)	0,2475	0,024	9,71
	2008 (FS)	0,2281	0,0202	8,86
	2008 (FC)	0,2324	0,0168	7,27

FS: Final Seco; FC: Final Chuvoso.

Fonte: Santos, (2017)

Os valores encontrados para este índice variaram de - 0,1 a 0,5 e é neste contexto que Xiao *et al*, (2006) afirmaram que os valores negativos de TSGI são representativos de áreas com alta concentração de cobertura vegetal enquanto valores positivos até no máximo 0.20 são relacionadas a áreas com menores teores de matéria orgânica, isto é, em processo de desertificação.

Com exceção dos anos 200FC e 2006FC todos os outros apresentam valores médios de TGSÍ acima do limite máximo estabelecido por Xiao *et al*, (2006), significa que há um aumento relativo de material arenoso grosseiro em detrimento as frações mais finas, representando uma área que sofre grandes processos de erosão acelerada.

As alterações das frações do solo são associadas ao declínio da fertilidade do solo, assim como a perda da cobertura natural transformando-se gradativamente em uma área que não comporta mais vida.

De acordo com os autores Huang *et al*, (2006), ocorre a perda de M.O nas grandezas de 94%, 89% e 69% respectivamente nas camadas de 0 a 5cm, 5 a 10cm e 10 a 30cm em áreas sob processos de degradação, os níveis de macro nutrientes também decrescem, assim como a diversidade de espécies nativas e o banco de sementes do solo. Dessa forma ocorre a perda de vegetação que seria o principal mecanismo de defesa contra os

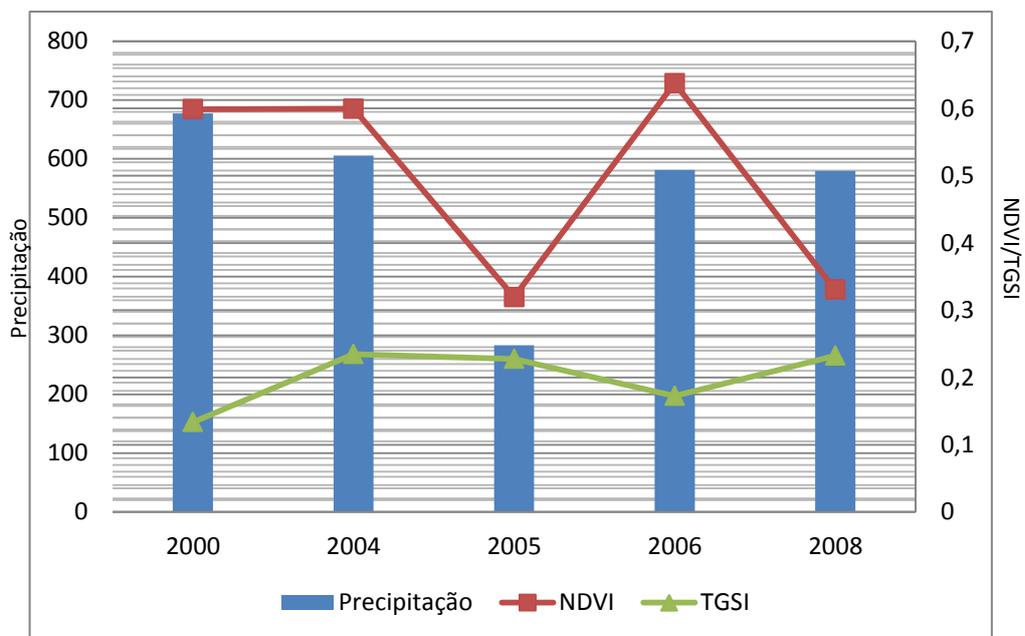
agentes de degradação natural, vento e a chuva.

Os anos 2000FS/FC, 2005FS/FC e 2006FS/FC apresentaram resultados complementares em relação ao NDVI e TGSÍ. Para o ano 2000FS/FC a média observada do NDVI praticamente dobrou, aumentando de 0,3024 para 0,5987, enquanto o TGSÍ diminuiu de 0,2469 para 0,1335, se repetindo para o ano 2005FS/FC, onde a média NDVI teve um aumento pouco considerável de apenas 0,0014 enquanto a média do TGSÍ reduziu de 0,2523 para 0,2277 novamente se repetindo no ano de 2006FS/FC que da mesma forma que apresentou notável aumento de mais de 100% no NDVI em cima do valor FS enquanto a média TGSÍ de forma a confirmar as perspectivas apresentou uma queda de 0,2422 para 0,1725.

Mostrando claramente a relação do NDVI x TGSÍ, onde se há aumento da média de NDVI (aumento da vegetação) ocorre à queda das médias de TGSÍ.

Na Figura 7 observa-se graficamente a correlação da precipitação, NDVI e TGSÍ. O aumento da precipitação faz com que cresça a vegetação nativa com isso aumentando a proteção do solo e conseqüentemente maior proteção contra os processos erosivos. Assim, explicando com clareza o motivo do ocorrido nos anos 2000FS/FC, 2005FS/FC e 2006FS/FC.

Figura 7: Relação entre NDVI, TGSÍ e precipitação para o centro de desertificação de Irauçuba.

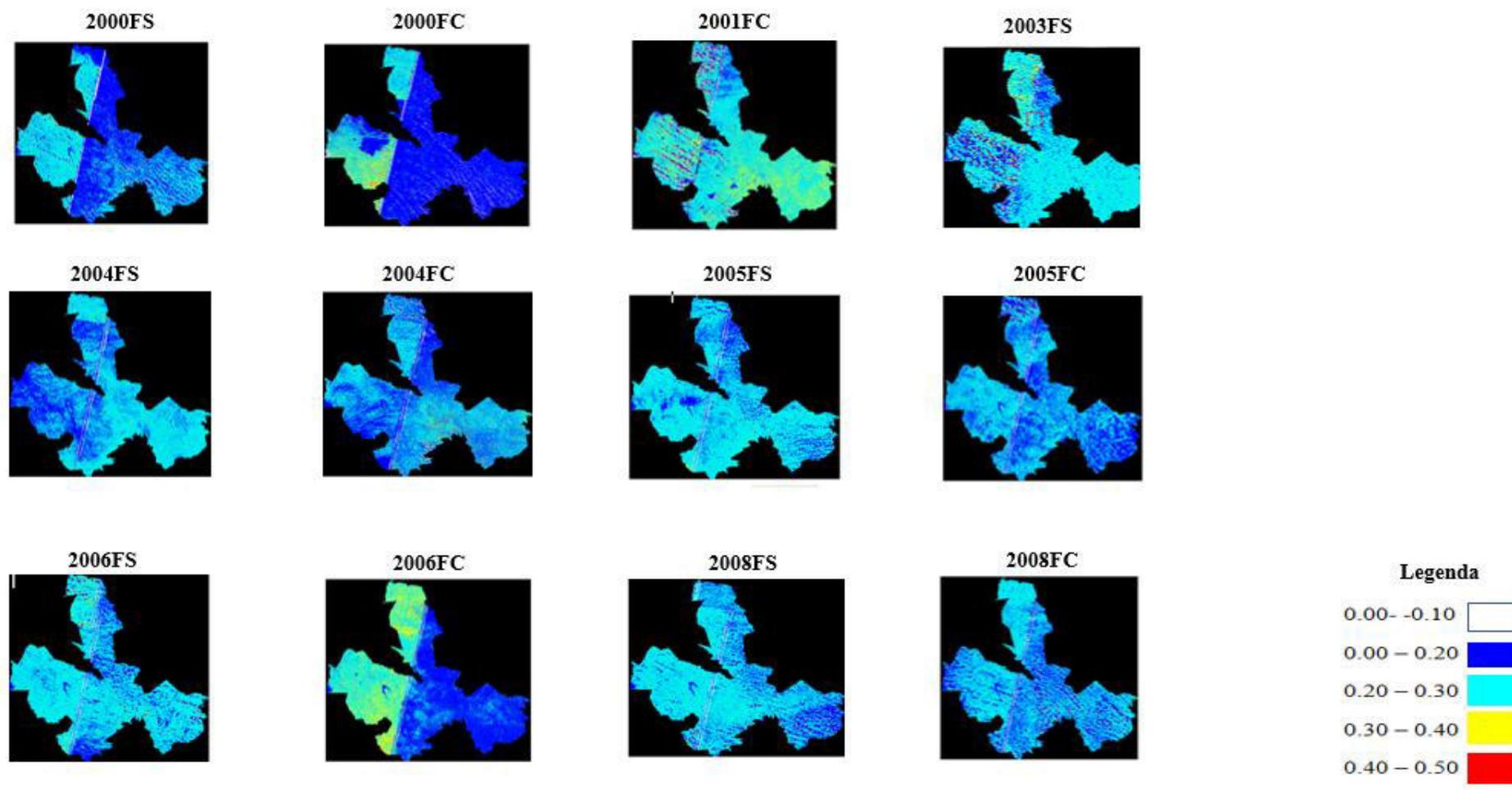


Fonte: Elaboração própria.

Porém, as médias dos anos 2004FS/FC e 2008 FS/FC apresentaram resultados contrastantes quando os índices NDVI e TGSÍ aumentarem simultaneamente. Esse comportamento deve-se provavelmente a irregularidade espacial e quantitativa das precipitações e a baixa capacidade de retenção de água desses solos, podem ter proporcionado essas variações inesperadas na análise, podendo ter ocorrido grandes precipitações em pouco tempo, ocasionando uma enxurrada, carreando o material mais fino para outras localidades, deixando apenas o material mais grosseiro (LAMCHIM *et al.*,2016).

Na Figura 8 observa-se as classes de TGSÍ que foram predominantes durante a série temporal de 2000 a 2008, mostrando a flutuação dos níveis de fração grosseira das áreas estudadas.

Figura 8: Mapas do TGSI no Núcleo de Desertificação Irauçuba – Centro Norte na série temporal 2000 a 2008



Fonte: Santos, (2017)

Apresentando do proposto por Xiao *et al*, (2006) em apenas dois anos dos nove estudados o núcleo desertificação de Irauçuba Centro Norte não apresenta médias acima de 0.20.

O subsolo de Irauçuba é formado em sua totalidade por rochas cristalinas que são rochas duras e de baixo índice de porosidade que não favorecem a infiltração e absorção de água. Dito isso, não podemos afirmar que a elevação dos índices TGSI são oriundos apenas dos processos erosivos, autores como Lima *et al*, (2006) estudando a formação dos solos amazônicos, concluíram que solos provenientes de rochas cristalinas apresentam menor grau de intemperismo, conseqüentemente maior índice de textura grosseira no solo.

De forma geral, a médias obtidas pelo estudo do núcleo de Irauçuba mostram médias de TGSI superiores ao proposto por Xiao *et al*, (2006) valores estes indicativos de áreas severamente desertificadas.

Depois de analisar o TGSI e NDVI da área desertificada continua-se com a determinação dos mesmos índices para a área não desertificada, a Floresta Nacional de Sobral.

4.2.2 TGSI FLONA DE SOBRAL

Assim como ocorrido com a média NDVI para o ano de 2003FS, para o TGSI houve diferença, a intensa precipitação que ocorreu esse ano foi grande o suficiente para que suas nuvens, altamente carregadas apresentasse discrepância dos resultados em consideração aos outros anos estudados.

Os períodos de 2005FC e 2004FS apresentaram valores não tão baixos quanto o esperado, porém mais próximos à realidade, com 0,1471 e 0,1561, respectivamente. Podemos observar as médias calculadas referentes ao índice TGSI na Tabela 5.

Tabela 5: Médias TGSI para Floresta Nacional de Sobral.

ÍNDICE	ANO	MÉDIA	DESVIO	CV %
TGSI	2000 (FS)	0,224	0,0149	6,680
	2000 (FC)	0,257	0,0250	97,599
	2001 (FC)	0,241	0,0233	97,028
	2003 (FS)	0,0728	0,0487	669,901
	2004 (FS)	0,1561	0,0286	183,416
	2004 (FC)	0,2316	0,0201	86,914
	2005 (FS)	0,2273	0,0132	58,112
	2005 (FC)	0,1471	0,0254	172,827
	2006 (FS)	0,2325	0,0131	56,506
	2006 (FC)	0,2627	0,0209	79,813
	2007 (FC)	0,2472	0,0173	70,078
	2008 (FS)	0,2408	0,0207	85,981
	2008 (FC)	0,2251	0,0154	68,594

FS: Final Seco; FC: Final Chuvoso

Fonte: Santos, (2017)

Apenas os anos 2005FC, 2004FS e 2003FS apresentaram médias abaixo dos valores limites descritos pelos autores Xiao *et al*, (2006), no qual ratifica que valores entre 0 e 0.20 representam áreas com presença de material grosseiro na camada superficial, assim, suscetíveis a erosão hídrica e eólica.

Essa variação nos dados pode ser explicada pelo sobrepastejo indiscriminado que acontece no FLONA, como explica Fu *et al*, (2002), em seu trabalho mostrando que o sobrepastejo pode acelerar a erosão eólica que por consequência de chuvas e ventos fortes transporta as camadas mais grosseiras para outras regiões. O que pode explicar a variação dos quando comparamos os anos 2003 a 2005 com os demais.

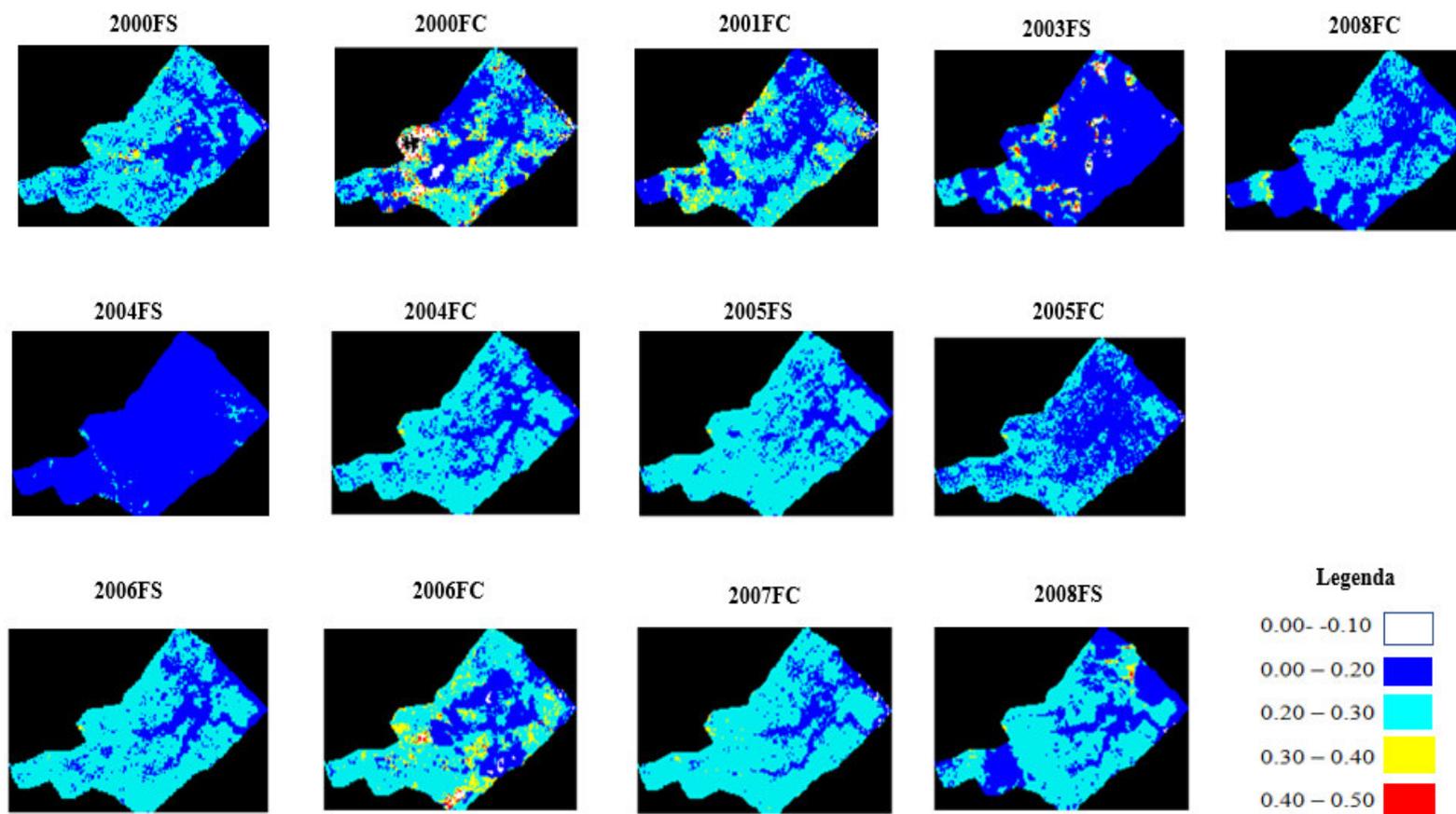
Apresentando valores maiores que 0,20 a FLONA de Sobral pode estar qualificada como uma área que requer grande atenção para minimizar as perdas. Para os anos de 2000, 2004 e 2006 houve aumento da média TSGI em relação ao período chuvoso. Já para o período seco, nos é apresentada a fragilidade com que o solo recebe a precipitação, incrementando o escoamento superficial e carreando as partículas mais finas do solo. A evolução de tal processo resulta na gradual elevação no índice de textura grosseira.

Analisando comparativamente os valores de NDVI e TGSI, podemos inferir que a diferença para mais para os anos de 2004 (FS) / 2004(FC) e 2006 (FS) / 2006 (FC) pode ter sido causados pela irregularidade das chuvas, que gerou baixo crescimento de vegetação que causou a exposição do solo sofrendo o contato direto com a força cinética das gotas de chuva.

Tendo em vista que o solo da FLONA de Sobral já previamente apresentava alto índice de material grosseiro, essas chuvas irregulares agravaram o problema tornando-o evidente para o TGSI.

Abaixo na Figura 9, temos os mapas de TGSI mostrando a variação das médias ao longo dos anos estudados para o FLONA de Sobral.

Figura 9 – Mapas de TGSi para Floresta Nacional de Sobral.



Fonte: Santos, (2017).

A figura 10 mostra os mapas obtidos através da aplicação do índice TGSI, apresentando duas variações de tonalidades de azul. Percebe-se que nos anos de 2004 a 2008 há o predomínio do azul claro, onde corresponde a médias variando de 0,1725 a 0,2523 o que torna uma análise coerente com as médias baixas obtidas através do NDVI 0,2998 a 0,3294, pois segundo Huang *et al*, (2006) a vegetação corresponde como a principal forma de prevenção contra a perda das frações silte e argila.

Devido à falta de um plano de manejo o FLONA de Sobral fica à mercê das atividades humanas ilegais e das flutuações climáticas que, através dos valores de NDVI e TGSI podemos ver claramente o declínio do FLONA, caminhando para uma situação de desertificação ocasionando perdas de recursos naturais e danos severos a vegetação e conseqüentemente a sua fauna.

A constante falta de cobertura e intensa atividade antrópica irregular apresenta problemas reais que só aumentam a susceptibilidade da área a processos erosivos que tendem a causar problemas para a regeneração e manutenção de espécies, tanto animais quanto vegetais, acabando com o real propósito de uma área de preservação.

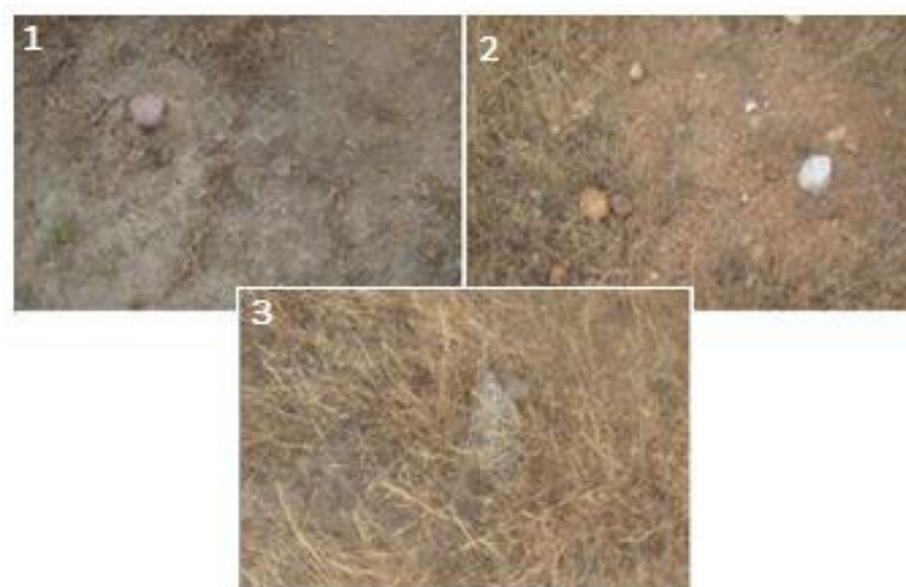
4.3 Validações dos Dados

4.3.1 Núcleo de Desertificação de Irauçuba

Para validação dos valores de TGSI e NDVI obtidos foram visitados pontos nas áreas do Núcleo de desertificação de Irauçuba, foi utilizado GPS e coleta dos pontos de localização e os valores obtidos foram conferidos no campo para saber se apresentavam valores confiáveis a realidade.

Para o núcleo de desertificação de Irauçuba foram feitas análises de 6 pontos, que podem ser observados nas Figura 10 e Figura 11.

Figura 10: Fotografia dos pontos analisados no núcleo de desertificação de Irauçuba



Fonte: Santos, (2017), adaptada.

Claramente nas fotografias, pode-se notar alto índice de material grosseiro e pouca ou inexistente vegetação, decorrentes dos anos intensos de pastejo e erosão hídrica formando uma camada grosseira e com a presença de muitas rochas.

Na Figura 11 observa-se causas e consequências do alto grau de degradação do Núcleo.

Figura 11: Voçorocas, pastejo de animais e erosão laminar no núcleo de desertificação de Irauçuba.



Fonte: Santos, (2017), adaptada.

Como podemos observar nas fotografias, à falta de cobertura vegetal aliada ao pastejo de animais aumenta a intensidade dos processos erosivos que levam o núcleo de desertificação a apresentar altos níveis de TGSi e baixos de NDVI. Todas as áreas averiguadas apresentaram baixo índice de vegetação e altos níveis de fração grosseira, corroborando com os dados obtidos.

4.3.2 FLONA de Sobral

Não houve visita presencial no FLONA de Sobral, apenas fotos tiradas do entorno da região, onde prontamente podemos observar nas fotografias que apesar de ter certo nível de cobertura vegetal, ela aparece muito falha formando mosaicos com o solo, como observado na fotografia 2, em contraste a essas áreas temos a mata ciliar e suas redondezas que compõe mata de proximidade ao açude Jaibaras que corre pelo interior do FLONA, mostrada na fotografia 1. Essas áreas são de um verde intenso e apresentam grande cobertura vegetal devido à facilidade de abastecimento hídrico e o aporte de nutrientes que representam altas médias de NDVI, pode-se vê-las na Figura 12.

Figura 12: Fotografias do FLONA de Sobral, 1 – representa mata banhada pelo açude, 2 área desmatada.



Fonte: Santos, (2017), adaptada.

Na Figura 13 pode-se, assim como no núcleo do sobral, observar causas e consequências dos processos erosivos.

Figura 13: Fotografias do FLONA de Sobral, presença de animais na área e erosão hídrica.



Fonte: Santos, (2017), adaptada.

A presença de animais na área é um dos fatores da causa do desmatamento e consequentemente da perda de cobertura vegetal que foi denunciada pelas baixas médias do índice NDVI, assim como o pisoteio e a declividade de áreas mais altas que, ao receberem precipitações mais intensas, sofrem com erosão hídrica carreando material para áreas de

baixada e formando áreas com presença de diferentes tipos de erosão do solo, variando de erosão laminar até voçorocas.

Apesar de ainda necessitar de confirmação por análise granulométrica as áreas do FLONA de Sobral vistas correspondem com os dados obtidos por meio do índice TGSI apresentando em todas as áreas textura grosseiros.

5. Conclusões

A desertificação é um processo complexo que acontece em uma escala temporal possível de acompanhar pessoalmente e mais precisamente pela constatação por imagens de satélite utilizando índices de medida direta e indireta que nos dão precisão acerca da situação real no decorrer dos anos de uma específica área ou região.

O índice NDVI mostrou-se eficiente, nos mostrando áreas com diferentes níveis de cobertura vegetal ou a falta dela nos anos de 2000 a 2008, com foco nas áreas com vegetação. Apresentou-se sensível a precipitação como medida indireta de vegetação pois, em geral, quanto maior a precipitação anual maior os valores encontrados.

Enquanto as médias obtidas pelo TGSÍ necessitam de análise granulométrica para a confirmação dos dados devido à metodologia anunciada, porém indo ao Núcleo Irauçuba podemos atentar visualmente que as médias obtidas referidas a essa área com grandes índices de textura grosseira foram comprovados.

Os índices TGSÍ e NDVI agiram de forma se complementar não deixando a desejar e obtendo resultados bem precisos, porém essas médias podem ser derivadas de diversos fatores, não só do processo de desertificação.

Então, observando-se as médias obtidas e os resultados obtidos pelo Núcleo de desertificação de Irauçuba com o FLONA de Sobral pode-se inferir que a Floresta Nacional de Sobral sofre escassez de cobertura vegetal que podem dar início a processos erosivos cada vez mais intensos e resultar posteriormente em uma situação mais grave e de difícil reversão.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. **A revanche dos ventos. Destruição de solos areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha.** *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 11, p. 7-31, 1995. *Agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil.* *Revista de Geografia Departamento de Ciências Geográficas da UFPE*, v. 22, n. 01. Recife: 2005b, p. 93-113.

AMBRIZZI, T; ROCHA, R. P; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L. M. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais.** Relatório 3, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas –SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Sub-projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. **Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.857-865, 2000.

ANDREY, L.B.; VERDUM, R. **Reflexões interpretativas sobre as manchas de areia do sudoeste do rio grande do sul, brasil: Da desertificação à arenização.** In: *Boletim Goiano de Geografia*, 2015, Vol.35 (2), p.255-271.

AQUINO, C. M. S de; ALMEIDA, J. A. P. de; OLIVEIRA, J.B de. **Estudo da cobertura vegetal/uso da terra nos anos de 1987 a 2007 no núcleo de degradação/desertificação de São Raimundo Nonato. – Piauí.** *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, [S.l.], v. 25, jul. 2012. ISSN 2177-2738. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/28013/18648>>. Acesso em: 13 jun. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v25i0.28013>.

ARAÚJO, Gustavo Henrique de Souza; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Gestão Ambiental de áreas degradadas.** 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. P. R. da. **Índice de seca de Bhalme e Mooley: uma adaptação regional.** In: *Congresso brasileiro de meteorologia*, 8., 1995, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1995. p. 696- 699.

BARBOSA, H. A.; ACCIOLY Filho, J. B. P.; MELCÍADES, W. L. B.; MELLO, N. G. S.; SOUZA J. M. de; **Determinação do Índice de Vegetação Através de Imagens Meteosat-8.** In: *Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto*, 3 (Geonordeste), 2006, Aracajú. Anais: CPATC, 2006.

BOUABID, R., ROUCHDI, M.; BADRAOUI, M.; DIAB, A., LOUAFI, S. **Assessment of land desertification based on the MEDALUS approach and elaboration of an action plan: the case. 2010.**

BRINKMANN, K.; DICKHOEFER, U.; SCHLECHT, E.; BUERKERT, A. **Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on the Arabian Peninsula using Landsat imagery and field inventory data.** *Remote Sensing of Environment*, v.115, p.465-474, 2011.

CAITANO, R. F.; LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S. **Estimativa da aridez no Estado do Ceará usando Sistemas de Informação Geográfica.** *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 8904-8911. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). IBI: <3ERPFQRTRW/3A3P5BP>.

COHEN, W. B. **Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress, Photogramm.** *Eng. Remote Sens.* 57:195-202, 1991.

CORRCHEL V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “fallout” do ¹³⁷Cs /.** - Piracicaba, 2003. 79 p.

CUNHA, T.J.F; SILVA, F.H.B.B. da; SILVA, M.S.L. da; PETRERE, V.G.; SÁ, I.B.; OLIVEIRA Neto, M.B.de.CAVALCANTE, A.C. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para o uso agrícola.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008. 60.p.il (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 211).

DALMOLINI R. S. D.; GONÇALVES C. N.; KLAMAT E.; DICK D. P. **Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral.** *Cienc. Rural*, vol.35, nº2, Santa Maria Mar./Apr.2005.

DEMATTE, José Alexandre M.; CAMPOS, Rogério C.; ALVES, Marcelo C. **Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma topossequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP.** *Pesq. agropec. bras.* Brasília, v.35, nº 12, p. 2447-2460, Dec. 2000. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2000001200016&lng=en&nrm=iso>. access on 11 nov. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000001200016>.

DUMAS, J. **Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques.** *Cahiers Orstom*, Paris, v. 3, nº 4, p. 307-333, 1965.

EIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. **Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 31, nº 6, p. 445-454, 1996.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2. ed. 2007. 101p.

FOSTER, G.R.; MOLDENHAUER, W.C.; WINSCHMEIER, W.H. **Transferability of US technology for prediction and control of erosion in the tropics.** *In: SYMPOSIUM ON SOIL EROSION AND CONSERVATION IN THE TROPICS*, 1., Fort COLLINS 1979; **Soil erosion and consercation in the tropics**; resumos. Madson: ASA, 1985. p.135-149,1979.

FROTA, Patrícia Vasconcelos. **Potencial de erosão na Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE.** 2012. XVII, 179 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

FU, H., WANG, Y., WU, C. and TA, L., 2002, **Effects of grazing on soil physical and chemical properties of Alxa desert grassland.** *Journal of Desert Research*, 22, p. 339–343.
FUNCEME, 1991. **Análise preliminar do fator mais provável da medida de tendência central das séries anuais de precipitação no Ceará.** Fortaleza, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 1991.

HIGGINBOTTOM, Thomas P.; SYMEONAKIS, Elias. **Assessing land degradation and desertification using vegetation index data: Current frameworks and future directions.** *Remote Sensing*, v. 6, nº 10, p. 9552-9575, 2014.

HUETE A, DIDAN K.; MIURA T, RODRIGUEZ EP.; GAO X.; FERREIRA LG. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.** *Remote Sensing Environment* 83(1–2):195–213, 2002.

INCERTI, G.; FEOLI, E.; GIOVACCHINI, A.; SALVATI, L.; BRUNETTI, A., 2007. **Analysis of bioclimatic time series and their neural network-based classification to characterize drought risk patterns in south Italy.** *Int. J. Biometeorol.* 51, 253–263.

INPE, Divisão de geração de imagens. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php> Acesso: 16 de julho de 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução de Epiphânio, J.C. N. (Coordenador)...[*et al.*]. São José dos Campos, SP: Parênteses. 2010. 598p.

KASSAS, M. **Rescuing drylands: a project of the world.** *Futures* 31,949–958, 1999.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods.** Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LAL, R.; STEWART, B.A. **Soil Degradation.** Springer Verlag, New York.1990

LANDIM, R. B. T. V.; SILVA, D. F.; ALMEIDA, H. R. R. C. **Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de possíveis causas climáticas e antrópicas.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.1, p.1-21, 2011.

LASZLO, Ervin. **Macrotransição: o desafio para o terceiro milênio.** São Paulo: Axis Mundi, 2001

LEMOS, J.J.S. **Níveis de degradação no Nordeste brasileiro.** *Revista Econômica do Nordeste*, v. 32, p. 406-429, 2001.

LIMA, G. C et al . **Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)**. Rev. Ambient., Taubaté , v. 8, n. 2, p. 204-214, Aug. 2013. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2013000200020&lng=en&nrm=iso>. access on 13 June 2017. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>

LIMA, H. N. *et al.* **Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia ocidental**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 30, nº 1, p. 59-68, Feb. 2006. available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000100007&lng=en&nrm=iso>. access on 18 July 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100007>.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP. 2007. 865p.

_____. W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007. v. 1. 908 p.

MADEIRA Netto, J.S. **Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF : UnB; Planaltina: EMBRAPA - Cerrados, 2001. p.127-147.

MARTINEZ, Henrique da Silva. **Uso do sensoriamento remoto para detectar neossolos quartzarênicos: estudo de caso em Cianorte – PR**. 2015. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

MARENCO, José Antônio. Água e mudanças climáticas. **Estud. av.**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200006&lng=en&nrm=iso>. access on 18 Dec. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>.

MATALLO Junior., H. **A desertificação no mundo e no Brasil**. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO Junior; H (Org). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 2003.

MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares; OLIVEIRA, José Gerardo Bezerra de. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise de degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús – CE. Raega - *O Espaço Geográfico em Análise*, [S.l.], v. 23, nov. 2011. ISSN 2177-2738.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca – PAE-CE**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente, 2010.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN - Brasil**. Brasília: MMA, 2005. 242 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4ª ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 422p.

Na subBacia do Salto, Extrema, MG. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, p. 143-154, 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p143>

PATRÍCIO, M.C.M.; SILVA, V.M.A.; ARAÚJO, S.M.S. **Índice de aridez e o processo de desertificação em cabaceiras.** III Encontro de Meio Ambiente UVA/UNAVIDA *Desertificação: Implicações socioambientais no Semiárido Brasileiro*, 2014.

PENMAN, H.L. **The physical bases of irrigation control.** In: *Hort. Congr., 2, London, Royal Horticultural Society*, 1953, p.913-924. 1110p.

PERRY, C. R., JR., AND LAUTENSCHLAGER, L. F. (1984), **Functional equivalence of spectral vegetation indices,** *Remote Sens. Environ.* 14:169-182.

REBOUÇAS, A. **Potencialidade de água subterrânea no Semiárido brasileiro.** In: *Conferência internacional de captação de água da chuva.* 1999 [Petrolina]. Anais. Petrolina, 1999, Recife: SUDENE, 1983. 98 p.

RODRIGUES, M.I.V. **A propensão à desertificação no estado do Ceará: aspectos agropecuários, econômicos, sociais e naturais.** 2006. Fortaleza: Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFC, 2006.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada.** *Revista do Departamento de Geografia*, v.16, p.81-90, 2005.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B. de; SA, I. B **índice de vegetação da diferença normalizada x análise de componentes principais para detecção de áreas em processo de desertificação,** 2011.

SAADI, A. **Os sertões que viram deserto.** Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Viçosa, v. 25, nº 1, p. 10-17, 2000.

SAMPAIO, E. V. S. B. & SALCEDO, I. **Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida.** In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 26, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 1997. CD-ROOM.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. **Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil.** *Revista de Geografia.* Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 22, nº 1. 2005.

_____, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; ARAÚJO, T. V. S. B.; SAMPAIO, G. R. **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência.** Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 202 p.

SANTOS, G. G. **Impacto de sistemas de integração lavoura-pecuária na qualidade física do solo.** Goiânia: UFG, 2010. 122p. Tese Doutorado.

SANTOS, T. C. **Avaliação do desempenho de índices espectrais na identificação de áreas desertificadas**. 2017. 242 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 2017.

SCHUMACHER, V.M. “**Deserto de Alegrete**” **Florestas, uma alternativa de controle?** Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. Viçosa, v. 25, nº 1, p. 21-23, 2000.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. **Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, nº 2, p.253-260, 2001.

SILVA, H.P ; *et al*, **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na identificação de áreas sob risco de desertificação no estado de Pernambuco**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.9 – 144.

STAR, J.; ESTES, J. *Geographic Information Systems: An Introduction*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1990.

STONER, E.R. **Physicochemical, site and bi-directional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils**. 1979. 132 p. Thesis (PhD in Soil Science) - Purdue University. 1979.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Data acquisition through remote sensing. In: BEATTY, M.T. *et al*. **Planning the uses and management of land**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p.159-185. study of the Souss River Basin, Morocco. Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation 131 and Remediation. Springer Science + Business Media B.V. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0_10, (p. 131–145).

SUERTEGARAY, D.M.A. **O Rio Grande do Sul descobre os seus “desertos”**. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 11, p. 32-52, 1995.

_____, D. M. A. **Deserto Grande do Sul: controvérsia**. 2º edição – Porto Alegre, UFRGS, 1998. 130 p.

TAYRA, F. **A Relação entre o mundo do trabalho e o meio ambiente: limites para o desenvolvimento sustentável**. *Scripta Nova*, v. 119, nº 72, p. 2-11, 2002.

THORNTHWAITE, C.W. **Atlas of climatic types in the United States**. *Mixed Publication, 421, U.S. Department of Agriculture, Forest Service*, 1941. 250p.

TUCKER, C.J. (1979) **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. *Remote Sens Environ* 8 (2) p.127–150.

VASCONCELOS, Sobrinho João. **Desertificação no Nordeste brasileiro: sua formação e sua contenção**. Recife: Ministério da Educação e Cultura, 2000. 64 p. VERÓN, S. R. *et al*. *Assessing desertification. Journal of Arid Environments*. Vol. 66, 2010. P. 751–763.

XIAO, J.; SHEN, Y.; TATEISHI, R.; BAYAER, W. **Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing.** *International Journal of Remote Sensing*. Volume 27, 2006 - Issue 12. Pages 2411-2422, 2006.