



Programa de Pós-graduação *Lato Sensu*
Especialização em Gestão Ambiental
Campus Nilópolis

Juliana de Sousa Nogueira

**O SENSORIAMENTO REMOTO COMO AUXÍLIO À GESTÃO AMBIENTAL DE
ÁREAS SUSCETÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO:**
estudo de caso da Lagoa de Khnifiss (Marrocos)

Nilópolis - RJ
2016

Juliana de Sousa Nogueira

**O SENSORIAMENTO REMOTO COMO AUXÍLIO À GESTÃO AMBIENTAL DE
ÁREAS SUSCETÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO:**
estudo de caso da Lagoa de Khnifiss (Marrocos)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de especialista em Gestão
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Passos Louzada

Co-Orientador: Prof. Heitor Evangelista da Silva

Nilópolis – RJ

2016

Sxxx

Nogueira, Juliana.

O sensoriamento remoto como auxílio à gestão ambiental de áreas suscetíveis à desertificação: estudo de caso da lagoa de Khnifiss (Marrocos)/Juliana de Sousa Nogueira – 2016.

48f.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Passos Louzada

Coorientador: Heitor Evangelista da Silva

Trabalho de conclusão d curso (Especialização em Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação Lato Sensu – Especialização em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2016.

1. **Descritor** 2. **Descritor**. 3. **Descritor** I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação Lato Sensu – Especialização em Gestão Ambiental. II. Louzada, Marco Aurélio (Orient.). III. Título.

CDU 550.42

Juliana de Sousa Nogueira

**O SENSORIAMENTO REMOTO COMO AUXÍLIO À GESTÃO AMBIENTAL DE
ÁREAS SUSCETÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO:**

estudo de caso da Lagoa de Khnifiss (Marrocos)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de especialista em Gestão
Ambiental.

Data de aprovação: 04 de Novembro de 2016.

Prof. Dr. Marco Aurelio Passos Louzada (orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva (co-orientador)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Manoel Ricardo Simões
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Ana Paula da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Nilópolis - RJ

2016

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Cada passo que dou, os primeiros aos quais dou graças são meus pais, Creusa e Janilson, sem eles não seria nem um centésimo do que sou nem teria conquistado um centésimo do que tenho. São meu porto seguro, minha inspiração e meu orgulho.

Agradeço também ao meu namorado Leonardo, que sempre me incentivou, se orgulhou, teve paciência e fez o possível e impossível para me auxiliar ao longo dessa jornada de pesquisadora brasileira e eterna estudante (com orgulho!).

À minha família: irmãs Fernanda, Giovana e Victória, minhas tias e tios, primos e primas e avó! Também agradeço a minha família herdada: Monassas e Cidreiras. Agora tenho os sábados livres para vocês de novo!

Aos meus atávicos amigos, a melhor turma da especialização em Gestão Ambiental do IFRJ! As aulas, os lanches, os trabalhos de campo, os “japeris”, os “seu vavás”, os lanches (repito, pois foram muitos!), os trabalhos em grupo, os churrascos e cervejinhas foram essenciais para ter vontade de toda quinta à noite e sábados de manhã enfrentar o sono que fosse e as aventuras que fossem para estar com vocês! Amanda, Dalton, Gabriel, Giselle, Mariana, Marcelo e Sara, foi um prazer estudar (e engordar!) com vocês!

Agradeço também aos nossos professores que tiveram tanta paciência e dedicação com a gente e nos inspiraram a seguir nossa caminhada! Em especial, agradeço ao meu orientador Marco Aurélio que me recebeu de braços abertos e topou minhas diferentes propostas e mudanças com sua simpatia e sempre me encorajando a ir adiante!

Agradeço aos meus companheiros de projeto que me auxiliam no campo, na pesquisa, na interpretação dos dados e no incentivo: Abdel, Baastian, Francisco Cruz, Heitor, Luciane e Renato. Obrigado também aos meus companheiros do LARAMG pelo companheirismo.

Um grandíssimo muito obrigado aos amigos do LABGIS na UERJ que muito gentilmente me abriram seu espaço, me deixaram a vontade e permitiram que eu fizesse o curso e aprendesse toda a base metodológica aqui utilizada. Sem vocês esse trabalho de conclusão não existiria. Um agradecimento mais que especial ao José Augusto que sempre esteve disposto a me atender pessoalmente, por email ou por Skype: tudo para me ajudar da melhor maneira para que eu pudesse concluir esse trabalho.

Ao IFRJ de Nilópolis e seus funcionários pelo suporte acadêmico.

Por fim, aos meus amigos (que felizmente são muitos para citar) que sempre entenderam minhas ausências e se orgulham a cada conquista minha como se deles fosse.

NOGUEIRA, Juliana. *O sensoriamento remoto como auxílio à gestão ambiental de áreas suscetíveis à desertificação: estudo de caso da Lagoa de Khnifiss (Marrocos)*. 48 f.. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* – Especialização em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Cidade, RJ, 2016.

RESUMO

A desertificação consiste na degradação da terra em áreas áridas, semi-áridas e sub-úmidas. Esse processo pode ser resultante de diversos fatores, incluindo variações climáticas e atividades antrópicas. A desertificação atinge diretamente 33% da superfície terrestre e afeta 2,6 bilhões de pessoas no mundo, sendo um problema não só ambiental como sócio-econômico, uma vez que influencia negativamente na produção agrícola e na disponibilidade de água para a população. A desertificação é um processo real e dinâmico que pode ser acelerado pelas mudanças climáticas da era moderna, fazendo de grande importância seu estudo. Assim, primariamente é necessário que seja feita sua mensuração, de forma a conhecer seu status, evolução e possível prognóstico, possibilitando a correta gestão ambiental do meio. Dificuldades metodológicas associadas a custos, consenso e confiabilidade tornam dificultam a realização do estudo desse fenômeno. Neste trabalho foi proposto o teste da aplicabilidade de uma metodologia baseada no sensoriamento remoto do Parque Nacional de Khnifiss (sul do Marrocos), utilizando para tal a aplicação conjunta de dados climáticos, imagens de satélite e índice de severidade de seca. Como resultados foram apresentadas as séries temporais para a precipitação e para Índice de Severidade de Seca de Palmer - PDSI, bem como mapas temáticos da resposta espectral da vegetação (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) das diferentes feições analisadas. Foi percebido que existe uma correlação positiva entre o índice PDSI e a área de cobertura de vegetação, e que ambos vem diminuindo ao longo do tempo. Os mapas apresentados em conjunto com os dados climáticos foram eficazes em fornecer informações básicas acerca da evolução do processo no Parque Nacional de Khnifiss que possam auxiliar na tomada de decisão acerca da gestão ambiental dessa importante reserva biológica. Sabendo da rápida evolução do processo de desertificação e da necessidade de aquisição de dados de forma igualmente rápida, a metodologia aqui aplicada, eficaz, de baixo custo e de fácil acesso, se torna uma importante ferramenta para o estudo de áreas em processo de desertificação ao redor do mundo.

Palavras-chave: Desertificação. Sensoriamento remoto. NDVI.

NOGUEIRA, Juliana. *O sensoriamento remoto como auxílio à gestão ambiental de áreas suscetíveis à desertificação: estudo de caso da Lagoa de Khnifiss (Marrocos)*. 48f. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* – Especialização em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Cidade, RJ, 2016.

ABSTRACT

Desertification is the degradation of land in arid, semi-arid and sub-humid areas. This process may result from several factors, including climatic variations and human activities. Desertification directly affects 33% of the earth's surface and affects 2.6 billion people in the world. This is not only an environmental problem but also socio-economic, since can lead to negative impacts on agricultural production and water availability for the population. Desertification is a real and dynamic process that can be accelerated by modern era climate change, making its study of great importance. Thus, first is necessary to measure it in order to know the desertification status, progress and prognosis, allowing the correct management of the environment. The methodological difficulties associated with costs, consensus and reliability make the study of this phenomenon difficult. This work proposed to test the applicability of a methodology based on remote sensing of Khnifiss National Park (southern Morocco), using a joint use of climate data, satellite images and drought severity index. As a result it was presented two time series, for precipitation and Palmer Drought Severity Index – PDSI, and also four thematic maps of NDVI response for different analyzed features. It was noticed that there is a positive correlation between the PDSI index and vegetation coverage area, and that both have been decreasing over time. The maps presented in conjunction with the climate data were effective in providing basic information about the evolution of the desertification process in Khnifiss National Park. These results can be used as a support to assist decisions on the environmental management of this important biological reserve. Knowing the rapid evolution of desertification and the need to acquire data just as quickly, the methodology applied here, considered effective, inexpensive and easily accessible, becomes an important tool for the study of areas in process of desertification around the world.

Keywords: Desertification. Remote sensing. NDVI.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 DESERTIFICAÇÃO	11
2.2 O SENSORIAMENTO REMOTO NO ACOMPANHAMENTO DA DESERTIFICAÇÃO	13
2.3 AÇÕES DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO	16
3. JUSTIFICATIVA	19
4. OBJETIVOS	22
4.1 OBJETIVO GERAL	22
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
5. METODOLOGIA.....	23
5.1 ÁREA DE ESTUDO.....	23
5.2 MÉTODOS.....	25
5.2.1 Índice de Severidade de Seca de Palmer	27
5.2.2 Análise de NDVI ao longo do tempo	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
7. CONCLUSÃO.....	44
8. REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

O termo desertificação refere-se à “degradação da terra em áreas áridas, semi-áridas e sub-úmidas resultante de diversos fatores, incluindo variações climáticas e atividades antrópicas” (UNCCD, 2013). Atualmente a desertificação atinge aproximadamente 33% da superfície da Terra, afetando diretamente 2,6 bilhões de pessoas (BRASIL, 2005). No século XX a área afetada pela seca aumentou mais de 50% e a incidência da seca aumentou em duração e extensão.

Por se tratar de um fenômeno dinâmico que pode ser acelerado com as mudanças climáticas, bem como retroalimentado, afetando ainda um número maior de pessoas, é necessário que sejam desenvolvidos extensos estudos a fim de entender as causas e dinâmicas desse processo. Embora exista uma série de indicadores que possam ser utilizados para o estudo da desertificação, atualmente ainda há carência em métodos consensuados e confiáveis para tal fim (MATALLO, 2001). O sensoriamento remoto, muitas das vezes aliado a índices que retratam a condição da vegetação, é um dos métodos mais indicados para ser utilizado, inclusive pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação.

Este trabalho trata de avaliar o status do Parque Nacional de Khnifiss (Marrocos) em relação à desertificação fazendo uso de dados provenientes do sensoriamento remoto, como imagens de satélite, dados climáticos e índice de severidade de seca de forma a avaliar a aplicação dessa metodologia para o estudo desse fenômeno. O Parque Nacional de Khnifiss é protegido pela Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional (RAMSAR) devido à sua singularidade como único sistema lagunar em pleno deserto saariano. O Parque abriga uma lagoa de mesmo nome, classificada como reserva biológica, que funciona como um verdadeiro oásis abrigando aves migratórias que vem da Europa durante os invernos rigorosos, funcionando como ponto de invernada e nidada. Por esse motivo, o Parque é preservado em forma de reserva biológica permanente e ecológica, com grande importância não só natural, mas também sócio-cultural devido às atividades de pesca e turismo que ali ocorrem.

Desta maneira, se torna muito importante o estudo dessa área visando expandir o conhecimento sobre o status e evolução da desertificação nessa região de forma a fornecer dados e informações que possam auxiliar a correta gestão ambiental dessa notável reserva biológica. Por fim, a metodologia aqui testada, se comprovada sua eficiência, pode ser

aplicada em outras áreas que sofram da desertificação, como é o caso de grande parte do Nordeste brasileiro.

Assim, esse trabalho foi estruturado de forma a explorar os diversos subtemas aqui tratados de forma direta, que possa trazer ao leitor um entendimento básico dos termos e métodos aqui aplicados. Nesse sentido, o capítulo 2.1 detalha o termo desertificação, como ela ocorre e quais variáveis podem interferir nesse processo. No capítulo 2.2 é apresentado como o sensoriamento remoto pode ser utilizado para o estudo desse fenômeno e contextualiza parte da metodologia utilizada nesse trabalho. Já no capítulo 2.3 é tratado o tema da gestão ambiental em ambientes que sofrem com a desertificação, indicando como esse problema pode ser abordado. Nos capítulos que se seguem são apresentados justificativa (3), objetivos (4), metodologia aplicada (5), os resultados obtidos juntamente com a interpretação e discussão dos mesmos com a literatura (6) e, por fim, as conclusões feitas acerca do trabalho realizado (7) e as referências bibliográficas utilizadas ao longo do texto (8).

2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 DESERTIFICAÇÃO

Segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (sigla em inglês, UNCCD) (2013), o termo desertificação, cunhado durante a Convenção RIO-92, refere-se à degradação da terra em áreas áridas, semi-áridas e subúmidas resultante de diversos fatores, incluindo variações climáticas e atividades antrópicas. A degradação do solo ocorre em todo lugar, mas a mesma somente é definida como desertificação quando ocorre nas terras secas.

O processo de desertificação pode ser acentuado por mudanças no clima e vice versa, uma vez que diversos processos erosivos são mais frequentes e severos devido a essas mudanças (UNCCD, 2013). A degradação da terra e a mudança no clima estão intrinsecamente interligadas e tem impactos em uma variedade de ecossistemas e de processos ecossistêmicos, que por sua vez influenciam o fornecimento de recursos às populações humanas que habitam as regiões afetadas pela desertificação e outras áreas afetadas pela degradação da terra e seca (REED; STRINGER, 2015). Assim, as mudanças climáticas e seus impactos sobre o meio ambiente e sociedades são um dos maiores desafios para este século.

Quando a degradação ocorre em terras secas, frequentemente são criadas condições desérticas (UNCCD, 2013). A degradação da terra aqui citada faz referência à degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e da biodiversidade, tendo como consequência a redução da qualidade de vida das populações afetadas pelo conjunto combinado desses fatores (BRASIL, 2005).

As áreas semi-áridas são caracterizadas pelo desequilíbrio entre oferta e demanda de recursos naturais em relação às necessidades básicas das populações residentes. Tais áreas podem apresentar feições variadas, uma vez que são submetidas às condições particulares de clima, solo, vegetação, relações sociais de produção e, em consequência, a distintos modos de vida associadas às condições presentes (BRASIL, 2005). Em situações de aridez, o ciclo da água e o fluxo de energia no ecossistema assumem características especiais devido às condições de precipitação e à direta ação da energia solar sobre os solos, uma vez que esses locais apresentam céu livre de nuvens em boa parte do tempo (HARE et al., 1992). Devido a esparsa distribuição espacial da vegetação, há grande exposição do solo, que apresenta baixo acúmulo de matéria orgânica. Assim, mesmo em situações de intensa precipitação, a água

tende a perder-se rapidamente através da evaporação, não havendo acúmulo nas zonas mais profundas do solo (*op. cit.*).

Durante o século XX a área afetada pela seca aumentou mais de 50%, sendo esta acompanhada de eventos de enchentes, demonstrando o aumento na incidência de eventos extremos. Não só as áreas afetadas aumentaram, mas também a incidência da seca, que, embora seja um fenômeno natural, aumentou em duração e extensão. Como consequência direta destes eventos há a excessiva pressão sobre os recursos naturais e o aumento de práticas danosas ao meio ambiente como modo de sobrevivência às condições extremas impostas, resultando em uso inapropriado e degradação do solo, da água e da vegetação; perda de biodiversidade com consequência negativa na estrutura e função ecossistêmicas (*op. cit.*).

A severidade da desertificação é dependente de fatores que variam de acordo com a região e ao longo do tempo, a saber: i) rigor das mudanças climáticas durante o período avaliado, como a influência na precipitação; ii) pressão populacional e padrão de vida da população; e iii) nível de desenvolvimento do país e existência e qualidade de medidas preventivas (BRASIL, 2005).

A desertificação ocorre, pois os ecossistemas secos são extremamente vulneráveis a sobre exploração e uso inapropriado do solo. Fatos como a pobreza, instabilidade política, desflorestamento, sobrepastoreio e más práticas de irrigação podem levar à diminuição da produtividade do solo (ESA, 2008). Grande parte das pessoas afetadas diretamente pela desertificação é advinda de populações pobres, marginalizadas e politicamente fracas. Assim, o combate à desertificação se torna essencial para assegurar a produtividade a longo prazo de terras secas inabitadas. Nesse sentido, destaca-se aqui a mais importante comoção internacional em prol ao combate à desertificação: em fevereiro de 2008, 192 governos formaram a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (em inglês *United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD*) com o objetivo de promover ações efetivas através de programas locais e cooperações internacionais. Aqueles países diretamente afetados pela desertificação atuam de forma a promover e desenvolver programas de ações nacionais, sub-regionais e regionais, entre eles o Brasil e o Marrocos, local de estudo desse trabalho de conclusão.

Hare e colaboradores (1992) descrevem que as terras secas apresentam resiliência ao processo de desertificação, podendo retornar às condições originais, ainda que lentamente, quando se tem as pressões, seja de seca ou uso da terra, diminuídas. Entretanto, caso a pressão persista, os autores indicam que possa haver o desencadeamento de processos de

autoaceleração, atingindo um limiar, cujo retorno às condições anteriores se veja impossibilitado. A desertificação aparece usualmente em ocasiões de fortes secas em áreas onde existam terras naturalmente vulneráveis à pressão do uso da terra. Ao longo do tempo, os trechos degradados vão se aproximando entre si até alargarem o processo a áreas extensas.

Dessa maneira e diante do panorama atual e perspectivas futuras, torna-se vital o estudo e acompanhamento do processo de desertificação de forma a se desenvolver medidas preventivas e evitar que esse processo se intensifique e o sensoriamento remoto se apresenta como potencial ferramenta para tal.

2.2 O SENSORIAMENTO REMOTO NO ACOMPANHAMENTO DA DESERTIFICAÇÃO

De começo é necessário que seja corretamente mensurado e acompanhado este processo ao longo do tempo para entendimento de sua evolução e possível prognóstico, possibilitando a correta gestão ambiental do meio. Entretanto, esta prática tem-se demonstrado difícil, principalmente devido aos custos elevados, à ausência de consenso em relação a um sistema básico de investigação e acerca dos indicadores a serem utilizados no estudo e no monitoramento do fenômeno e à falta de metodologia de avaliação econômica (DANTAS, 2005). Em consequência, as conclusões a respeito do tema apresentam alto grau de subjetividade e baixa confiabilidade, havendo lacunas e carências de estudos a respeito do mesmo que necessitam ser preenchidas.

Assim o estudo do processo de desertificação ao longo do tempo se demonstra importante no sentido de auxiliar a tomada de decisão na gestão ambiental local, fornecendo possíveis cenários que auxiliarão a avaliar de melhor maneira os impactos ambientais e sociais das alterações climáticas nas regiões suscetíveis à desertificação.

O monitoramento da desertificação requer a avaliação de uma série de indicadores relacionados com o clima (ex. precipitação, evapotranspiração e índice de aridez), biofísicos (ex. morfologia e composição do solo e propriedades da vegetação), socioeconômicos (ex. densidade populacional, idade e emprego) e relacionados à gestão (ex. políticas e áreas protegidas). De forma a obter acesso a esses índices são utilizadas técnicas como mapas temáticos de cobertura e uso do solo, índices de degradação da terra e modelagem de dinâmica espacial. (ESA, 2008). Neste trabalho serão abordados os índices climáticos e biofísicos, estes últimos através do uso de mapas temáticos de cobertura e uso do solo, que

constituem instrumentos para o monitoramento ambiental e planejamento territorial, permitindo a extração de uma série de indicadores de desertificação.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta amplamente utilizada para fazer o levantamento e reconhecimento de áreas em processo de desertificação (ex. ACCIOLY et al., 2002; ANDRADE; FEITOSA; BARBOSA, 2007; ANH; WILLIAMS; MANNING, 2006; COLLADO; CHUVIECO; CAMARASA, 2002; DAWELBAIT; MORARI, 2012; GUO; LI, 2005; HADEEL; JABBAR; CHEN, 2010; SILVA; RIBEIRO; MELO, 2011 e outros citados ao longo desse trabalho). A vantagem de sua utilização é o auxílio na compreensão do estado atual e desenvolvimento desse processo, podendo, inclusive, fornecer dados para a pesquisa sobre os mecanismos internos, processos atuais e diferenças espaciais e temporais da desertificação (ANDRADE; FEITOSA; BARBOSA, 2007). Devido à operação contínua de sistemas de satélites durante os últimos 25 anos, é possível seguir as mudanças ocorridas ao longo desse tempo e no espaço, permitindo o acompanhamento da evolução desse fenômeno no passado recente.

O sensoriamento remoto se baseia na possibilidade de medir grandezas físicas e características biológicas de objetos à distância, sem, portanto, entrar em contato físico com o mesmo. Nesse sentido, o meio mais importante de transmitir tais informações é a radiação eletromagnética na região do visível e das microondas. Tal energia, emitida por uma fonte natural (Sol) ou artificial (satélites) incide sobre os objetos e interage com os constituintes da superfície, podendo ser absorvida, transmitida ou refletida de volta para o espaço de acordo com a natureza biofísica da superfície. Essa energia que incide sobre a superfície terrestre interage de diferentes maneiras dependendo do alvo atingido: tipo de corpo hídrico, tipo de vegetação, tipo de solo, rochas, entre outros. A diferente interação entre a energia e os alvos é o que possibilita a diferenciação dos mesmos através do sensoriamento remoto. A energia refletida é detectada e registrada por sensores a bordo de satélites ou aviões podendo ser manipulada e transformada em informações acerca da superfície. Tais informações são recolhidas baseadas nas variações do comprimento de onda desses sinais detectados (assinaturas espectrais) e então interpretadas para aquela superfície naquele dado momento. Em apenas um instante, são recolhidas diversas dessas medições, que são compostas na forma de uma imagem digital e resultando em padrões espaciais dos fenômenos da superfície que, de outra forma, seriam dificilmente observados no seu todo (HILL, 2007).

Segundo Hill (2007), “(...) os dados de imagem de satélite oferecem capacidades significativas de obter informação integral para estudar os sistemas humanos-ambiente, especialmente aqueles ligados aos impactos da atividade humana no uso do solo”. Assim, as imagens de satélite são produtos digitais obtidos através dos sensores remotos calibrados para captar a energia que retorna a ele (seja refletida ou irradiada), que posteriormente é convertida para níveis digitais, que são transmitidos para estações de recepção e por fim processados e armazenados em um banco de dados na forma de imagens.

Atualmente existe uma gama de satélites que operam em órbita da Terra, cada qual com uma variedade de sensores a bordo, fornecendo imagens em diversas resoluções espaciais, espectrais, temporais e radiométricas, entre eles citam-se: ALOS, ASTER, CARTOSAT-1, CBERS, FORMOSAT-2, GeoEye-1, Geo-Eye-2, IKONOS, LANDSAT-5, LANDSAT-7, LANDSAT-8, Quickbird, SPOT-5, WorldView-1, WorldView-2, entre outros (LIMA, 2010).

Nesse sentido, a constante inovação dos sensores satelitais cria a expectativa de que a continuidade de obtenção de novos dados possa permitir uma melhor compreensão da evolução dos processos de desertificação, bem como oferecer valiosas informações aos planejadores e tomadores de decisão (ACCIOLY et al., 2002). Ainda, nesta linha, ressalta-se que a continuidade, por mais de vinte anos, de programas como os do NOAA/AVHRR, do LANDSAT e do SPOT permitem o estudo de processos produtos da intervenção humana a longo prazo, como é o caso da desertificação. Petta, Ohara e Medeiros (2005) destacam que a obtenção de imagens de satélite, como Landsat, tomadas para uma mesma área em uma mesma estação ao longo do tempo pode indicar mudanças na suscetibilidade da terra à desertificação. O aspecto da multitemporalidade da imagem se torna importante uma vez que permite a comparação da resposta espectral das feições da terra em diferentes condições de umidade, bem como a monitoração da evolução das atividades antrópicas na área.

A vegetação apresenta uma assinatura espectral característica com alta absorção no visível e alta reflectância no infravermelho próximo. Os índices utilizados para o estudo da vegetação via sensoriamento remoto se baseiam nessa característica espectral de forma a fornecer informações a respeito da mesma. O índice mais utilizado no mapeamento de cobertura vegetal é o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN, mais conhecido por sua sigla em inglês NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, adotada neste trabalho) proposto por Rouse et al. (1974 *apud* LIMA, 2010) e representado pela seguinte equação:

$$IVDN = \frac{(IV-VIS)}{(IV+VIS)},$$

onde IV é a resposta espectral do pixel na banda do infravermelho próximo e VIS na banda do visível (LIMA, 2010).

A ONU, através da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas - UNCCD (sigla em Inglês) recomenda o uso de quatro indicadores para a avaliação da desertificação, dentre eles o NDVI.

Accioly e colaboradores (2002) fazem uma revisão dos possíveis indicadores para o processo de desertificação e sua complexidade. Dentre eles, destaca-se a presença de variáveis associadas à cobertura vegetal como a variável em comum entre todos estes, uma vez que existe uma intrínseca relação entre cobertura vegetal e degradação dos solos. Tal relação pode ser traduzida na participação de variáveis associadas à cobertura vegetal, ao que tudo indica, em todos os modelos que tratam das perdas de solo por erosão hídrica, reforçando a importância de seu estudo e acompanhamento ao longo do tempo.

Nesse trabalho, será testada a metodologia de NDVI para o Parque Nacional de Khnifiss, sul do Marrocos, a fim de julgar sua aplicabilidade e uso no acompanhamento do processo de desertificação ao longo do tempo de maneira a fomentar possíveis ações para seu combate.

2.3 AÇÕES DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO

Em países, como o Marrocos, nos quais a população e economia dependem fortemente da produção agrícola, processos que afetem o solo causam impactos negativos com consequências econômicas, sociais e ambientais, afetando o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2005). Tais impactos tendem a ser mais sentidos pela população menos favorecida, que depende da agricultura e pecuária para subsistência.

Para a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), a desertificação compromete o equilíbrio ambiental e é causadora de problemas políticos e socioeconômicos como pobreza, segurança alimentar e condição de vida precária das populações mais vulneráveis.

Dentre os diversos impactos ambientais advindos da desertificação, destaca-se a erosão, processo decorrente da perda de cobertura vegetal no qual as partículas do solo e o húmus são carregados pela água ou pelo vento, ocasionando a perda da camada arável do solo.

O ciclo da erosão acaba podendo se retroalimentar, uma vez que o mesmo vai perdendo a capacidade de apoiar o desenvolvimento da vegetação, mantendo assim o solo exposto e permitindo que a ação erosiva continue (DANTAS, 2005). Segundo Sampaio et al (2003 *apud* DANTAS, 2005), a erosão é o processo irreversível, uma vez que a formação do solo é um processo muito lento, o qual as camadas atuais são resultados de centenas ou milhares de anos. Segundo o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil), os solos situados em regiões áridas e semi-áridas, quando submetidos à irrigação para práticas agrícolas, apresentam grande possibilidade de se tornarem salinos se não houver sistemas adequados de drenagem ou manejos preventivos/corretivos, indicando que irrigação e drenagem devam ser realizados conjuntamente (BRASIL, 2005).

A Convenção de Combate à Desertificação traz em seu texto a necessidade de se adotar um enfoque efetivo sobre a desertificação que atinja todos os níveis e garanta o desenvolvimento sustentável e que tenha em conta as questões sociais, econômicas e ambientais nas políticas e programas. Já na Agenda 21 (BRASIL, 1992), existe um capítulo que tem como tema especificamente o manejo de terras em processo de desertificação (capítulo 12 - Manejo de ecossistemas frágeis: a luta contra a desertificação e a seca). Deste capítulo, destaca-se:

“A prioridade no combate à desertificação deve ser a implementação de medidas preventivas para as terras não atingidas pela degradação ou que estão apenas levemente degradadas. Não obstante, as áreas seriamente degradadas não devem ser negligenciadas. No combate à desertificação e à seca, é essencial a participação das comunidades locais, organizações rurais, Governos nacionais, organizações não governamentais e organizações internacionais e regionais.(...) Fortalecimento da base de conhecimentos e desenvolvimento de sistemas de informação e monitoramento para regiões propensas a desertificação e seca, sem esquecer os aspectos econômicos e sociais desses ecossistemas”

Sendo umas das atividades propostas aquela de:

“Fortalecer a capacidade das instituições nacionais de analisar os dados sobre o meio ambiente, de modo a possibilitar o monitoramento das alterações ecológicas e a

obtenção de informações sobre o meio ambiente de forma constante e com abrangência nacional”.

Devido à gravidade e importância do tema, faz-se necessário o desenvolvimento de índices e metodologias capazes de avaliar o processo de desertificação e degradação das terras no SAB de modo a retirar a subjetividade e baixa confiabilidade que os dados atuais apresentam. Paralelamente, deve ser posta em prática a educação ambiental da sociedade em relação ao tema de modo a conscientizar a mesma da gravidade da degradação e das possíveis ações dirigidas à prevenção e reversão da mesma. Assim, a gestão ambiental em áreas suscetíveis à desertificação englobaria desde ações voltadas ao controle e prevenção do avanço desse fenômeno, bem como a possível recuperação de áreas degradadas para uso produtivo (LIMA; CAVALCANTE; MARIN, 2011).

3. JUSTIFICATIVA

As regiões áridas e semiáridas, aproximadamente um terço da área continental mundial, são as mais sensíveis ao processo de desertificação. Mais de 110 países, incluindo o Brasil, possuem áreas com risco potencial de iniciar o processo de desertificação e/ou já desertificadas. O estudo desse processo nessas regiões torna-se vital devido i) à pressão sofrida por essas áreas decorrentes de outros processos degradativos; ii) ao aumento exponencial da população causando uma sobre-exploração dos recursos dessas áreas; iii) ao possível aumento de zonas secas no interior dos continentes decorrente das mudanças climáticas; e iv) à possível amplificação das mudanças climáticas locais ou regionais devido aos próprios processos de desertificação locais (VERSTRAETE; SCHWARTZ, 1991).

A desertificação é um fenômeno real e dinâmico, sendo primordial seu estudo e desenho de atitudes de adaptação aos seus efeitos, bem como de mitigação de suas causas. A desertificação pode se auto-acelerar e quanto mais se demora em lidar com esse problema, mais difícil se torna sua recuperação, até que se atinja um limiar em que a degradação passa a ser prática e economicamente irreversível (HARE et al., 1992).

Desta maneira, torna-se necessária a adoção de medidas preventivas o quanto antes seja de forma prática ou no aumento do conhecimento e avaliação do processo. Nesse segundo caso, o sensoriamento remoto se torna importante de modo a permitir a melhor compreensão do estado atual, bem como a tendência de evolução da desertificação, de forma objetiva e com baixo custo associado.

A África, como um todo, é um dos continentes mais vulneráveis ao processo de desertificação devido à sua grande exposição aos eventos climáticos e baixa capacidade adaptativa social e econômica (NIANG et al., 2014).

De acordo com o IPCC (2001) o termo vulnerabilidade se define como uma relação entre a exposição do sistema às mudanças climáticas (natureza, amplitude e ritmo de mudanças), da sensibilidade (possíveis consequências) e da capacidade de adaptação. Por sua vez, a capacidade de adaptação corresponde à capacidade de ajuste de um sistema frente às mudanças climáticas de modo a atenuar seus efeitos potenciais, explorar suas oportunidades ou de enfrentar às consequências.

Os países do norte da África estão em uma região árida à semi-árida com um clima saariano a Sul, um clima oceânico a Oeste e um clima mediterrâneo a Norte (AGOUMI,

2003). A porção central do Norte da África, composta por Marrocos, Argélia e Tunísia, apresenta aproximadamente 84 milhões de habitantes, estando mais de dois terços destes concentrados nas costas mediterrânea e atlântica (AGOUMI, 2003). Segundo o mesmo autor, a vida da população nestes países está fortemente ligada ao clima e suas flutuações, uma vez que a economia depende da água, agricultura, turismo e do litoral, sendo notória tal dependência para o Marrocos e Tunísia.

As mudanças climáticas no norte da África, que emite baixas quantidades de gases que causam o aquecimento global, representam uma verdadeira ameaça para o desenvolvimento socioeconômico e para a população local (AGOUMI, 2003). A severidade de tais impactos está relacionada não só às particularidades geográficas e ecológicas da região, mas também às condições biofísicas, socioeconômicas e tecnológicas, que trazem o norte da África à extrema vulnerabilidade frente às mudanças climáticas (SCOTT, 2008). Segundo Elraey (2009), com as mudanças climáticas, o norte da África seria particularmente afetado por secas, que segundo este autor, seriam mais frequentes, intensas e duradouras. Os efeitos nas áreas costeiras, onde o desenvolvimento se concentra, seriam mais perceptíveis, pois esta área historicamente recebe as maiores quantidades de precipitação em todo norte africano, sendo assim, possíveis diminuições nesta quantidade terão um impacto mais significativo e notável (RADHOUANE, 2013). Atualmente, 87,39% da área do Marrocos constituem zonas criticamente sensíveis ao processo da desertificação, abrigando aproximadamente 13.465.000 habitantes (Fig. 3.1).

Assim, o Marrocos torna-se um importante laboratório no sentido de estudar os impactos das mudanças climáticas e antrópicas sobre a desertificação em países subdesenvolvidos e com alta dependência da agricultura para a economia nacional.

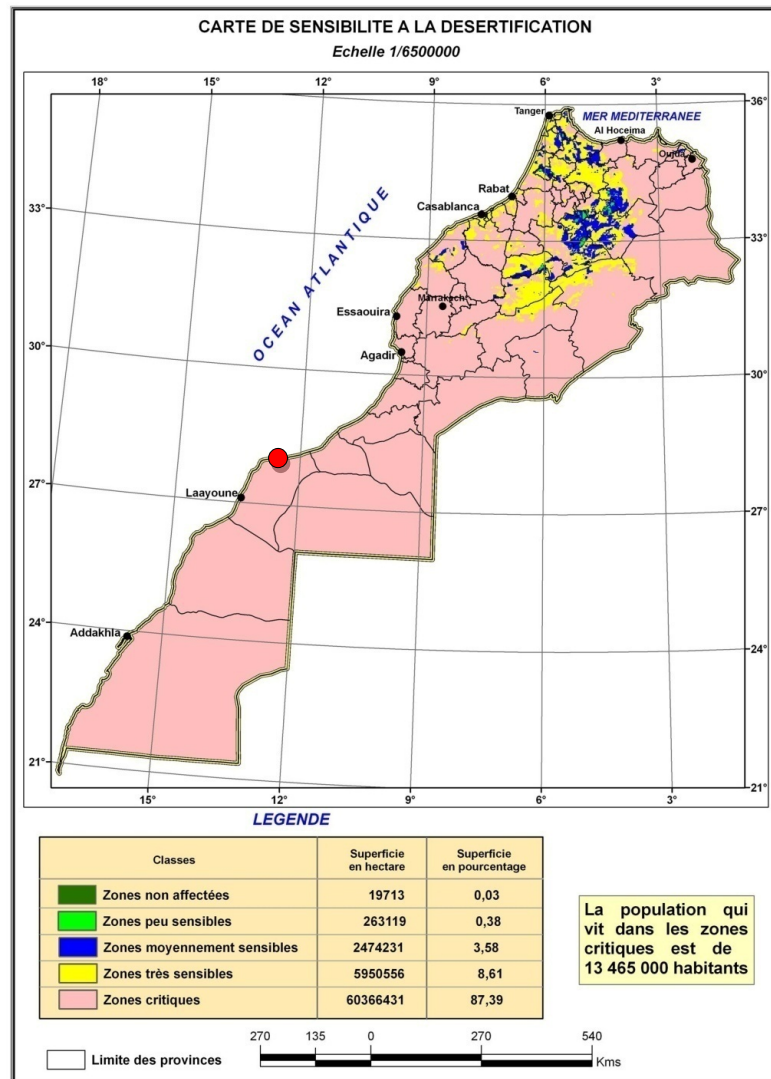


Figura 3.1 Carta de sensibilidade a desertificação do Marrocos com destaque para a localização da área de estudo (círculo vermelho). Fonte: *Système de Circulation de l'Information sur la Désertification*, disponível em < <http://www.scid.ma/>>.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso de imagens de satélite como uma ferramenta no acompanhamento da desertificação, aumentando seu conhecimento em áreas livres de significativo impacto antrópico e fornecer informações que possam auxiliar a gestão de áreas ameaçadas por esse processo.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar o levantamento do Índice de Severidade de Seca de Palmer ao longo do tempo para a área de estudo (Parque Nacional de Khnifiss).

Realizar a classificação das imagens de satélite do Parque identificando a resposta e distribuição da vegetação da lagoa através do índice NDVI.

Efetuar a análise comparativa entre os diferentes mapas temáticos gerados de modo a identificar as mudanças espaciais no Parque de Khnifiss ao longo do tempo analisado.

Relacionar os resultados das imagens de satélite com a variação Índice de Severidade de Seca de Palmer, buscando validar a metodologia proposta.

5. METODOLOGIA

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A costa do Marrocos é caracterizada pela alta diversidade de ecossistemas, sendo de suma importância para a economia nacional. Entretanto, a mesma está sujeita a numerosos impactos devido às atividades humanas ali concentradas (IDARDARE et al., 2008).

O Parque Nacional de Khnifiss ($28^{\circ}02'54''N, 12^{\circ}13'59''W$) (fig. 5.1) está localizado na costa atlântica do Marrocos, à 170 km da cidade de Laâyoune. O Parque apresenta especial importância uma vez que funciona como local de invernada para aves migratórias vindas majoritariamente da Europa, por sustentar toda uma cadeia trófica local, por abrigar fauna endêmica e também por servir de recursos para a população local com a prática da pesca e do turismo (fig. 5.2).



Figura 5.1 Parque Nacional de Khnifiss. Fonte: <http://brunomorandi.photoshelter.com>

O mesmo se encontra sob o regime do clima desértico de regiões quentes de baixa latitude e altitude (BWh, de acordo com a classificação Köppen-Geiger), ocorrendo precipitação principalmente durante o inverno, sendo estas inferiores a 250 mm anuais. Na figura 5.3, podemos observar que a precipitação média para a região varia entre aproximadamente de 0 mm a 20 mm mensalmente. Em Julho de 1999, Hammada (2007) fez um levantamento florístico do entorno da Lagoa de Khnifiss, obtendo a seguinte carta de distribuição da vegetação para o Parque (fig. 5.4), sendo esta típica para regiões frequentemente alagadas.

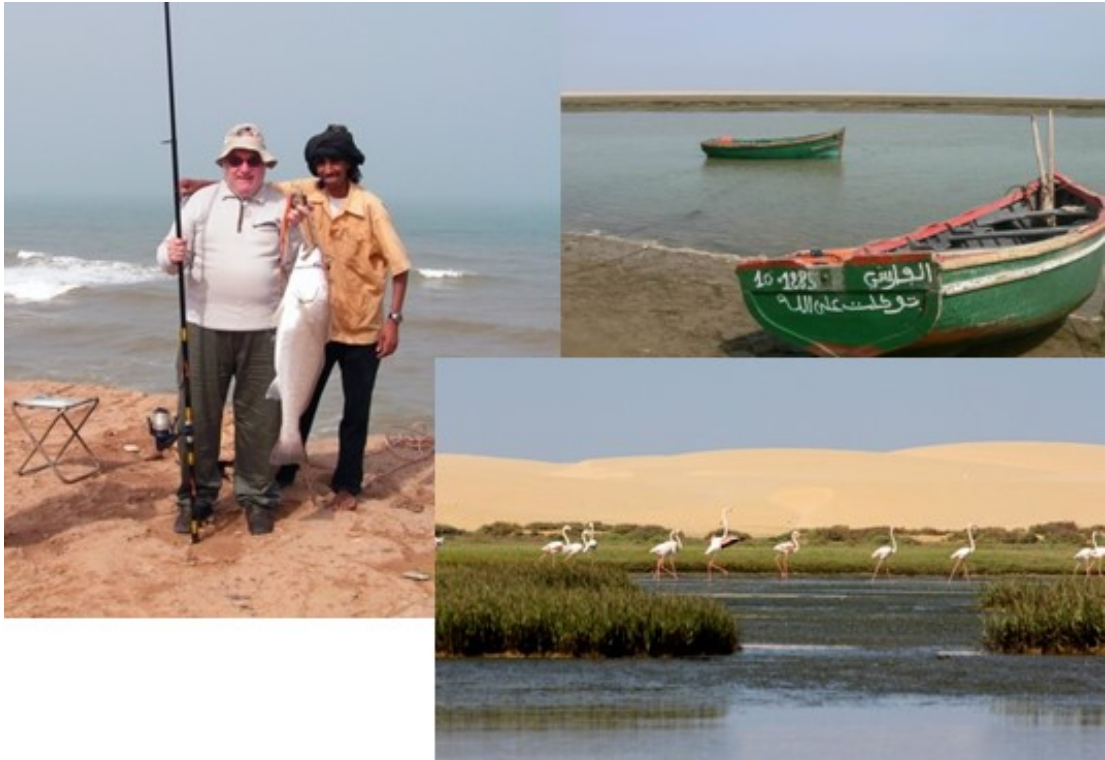


Figura 5.2 Imagens do Parque Nacional de Khnifiss evidenciando as atividades turísticas e de pesca, bem como o uso do Parque como abrigo para aves, como os Flamingos. Fonte: TripAdvisor.

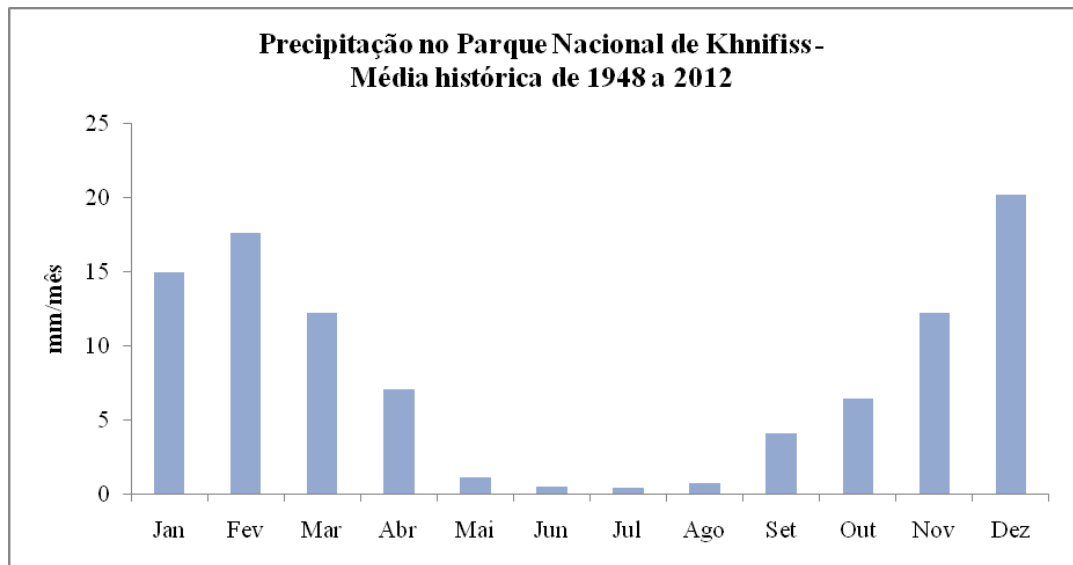


Figura 5.3 Precipitação anual média para a região do Parque Nacional de Khnifiss. Fonte: a autora, baseado em dados de precipitação do banco de dados de *National Oceanic and Atmospheric Administration*.

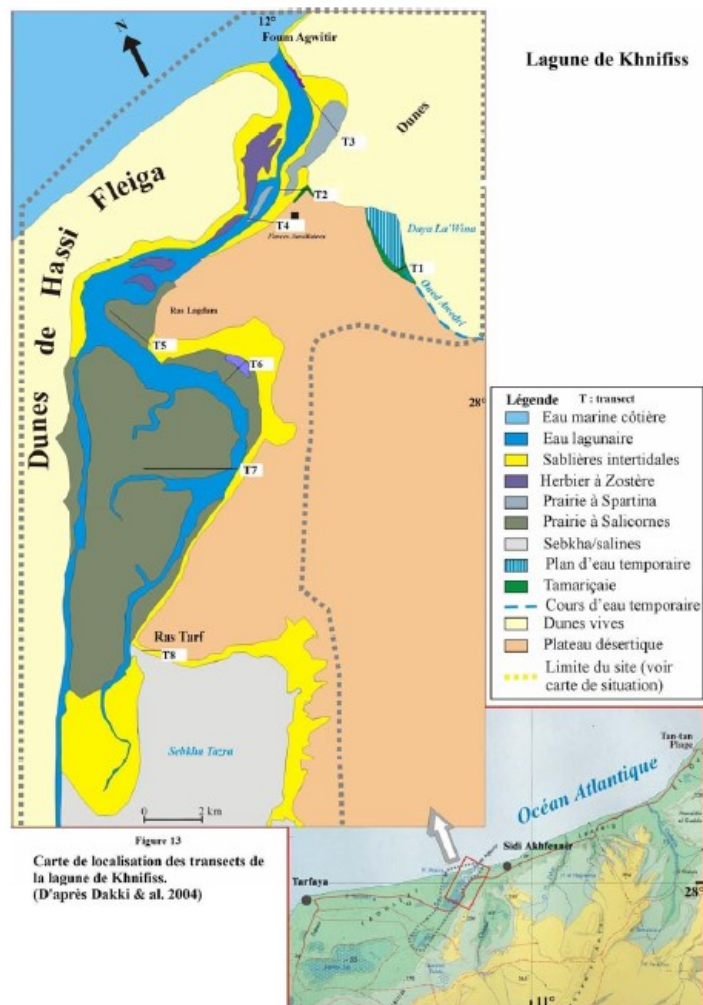


Figura 5.4 Carta do Parque de Khnifiss, destacando a localização da vegetação composta por *Zostera nana*, *Spartina maritima*, *Salicornia sp* e *Tamarix sp*. Fonte: Hammada (2007).

O Parque apresenta uma laguna hipersalina de mesmo nome, com 20 km de comprimento e 65 km² de superfície e 5 a 6 metros de profundidade. A Lagoa de Khnifiss (fig. 5.5), que na verdade é uma laguna hipersalina, se localiza no Sul do país e distante de tais atividades, pertence ao parque de mesmo nome. A Lagoa é classificada como uma reserva biológica permanente e ecológica de grande importância natural e sócio-cultural protegida pela Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional (Convenção Ramsar) (IDRISSI et al., 2004). A mesma, juntamente com a lagoa Moulay Bouselham, ao Norte, constituem as zonas úmidas marroquinas mais importantes, utilizadas como locais de ponto de parada e internada de aves migratórias. A região também é conhecida por outros nomes como: Naïla, Santa Cruz de la Mar Pequeña e Puerto Cansado devido à sua ocupação espanhola no passado. A Lagoa de Khnifiss possui uma abertura para o mar, Foum Agoutir, de aproximadamente 100 metros, sujeita à variação da maré e a migração das dunas ao seu

redor. Sua parte mais interior apresenta uma grande extensão que dá lugar a uma planície de sal chamada Sebka Tazra, que somente é inundada durante os períodos de maré alta. A vegetação consiste em macrófitas semi-submersas e ervas marinhas na Lagoa e em sua planície alagada e pequenas formas arbustivas em seu entorno (TRAMBLAY et al., 2012). O aporte de água doce é praticamente ausente, podendo ocorrer através do rio temporário Oued Awedri, que geralmente encontra-se seco, e forma uma lagoa temporária chamada Daya La'Wina. Em relação à zonação hidrológica, a conjunção entre as variáveis climáticas (vento moderado, precipitação rara, ausência de tempestades, temperatura média do ar) sobre a lagoa e a forte influência hidrodinâmica sugere que a Lagoa de Khnifiss seja um ecossistema relativamente aberto (IDRISSI et al., 2004).

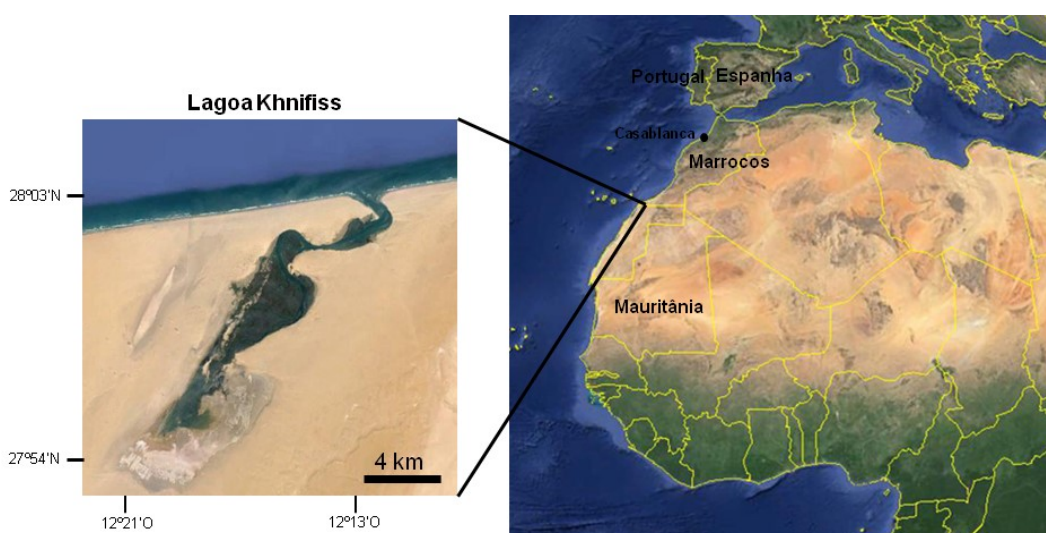


Figura 5.5 Posição geográfica da Lagoa de Khnifiss. Adaptado de *Google Earth*.

5.2 MÉTODOS

Devido à importância dos ecossistemas costeiros, a grande dependência dos seus recursos para a população, faz-se necessário o estudo destas regiões ao longo do tempo, de modo a entender suas respostas e consequências ecológicas e socioeconômicas frente à mudança e variabilidade do clima e dos eventos extremos, em especial daqueles expostos ao processo de desertificação.

Uma maneira de estudar tais regiões com baixo custo associado e de forma acessível é através do uso de imagens de satélite e dados de variáveis climáticas disponíveis de forma gratuita na internet.

5.2.1 Índice de Severidade de Seca de Palmer

De modo a obter dados a respeito da variabilidade dos padrões de precipitação e evaporação na região foi adotado o Índice de Severidade de Seca de Palmer (em inglês, *Palmer Drought Severity Index* – PDSI, como será chamado aqui neste trabalho), considerado aquele mais utilizado no estudo do grau de severidade das secas.

O PDSI foi criado por Palmer (1965) objetivando medir a diferença entre o aporte atmosférico de umidade e sua demanda a nível da superfície. Nesse índice são incorporados a precipitação atual e antecedente, bem como o fornecimento e demanda de umidade (DAI; TRENBERTH; QIAN, 2004). Os valores do PDSI são uma medida padronizada e variam de -10 (seco) a +10 (úmido), conforme classificação apresentada na figura 5.4, permitindo a comparação entre regiões e épocas distintas. Tais dados estão disponíveis para toda superfície continental do globo, exceto Antártica e Groelândia, em formato binário, com resolução espacial de 2.5° por 2.5°, de Janeiro de 1850 a Dezembro de 2014.

O acesso aos dados de PDSI pode ser feito gratuitamente pela página da divisão de ciências físicas da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (*National Oceanic & Atmospheric Administration* – NOAA/OAR/ESRL PSD) através do link <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.pdsi.html>>.

Índice de Severidade de Seca de Palmer - Classificação	
≥ 4	Extremamente úmido
3 a 3,99	Muito úmido
2 a 2,99	Moderadamente úmido
1 a 1,99	Ligeiramente úmido
0,99 a -0,99	Aproximadamente normal
-1 a -1,99	Ligeiramente seco
-2 a 2,99	Seca moderada
-3 a -3,99	Seca severa
≤ -4	Seca extrema

Figura 5.4 Classificação das condições secas e úmidas com base nos valores do PDSI. Adaptado de NOAA/OAR/ESRL PSD.

Para este trabalho, foi feito o download do banco de dados das médias mensais de PDSI auto-calibrados através do site anteriormente mencionado. Em seguida, foi elaborado

um script no programa de pacotes estatísticos R de modo a permitir que tais dados fossem trabalhados. Assim, o banco de dados anteriormente multicamadas (formato “.nc”) foi transformado em uma tabela simples, na qual foi extraída a média do banco de dados e sua série temporal para a coordenada 28N, 12.3W, desde quando o banco de dados deu-se início para essa região, Dezembro de 1904. Complementarmente, foi elaborado outro script no mesmo programa no qual os valores de PDSI foram trabalhados de forma a se apresentarem como anomalias, obtidas através da subtração de um valor individual da média do conjunto e dividir tal resultado pelo desvio padrão do conjunto de dados. Assim, torna-se possível interpretar os anos nas quais os valores foram diferentes do considerado “normal” para a região, seja para mais úmido ou para mais seco.

5.2.2 Análise de NDVI ao longo do tempo

Para o sensoriamento remoto do entorno da lagoa, visando estudar a evolução temporal do índice de aridez regional, foi utilizado o índice NDVI, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, baseado em imagens do satélite LANDSAT-5 TM e LANDSAT 8 OLI TIRS, disponíveis gratuitamente em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.

Os índices de vegetação, incluindo o NDVI, são medidas radiométricas adimensionais que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde baseados em procedimentos matemáticos como combinações lineares e razões de bandas espectrais. Tais procedimentos realçam a contribuição das propriedades da vegetação e permitem, assim, as intercomparações espaciais e temporais baseadas na atividade fotossintética e das variações estruturais da vegetação (HUETE et al., 2002).

Conforme citado anteriormente, o NDVI é calculado através da diferença entre a reflectância na banda do infravermelho próximo (IVP), onde a vegetação apresenta alta resposta espectral, e a reflectância na banda do vermelho (V), onde a vegetação apresenta baixa resposta espectral, dividida pela soma da reflectância dessas bandas. O resultado dessa operação é um índice que varia entre -1 a 1, sendo quanto maior seu valor, maior é presença, em cobertura de área analisada, e saúde da vegetação.

Neste trabalho, foram analisados os resultados do PDSI e selecionados os anos de maior umidade e os anos mais secos, de forma a comparar e validar o uso do NDVI como indicativo de seca e do processo de desertificação. De acordo com a disponibilidade e condição meteorológica (baixa cobertura de nuvens), foram selecionadas quatro imagens

representativas de diferentes condições de PDSI. As imagens foram tratadas utilizando o software Geomatica 2016 (PCI Geomatics®) de maneira a transformar os níveis digitais da imagem em valores de reflectância, para posteriormente ser feito o cálculo de NDVI através da equação:

$$IVDN = \frac{(IV-VIS)}{(IV+VIS)}$$

A imagem resultante foi cortada em um formato padrão escolhido pela autora e em seguida, foi trabalhada no software ArcGis 10 (ESRI®) de forma a classificar a imagem NDVI de acordo com o padrão de resposta das diferentes feições da imagem. Foi verificado, em diversas imagens NDVI geradas, o padrão dos valores para água, solo exposto (areia) e vegetação, adotando-se a seguinte divisão: valor mínimo até 0 – Água, 0 até 0,15 – Solo exposto (areia) e 0,15 até o valor máximo – Vegetação. Assim, a imagem foi classificada e a área de cada feição foi dimensionada em km² de acordo com a quantidade de pixels que cada feição apresentava. A resolução espacial da imagem tanto do Landsat 5 quanto do Landsat 8 é de 30 metros, assim cada pixel representa um quadrado de 30m x 30m, resultando em uma área de 900 m² de área ou 0,0009 km², valor o qual foi usado para conversão de número de pixels para área.

Dessa maneira, a metodologia aqui proposta se apresenta como uma maneira acessível de analisar a evolução da vegetação no entorno da Lagoa de Khnifiss num passado recente, avaliando o processo de desertificação na região, ao utilizar banco de dados e imagens de satélites gratuitos e disponíveis para o público, bem como uma metodologia de fácil compreensão.

Os resultados e métodos propostos para análise da evolução do ecossistema de Khnifiss servirão como estudo de caso de meios de obtenção e compreensão de informações que possam permitir a avaliação das respostas de ecossistemas com risco de desertificação aos impactos decorrentes da variabilidade do clima ou até mesmo da pressão antrópica.

Desta maneira, se validada, tal metodologia poderá ser utilizada no estudo de regiões suscetíveis à desertificação no Brasil, contribuindo para o avanço no estudo deste processo, auxiliando no seu combate e na obtenção de soluções para mitigação e adaptação ao mesmo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro passo ao se analisar o processo de desertificação em uma região é observar o comportamento da precipitação na área de estudo ao longo do tempo. No capítulo 5, figura 5.2 (pág. 24) pode-se observar que a máxima precipitação média é de apenas 20 mm (Dezembro) e que por volta de cinco meses do ano (Maio a Setembro) a precipitação permanece em menos de cinco milímetros de chuva acumulada por mês. Quando observamos a série temporal da precipitação, em mm/dia, para a região (figura 6.1) podemos perceber que ao longo do tempo vem ocorrendo uma diminuição na ocorrência de eventos de relativamente alta precipitação diária ($> 2\text{mm}$) e predominância de eventos de menor precipitação diária (na maioria $< 1\text{mm}$), havendo uma leve tendência de menor precipitação diária ao longo dos 64 anos analisados.

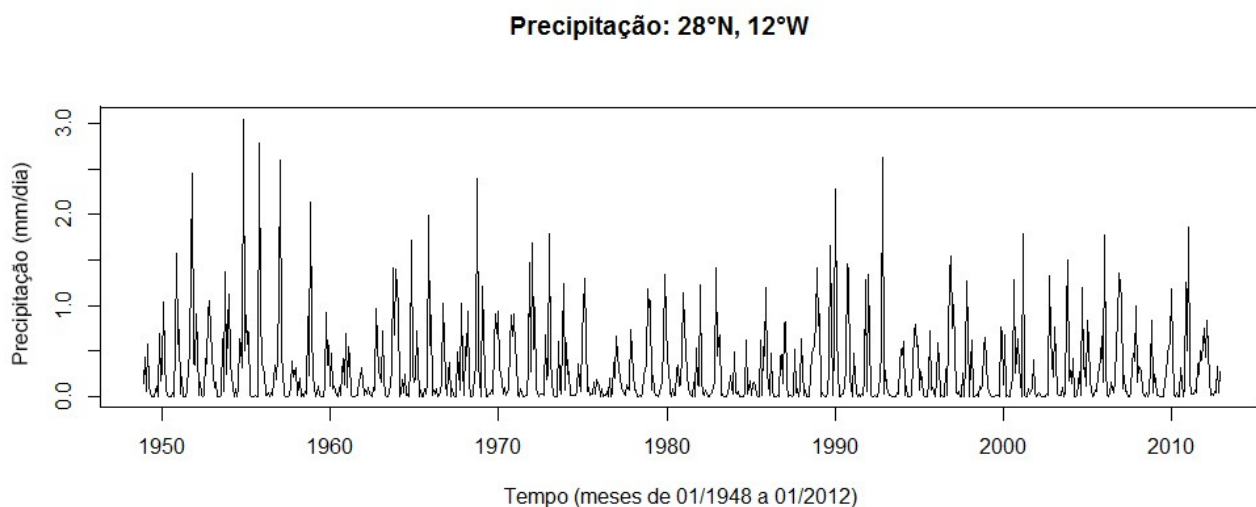


Figura 6.1 Precipitação, em mm/dia, para o Parque de Khnifiss segundos dados da NOAA.

Da mesma maneira, ao observar os resultados para o índice PDSI ao longo do tempo (fig. 6.2) percebemos uma tendência de diminuição em seu valor, podendo ser interpretado como intensificação da severidade das secas para a região ao longo dos 108 anos analisados nessa série temporal. A série se inicia com um valor médio do PDSI de aproximadamente 2, moderadamente úmido, e termina em 2013 apresentando um valor médio de aproximadamente -2, seca moderada. Esse mesmo dado pode ser observado através do gráfico de anomalia, ilustrado na figura 6.3, em que se percebe a diminuição na ocorrência de eventos

de anomalia positiva, valores acima da normal climática para a região, e maior predomínio e duração de anomalias negativas, ressaltando a intensificação da seca para a região. Tal gráfico foi obtido pela normalização dos valores (valor subtraído pela média e dividido pelo desvio padrão), onde a unidade utilizada passa a ser desvios-padrão.

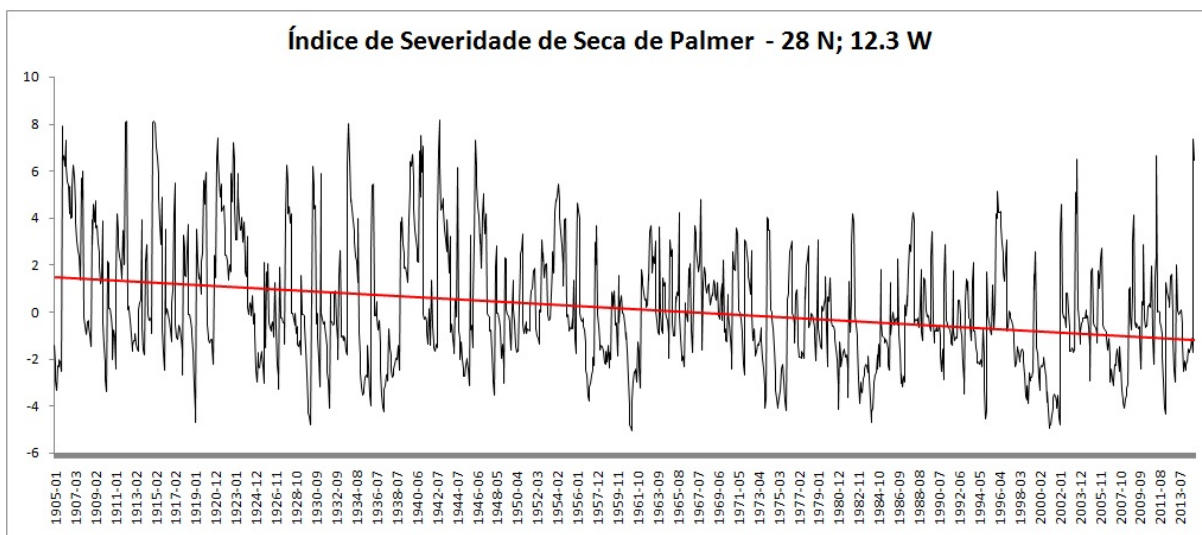


Figura 6.2 Índice de severidade de seca de Palmer para o Parque Nacional de Khnifiss segundo dados da NOAA.

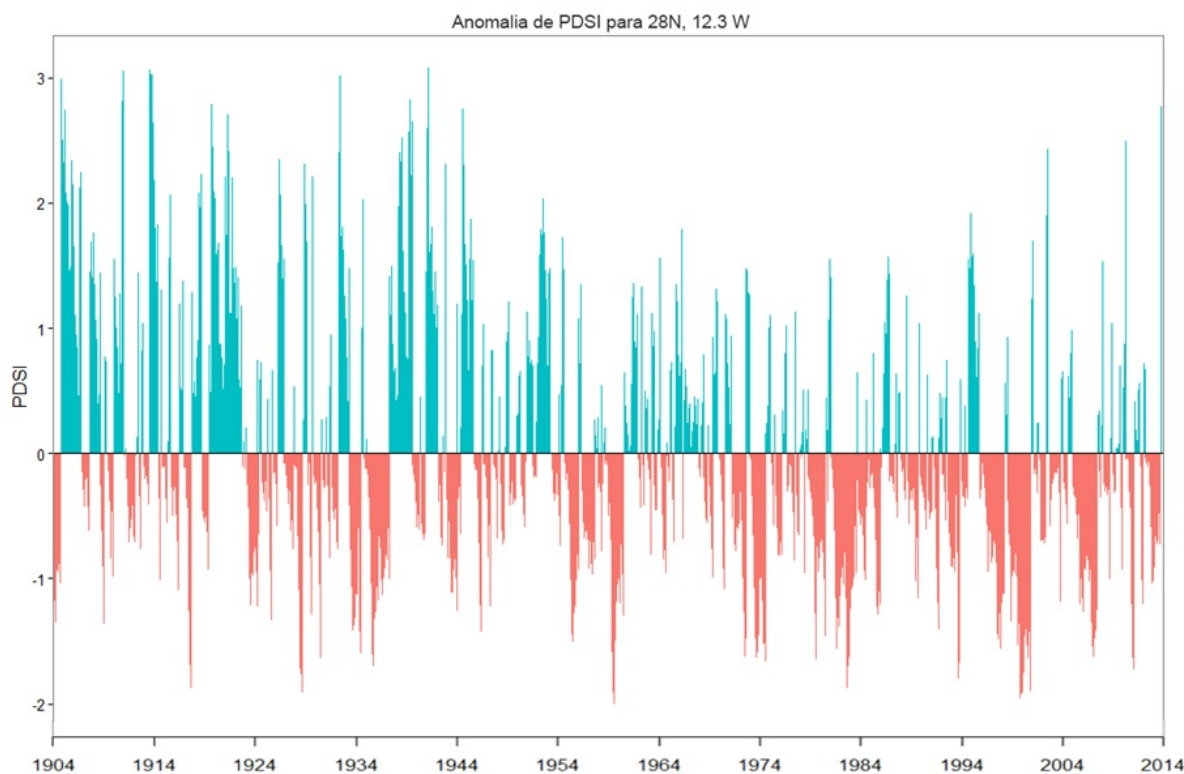


Figura 6.3 Gráfico de anomalia para o índice PDSI para o Parque Nacional de Khnifiss segundo dados da NOAA.

Sabendo-se que o índice PDSI leva em consideração a precipitação atual e antecedente, bem como o fornecimento e demanda de umidade, e que a vegetação tem alta dependência da precipitação na região, espera-se que alterações no aporte de água possam influenciar na distribuição da vegetação do Parque.

Hammada (2007) fez um levantamento da vegetação presente nas zonas úmidas do Marrocos, entre elas, àquela do Parque Nacional de Khnifiss. Por se tratar de uma zona desértica, a vegetação presente na região está associada às planícies de maré (zonas intertidais) e às margens da lagoa com menor profundidade de água. É percebida a presença de principalmente sete espécies de vegetação:

- i) *Tamarix sp.* (fig. 6.4) – Compreende 60 spp. de fanerógamas, da família Tamaricaceae, nativas de áreas mais secas da eurásia e da África. Encontra-se nos terrenos úmidos próximo da margem da lagoa.



Figura 6.4 Espécime do gênero *Tamarix*. Fonte: commons.wikimedia.org

- ii) *Limoniastrum ifniense* (fig. 6.5) – Planta de distribuição sahariana frequentemente encontrada próximos a uádis¹ salinos. Sinônimo para *Saharanthus ifniensis*. Ela se encontra relativamente distante da margem da Lagoa sendo rara sua submersão.

¹ Do árabe وادي (wádi) – Termo utilizado para designar um leito seco de rio no qual as águas correm apenas na estação chuvosa, muito frequentemente usado nas regiões desérticas do Norte da África e da Ásia e muito comum em topônimos.

iii) *Suaeda vera* (fig. 6.6) – Arbusto comum em solos salinos, tanto em zonas úmidas como no litoral (incluindo áreas rochosas).

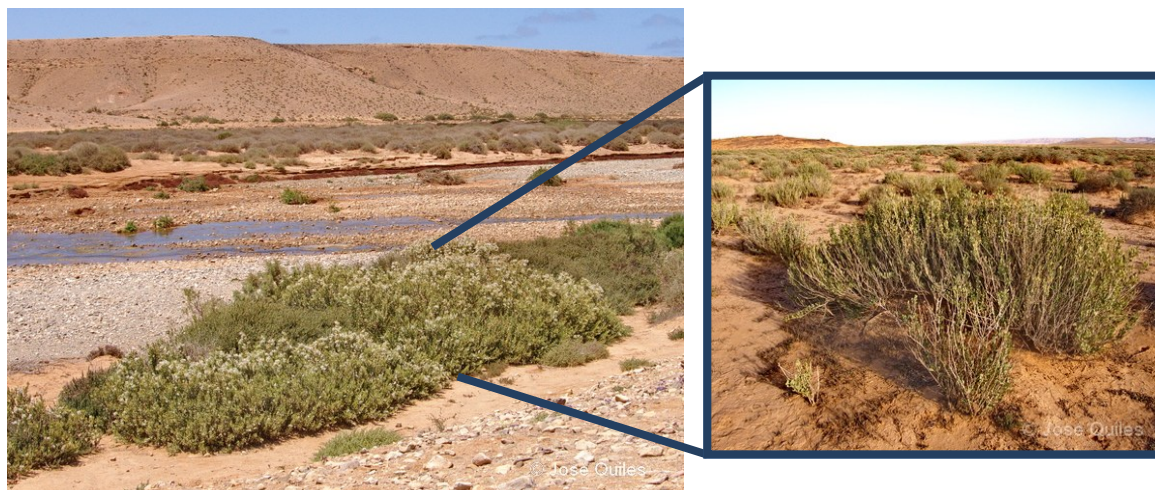


Figura 6.5 *Limoniastrum ifniense*. Fonte: www.florasilvestre.es.



Figura 6.6 *Suaeda vera*. Fontes: www.teline.fr e www.xtec.cat.

iv) *Arthrocnemum macrostachyum* (fig. 6.7) – Também conhecida como salicórnia, é uma espécie de planta com flor que pertence à família Chenopodiaceae. Na Lagoa ela se encontra frequentemente submersa. Segundo Hammada (2007) essa espécie é aquela que domina a Lagoa de Khnifiss, ocupando a maior área.

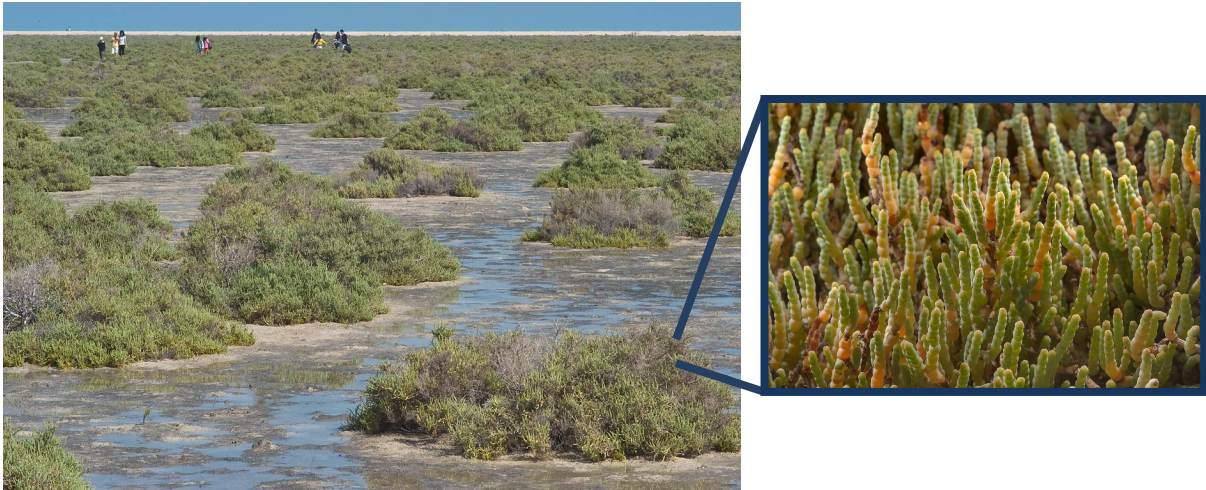


Figura 6.7 *Arthrocnemum macrostachyum*. Fonte: www.floraofqatar.com.

v) *Zostera nana* (fig. 6.8) – Espécie de grama marinha que depende de sua completa submersão para sua sobrevivência.



Figura 6.8 *Zostera sp.*. Fonte: Wikipedia.

vi) *Spartina maritima* (fig. 6.9) - Prados temporariamente submersos instalados sobre bancos de argila em solos periodicamente alagados por água salgada. Na Lagos de Khnifiss esse tipo de vegetação é submersa a cada maré alta.



Figura 6.9 *Spartina maritima*. Fonte: <http://flora-on.pt/>.

vii) *Atriplex portulacoides* (fig. 6.10) – Sinônimo para *Halimione portulacoide*. Pequeno arbusto encontrado em salinas e dunas costeiras, cujo terreno é frequentemente inundado com a maré alta. Na Lagoa ele se encontra sobre terreno úmido.



Figura 6.10 *Atriplex portulacoides*. Fontes: www.carolscornwall.com e luirig.altervista.org.

vii) *Mesembryanthemum nodiflorum* (fig. 6.11) – Planta suculenta que habita taludes de salinas, supralitorais e dunas, podendo se fixar em substratos arenosos ou rochosos. Na Lagoa essa espécie se encontra sob terrenos muito úmidos.



Figura 6.11 *Mesembryanthemum nodiflorum*. Fontes: Wikipedia e calphotos.berkeley.edu.

Conforme as sucintas descrições, a maioria das espécies encontrada no Parque Nacional de Khnifiss embora adaptadas às condições áridas, somente ali existem devido à existência da lagoa, seja pela área alagada em si, ou pelos terrenos úmidos associados a ela. Com certa distância da margem da lagoa, o terreno passa a ser seco e predominantemente arenoso, impróprio para o estabelecimento de vegetação. Dessa maneira, é de se esperar que caso haja uma diminuição no espelho d'água da lagoa, a vegetação associada à mesma sofra consequências e tenha sua área propícia diminuída, diminuindo assim a cobertura vegetal no Parque.

Dessa maneira, foi proposta a análise de imagens de satélite correspondentes a momentos representativos de diferentes classes dentro da divisão estabelecida para os valores de PDSI de modo a avaliar a resposta da vegetação nesses momentos. De acordo com a disponibilidade de imagens, cobertura de nuvens e qualidade foi possível selecionar quatro imagens, caracterizadas na figura 6.12, representativas de momentos de seca moderada, próximo do normal, mais úmido que o normal e extremamente úmido. Infelizmente não foi possível obter imagens para períodos de PDSI “extremamente seco” nem “seca severa” para a região devido à indisponibilidade de imagens para os meses assim caracterizados ou por alta cobertura de nuvens, que prejudica ou até mesmo impede a classificação das imagens.

Mês	PDSI	Classificação	Satélite e sensor
Maio/1994	-2,13	Seca moderada	LANDSAT 5 TM
Agosto/1988	-0,47	Próximo do normal	LANDSAT 5 TM
Outubro/1987	2,86	Mais úmido que o normal	LANDSAT 5 TM
Novembro/2014	7,33	Extremamente úmido	LANDSAT 8 OLI TIRS

Figura 6.12 Relação das imagens selecionadas para este trabalho caracterizando o PDSI no momento da captura e o satélite pela qual a imagem foi obtida.

Após a transformação dos níveis digitais da imagem em valores de reflectância e obtenção da imagem NDVI, foi feita a observação dos padrões de resposta das diferentes feições presente no Parque: vegetação, areia e corpo hídrico. Foi escolhida uma faixa de valor em que houve uma melhor imagem resultante em que as três feições fossem bem representadas e individualizadas. Foi observado que para água a faixa do valor mínimo de NDVI até 0 era capaz de classificar os corpos hídricos expostos, enquanto para a areia a faixa era de 0 – 0,15 e para vegetação entre 0,15 e o valor máximo de NDVI. Na figura 6.13 podemos ver a comparação entre uma imagem de satélite sem tratamento e uma imagem com suas feições classificadas através da resposta NDVI.

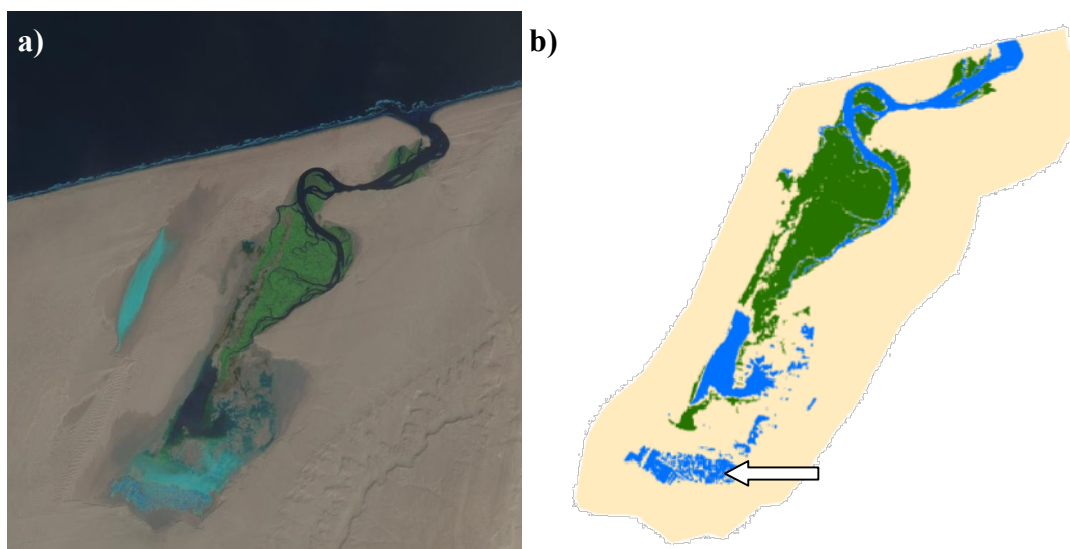


Figura 6.13 a) Imagem do satélite LANDSAT 8 para o 14/11/2014 (USGS); b) Imagem classificada de acordo com a resposta NDVI para o mesmo dia. A seta branca representa a região das salinas, Sebkhha Tazra.

A imagem classificada respondeu bem à imagem real, havendo boa resposta da representação da distribuição da vegetação, areia e água. A região das salinas, Sebkhha Tazra (destacada nas figuras 6.13 e 5.3 – pág. 25), foi a que teve menor resposta na classificação, sendo confundida com água. Talvez isso ocorra, pois haja uma acumulação de um fino

espelho d'água sobre a mesma, havendo um padrão de reflectância próximo ou bem semelhante da água de maior profundidade. Dessa maneira, salvo esta última observação, a imagem resultante foi considerada satisfatória para análise do comportamento da vegetação em diferentes períodos de condição de umidade. Assim, nas figuras 6.14, 6.15, 6.16 e 6.17 são observados os mapas resultantes da classificação da imagem NDVI da Lagoa de Khnifiss, sendo pontuados valores NDVI máximo e mínimo, área de cobertura de cada feição e valor PDSI para o momento de aquisição da imagem.

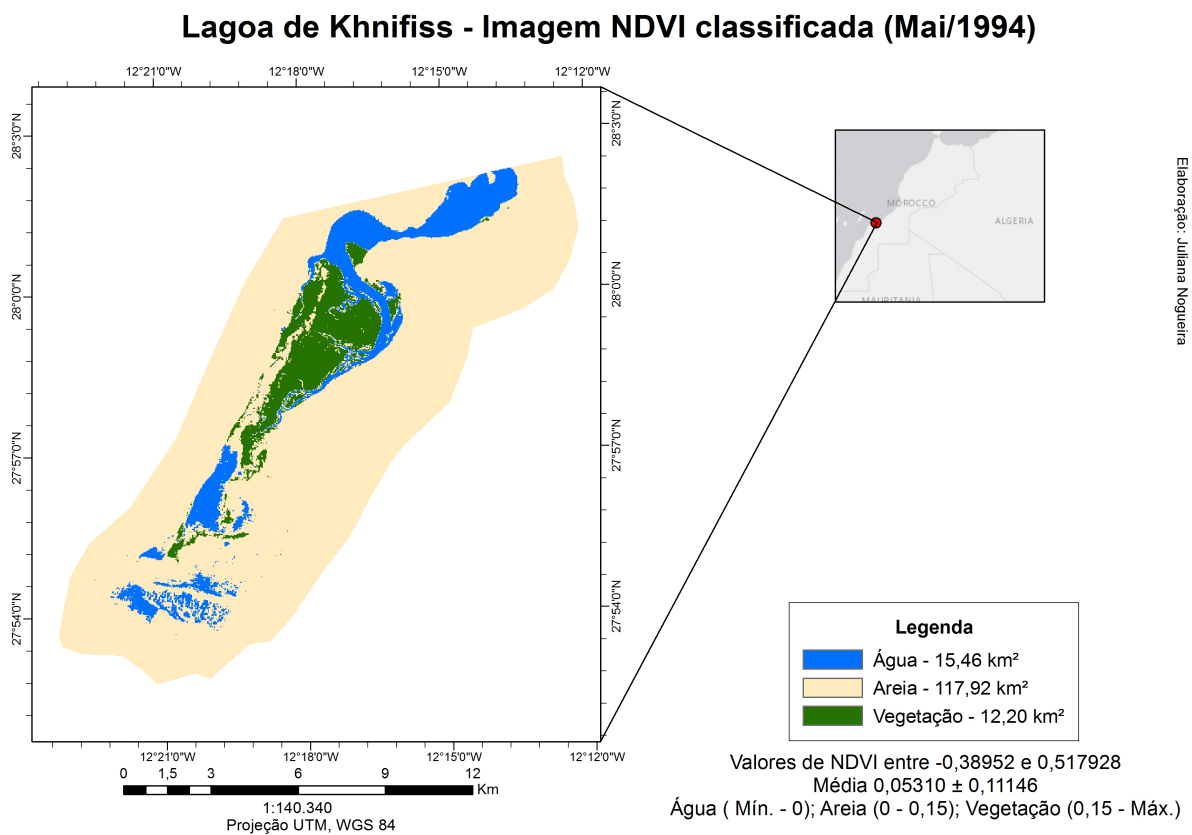


Figura 6.14 Imagem NDVI classificada para o mês de Maio de 1994, que apresentava PDSI igual a -2,13, condição de seca moderada.

Lagoa de Khnifiss - Imagem NDVI classificada (Ago/1988)

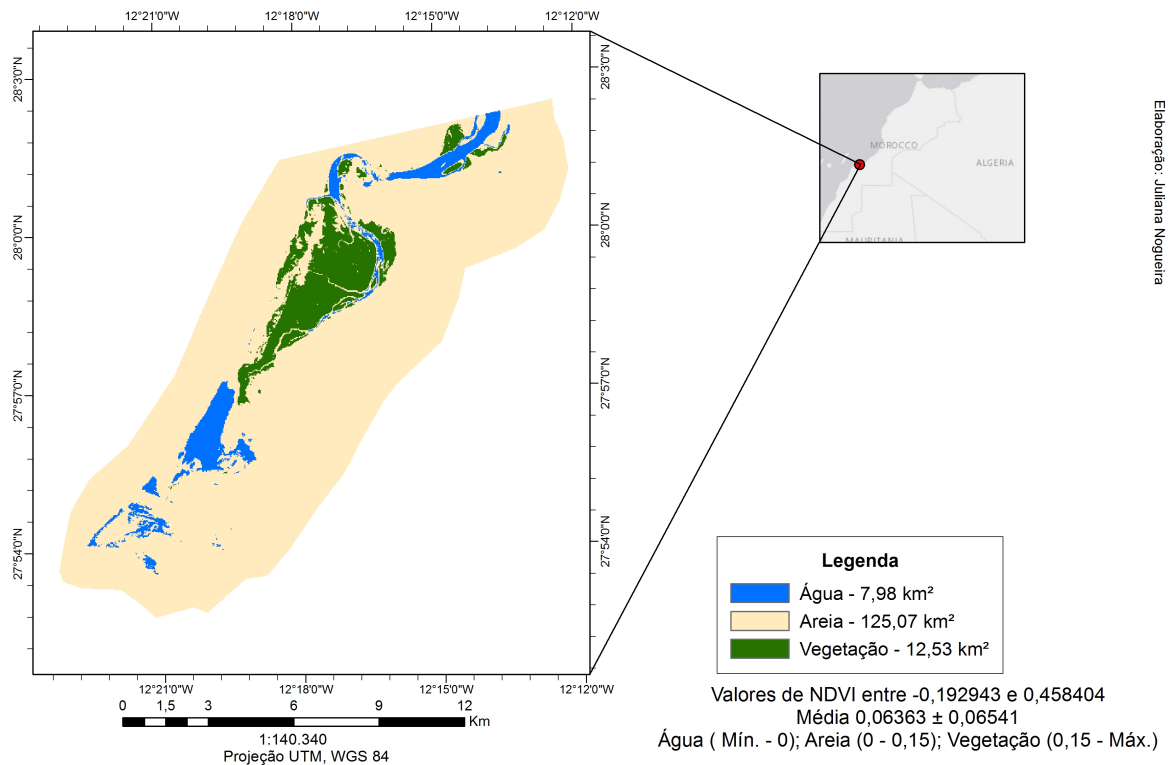


Figura 6.15 Imagem NDVI classificada para o mês de Agosto de 1988, que apresentava PDSI igual a -0,47, condição próximo do normal.

Lagoa de Khnifiss - Imagem NDVI classificada (Out/1987)

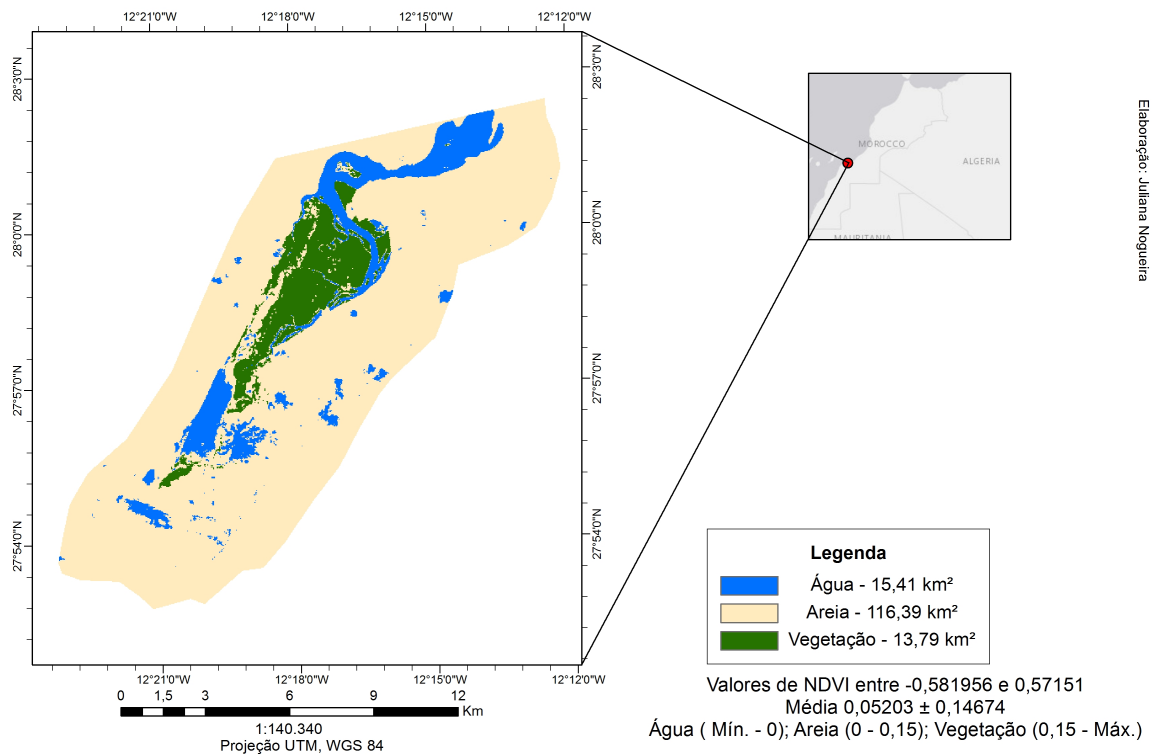


Figura 6.16 Imagem NDVI classificada para o mês de Outubro de 1987, que apresentava PDSI igual a 2,86, condição mais úmida que o normal.

Elaboração: Juliana Nogueira

Elaboração: Juliana Nogueira

Lagoa de Khnifiss - Imagem NDVI classificada (Nov/2014)

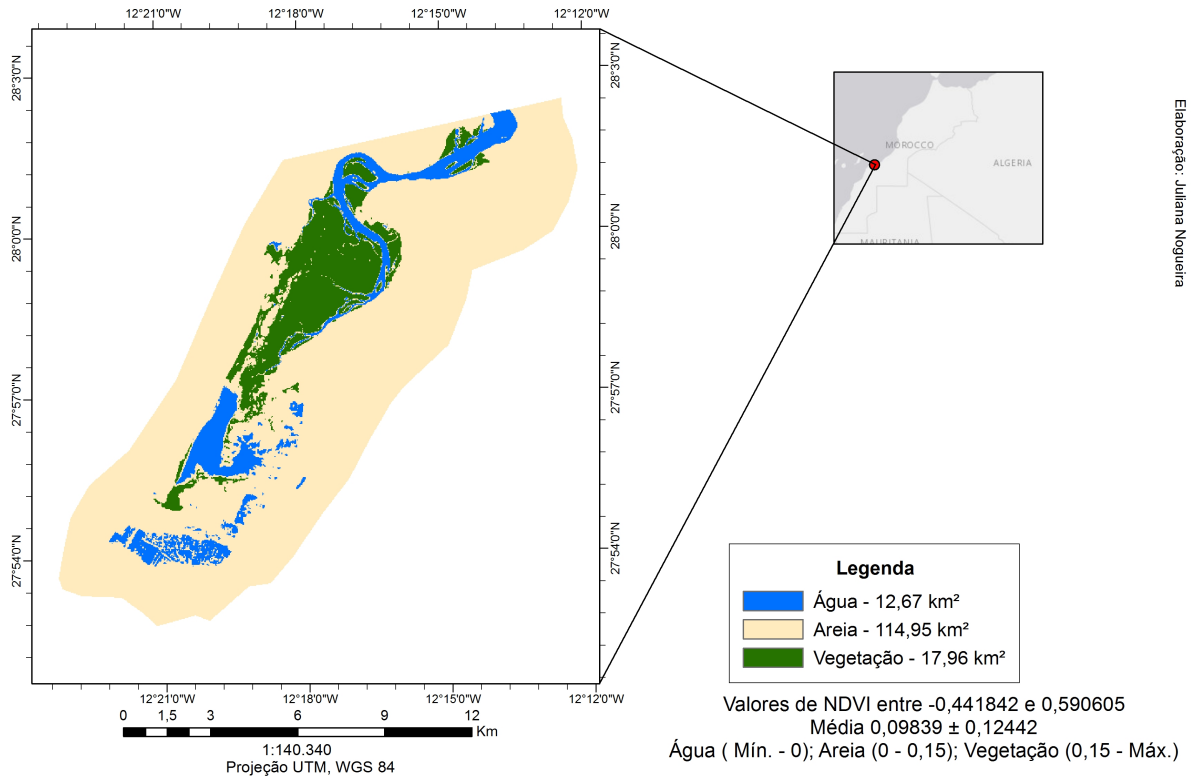


Figura 6.17 Imagem NDVI classificada para o mês de Novembro de 2014, que apresentava PDSI igual a 7,33, condição extremamente úmida.

A partir das imagens resultantes podemos perceber que ao longo do tempo há pequenas alterações na morfologia da lagoa com alterações no formato de sua abertura para o mar e no meandro dos canais. Tais mudanças podem alterar tanto a distribuição da vegetação, aumentando ou diminuindo a área propícia, como sua identificação, caso ela fique submersa e o satélite passe a obter resposta espectral de água. Uma vez que as imagens foram obtidas aproximadamente no mesmo horário (entre 10:30 e 11:15), entende-se que tais mudanças resultam de processos atuantes no médio-longo prazo e não a curto-prazo como a variação das marés, que obedecem um padrão de ocorrência ao longo do dia.

Na figura 6.18 podemos observar a relação entre os valores de PDSI e a área com cobertura vegetal. É possível identificar uma correlação positiva entre tais valores, uma vez que seu coeficiente de determinação (R^2), obtido através de uma regressão linear, apresentou um valor de 0,815, significando que 81,5% da variável dependente, área coberta por vegetação, consegue ser explicada pelos valor de PDSI.

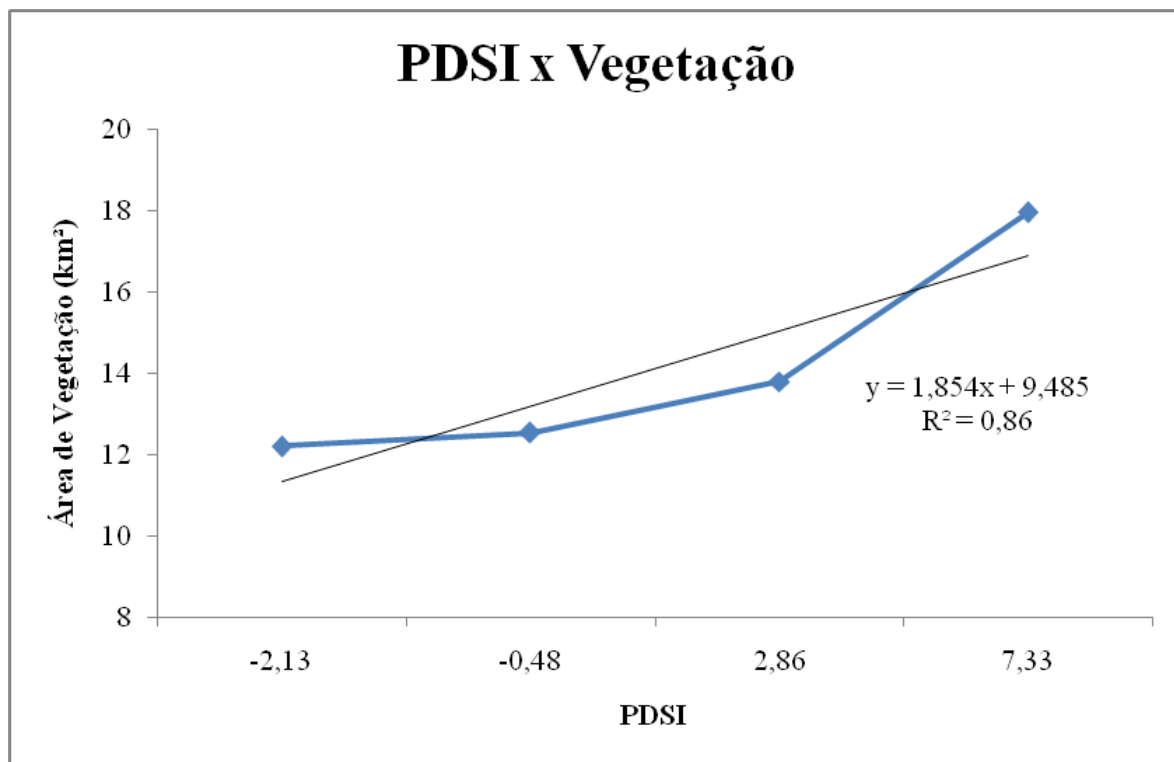


Figura 6.18 Correlação entre valor de PDSI e área coberta por vegetação (km²).

Segundo Accioly e colaboradores (2002) antes de se planejar as ações visando o combate à desertificação é necessário escolher os indicadores a serem utilizados de forma a definir e localizar as áreas que necessitam recuperação. Tal processo se torna complexo visto a variedade de indicadores existentes, mas os autores citam que aqueles mais utilizados e confiáveis são os associados à cobertura vegetal devido a sua relação intrínseca com a degradação dos solos. Os autores ainda ressaltam que a análise da cobertura vegetal associada ao sensoriamento remoto é capaz de fornecer uma quantidade substancial de dados visto a continuidade nos programas científicos de lançamento e manutenção de plataformas satelitais como é o caso do LANDSAT.

Nesse mesmo sentido Cui e colaboradores (2011) utilizaram metodologia similar, NDVI a partir de imagens LANDSAT ao longo do tempo, para verificar a expansão e a dinâmica do deserto de Qubqi, na Mongólia. Os autores ressaltam que, embora haja limitações no uso dessa metodologia, com necessidade de idas a campo, a metodologia foi considerada altamente sensível e apta para servir de ponto de partida para o plano de manejo da região. Guo & Li (2005) através do uso de sensoriamento remoto em longo prazo também puderam observar mudanças significativas na cobertura vegetal no oásis de Minqin, na China, auxiliando na gestão ambiental do território.

Lima (2010) em sua dissertação de mestrado intitulada “Avaliação do processo de desertificação no semiárido paraibano utilizando geotecnologias” seguiu do mesmo raciocínio metodológico empregado por esse trabalho ao fazer levantamento de dados climáticos e a classificação do terreno através do valor de NDVI. Entretanto, diferente deste trabalho, Lima fez um reconhecimento de campo de maneira a validar como sua imagem classificada se assemelhava à realidade.

A utilização do sensoriamento remoto através de dados climáticos coletados por sensores assim como pelo imageamento fornece a possibilidade de se obter dados a respeito da área de estudo à distância, com nenhum custo associado e moderada manipulação. Este fato como ponto de partida para o reconhecimento da dinâmica de uma área ao longo do tempo é de extrema valia, pois como ressaltado anteriormente, o planejamento da gestão de uma área se inicia pelo reconhecimento e identificação do processo de desertificação.

Pereira, Paschoal e Araujo (2014) citam que o “sensoriamento remoto é uma ferramenta que possui capacidade de detectar e mensurar as mudanças ocorridas na superfície terrestre, sendo assim, aliada a outras técnicas e metodologias, pode complementar os estudos de desertificação e mitigar os seus efeitos”. Nesse trabalho foi percebido que os dados climáticos satelitais para o Parque Nacional de Khnifiss indicam uma ligeira diminuição na precipitação e um aumento na severidade das secas, observados através da série temporal de precipitação e do PDSI, respectivamente. Também foi percebido que a classificação das imagens de satélite foi capaz de representar as mudanças fisiográficas ocorridas em resposta a diferentes condições climáticas. Tais imagens sugerem que, acompanhando o aumento da severidade das secas, a cobertura de vegetação vem diminuindo progressivamente no Parque Nacional de Khnifiss.

O método aqui apresentado apresenta limitações quanto à dependência de imagens disponíveis para a data de interesse, de situações de baixa cobertura de nuvens e da resolução espacial das imagens. Entretanto, devido ao longo tempo de operação e a diversidade de satélites esse talvez não seja um grande problema, uma vez que há um grande banco de dados disponível gratuitamente. Como maneira de melhorar esse aspecto, podem ser utilizadas imagens com melhor resolução espacial, como as imagens do satélite Geo-eye com resolução espacial de 1,65m nas bandas multispectrais. Essas imagens embora sejam pagas, permitem um melhor detalhamento das diferentes feições, pois os pixels representam uma menor área.

Também, ressalta-se que é necessária uma etapa de validação da metodologia em campo, por exemplo, com uso de radiômetro², seja para correlacionar as unidades determinadas na classificação, como também para avaliar e melhor detalhar a resposta espectral das diferentes feições de forma a produzir um mapa final mais rico em detalhes e com feições menos generalizadas.

² Instrumento de detecção e medida de energia radiante ou de ondas acústicas.

7. CONCLUSÃO

A análise dos dados climáticos de precipitação e do índice de severidade de seca de Palmer para o Parque Nacional de Khnifiss indica que a amplitude de precipitação tem diminuído ao longo do tempo, com tendência a menor incidência na quantidade de chuvas sobre a região, acarretando, conseqüentemente, no aumento da severidade das secas. Para entender como a vegetação se comportava com tais mudanças foi utilizado o índice NDVI, um dos indicadores recomendados pela UNCCD/ONU.

Ao observar os mapas temáticos gerados foi possível perceber um acompanhamento da resposta da vegetação, em termos de cobertura em km², em relação à variação do valor de PDSI. Os resultados aqui obtidos serviram como um ponto de partida para conhecer o histórico e a dinâmica da desertificação no passado recente em uma área com insignificante impacto antrópico, o Parque Nacional de Khnifiss, e compreender a situação atual na qual a mesma se encontra frente a esse processo. Para dar seguimento a este trabalho, serão feitas, como parte integrante da tese de doutorado da autora, medições em campo e verificação dos mapas aqui gerados para um contínuo aprimoramento do produto e da metodologia aqui apresentados.

Segundo o Programa de Ação Nacional de Combate a desertificação e mitigação dos efeitos da seca (BRASIL, 2005), a degradação e a desertificação:

“(...) são particularmente agudos na região subsaariana, onde residem mais de 200 milhões de pessoas. Ali, cerca de 20% a 50% das terras estão degradadas. A degradação do solo é também severa na Ásia e na América Latina, assim como em outras regiões do globo. Na América Latina, mais de 516 milhões de hectares são afetados pela desertificação. Como resultado desse processo, perde-se 24 bilhões de toneladas por ano da camada arável do solo, o que afeta negativamente a produção agrícola e o desenvolvimento sustentável.”

A necessidade de atuar para combater a desertificação é de extrema urgência por se tratar de um fenômeno dinâmico que afeta ecossistemas, fauna, flora e a sociedade. A metodologia utilizada para a avaliação do Parque Nacional de Khnifiss retrata uma maneira

rápida, de baixo custo e com confiabilidade de analisar o fenômeno ao longo do tempo, podendo ser perfeitamente aplicada em outras áreas que sofram da desertificação.

Khniçiss é um exemplo específico de desertificação causada, a princípio, pelo clima da região. Uma vez que não existe significativo impacto antrópico, a região funciona como um laboratório a céu aberto de maneira que permite a compreensão do viés climático na desertificação. No caso de outras áreas, como o nordeste do Brasil, cuja desertificação é causada pela má utilização do solo e/ou sobreexploração, somam-se aos fatores climáticos o impacto humano, que também devem ser levados em considerações em análises desse tipo. Para essas situações, a pobreza e a insegurança alimentar são ao mesmo tempo causa e consequência para a degradação do solo. Nesses casos especificamente, em que o viés social assume especial destaque, o desenvolvimento e/ou aprimoramento de metodologias que auxiliem na gestão ambiental se torna de grande importância e necessidade, principalmente frente às mudanças climáticas e ao desenfreado crescimento populacional.

8. REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, L. J. DE O. et al. **O papel do sensoriamento remoto na avaliação e no monitoramento dos processos de desertificação do semi-árido brasileiro** Anais - I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. **Anais...**Aracaju: Rede Sergipe de Geotecnologias, 2002
- ANDRADE, K. DE S.; FEITOSA, P. H. C.; BARBOSA, M. P. **Sensoriamento remoto e sig na identificação de áreas em processo de desertificação no município de Serra Branca – PB: estudo de caso** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Florianópolis: INPE, 2007
- ANH, H. V.; WILLIAMS, M.; MANNING, D. Remote-sensing monitoring of desertification using ASTER and ENVISAT ASAR: case study at semi-arid area of Vietnam. **Civil Engineering**, v. 1996, 2006.
- BRASIL. **Agenda 21 - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1992.
- BRASIL. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca: PAN-Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.
- COLLADO, A. D.; CHUVIECO, E.; CAMARASA, A. Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina. **Journal of Arid Environments**, v. 52, n. 1, p. 121–133, 2002.
- CUI, G. et al. Desertification monitoring by LANDSAT TM satellite imagery. **Forest Science and Technology**, v. 7, n. 3, p. 110–116, 2011.
- DAI, A.; TRENBERTH, K. E.; QIAN, T. A Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming. **Journal of Hydrometeorology**, v. 5, n. 6, p. 1117–1130, 2004.
- DANTAS, C. C. G. **Gestão ambiental: um estudo sobre a percepção do problema da desertificação no estado do Rio Grande do Norte**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.
- DAWELBAIT, M.; MORARI, F. Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. **Journal of Arid Environments**, v. 80, p. 45–55, 2012.
- ELRAEY, M. **Impact of Climate Change: Vulnerability and Adaptation of Coastal Areas** Report of the Arab forum for Environment and Development. Beirut: [s.n.].
- ESA. **DesertWatch**. [s.l: s.n.].
- GUO, M.; LI, X. Monitoring sandy desertification of Minqin oasis, northwest China by remote sensing and GIS. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, v. 1, p. 206–209, 2005.
- HADEEL, A. S.; JABBAR, M. T.; CHEN, X. Application of remote sensing and GIS in the study of environmental sensitivity to desertification: A case study in Basrah Province, southern part of Iraq. **Applied Geomatics**, v. 2, n. 3, p. 101–112, 2010.
- HAMMADA, S. **Etudes sur la végétation des zones humides du Maroc**. [s.l.] Université Mohammed V – Agdal, 2007.
- HARE, F. K. et al. **Desertificação: causas e consequências**. 1ª Ed. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.
- HILL, J. **Técnicas de detecção remota para controlo da desertificação**. Lisboa: LUCINDA

- project/UNCCD, 2007.
- HUETE, A. et al. MODIS_MOD13_NDVI_referenc. v. 83, p. 195–213, 2002.
- IDARDARE, Z. et al. Metal concentrations in sediment and *Nereis diversicolor* in two Moroccan lagoons: Khnifiss and Oualidia. **Chemistry and Ecology**, v. 24, n. 5, p. 329–340, 2008.
- IDRISSI, J. L. et al. Organisation et fonctionnement d'un écosystème côtier du Maroc : la lagune de Khnifiss. **Revue des sciences de l'eau**, v. 17, n. 4, p. 447–462, 2004.
- IPCC. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. In: MCCARTHY, J. J. (Ed.). **Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- LIMA, R. D. C. C. **Avaliação do processo de desertificação no semiárido paraibano utilizando geotecnologias**. [s.l.] Universidade Estadual da Paraíba, 2010.
- LIMA, R. D. C. C.; CAVALCANTE, A. D. M. B.; MARIN, A. M. P. **Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.
- MATALLO, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas**. Brasília: UNESCO, 2001.
- NIANG, I. et al. Africa. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2014. p. 1199–1265.
- PALMER, W. C. **Meteorological Drought** U.S. Weather Bureau, Res. Pap. No. 45, 1965. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf>>
- PEREIRA, A. C.; PASCHOAL, S.; ARAUJO, P. C. DE. Análise espaço-temporal da desertificação no semiárido do Nordeste do Brasil através de imagens de satélite LANDSAT 5. **Sociedade e Território**, v. 26, n. 2, p. 181–196, 2014.
- PETTA, R. A.; OHARA, T.; MEDEIROS, C. **Desertification studies in the brazilian Northeastern areas with gis database** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. **Anais...**Goiânia: INPE, 2005
- RADHOUANE, L. Climate change impacts on North African countries and on some Tunisian economic sectors. **Journal of Agriculture and Environment for International Development**, v. 107, n. 1, p. 101–113, 2013.
- REED, M. S.; STRINGER, L. C. **Impulse Report. Climate change and desertification: Anticipating, assessing & adapting to future change in drylands**. Cancún: UNCCD, 2015.
- SCOTT, L. **Climate variability and climate change: implications for chronic poverty**. Manchester: Chronic Poverty - Research Centre, 2008.
- SILVA, H. P. DA; RIBEIRO, M. R.; MELO, I. C. DE L. G. H. D. BEZERRA DA S. A. L. DE. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na identificação de áreas sob risco de desertificação no estado de Pernambuco** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...**Curitiba: INPE, 2011
- TRAMBLAY, Y. et al. Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco. **Global and Planetary Change**, v. 82–83, p. 104–114, 2012.
- UNCCD. Desertification a visual synthesis. p. 3–50, 2013.