

## A GESTÃO AMBIENTAL DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA LAGOA DE KHNIFISS (MARROCOS)

Juliana de Sousa Nogueira (\*), Marco Aurélio Passos Louzada, Heitor Evangelista da Silva, Luciane Silva Moreira, Abdelfettah Sifeddine

\*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ), *campus* Nilópolis, Rio de Janeiro; Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro. E-mail: junogueira@id.uff.br .

### RESUMO

O termo desertificação refere-se à degradação da terra em áreas áridas, semi-áridas e subúmidas resultante de diversos fatores, incluindo variações climáticas e atividades antrópicas. Mais de 110 países, incluindo o Brasil, possuem áreas com risco potencial de iniciar o processo de desertificação. Tratando-se de áreas vulneráveis naturalmente em que a população seria afetada diretamente pelo agravamento da desertificação, a gestão ambiental tem o importante papel de atuar como um suporte na prevenção e combate à desertificação. 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 sensoriamento remoto é uma ferramenta amplamente utilizada para fazer o levantamento e reconhecimento de áreas em processo de desertificação. 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. 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 cita-se o índice de vegetação derivado de imagens de satélite, chamado de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). Este trabalho objetivou avaliar o uso do NDVI, obtido através de imagens de satélite, no acompanhamento do processo de desertificação, utilizando a Lagoa de Khnifiss, no sul do Marrocos, como laboratório de estudo. Para tal, foram obtidas seis imagens de satélite sobre a região de interesse desde a década de 80 que foram tratadas para NDVI. Complementarmente foi avaliado o índice de Índice de Severidade de Seca de Palmer para o local de estudo a fim de validar a metodologia proposta. Os resultados preliminares aqui apresentados sugerem que é possível observar uma correlação entre os valores de PDSI e a resposta da vegetação traduzida através do mapa temático de NDVI da Lagoa. Desta maneira, o desenvolvimento dessa metodologia poderá permitir o estudo do processo de desertificação ao longo do tempo de forma acessível e confiável, uma vez que são utilizados índices recomendados, além das imagens de satélites, disponibilizados gratuitamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desertificação, sensoriamento remoto, NDVI.

### INTRODUÇÃO

Segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (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. Quando a degradação ocorre em drylands, frequentemente são criadas condições desérticas (op. cit.). A degradação de terra ocorre em todo lugar, mas a mesma somente é definida como desertificação quando ocorre nas terras secas (drylands). 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).

As regiões áridas e semiáridas, ~1/3 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. No Brasil, as Áreas Suscetíveis à Desertificação ocupam 969.589,4 km<sup>2</sup> (11% do território brasileiro e 55,25% do Nordeste) e abrangem o semiárido, subúmido seco e áreas de entorno, atingindo

diretamente 30 milhões de pessoas (SANTANA, 2007). Segundo o INSA (Instituto Nacional do Semiárido) “a desertificação e as mudanças climáticas no semiárido brasileiro são problemas interligados de dimensões globais que devem ser discutidos conjuntamente a fim de obter soluções para mitigação e adaptação aos mesmos” (LIMA; CAVALCANTE; MARIN, 2011).

Atualmente, 87,39% da área do Marrocos constituem zonas criticamente sensíveis ao processo da desertificação, abrangendo aproximadamente 13.465.000 habitantes (fig. 1). O sul do Marrocos, onde se localiza a área de estudo, apresenta poucos estudos sobre esse fenômeno, se comparado com o norte do país. A área recebe uma precipitação anual de aproximadamente 20 mm e apresenta uma taxa potencial de evaporação anual de 475 W/m<sup>2</sup> (dados NCEP/NCAR Reanalysis).

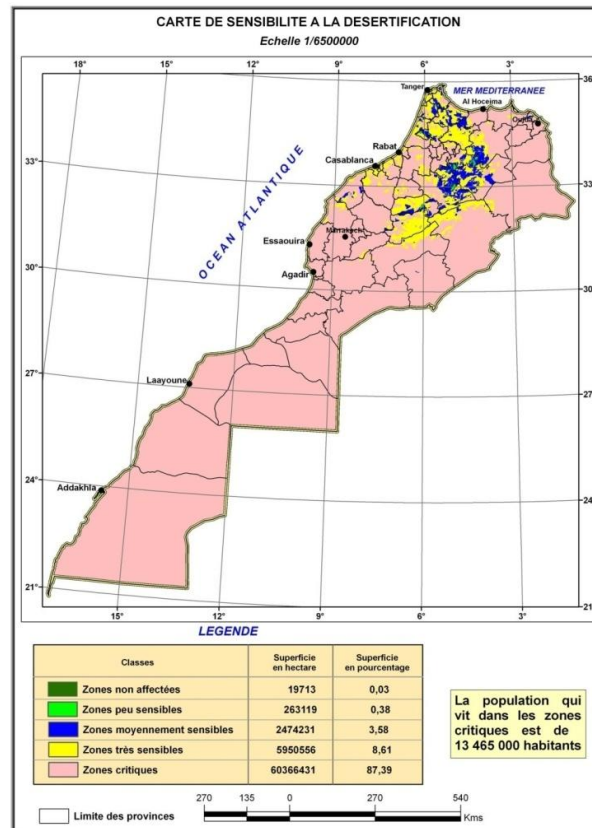


Figura 1: Mapa da sensibilidade a desertificação do Marrocos. Fonte: *Système de Circulation de l'Information sur la Désertification*, disponível em < <http://www.scid.ma/>>.

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). As lagoas são sistemas naturais com alta produtividade, embora altamente suscetíveis a impactos seja de ordem natural ou antrópica. A lagoa de Khnifiss é classificada como uma reserva biológica permanente e ecológica de grande importância natural e sócio-cultural (IDRISSI et al., 2004). Pelo fato de ser distante de atividades antrópicas e estar localizada dentro de um parque natural protegido, a Lagoa de Khnifiss se apresenta como potencial laboratório para o estudo do processo de desertificação.

Tratando-se de áreas vulneráveis naturalmente em que a população seria afetada diretamente pelo agravamento da desertificação, a gestão ambiental tem o importante papel de atuar como um suporte na prevenção e combate à desertificação. Entretanto, para tal, é necessário que se tenha como base o status atual do processo no local estudado, delimitando assim um panorama presente e a partir de tal, buscar soluções para mitigar, prevenir e combater os efeitos da desertificação tanto em questão social como natural.

Nesse sentido, torna-se vital a correta mensuração e acompanhamento ao longo do tempo do processo de desertificação, de modo a levar a um entendimento de sua evolução e um possível prognóstico, possibilitando a correta gestão ambiental do meio. Contudo, 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; MATALLO JÚNIOR, 2001). 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 sensoriamento remoto é uma ferramenta amplamente utilizada para fazer o levantamento e reconhecimento de áreas em processo de desertificação. 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, se torna possível seguir as mudanças no tempo e no espaço ao longo de largos períodos de tempo. 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 cita-se o índice de vegetação derivado de imagens de satélite, chamado de Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN), aqui referido como sua sigla em inglês NDVI.

## OBJETIVO

Este trabalho objetivou avaliar o uso do NDVI, obtido através de imagens de satélite, no acompanhamento do processo de desertificação ao longo do tempo, utilizando a Lagoa de Khnifiss, no sul do Marrocos, como laboratório de estudo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A lagoa de Khnifiss (fig. 2), ao Sul do país e distante de tais atividades, é classificada como uma reserva biológica permanente e ecológica de grande importância natural e sócio-cultural (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 invernada de aves migratórias. A lagoa de Khnifiss (28°02'54"N, 12°13'59"W), com 20 km de comprimento e 65 km<sup>2</sup> de superfície, 5 a 6 metros de profundidade e está localizada na costa atlântica do Marrocos, à 170 km da cidade de Laâyoune.

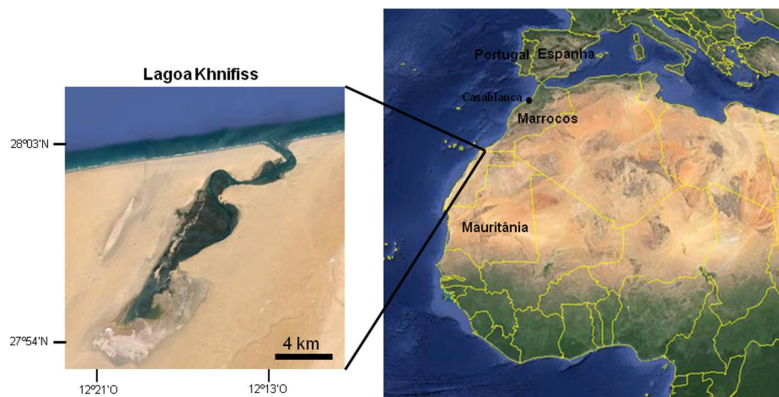


Figura 2:

geográfica da Lagoa de Khnifiss. Adaptado de Google Earth.

Posição

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 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>>. 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, em Dezembro de 1904. Os valores para esta variável podem ser classificados conforme demonstrado na tabela 1.

**Tabela 1. Classificação e interpretação do PDSI. Fonte: Dai, Trenberth e Qian, 2004.**

PDSI	Interpretação
-4 ou menor	Extremamente seco
-3 a -3,9	Seca severa
-2 a -2,9	Seca moderada
-1,9 a 1,9	Próximo do normal
2 a 2,9	Mais úmido que o normal
3 a 3,9	Muito úmido
4 ou maior	Extremamente úmido

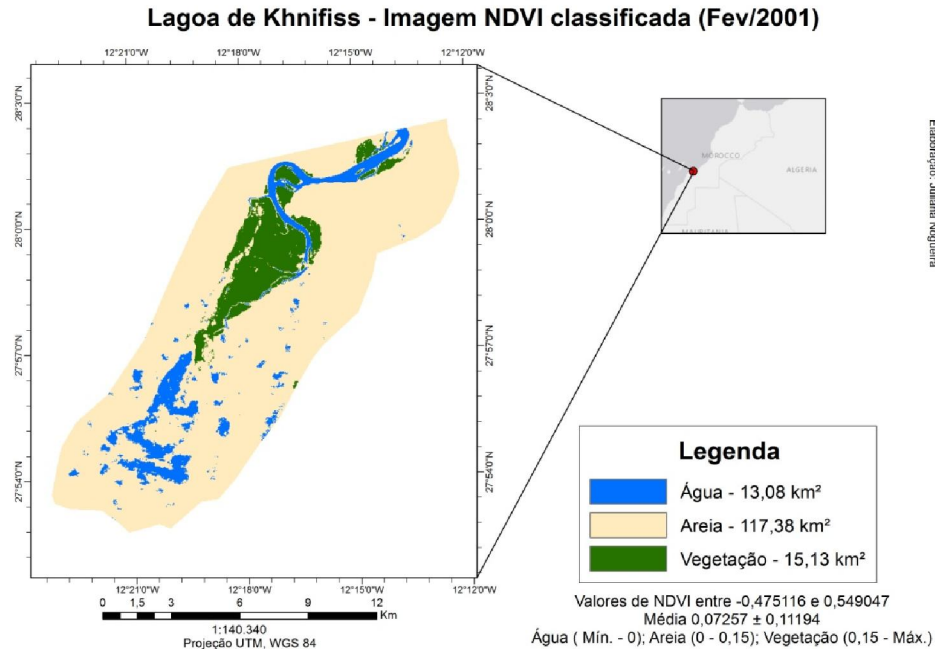
Para o sensoriamento remoto do entorno da lagoa, visando estudar a evolução temporal do índice de aridez regional, foi utilizado o índice NDVI, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, baseado em imagens do satélite LANDSAT-5 TM, LANDSAT-7 ETM e LANDSAT-8 OLI\_TIRS disponíveis gratuitamente em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. 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 e saúde da vegetação.

A proposta é analisar os resultados do PDSI e selecionar os anos de maior umidade e maior seca, de forma a comparar e validar o uso do NDVI como indicativo de seca e do processo de desertificação. As imagens serão utilizadas de acordo com a disponibilidade e condição meteorológica (baixa cobertura de nuvens), de forma a representar períodos secos e períodos úmidos. As imagens serão 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 utilizando o mesmo software e classificação das respostas utilizando o *software* ArcGis®.

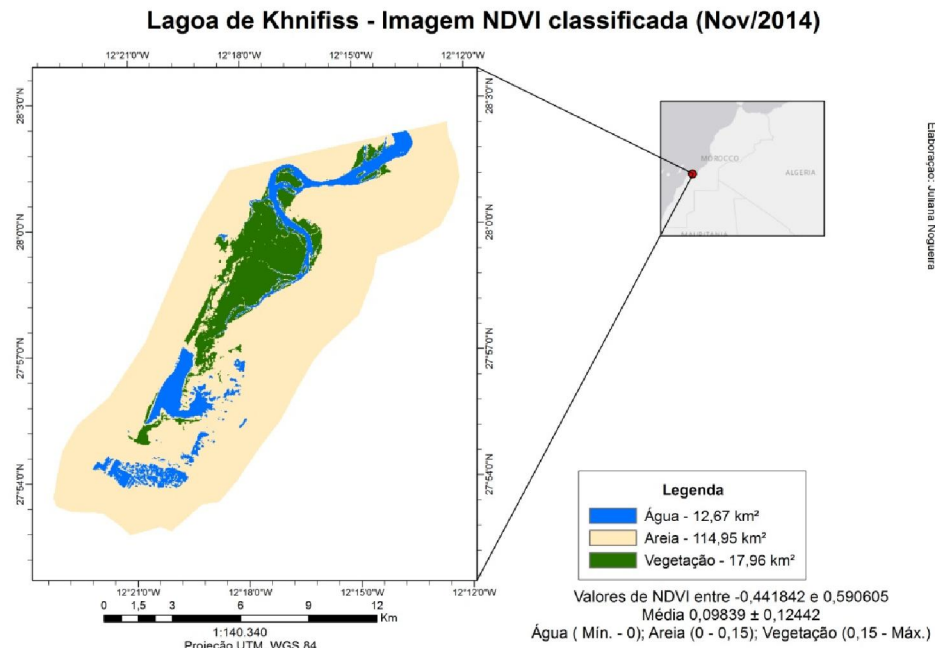
## RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que como resultado sejam gerados gráficos como o demonstrado na figura 3, que foram classificados de acordo com o NDVI e validados segundo o valor de PDSI. No mapa da figura 3, correspondente ao mês de Fevereiro de 2001, o valor de PDSI foi de -4,94, caracterizando um período extremamente seco. Como consequência, observa-se uma média de NDVI de  $0,07257 \pm 0,11194$ , caracterizando uma baixa resposta espectral devido à menor quantidade de vegetação associada à baixa umidade, principalmente devido ao fato que a vegetação presente no local é aquática ou semi-aquática. Assim, neste período a área ocupada pela vegetação corresponde a 15,13 km<sup>2</sup> e pela água 13,08 km<sup>2</sup>, somando 28 km<sup>2</sup> de área alagada. Já na figura 4, podemos ver um exemplo de uma imagem de um período classificado extremamente úmido, com PDSI igual a 7,33 para o mês de novembro de 2014. Para este período o valor de NDVI médio foi de  $0,09839 \pm 0,12442$  e a área ocupada pela vegetação foi de 17,96 km<sup>2</sup> e pela água 12,67 km<sup>2</sup>, somando 30,63 km<sup>2</sup> de área alagada.

Assim, percebe-se que há uma diferença de aproximadamente 3 km<sup>2</sup> de área de vegetação para uma situação mais úmida na região e que há, portanto, uma possível correlação entre o PDSI e a resposta da vegetação, traduzida através do NDVI.



**Figura 3: Mapa temático de NDVI para a Lagoa de Khnifiss no mês de Fevereiro de 2001. Fonte: Autora do Trabalho.**



**Figura 4: Mapa temático de NDVI para a Lagoa de Khnifiss no mês de Novembro de 2014. Fonte: Autora do Trabalho.**

Visto a carência de métodos objetivos e com relativa confiabilidade para a avaliação da desertificação, espera-se que a metodologia aqui proposta para o Marrocos seja passível de aplicação para o estudo nas áreas sujeitas a esse processo no Brasil, uma vez que se trata de métodos de baixo custo e precisos.

## CONCLUSÃO

Segundo Matallo Júnior (2001), as conclusões a respeito da desertificação apresentam alto grau de subjetividade e baixa confiabilidade técnica, 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.

A metodologia aqui proposta engloba a utilização de índices recomendados e confiáveis para a análise da vegetação na Lagoa de Khnifiss, visando obter informações a respeito da dinâmica do ecossistema ao longo do passado recente através do acompanhamento da evolução da vegetação aquática e semi-aquática da mesma. Assim, os resultados e métodos propostos para análise da evolução do ecossistema de Khnifiss poderão servir como estudo de caso de meios de obtenção e compreensão de informações que possam permitir avaliar as respostas de ecossistemas com risco de desertificação aos impactos decorrentes da variabilidade do clima ou até mesmo da pressão antrópica. Dessa maneira, 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.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. IDRISSE, 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.
6. 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.
7. MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas.** Brasília: UNESCO, 2001.
8. REED, M. S.; STRINGER, L. C. Impulse Report. **Climate change and desertification: Anticipating, assessing & adapting to future change in drylands.** Cancún: UNCCD, 2015.
9. SANTANA, M. O. **Atlas das áreas suscetíveis à desertificação do Brasil.** Brasília: MMA, 2007.
10. UNCCD. **Desertification a visual synthesis.** p. 3–50, 2013.