

Abordagem multiescala para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação

VITOR CELSO DE CARVALHO

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil
vitor@ltid.inpe.br

Abstract For a long time a multiscale approach has been proposed to assist the control of the desertification process. Based on the experience acquired, a standardization of this approach is intended. In order to do that, a typology of the desertification indicators and the ecological observation levels (reference space-temporal scales) were defined. For each observation level four procedures were observed: definition of the space-temporal scales; justification of the use of remote sensing techniques; examples of sensor systems and indicators of desertification, which are best suited for this application. It is concluded that, there is not yet a set of universally accepted and operationalized indicators, using or not of multiscale remote sensing, which allows the monitoring of this active, dynamic and global problem of dry lands degradation.

Keywords: remote sensing, multiscale, monitoring, degradation, desertification, indicators, space-temporal scales.

Introdução: a sistematização de um sistema de monitoramento multiescalar.

Apesar do muito que já se foi escrito sobre o conceito de desertificação, cabe ainda lembrar que, este é um processo particular de degradação de terras secas (limitado conceitualmente às zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas). Degradação essa provocada, fundamentalmente, pela ação descontrolada do homem sobre ambientes secos. Estima-se que, mais de um terço da limitada superfície agricultável do planeta esteja submetida a esse processo, dificilmente reversível, que progride inexoravelmente em todos os continentes.

Numerosas proposições vêm sendo feitas para o controle desse processo e recuperação dessas áreas degradadas. Um passo fundamental neste sentido é o monitoramento de toda essa superfície de risco ambiental. Evidentemente, para isso, é recomendado o uso de uma abordagem multiescala por sensoriamento remoto. Essa abordagem permitiria a visão do todo e das partes de uma forma dinâmica e compatível com as necessidades de informação e as disponibilidades de tempo e de recursos.

Diante da complexidade do processo de desertificação procura-se, a bastante tempo, indicadores ambientais que permitam identificar, caracterizar e quantificar, a destruição provocada pela atividade antrópica descontrolada. Muitos indicadores e índices de desertificação foram propostos e utilizados em diversos estudos, mas ainda não se chegou a um sistema que seja aplicável à todas as necessidades. Em geral, eles são visto sob pontos de vista limitados em termos de representação espacial e temporal. Na realidade, apesar de ser muito recomendada, falta na literatura consultada, uma aproximação operacional desta abordagem multiescala desse processo.

A grande meta desta análise é chegar a esse sistema de monitoramento multiescalar do processo de desertificação. Neste sentido, estrutura-se uma concepção integrada e dinâmica dos principais indicadores passíveis de serem observados por intermédio do sensoriamento remoto. Parte-se da premissa que, as informações obtidas por sistemas sensores nos diferentes níveis de observação são complementares e integradas, partes de uma mesma realidade. A partir de uma breve análise das tipologias consolidadas para a definição dos indicadores de desertificação e dos níveis de percepção ecológica, avalia-se para cada um deles a melhor abordagem metodológica para se chegar à meta pretendida.

1. A análise dos indicadores de desertificação para cada nível de percepção ecológica.

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento integrado do processo de desertificação, apoiado fundamentalmente nas tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informação (SGI), passa pela busca da melhor combinação de numerosas abordagens que se complementam à partir de uma visão holística. Numerosos estudos vêm apontando nesta direção, dentre os quais pode-se mencionar os de Verstappen (1979), Barnsley & Curran (1990); Verstraete and Pinty (1991); Kelmelis (1993); Coltrinari (1994); Imeson (1996) e Bolle (1998). Por essa abordagem, a escolha metodológica e dos indicadores do processo, vão variar em função das escalas espaciais e temporais, porém, sem perder de vista a sua complementaridade.

Muitos indicadores e índices de desertificação foram propostos e uma extensa lista deles pode ser encontrada, por exemplo, em Reining (1978), Rodrigues (1984) e Matallo-Jr. (1996). Procurando organizar esse amplo conjunto de indicadores, muitas tipologias foram desenvolvidas (Berry and Ford, 1977; Mabbutt, 1986), convergindo num sentido geral para as classes de indicadores **físicos** (climáticos, hidrológicos, geomorfológicos, edafológicos), **biológicos** (flora e fauna), **agronômicos** (agrícolas, pecuários) e **sócio-econômicos** (ocupação/uso da terra, urbanização, população). Desses indicadores, alguns mostraram-se susceptíveis de serem percebidos por intermédio de técnicas de sensoriamento remoto, como assinalam Pouget (1989) e Cammeraat (1998).

Numerosas tipologias foram também propostas para caracterizar os diferentes níveis de percepção ecológica que podem ser tomados como referência para os estudos de desertificação. Essa tipologia é necessária para simplificar a complexidade envolvida na apreensão desta problemática e se ter uma percepção integrada das partes indissociáveis e interativas do todo. Segue-se aqui aquela desenvolvida por Long (1969) em cinco níveis de observação ou percepção ecológica, do mais amplo (global) ao mais particular (estacional).

1.1 Nível de Percepção Global.

Nesta escala global podem ser percebidos aspectos ecológicos relacionados ao **clima**, que é condicionado sobretudo pela *latitude, a altitude, a distância dos oceanos e a circulação geral da atmosfera*. Acredita-se que o processo de desertificação nesse nível vai se refletir particularmente a longo prazo (**escalas temporais** superiores a décadas – centenárias ou milenárias), provocando mudanças e impactos ambientais, que normalmente podem ser expressos numa **escala espacial** superior a 1:10.000.000 (Long, 1969; Tarifa, 1994).

Inegavelmente, com os métodos tradicionais, é praticamente inviável realizar a tarefa de monitorar toda a superfície terrestre nesta escala. Devido sobretudo aos elevadíssimos custos decorrentes e às enormes dificuldades logísticas envolvidas na coleta, processamento e análise dos dados. Para auxiliar esse trabalho ao nível de **levantamento esquemático**, conta-se, desde à década de sessenta, com sistemas sensores remotos orbitais que observam toda uma **superfície continental**, numa única imagem, com **resolução espacial quilométrica**.

Essas imagens continentais são normalmente obtidas por satélites colocados numa órbita geoestacionária, à uma altitude elevada, da ordem de milhares de quilômetros, adequadas para um estudo climático global: balanço de energia, desertificação, etc. (Verger, 1995). Porém, apesar de serem obtidos a uma **alta frequência temporal** (até várias vezes num mesmo dia), esses dados orbitais são seriamente limitados em termos das longas séries temporais necessárias para a correta compreensão desses fenômenos globais. Na realidade, todos os dados científicos disponíveis para esses estudos apresentam essas limitações e importantes lacunas, tornando o conhecimento desta dinâmica incompleto e falso (Van der Leeuw, 1998). Dos instrumentos operacionais disponíveis cabe destacar as **imagens AVHRR/NOAA** (Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration) e as imagens **VGT/SPOT-4** (VEGETATION/Système Pour l'Observation de la Terre).

Nesta escala global é hoje incontestável que o clima está intimamente associado com a natureza, o tipo e a extensão da cobertura vegetal do solo. Portanto, os efeitos das mudanças climáticas podem ser percebidos por uma resposta mais lenta da vegetação às chuvas, por uma redução da fitomassa (índice de vegetação) ou pelo desaparecimento da cobertura vegetal (albedo), que constituem diferentes estágios de degradação da terra, caracterizando o processo de desertificação. Mas, para se distinguir o processo de desertificação de anomalias climáticas, é necessário o monitoramento a longo prazo das condições atmosférico-oceânicas, ligadas ao processo de circulação geral da atmosfera.

O **albedo** vem sendo identificado, desde o início do estudo sistemático do processo de desertificação (Hare, 1977), como o parâmetro mais significativo para o seu monitoramento (Roller et al., 1985; Valiente et al., 1995). Porém, mudanças de albedo podem ser provocadas por diversos fatores físicos e biológicos, não direta e necessariamente ligados ao processo de desertificação (Hill et al., 1996; Bolle, 1998). Também, é fundamental a interpretação dos resultados por intermédio de modelos numéricos envolvendo os parâmetros climáticos relacionados a essa medida (Hastings & Di, 1994). Porém, a etapa de integração dos dados obtidos em modelos preditivos e em sistemas de monitoramento de mudanças e impactos, exige sistemas informatizados operacionais, o que ainda apresenta alguns problemas.

1.2 Nível de Percepção Regional.

Neste nível de observação, o comportamento dos ambientes regionais é controlado por parâmetros como o relevo (forma, orientação e exposição), a frequência, o regime e a sazonalidade dos sistemas atmosféricos. O levantamento e o acompanhamento deste processo regional vem sendo, e deve ser feito, numa **escala espacial** que varia de maior do que 1:10.000.000 a 1:1.000.000. As observações e medidas de indicadores devem ser feitos em **escalas temporais** da ordem de grandeza de décadas a anos (Long, 1969; Tarifa, 1994).

Da mesma forma que no nível anterior, pode-se aqui afirmar que é praticamente inviável realizar a tarefa de monitorar toda uma região seca da superfície terrestre com os meios convencionais. Por outro lado, ainda não se dispõe de um sistema de sensoriamento remoto efetivamente operacional para o levantamento compatível com este nível de percepção. As soluções apresentadas recomendam ou utilizam satélites em órbita polar ou equatorial em altitudes em torno dos 1.000 Km, produzindo imagens de grandes **superfícies regionais com resolução espacial centométrica e altas frequências temporais**, da ordem de grandeza de uma vez por semana. Essas imagens permitiriam estudos ao **nível exploratório**, de áreas definidas no plano global como em estado de desertificação (Verger, 1995). Mais do que no nível global, as limitações de longas séries temporais de dados e lacunas de conhecimento são aqui maiores, mesmo nas áreas mais conhecidas do planeta.

Até recentemente, esses estudos regionais eram realizados quase exclusivamente com dados do **sistema Landsat**, o que demandava uma grande quantidade de recursos humanos e materiais e uma certa limitação em termos de cobertura total e de repetição do trabalho (Alves et al., 1992). Atualmente, esforços estão sendo direcionados no sentido de se utilizar os mesmos **produtos AVHRR/NOAA**, mencionados no nível global, com a sua resolução máxima (1 km²) (Achard & Blasco, 1990). No entanto, novas perspectivas se abriram neste cenário com o lançamento em março de 1988, do terceiro satélite indiano da série **IRS-Indian Remote Sensing Satellite**. O Brasil caminha nesta mesma direção, através do seu programa espacial, com o lançamento do **CBERS - China-Brazil Earth Remote Sensing Satellite**, e do **‘Satélite de Sensoriamento Remoto-SSR’**.

Os elementos chaves para o estabelecimento de indicadores de desertificação regionais, com o uso de sensoriamento remoto são, o **uso e a erosão do solo** (Hill et al., 1995; Lacaze et al., 1996; Sommer, 1997). Esses elementos estão intimamente relacionados entre si e com os fatores ambientais condicionantes. As tendências de retração, expansão, atenuação ou intensificação das diferentes grandes categorias de uso da terra, deverão ser avaliadas em conjunto com os padrões de intensidade do processo de erosão para estimar o grau de desertificação (Hill et al., 1996; Lacaze et al., 1996). No momento estão sendo avaliados **índices de vegetação e de brilho**, para o diagnóstico das atividades biológicas no tempo (Bolle, 1996). Mas, o problema fundamental para o uso desses indicadores está na separação das influências dos fatores exógenos e endógenos sobre a reflectância geral (Lacaze, 1996). Apesar da experiência acumulada e dos avanços nos últimos anos, ainda são necessárias pesquisas para conceituar melhor os indicadores e otimizar os procedimentos metodológicos para permitir a generalização dos resultados neste nível regional.

1.3 Nível de Percepção Setorial.

A posição topográfica é a principal variável ecológica que controla os processos ambientais neste nível de percepção. Além dela, destacam-se certas características dos climas locais e dos tipos litológicos do substrato e as condições de exploração dos recursos biológicos. A observação dos indicadores selecionados deve ser feita em **escalas temporais** anuais ou, no máximo, sazonais. A expressão dos seus resultados deve se dar em **escalas espaciais** variando de maior do que 1:1.000.000 a 1:50.000 (Long, 1969; Tarifa, 1994).

Nas últimas décadas enfatizou-se as aplicações de produtos orbitais nesse nível de percepção. Apesar disso, a observação dos aspectos setoriais vem sendo intensificada nos últimos anos, com o lançamento de novos sistemas sensores. Colocados em órbitas quase-polares e altitudes entre 900 a 250 Km, esses sistemas de sensoriamento remoto orbitais são capazes de observar, com detalhes cada vez melhores, amplos **setores da superfície terrestre**, com uma **resolução espacial hectométrica ou decamétrica** (250-10 m) e uma **frequência mensal**, até mesmo semanal. Essas imagens permitem estudos ao **nível de mapeamento**, das áreas identificadas como em estado de desertificação no plano regional (Verger, 1995).

Conseqüentemente, as possibilidades de aplicação do sensoriamento remoto setorial para estudos de desertificação estão melhor avaliadas do que nos outros níveis. Isto decorre, em grande parte, devido ao programa de **satélites norte-americanos da série Landsat** (Land Remote Sensing Satellites), que entrou em operação no ano de **1972**. Dos novos sistemas destaca-se o **satélite francês SPOT** (Système Pour l'Observation de la Terre), lançado em 1986, o **satélite indiano IRS** (Indian Remote Sensing), lançado em 1988 e o **satélite sino-brasileiro CBERS** (Chine Brasil Earth Remote Sensing), lançado em 1999.

Alguns **indicadores de degradação do solo** foram propostos, como os índice de brilho e de vermelhidão de Bassisty et al. (1994) e os índice de erosão e índice de estabilidade do solo de Pickup and Chewings (1996). Porém, esses índices ainda apresentam limitações para sua aplicação operacional, como mostram os próprios autores e outros como Hill et al. (1996). As **mudanças na cobertura vegetal**, sobretudo na sua estrutura, se apresentam aqui como os indicadores mais sensíveis do processo de desertificação (Hellden and Stern, 1980; Carvalho, 1986; Hill et al., 1995). Índices de vegetação foram propostos para medir alguns de seus parâmetros biofísicos, p.e. fitomassa (Baret and Guyot, 1991; Price, 1992). Mas, como também afirmado por Ringrose and Matheson (1987) e Bassisty et al. (1994), esses índices têm-se mostrado de limitado valor para as condições secas, onde a influência do substrato da vegetação e condições de sombreamento é muito importante. **Mudanças nas formas de uso e manejo da terra**, podem ser transformadas em indicadores sócio-econômicos de desertificação, porém isto ainda não foi alcançado operacionalmente. A percepção dessas mudanças vem sendo feito por sensoriamento remoto (Ulbricht and Heckendorff, 1998), porém esforços ainda são necessários para essa aplicação (Kam, 1995).

1.4 Nível de Percepção Local

É neste nível local que a **ação do homem e dos animais** se faz sentir de forma bastante expressiva na paisagem natural. As outras variáveis ecológicas ativas neste nível são os fatores ligados à microtopografia do terreno e às variáveis edáficas, como por exemplo, o teor de água, porosidade e nutrientes do solo. Essas variáveis devem ser observadas numa **escala temporal** sazonal ou mensal e os seus resultados são normalmente expressos numa **escala espacial** que varia de mais do que 1:50.000 a 1:5.000 (Long, 1969; Tarifa, 1994).

Os sistemas de sensoriamento remoto aéreo, representam hoje um complemento viável e indispensável para todos os demais níveis de aquisição de dados sobre alvos de interesse variado na superfície terrestre. Como também, uma fonte impar de informações detalhadas, rápidas e precisas de muitos aspectos da realidade local, imprescindíveis para o levantamento e a gestão do

processo de desertificação. Sobrevoando áreas normalmente limitadas do terreno, variando sua altura em geral entre 800 a 150 Km, os sistemas sensores aerotransportados são capazes de oferecer produtos com **resoluções métricas ou decimétricas** (5-0.3 m). Do ponto de vista prático convencional, a frequência temporal desses levantamentos é muito baixa, da ordem de **anos**. Esses produtos permitem o inventário objetivo da ocupação das terras ao **nível de detalhamento** das parcelas cadastrais ou da parcela ecológica (Verger, 1995).

Os modernos sistemas disponíveis contam com sensores de elevadas performances tecnológicas, suficientemente minituarizados e portáteis, para serem adaptados aos mais diferentes tipos de plataformas e necessidades de aplicações. O apoio de sistemas auxiliares, como microcomputadores, radares altímetros, GPS e SIG's, lhes dão uma adequada precisão geométrica. Apresentam assim, um potencial quase ilimitado para os estudos de desertificação, com profundos impactos sobre a tecnologia de sensoriamento remoto espacial que caminha nesta mesma direção, com o planejamento e a produção de novos satélites comerciais de alta resolução espacial. Dentre eles pode-se mencionar os sistemas: **Modular Optoelectronic Multispectral Stereo Scanner (MOMS)**; **Indian Remote Sensing (IRS)**; **Airborne Imaging Spectrometer (AIS)**, o **Fluorescence Line Imager (FLI)**; **Advanced Solid State Array Spectroradiometer (ASAS)**; e o **Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)**.

O universo de aplicação do sensoriamento remoto para estudos de desertificação neste nível local é enorme, porém, também, ainda pouco operacionalizado. Por exemplo, a medida indireta de **parâmetros climáticos** locais, como evapotranspiração, radiação líquida e fluxo de calor no solo, vem sendo avaliada de forma sistemática desde a década de sessenta. Mas, Kustas et al. (1990), mostraram que, sobretudo para condições ambientais secas, as dificuldades para a medida desses parâmetros ainda eram consideráveis e muitas pesquisas ainda se faziam necessárias para o controle das variações encontradas, o que ainda é válido. De forma semelhante, a observação das características biológicas, físicas e químicas da **água**, com o apoio do sensoriamento remoto local, tem sido feita com sucesso desde a década de setenta (Lillesand et al., 1975), apesar de também ainda se observar algumas limitações (Driscoll, 1992; Harding-Jr et al., 1994). O mesmo pode ser dito sobre a avaliação dos processos de erosão do **solo** (Williams e Morgan, 1976; Scopel, 1988; Tengberg, 1995), bem como, servindo como porta de entrada de dados em modelos de estimativa de perdas de solos (Fernandez et al., 1996).

O uso de fotografias aéreas para o levantamento do **uso da terra** também vem sendo realizado a muito tempo (Richter, 1969), pela sua reconhecida vantagem técnico-econômica em relação ao trabalho *in situ*, sobretudo em termos dinâmicos e detalhamento-precisão em relação aos produtos orbitais. Por outro lado, eles não são recomendados para levantamentos de grandes áreas e com a frequência de tempo exigida para estudo neste nível de observação, quando as imagens orbitais de alta resolução são mais interessantes. Porém, não foi encontrado um trabalho que mostre claramente quais os parâmetros de uso da terra que devam ser utilizados individualmente ou de forma combinada como indicadores de desertificação. Os potenciais estão bastante explorados para a identificação e caracterização das feições do terreno cujas modificações no tempo podem indicar processos de desertificação, mas como? Nem sempre abandono significa desertificação. Expansão ou retração urbanas também podem ser medidas (Mack et al., 1995), mas quais relações podem ser estabelecidas entre elas e o processo de

desertificação? Da mesma forma, elas vêm sendo utilizadas para estudos de **vegetação**, sobretudo para aplicações florestais e manejo de pastagens. Na **área florestal**, medidas individuais de árvores, como diâmetros e alturas, vêm sendo feitas com boa precisão em plantios homogêneos (reflorestamentos), mas em povoamentos naturais essas medidas ainda estão muito limitadas, como mostrado entre outros por Driscoll (1992). No contexto de **manejo de pastagens**, que concerne mais diretamente aos estudos de desertificação, uma boa revisão sobre o assunto pode ser visto em Everitt et al. (1987), mas a definição dos indicadores ainda não foi consolidada operacionalmente.

1.5 Nível de Percepção Estacional.

A expressão máxima do processo de desertificação se faz sentir neste nível de observação. Aqui é possível a análise de fenômenos em **escalas espaciais** menores do que 1:5.000 e que, em geral, devem ser observados em **escalas temporais** mensais ou menores. Em **termos ambientais**, mesmo climático, é neste nível que a influência antrópica se faz sentir de forma mais intensa, principalmente no que tange às alterações nas propriedades físicas, geométricas e químicas na interface solo-planta-atmosfera (Long, 1969; Tarifa, 1994).

A coleta de dados *in situ* continua a ser uma etapa imprescindível para todos os estudos ambientais, incluindo-se aí os de desertificação. Porém, o uso do sensoriamento remoto no nível estacional, era considerado muito limitado até pouco tempo atrás. Dessas limitações, pode-se mencionar a baixa altitude e velocidade em que esses dados devem ser obtidos (Tarussov et al., 1996). Geralmente são realizados vôos amostrais com altitudes menores do que 150 km, oferecendo produtos com **resoluções decimétricas ou menores**, permitindo a observação de variáveis ao **nível de detalhamento**. Devido aos seus custos, a sua aplicação fica muito limitada a situações especiais e complementares, que justificam plenamente o seu emprego, inviabilizando na maioria das vezes, repetições freqüentes de levantamento.

Para superar essas limitações, procura-se integrar novas tecnologias aéreas e terrestres de sensoriamento remoto com diversos sistemas auxiliares de suporte e transmissão de dados, modelos ecológicos e dados de campo. Apesar dos muitos esforços realizados nesta última década neste sentido, ainda se pode afirmar que a tentativa de correlacionar os dados obtidos *in situ* com aqueles por sensoriamento remoto, ainda apresenta numerosas dificuldades práticas e conceituais (Steven, 1987; Barnsley and Curran, 1990). Visando diminuir a quantidade do trabalho de coleta de dados *in situ* e aumentar a sua velocidade, soluções tecnológicas inovadoras, tanto em relação aos sensores com alta resolução espacial e espectral, como às plataformas alternativas, estão sendo apresentadas por diversos autores. Dentre essas soluções, cabe destacar como as mais comuns e tradicionais, as **fotografias aéreas de pequeno formato** (35 e 70 mm), as **câmaras de vídeo**, os **imageadores lineares multibandas aerotransportados**.

Logo no início dos trabalhos voltados para o estudo da desertificação, manifestou-se a necessidade de se identificar indicadores estacionais que pudessem ser eficientemente controlados por um monitoramento do processo. Dentre as tentativas efetuadas cabe destacar as da UNCD (1977), Rodrigues (1984) e, particularmente, as de Pouget (1989) e Cammeraat (1998), que fazem uma análise dos indicadores de desertificação susceptíveis de serem percebidos por sensoriamento remoto. Desses indicadores pode-se destacar em termos dos **parâmetros climáticos**: radiação solar e líquida; temperatura seca e úmida; velocidade do vento;

precipitação horária e eventual. Em **termos hidrológicos**: quantidade total de sólidos dissolvidos na água, mudanças de fluxos de água e dos depósitos sedimentares nos canais de escoamento, profundidade do lençol freático, qualidade da água, descarga dos rios, umidade do solo, fluxo subsuperficial, água de escoamento e produção de sedimentos. Dos **indicadores pedológicos**: presença de crostas na superfície; profundidade efetiva do solo; capacidade de acumulação de água; modificações do aspecto; composição dos horizontes superficiais; estado da superfície; teor de matéria orgânica; reflectância relativa (albedo); grau de salinização e alcalinização; teor de pedregosidade e sua posição na superfície do solo, encrostamento, fendilhamento; compactação; permeabilidade da crosta. Dos **indicadores biológicos/agronômicos**: grau de cobertura e altura da vegetação; biomassa aérea e subterrânea; rendimentos; distribuição e frequência de espécies; produção de litiére; medidas sazonais de decomposição de litiére, índice de área foliar; organização e profundidade das raízes, queda e organização de folhas, produção primária, assinatura espectral, padrões e densidade de pastoreio, composição de espécies, atraso de germinação, e medidas esporádicas do padrão espacial da vegetação. Dentre os **indicadores sociológicos** (sócio-econômicos): distribuição espacial das implantações humanas (novas implantações; extensão das implantações e sedentarização, diversificação das implantações, abandono de certas implantações).

2 Considerações finais.

Apesar dos numerosos estudos realizados sobre o processo de desertificação, a sua compreensão é limitada, discutindo-se ainda conceitos e fundamentos básicos. O termo, desgastado por interesses políticos conflitantes, ainda não encontrou o seu espaço definitivo na comunidade científica. A discussão e conseqüente assinatura da Convenção Internacional para o combate à seca e à desertificação vem permitindo avanços consideráveis nos últimos anos. Porém, ainda não se dispõe de um quadro adequado do estado do processo de desertificação em não importa qual nível de observação definido. Ainda se faz confusão entre grau de susceptibilidade e efetividade do processo. Continua a busca da natural complementaridade entre ferramentas e conhecimentos pluri e interdisciplinares para o desenvolvimento metodológico.

Sem dúvida, o sensoriamento remoto é uma ferramenta imprescindível para o monitoramento e controle do processo de desertificação. Atualmente pode-se observar, praticamente todas as áreas susceptíveis, com sistemas sensores com níveis de resolução espaço-temporal adequados à maioria das situações. Com a rápida evolução tecnológica surgem novos sistemas de sensoriamento remoto se propondo a vencer alguma limitação identificada pela comunidade científica.

Por outro lado, a enorme quantidade de dados disponíveis exige um conhecimento técnico especializado para a seleção dos melhores, ou melhor, combinação de produtos, para cada tipo de aplicação desejada. Além disso, é fundamental assegurar uma continuidade de coleta de dados em longas séries temporais. Bem como, uma disponibilidade efetiva dos dados obtidos numa forma que possa ser facilmente utilizada e aplicada. Neste sentido, muito se ressentem de uma rede de banco de dados efetivamente operacional capaz de atender a demanda dos potenciais usuários.

Diante da miríade de informações necessárias e dados disponíveis é fundamental um sistema de processamento efetivamente operacional e amigável. Este sistema deverá ser capaz de permitir rápido processamento e disponibilidade de dados, de boa qualidade e de fácil incorporação em modelos de simulação, bem como, permitir fácil intercâmbio de dados e

resultados. Porém, cabe lembrar que a nossa capacidade técnica e operacional ainda não permite o adequado armazenamento, controle, recuperação e transferência desses dados.

Diante da complexidade do processo de desertificação é necessária uma abordagem multifacetada desta problemática ambiental. Neste contexto, a abordagem multiescalar é considerada como um ponto de partida fundamental. A aplicação efetiva desta abordagem ficou grandemente facilitada nos últimos anos com o desenvolvimento de Sistemas de Informações Geográficas, Modelos Numéricos de Simulação e Sistemas de Sensoriamento Remoto. Estes últimos, com crescente variedade de sensores e plataformas, fornecem informações dos mais variados tipos, faixas espectrais e escalas espaço-temporal.

Neste contexto multiescalar, é fundamental o consenso do meio científico para a padronização de conceitos e procedimentos. Esta padronização permitiria a generalização e extrapolação dos conhecimentos. Bem como, a operacionalização tão procurada de um sistema de monitoramento do processo de desertificação. A definição precisa de escalas e terminologias associadas, facilitaria sobremaneira a objetividade das pesquisas e a recuperação de informações e procedimentos, assim como, a comunicação dirigida entre os pesquisadores.

A questão de escalas é crucial, tanto para a generalização, como para a extrapolação e representatividade dos resultados encontrados. As diferenças de escalas temporais dos fenômenos, como por exemplo entre a expressão das mudanças climáticas e as mudanças nas atividades antrópicas, é tão grande que chega a impedir a apreensão do processo. Por outro lado, ao nível de detalhe, o número de variáveis a serem consideradas é tão grande, que impede a generalização dos resultados.

Para isso é fundamental a definição de um conjunto básico de indicadores que possam ser medidos de forma operacional, direta ou indiretamente, por intermédio do sensoriamento remoto. Apesar da identificação de quase cinco mil artigos sobre desertificação e a consulta às referências citadas e outras relacionadas à temática envolvida, ainda não foi possível definir esse conjunto de indicadores. As dificuldades ainda existentes para a quantificação desses índices apontam para soluções alternativas, onde o papel de modelos de simulação e a integração multiescala é fundamental.

À luz dessa pesquisa foram apresentados os caminhos mais viáveis, porém um esforço mais amplo da comunidade científica interessada nesta problemática é necessário para se chegar a um sistema efetivamente operacional. A soma de esforços convergindo para uma única direção é a possibilidade mais viável de se alcançar esse objetivo.

3 Agradecimentos.

Agradecemos o apoio da Fundação Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo- FAPESP pelo financiamento do programa de pós-doutoramento na Universidade de Toulouse II “Le Mirail”, Toulouse-França, que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

4 Bibliografia.

Achard, Frédéric & François Blasco (1990). Analysis of vegetation seasonal evolution and mapping of forest cover in West Africa with the use of NOAA AVHRR HRPT data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 56(10):1359-1365.

- Alves, D.S.; L.G. Meira-Filho; J.C.L. D'Alge; E.K. Mello; J.C. Moreira; J.S. Medeiros (1992). The Amazonia information system. In: International Symposium on Photogrammetry and Remote Sensing, 7, Washington-DC, Aug. 1992. **Archives**. Washington: ISPRS. p. 259-266.
- Azuara, P. and L. Hidalgo (1977). A study of suspended solids in the Requena Dam by remote sensing. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11., Ann Arbor-MI, 1977. **Proceedings**. Ann Arbor-MI: ERIM. p. 495-504.
- Baret, F. and G. Guyot (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, 35(2-3):161-173.
- Barnsley, M. & P.J. Curran (1990). The role of airborne remote sensing in terrestrial ecology. In: Annual conference of the remote sensing society on remote sensing and global change, University College Swansea, Swansea, 19-21 Sept. 1990. **Proceedings**. p. 12-18.
- Bassisty, E.; R. Maniere; S. Melzi (1994). Imagerie spatiale à haute résolution et inventaires des ressources naturelles renouvelables en zones arides méditerranéennes, Ain Oussera, Algérie. **Photo-interprétation** (France), 32(3-4):109-124.
- Berry, L. and R.B. Ford (1977). **Recomendations for a systems to monitor critical indicators in areas prone to desertification**. Worcester-USA: The Program for International Development- Clark University. 187p.
- Bolle, Hans-Jürgen (1996). The role of remote sensing in understanding and controlling land degradation and desertification process: The EFEDA research strategy. In: J. Hill and D. Peter, **The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the Mediterranean basin. State of the art and future research**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. p.45-77.
- Bolle, Hans-Jürgen (1998). **Remote sensing of Mediterranean desertification and environmental changes (Resmedes): Research results**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 39 p. (Final report, EUR 18352 EN).
- Cammeraat, L.H., comp. (1998). **The MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) field manual (Version 4)**. Berkshire, UK: MEDALUS Office. 116 p.
- Carvalho, V.C. (1986). **Structure et dynamique de la végétation en milieu tropical semi-aride. La caatinga de Quixabá (Pernambuco, Brésil): du terrain à l'analyse des données MSS/Landsat**. São José dos Campos-SP: INPE. 332p. (INPE-4049-RPE/524).
- Coltrinari, Lylían (1994). Geografía de los cambios globales: una geografía para el siglo XXI?. **Boletim Paulista de Geografia**, 73:7-15.
- Driscoll, R.S. (1992). Remote sensing, an invaluable ally for assessing and managing renewable natural resources. **GIS WORLD**, 5(4):66-69.
- Everitt, J.H.; D.E. Escobar; M.A. Alaniz; M.A.M Hussey (1987). Drought stress detection of buffelgrass with colour-infrared aerial photography and computer aided image processing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 53(9):1255-1263.
- Harding-Jr., L.W.; E.C. Itsweire; W.E. Esaias (1994). Estimates of phytoplankton biomass in the Chesapeake bay from aircraft remote sensing of chlorophyll concentrations, 1989-92. **Remote Sensing of Environment**, 49(1):41-56.

- Hare, F.K. (1977). Climate and desertification. In: **Desertification: its causes and consequences**. New York: Pergamon Press. p.63-168.
- Hastings, D.A. & L. Di (1994). Modeling of global change phenomena with GIS using the global change data base. I: Modeling with GIS. **Remote Sensing of Environment**, 49(1):1-12.
- Hellden, Ulf and Mikael Stern (1980). Evaluation of Landsat imagery and digital data for monitoring desertification indicators in Tunisia. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 14th, **Proceedings**, San Jose, Costa Rica, Apr. 23-30, 1980. Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan. Vol.3: p.1601-1610.
- Hill, J.; J. Megier; W. Mehl (1995). Land degradation, soil erosion and desertification monitoring in Mediterranean ecosystems. **Remote Sensing Reviews**, 12(1-2):107-130.
- Hill, J.; S. Sommer; W. Mehl; J. Megier (1996). A conceptual framework for mapping and monitoring the degradation of Mediterranean ecosystems with remote sensing. In: J. Hill and D. Peter, **The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the Mediterranean basin. State of the art and future research**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. p.23-43.
- Imeson, Anton C. (1996). Desertification research - Thematic issues and spatial and temporal scaling. In: J. Hill and D. Peter, **The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the Mediterranean basin. State of the art and future research**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. p 1-7.
- Kam, Tin-Seong (1995). Integrating GIS and remote sensing techniques for urban land-cover and land-use analysis. **Geocarto International**, 10(1): 39-49.
- Kelmelis, John A. (1993). Terrestrial process research using a multi-scale geographic approach. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 59(6):971-976.
- Kustas, W.P.; B.J. Choudhury; Y. Inoue; P.J. Pinter-Jr.; M.S. Moran; R.D. Jackson; R.J. Reginato (1990). Ground and aircraft infrared observations over a partially vegetated area. **International Journal of Remote Sensing**, 11(3):409-427.
- Lacaze, Bernard (1996). Spectral characterisation of vegetation communities and practical approaches to vegetation cover changes monitoring. In: J. Hill and D. Peter, **The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the Mediterranean basin. State of the art and future research**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. p.149-166.
- Lacaze, B.; V. Caselles; J. Hill ; C. Hoff; S. de Jong; W. Mehl; J.F.W. Negendank; H. Riezebos; E. Rubio; S. Sommer; J. Texeira-Filho; E. Valor. (1996). **Integrated approaches to desertification mapping and monitoring in the mediterranean basin: Final report of the DeMon-1 Project**. Bruxelles, Belgique: Joint Research Centre/European Commission. 176p. (EUR 16448 EN).
- Lillesand, T.M.; F.L. Scarpace; J.P. Clapp (1975). Water quality in mixing zones. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 41(3):285-298.
- Long, Gilbert (1969). Conceptions générales sur la cartographie biogéographique intégrée de la végétation et de son écologie. **Annales de Géographie**, 427(78):257-285.
- Mabbutt, J.A. (1986). Desertification indicators. **Climatic Change**, Vol.9(1-2):p.113-122.

- Mack, C.; S.E. Marsh; C.F. Hutchinson (1995). Application of aerial photographic and GIS techniques in the development of a historical perspective of environmental hazards at the rural-urban fringe. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 61(8):1015-1020.
- Matallo JR., Heitor (1996). Indicadores para estudo da desertificação no Brasil (Versão Preliminar). Brasília-DF: Fundação Grupo Esquel Brasil, FAO/PNUMA, Universidade do Chile. 88 p.
- Petersen, G.W; K.F. Connors; D.A. Miller; R.L. Day; T.W. Gardner (1987). Aircraft and satellite remote sensing of desert soils and landscapes. **Remote Sensing of Environment**, 23(2):253-271.
- Pickup, Geoff & Vanessa H. Chewings (1996). Identifying and measuring land degradation processes using remote sensing. In: J. Hill and D. Peter, **The use of remote sensing for land degradation and desertification monitoring in the Mediterranean basin. State of the art and future research**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. p.135-147.
- Pouget, M. (1989). Télédétection et désertification. In: SCOT CONSEIL/GDTA, **Télédétection et désertification: Programme Franco-Tunisien de Télédétection**. Séminaire organisé par SCOT Conseil et GDTA, El-Aouina, Tunis, 13-24 Nov. 1989. (Toulouse): SCOT CONSEIL/GDTA/ SPOT IMAGE. (np.). 7 p.
- Price, J.C. (1992). Estimating vegetation amount from visible and near infrared reflectances. **Remote Sensing of Environment**, 41(1):29-34.
- Reining, P. (1978). **Handbook on desertification indicators**, based on the Science Associations' Nairobi Seminar on Desertification. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science. 141p.
- Richter, D.M (1969). Sequential urban change. **Photogrammetric Engineering**, 35: 764-770.
- Ringrose, Susan and Wilma Matheson (1987). Spectral assessment of indicators of range degradation in the Botswana hardveld environment. **Remote Sensing of Environment**, 23(2): 379-396.
- Rodrigues, Valdemar (1984). **Um modelo de simulacion para el fenomeno de la desertificação**. Mexico-DF : Escuela Nacional de Ciencias Biologicas del Instituto Politecnico Nacional. 134 p. (These in Doctor en Ciencias- Ecologia).
- Roller, N.E.G.; J.E. Colwell; R. Aggarwala (1985). Monitoring desertification through detection of land cover changes by albedo mapping with AVHRR data. In: **International Symposium on Remote Sensing of Environment**, 19th, Ann Arbor, MI, Oct. 21-25, 1985. Ann Arbor, MI: ERIM. Vol.2:p.809-820.
- Scopel, I. (1988). **Avaliação da erosão com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR)**. Tese de Doutorado. Curitiba:Universidade Federal do Paraná. 156 p.
- Sommer, Stefan (1997). Regional desertification indicators. In: M.J. Kirkby (coordinator), **Mediterranean desertification and land use: MEDALUS III Project 3: Regional Indicators**. Berkshire, UK: MEDALUS Office. p.21-35.

- Steven, M.D. (1987). Ground truth: an underview. **International Journal of Remote Sensing**, 8(7):1033-1038.
- Stow, D.A.; D. Collins; D. Mckinsey (1990). Land use change detection based on multi-date imagery from different satellite sensor systems. **Geocarto International**, 5(3):3-12.
- Tarifa, José Roberto (1994). Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, USP/FFLCH, (8):15-27.
- Tarussov, A.; J.M.M. Dubois; M. Wenzl (1996). Les systèmes légers de télédétection aéroportée pour les sciences de la terre. **International Journal of Remote Sensing**, 17(14):2699-2718.
- Tengberg, Anna (1995). Nebkha dunes as indicators of wind erosion and land degradation in the Sahel zone of Burkina Faso. **Journal of Arid Environments**, 30:265-282.
- Ulbricht, K.A. and W.D. Heckendorff (1998). Satellite images for recognition of landscape and landuse changes. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 53(4):235-243.
- Valiente, J.A.; M. Nunez, E. Lopez-Baeza; J.F. Moreno (1995). Narrow-band to broad-band conversion for METEOSAT-visible channel and broad-band albedo using both AVHRR-1 and -2 channels. **International Journal of Remote Sensing**, 16(6):1147-1166.
- Van der Leeuw, Sander E. (1998). Archaeomedes, un programme de recherches européen sur la désertification et la dégradation des sols. **Nature, Science et Société**, 6(4):53-58.
- Verger, Fernand (1995). Les catégories d'images de télédétection satellitaire. **Mappemonde**, 47(2):27-31.
- Verstappen, H.T. (1979). Drought susceptibility survey and the concept of monitoring landscape ecology. In: **Proceedings Symposium on Drought in Botswana**, Jun. 5-8, 1978, Gaborone. Worcester, MA: Clark University Press. p.75-81.
- Verstraete, M.M. & B. Pinty (1991). The potential contribution of satellite remote sensing to the understanding of arid lands processes. **Vegetatio**, 91(1-2):59-72.
- Williams, A.R. and R.P.C. Morgan (1976). Geomorphological mapping applied to soil erosion evaluation. **Journal of Soil and Water Conservation**, 31(4):164-168.