



**Centro Universitário de Brasília
Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento - ICPD**

CÉSAR ADRIANO WANDERER

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MEIO DO ÍNDICE
DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA VEGETAÇÃO (NDVI)**

Brasília
2017

CÉSAR ADRIANO WANDERER

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MEIO DO ÍNDICE
DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA VEGETAÇÃO (NDVI)**

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB/ICPD) como pré-requisito para obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Análise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável

Orientador: Prof. Dr. Marcus Fábio Ribeiro Farias

Brasília
2017

CÉSAR ADRIANO WANDERER

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MEIO DO ÍNDICE
DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA VEGETAÇÃO (NDVI)**

Trabalho apresentado ao Centro
Universitário de Brasília (UniCEUB/ICPD)
como pré-requisito para a obtenção de
Certificado de Conclusão de Curso de
Pós-graduação *Lato Sensu* Análise
Ambiental e Desenvolvimento Sustentável

Orientador: Prof. Dr. Marcus Fábio Ribeiro
Farias

Brasília, ____ de _____ de 2017.

Banca Examinadora

Prof^a. MSc. Ana Karl

Prof. Dr. Gilson Ciarallo

Aos meus pais, Rosi e Egon.

AGRADECIMENTO(S)

Ao prof. Marcus Fábio, meu orientador nesta monografia, pela generosidade em
compartilhar o conhecimento;

Aos professores do curso de Análise Ambiental, que certamente contribuíram para
que eu pudesse desenvolver este trabalho.

Aos assentados dos Projetos de Assentamento Chico Mendes e Roça.

*"Nós não herdamos a Terra de nossos ancestrais,
nós a pegamos emprestada de nossas crianças".*

Provérbio indígena norte-americano

RESUMO

A degradação dos solos, além do impacto ambiental que resulta, pode acarretar graves repercussões socioeconômicas para as populações rurais, principalmente nos ambientes com predomínio das pequenas propriedades e agricultura de subsistência. O uso do sensoriamento remoto na detecção e monitoramento das áreas de solos degradados tem sido aplicado pelos programas do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente no monitoramento da degradação dos solos no mundo. No Brasil tem sido especialmente utilizado para o monitoramento da cobertura florestal da Região Amazônica e em alguns trabalhos para a detecção de áreas em processo de desertificação na região abrangida pelo semi-árido. Esses levantamentos tem utilizado o Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) — informação derivada do processamento de imagens de satélite, para a consecução de seus objetivos. Neste trabalho foi utilizado este índice para a identificação de áreas degradadas em um polígono de 5.015 hectares no município de Arinos - MG, abrangido por assentamentos da reforma agrária. As imagens utilizadas foram provenientes do satélite CBERS-4, sensor MUX, com resolução radiométrica de 8 bits e espacial de 20 metros. Para o estudo, a metodologia foi aplicada fazendo-se uso de dados estatísticos do processamento do NDVI, os quais foram submetidos a uma classificação sob regras preestabelecidas. Para a classificação dos dados foram definidas três classes de cobertura do solo, sendo uma de solo exposto, outra de pastagens, campos e cerrados e a terceira relativa às matas. Após o processamento dos dados e geração do mapa da classificação do NDVI as informações foram comparadas à realidade do campo em 88 pontos de amostragem que abrangessem as três classes. Como resultado, destes 88 locais vistoriados, 58 estavam enquadrados como solo exposto pela classificação do NDVI, aproximadamente 66 % do total. A vistoria detectou que destes 58 locais visitados, 38 corresponderam à áreas degradadas, 43% das amostras. O restante foi identificado como sendo pastagem degradada, estradas, terrenos preparados para o plantio, áreas sociais, moradias. O montante de solo exposto detectado por esta metodologia foi de 876 hectares, 17,5% da área do polígono estudado. Quando considerada somente a área ocupada pelos lotes dos assentamentos, este montante é de 751 hectares, mas compreende aproximadamente 86% do total de solo exposto detectado. Como conclusão, tem-se que com o recorte estatístico utilizado foi possível identificar áreas degradadas, porém incluiu outras feições com solo exposto e que não correspondem a áreas degradadas. Todavia, a metodologia se mostrou conveniente como uma ferramenta para se detectar locais onde esteja ocorrendo degradação dos solos, pastagens e da vegetação nativa, mas ainda não enquadrados como áreas degradadas pelos critérios definidos para este estudo. Dado o montante de solo exposto identificado nos lotes dos assentamentos (cerca de 3/4 do total detectado e 1/4 da área ocupada pelos lotes) relacionado principalmente com pastagens degradadas e solo erodido, supõe-se que esteja ocorrendo um provável impacto na produtividade das culturas, na subsistência e na geração de renda dos assentados.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Imagem CBERS-4. Solo exposto. Áreas degradadas assentamentos. Arinos-MG.

ABSTRACT

Soil degradation, besides the environmental impact it causes, may produce profound social-economic impacts for the rural population, mainly in places where small properties and subsistence agriculture prevail. The use of remote sensing for the detection and monitoring of degraded soil areas has been applied by the projects coordinated by the United Nations Environment Programme at a global level. Remote sensing has above all been used in Brazil to monitor the Amazon Region forest cover and, in some cases, for the detection of areas undergoing desertification in the semi-arid region. These surveys have been using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – information obtained from the processing of satellite images. This Index has been used in this work to identify degraded areas in 5015 hectares in the Arinos municipality, state of Minas Gerais, an area covered by land reform settlements. The images used were sent by the China–Brazil Earth Resources Satellite 4 (*CBERS-4*), a MUX sensor with a radiometric resolution of 8 bits and spatial resolution of 20 metres. For the study, the methodology was applied using statistic data provided by the NDVI. The data were then classified according to pre-established rules. These data have been categorised into three groups of soil cover: exposed soil; pastures, fields and savannah (the “cerrado”) soils; and forests. After the data was processed and the NDVI map was generated, the information was compared to what was actually happening in the fields in 88 sampling points which encompassed the three groups of soil cover. As a result, of the 88 places surveyed, 58 were categorised as exposed soil according to the NDVI classification, making up approximately 66% of the total. The survey detected that 38 of the 58 places analysed were degraded areas, making up 43% of the samples. The rest was identified as degraded pastures, roads, plots of land ready to be cultivated, social areas and dwellings. The amount of exposed soil detected by this methodology was of 876 hectares, 17,5% of the area studied. The area occupied by settlement plots of land comprises 751 hectares but it accounts for 86% of the total of exposed soil detected. As a conclusion, the statistics used made degraded areas identifiable, but it included other areas with exposed soil which are not degraded. The methodology, however, proved convenient as a tool to detect areas where there might be soil, pasture or native vegetation degradation, but they are not yet classified as degraded areas by the criteria defined for this study. Given the amount of exposed soil identified by the settlement plots of land (about 3/4 of the total detected and 1/4 of the area occupied by the plots, which is composed of degraded pastures and eroded soil), there is probably a potential impact in the productivity of the crops, in subsistence farming and in the income generation of the land reform settlers.

Key words: Remote sensing. CBERS-4 images. Exposed soil. Settlement degraded areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro eletromagnético _____	19
Figura 2: Curva de reflectância de uma planta _____	20
Figura 3: Curvas de reflectância espectral da água, da vegetação e do solo ____	21
Figura 4: Localização e área objeto de estudo _____	28
Figura 5: Detalhamento das classes de declividade _____	29
Figura 6: Comparação entre classificação NDVI CBERS-4 e LANDSAT-8 _____	36
Figura 7: Recorte ampliado da classificação do NDVI das imagens CBERS-4 e LANDSAT-8 _____	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das bandas 7 e 8 do satélite CBERS-4, sensor MUX, utilizadas para a determinação do NDVI _____	31
Tabela 2: Coordenadas planas na projeção UTM que definem os vértices do polígono do estudo _____	31
Tabela 3: Dados estatísticos NDVI _____	32
Tabela 4: Definição das Classes de NDVI _____	32
Tabela 5: Demonstrativo do enquadramento dos 88 pontos de amostragem na classificação do NDVI _____	39
Tabela 6: Amostragem de localização previamente definida: correspondência entre Classe I no mapa da classificação do NDVI e característica ambiental nos pontos amostrados _____	42
Tabela 7: Amostragem com a localização dos pontos decididos no próprio local: correspondência entre Classe I no mapa da classificação do NDVI e característica ambiental nos pontos amostrados _____	42
Tabela 8: Panorama geral das amostras enquadradas na Classe I do NDVI após vistoria de campo _____	43
Tabela 9: Contribuição das áreas de pastagens classificadas como Classe I pelo NDVI e correspondência com áreas degradadas _____	44
Tabela 10: Comparativo de áreas Classe I _____	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Definição de classes de cobertura do solo: aritmética utilizada _____32

LISTA DE MAPAS

Mapa 01: Classificação do NDVI e pontos de amostragem_____	34
Mapa 02: Distribuição da Classe I do NDVI nos lotes dos assentados _____	45

LISTA DE ABREVIATURAS

CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite.

DEGRAD - Sistema Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira.

DETER - Sistema Detecção de Desmatamento em Tempo Real.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

ISRIC - International Soils Research and Information Centre

GLADA - Global Assessment of Land Degradation and Improvement.

GLASOD - Global Assessment of Soil Degradation.

GPS - Global Positioning System.

LADA - Land Degradation Assessment in Drylands.

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite.

MMA - Ministério do Meio Ambiente.

MUX - Câmera Multiespectral Regular.

NDVI - Índice de Diferença Normalizada da Vegetação.

OLI - Operational Land Imager.

ONU - Organização das Nações Unidas.

PNB - Produto Nacional Bruto

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

PRODES - Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia.

SIG - Sistema de Informações Geográficas.

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission.

UTM - Universal Transversa de Mercator

WGS - World Geodetic System

ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.1 Sensoriamento remoto	17
1.2 Degradação dos solos	23
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
2.1 Caracterização da área do estudo	27
2.2 Execução do trabalho	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 Uso das imagens CBERS-4	35
3.2 Análise das amostragens	38
CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A Identificação dos pontos de amostragem, classificação NDVI e correlação com a vistoria	52
APÊNDICE B Exemplos de critérios adotados para os trabalhos de campo	55
APÊNDICE C Identificação e caracterização dos pontos de amostragem	59

INTRODUÇÃO

A degradação das terras nas zonas rurais impacta não somente a população que dela depende para sua subsistência e geração de renda, existindo um comprometimento ambiental relativo à importância destas zonas como prestadoras de serviços ambientais.

Geralmente imperceptíveis à maioria da população, esses serviços se referem à ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta, manutenção da integridade dos cursos hídricos e da estabilidade dos solos bem como proporcionar abrigo e alimentação à fauna silvestre.

A identificação destas áreas com solos degradados e seu monitoramento ao longo do tempo assume importância por vir a ser uma ferramenta que pode subsidiar o desenvolvimento de estudos e projetos nas áreas de socioeconomia, ecologia, recuperação de áreas degradadas e na formulação de políticas públicas a serem aplicadas às áreas problema. Isto é importante porque subjacente ao fenômeno da degradação dos solos hiberna o colapso socioeconômico e ambiental.

Muito já se tem feito no monitoramento dessas áreas por órgãos multilaterais como a ONU com seu Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que apoiou o projeto *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD) e posteriormente capitaneou o projeto *Global Assessment of Land Degradation and Improvement* (GLADA), todos estes relacionados ao levantamento da degradação dos solos no mundo.

No Brasil há diversas iniciativas de monitoramento implantadas tendo sido desenvolvidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e conduzidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Têm como foco principal o monitoramento da cobertura florestal notadamente na Região Amazônica, por meio do Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), pelo Sistema Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e o Sistema Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD). Também o Projeto TerraClass, que tem como foco o uso das terras desflorestadas na Amazônia Legal Brasileira.

Em comum entre todos esses projetos e programas mencionados nos parágrafos anteriores é o uso do sensoriamento remoto como ferramenta para se atingir os objetivos, visto a maioria deles ter a característica da periodicidade na geração das informações, além da abrangência territorial ser de escala quase continental.

Para este estudo, como objetivo geral, propõe-se utilizar o sensoriamento remoto para a detecção de áreas degradadas, mas numa escala local. Como objetivo específico se propõe o uso somente de dados estatísticos oriundos do processamento das imagens de satélite para a detecção destas áreas.

A metodologia utilizada consiste na determinação do índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI), calculado a partir das informações sobre reflectância das imagens de satélite donde se utiliza as bandas vermelho e infravermelho próximo. A partir dos dados estatísticos gerados na determinação do NDVI se fez a segmentação em classes destes valores tendo como critério o uso dos valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão desses índices.

Foram definidas três classes para a segmentação: a primeira solo exposto, a segunda pastagens, campos e cerrado, e a terceira áreas de mata.

A região definida para o estudo se situa no município de Arinos - MG, em um local com predomínio de Projetos de Assentamento implantados pelo INCRA. O local escolhido assume importância dado ao risco de maior fragilidade econômica e social daqueles agricultores assentados frente à degradação dos solos comparativamente àqueles oriundos da agricultura de cunho empresarial, supostamente mais capitalizados e preparados para superar as adversidades que possam advir. Entre ambos há ainda uma diferença de escala no problema da degradação dos solos. Quando uma determinada área degradada pode representar quase a totalidade do lote de um assentado, ao contrário de uma propriedade de porte maior, onde a mesma degradação poderia ser apenas uma fração pouco representativa.

Este trabalho está estruturado em três capítulos, sendo o primeiro a conceituação de princípios envolvidos com o sensoriamento remoto, como as características da luz visível e suas propriedades utilizadas no sensoriamento. Uma segunda parte do primeiro capítulo trata da degradação dos solos, conceituando e

pontuando ações realizadas a nível mundial na detecção e monitoramento destas áreas.

O segundo capítulo trata da metodologia utilizada, que se assenta no uso de dados estatísticos provenientes da determinação do NDVI de imagens de satélite e a classificação destes valores conforme regra predeterminada.

O terceiro capítulo traz os resultados do estudo e uma discussão acerca da metodologia adotada, sua conveniência e implicação em atingir os objetivos do trabalho.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção foi dividida em duas partes, sendo a primeira uma explanação acerca da relação da luz com o sensoriamento remoto e as propriedades da energia eletromagnética (luz visível) utilizada nesta tecnologia e a segunda sobre degradação dos solos e a utilização do sensoriamento remoto para sua identificação.

1.1 Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto é uma ciência mas também uma arte para a obtenção de informações sobre um objeto, uma área ou um fenômeno por meio da análise de dados obtidos por mecanismo que não está em contato com os objetos investigados. Nossos olhos se tornam um dispositivo com essas características quando captam a luz refletida pelos objetos que nos cercam e, a partir do processamento desta informação no cérebro, possibilita-nos uma compreensão acerca do objeto observado. Também há sensores que captam a força gravitacional e suas variações, outros captam a energia acústica como os sonares. (LILLESAND; KIEFER, 1987, p. 1).

Para Fussel *et al.* (1986 *apud* JENSEN, 2009, p. 4-7), o sensoriamento remoto transita pela ciência, pois há lógica e matemática envolvida na medição das radiações emanadas pelas superfícies distantes e captadas pelos sensores. E depois, por meio ainda das ciências, são extraídas informações desses dados. Mas também pela experiência, quando a interpretação visual de uma foto ou imagem depende, além do conhecimento científico, de todo um conhecimento não mensurável, heurístico, e que se refere ao acúmulo de experiências do analista e que se reflete na extração de informações da foto ou imagem.

Saindo da parte conceitual/filosófica, Novo (2008, p. 4) define o Sensoriamento Remoto sob um ponto de vista prático e circunscrito à radiação eletromagnética, cuja interação com os objetos e superfícies será captada por sensores, processada e transmitida pelos diversos tipos de plataformas destinadas à

aquisição destes dados para que se possa estudar os eventos, fenômenos e processos da interação desta radiação com os objetos e superfícies.

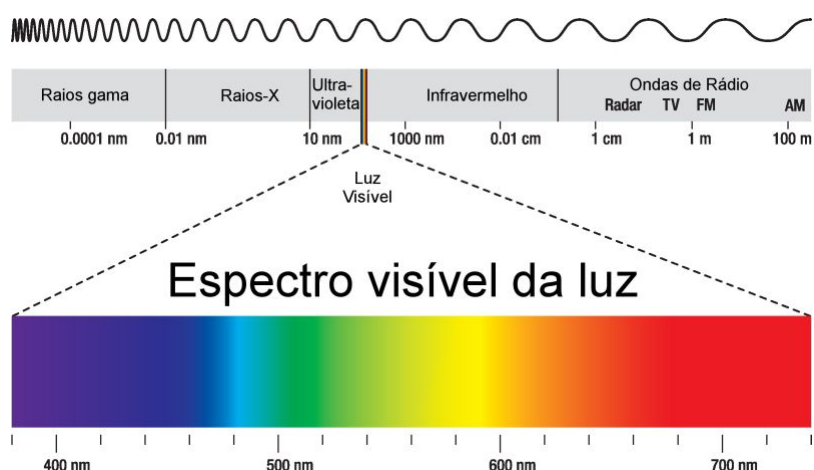
A radiação eletromagnética é um tipo de energia que se propaga na forma de ondas e movimenta-se com a velocidade da luz (aprox. 300.000 km/s), e como tal, possui um comprimento (distância entre dois picos da onda) dado em unidades do metro e seus submúltiplos como o micrômetro (μm) e o nanômetro (nm). O outro componente das ondas é a sua frequência: quantas vezes a onda oscila em uma unidade de tempo, medida esta dada em hertz (Hz) e seus múltiplos (quilohertz e megahertz). A energia da onda reside na frequência de sua oscilação e no seu comprimento, existindo uma relação inversamente proporcional entre comprimento e frequência, assim, ondas curtas (por ex. raios gama, raios ultravioleta) são mais energéticas que ondas mais longas (por ex. ondas de rádio). A distribuição desses variados tipos de ondas (existem muitos outros tipos ainda) compreendem o espectro da radiação eletromagnética.

Uma pequena fração deste espectro denomina-se luz visível, pois se refere àquela região do espectro que é possível desta energia ser "enxergada", ou seja, o dispositivo sensor dos humanos (fenômeno da visão) consegue distinguir as cores, que vão do violeta ao vermelho.

A região da luz visível, por sua vez, também é subdividida conforme comprimentos de ondas e níveis de energia, denominados bandas, por terem cada qual características próprias ao interagirem com os objetos e superfícies (FLORENZANO, 2013, p. 11-12).

A Figura 1 ilustra o que fora exposto relativo ao espectro da radiação eletromagnética.

Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte - Peter Hermes Furian / Shutterstock.com. Disponível em: <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2007/12/espectro-visivel-da-luz.jpg>. Acesso em: 21/06/2017

Assim, de uma maneira muito simplificada, os objetos e superfícies apresentam as cores porque ao serem irradiadas pela luz solar (poderia ser proveniente de qualquer fonte que produzisse luz), em determinadas bandas do espectro visível não interagem com a matéria que os constitui, sendo então devolvidas ao espaço que os cerca, o que lhes confere, então, o aspecto colorido relativo a essas bandas. Aquelas bandas (cores) que interagirem com a matéria poderão proporcionar importantes informações acerca da constituição destes objetos e superfícies, sendo, portanto, o objeto de interesse do sensoriamento remoto, apesar de que o que será medido pelo sensor será a radiação refletida (MENEZES, 2001, p.43).

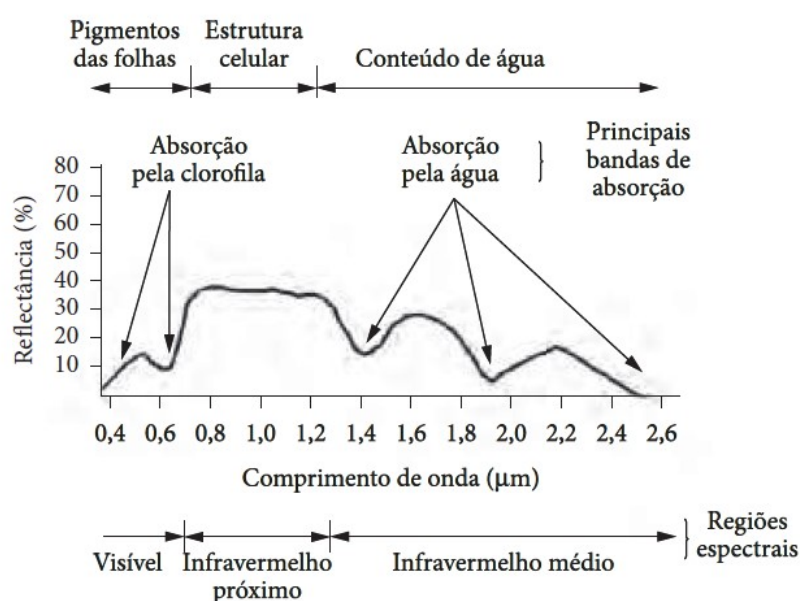
O mesmo ocorre com as plantas, que tem entre seus constituintes pigmentos que interagem com determinadas bandas do espectro visível como a clorofila, o caroteno e a xantofila. Nas plantas, esses três pigmentos predominam nas folhas e se utilizam da mesma região espectral, em torno de 445 nm, o que corresponde à região do azul. No entanto, para a região do vermelho (645 nm), somente a clorofila, que é o pigmento predominante na maioria das plantas, absorve esta faixa e a utiliza no processo da fotossíntese. Assim, como a faixa do espectro absorvida pelas plantas compreende o azul e o vermelho e não o verde, este é então devolvido ao ambiente, conferindo a cor verde às plantas (PONZONI, 2001. p. 168-169).

Quando a luz solar incide sobre uma superfície irradiando-na (irradiância), parte desta energia é devolvida ao ambiente e retorna ao espaço sendo captada pelos sensores dos satélites. Esse fluxo que retorna é denominado radiância e as superfícies apresentam-na para cada banda do espectro sob determinadas condições da fonte da irradiação (o sol), do material, atmosféricas, ambientais e do equipamento sensor (MENESES, 2012, p. 21-23).

Meneses ainda pontua que a relação entre o fluxo medido da energia de irradiância e a radiância corresponde à reflectância, que, matematicamente é dado pela razão entre a quantidade de energia refletida (radiância) numa unidade da superfície pela quantidade de energia incidente (irradiância) na mesma unidade da superfície. O resultado é dado em porcentagem porque as duas variáveis da equação correspondem a densidades de fluxo, tornando-a, portanto, adimensional. É esse percentual que caracteriza a reflectância das superfícies e que configurará as curvas de reflectância quando discriminado para cada banda do espectro eletromagnético

A Figura 2 ilustra a curva de reflectância para uma planta, não só dos pigmentos foliares, mas também da estrutura celular e do conteúdo de água, onde se observa a variação nos percentuais da reflectância em função dos constituintes da planta.

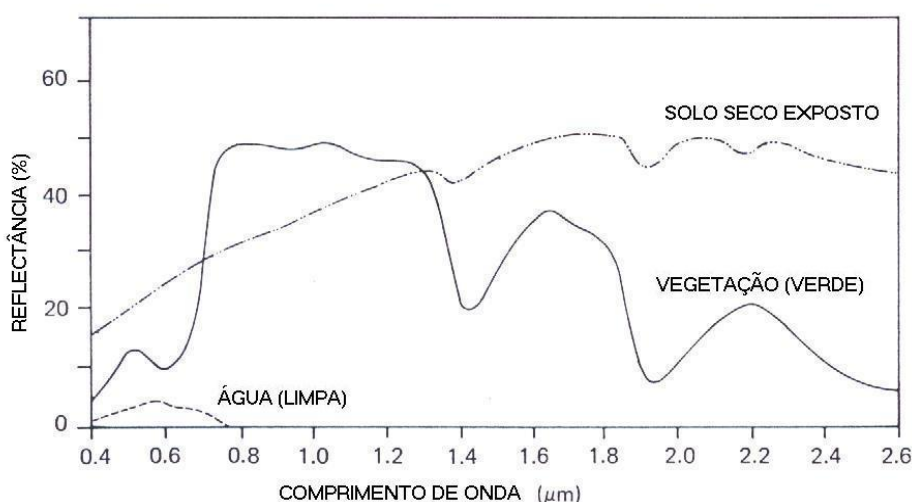
Fig. 2: Curva de reflectância de uma planta



Na figura, o pico de reflectância em torno de 540 nm corresponde à região do verde do espectro luminoso, que, como dito, não é utilizado pelas plantas. O segmento de maior reflectância, contudo, corresponde àquele entre 700 nm e 1.300 nm, compreendido pela região do infravermelho próximo. Outras três quedas na reflectância são observadas na região do infravermelho de ondas curtas devidas à água presente nos tecidos.

Para os solos, uma mistura complexa de constituintes minerais, materiais orgânicos e água, apresentará um comportamento espectral cumulativo, derivado do comportamento espectral dos vários componentes que o formam (NETTO, 2001, p. 127). A figura 3 demonstra o que fora exposto, associando o comportamento espectral da vegetação e do solo.

Figura 3 - Curvas típicas de reflectância espectral da água, da vegetação e do solo



Fonte - LILLESAND E KIEFER, 1987, p.18. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAQN4AI/geoprocessamento-andrea-tesesco>. Acesso em: 23/06/2017

O gráfico da figura acima demonstra diferenças de reflectância entre as plantas e o solo bastante características.

Para a vegetação fotossinteticamente ativa ocorre uma relação inversa não linear com a radiância no vermelho. No infravermelho próximo ela também é não linear mas direta. Isso significa que no período em que as plantas estiverem fotossinteticamente ativas, a radiância do vermelho será baixa pois a clorofila utiliza este comprimento de onda para a fotossíntese. Para o infravermelho próximo haverá elevada radiância pois as folhas das plantas não utilizam este comprimento de onda

para a fotossíntese. Neste comprimento de onda a radiância será "oriunda de um processo de espalhamento intra e interfoliar o que o torna dependente da quantidade de folhas existentes, distribuição e arranjo espacial do dossel" (PONZONI, 2001, p. 191).

Essa informação analógica da radiância que chega até os sensores dos satélites é convertida para informação digital. Assim, a radiância será convertida em números digitais (DN). Estes números serão tanto maiores quanto maior for o número de bits envolvidos no registro. Em termos práticos isso significa que um sistema que registra as informações em 8 bits (resolução radiométrica) terá a capacidade de fornecer uma informação contendo 256 possibilidades de arranjo entre os DN, diferentemente de um sistema que registra em 12 bits, no qual a mesma informação teria 4.096 possibilidades de arranjo. Esses arranjos podem corresponder a diferentes tonalidades da cor cinza que, posteriormente, serão relacionadas com os alvos imageados. Esse registro será feito tendo o pixel como unidade básica de registro. Assim, se um pixel for representativo de uma área de 900 m² do terreno imageado o será porque o pixel é uma entidade quadrada que terá, neste caso, 30m de cada lado, o que se denomina resolução espacial. A depender da finalidade do satélite a resolução espacial pode chegar à casa de alguns decímetros (JENSEN, 2009. p. 17-21).

Para Ponzoni (2001, p. 191), a interpretação destes registros e o estabelecimento de relações funcionais entre estes e as superfícies imageadas tem sido a meta de pessoas que trabalham com o sensoriamento remoto. Esses registros podem ser trabalhados matematicamente sob a forma de razões compondo índices, que auxiliam no estabelecimento de relações funcionais entre as características da superfície e as informações oriundas das imagens de sensoriamento remoto. Ainda Rouse *et al.* (1973 *apud* PONZONI, 2001), cita que um desses índices, utilizado para caracterizar a vegetação e baseados nas relações entre o vermelho e o infravermelho próximo é o Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI), cujas medidas auxiliam na análise da vegetação como vigor e crescimento da vegetação verde. Essas informações podem ser utilizadas em análises ambientais que visam estimar a "biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade". Uma destas relações está expressa na equação definida por Rouse:

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

onde:

IVP = radiância do infravermelho próximo

V = radiância do vermelho

Do cálculo desta relação resultará valores entre -1 e 1, indicando locais desprovidos de vegetação (-1) indo até os densamente cobertos (1).

A simplicidade deste método está no fato de que a vegetação fotossinteticamente ativa estará se utilizando da luz no comprimento de onda compreendido pelo vermelho mas, como não faz uso do infravermelho próximo, estará refletindo-a. Do uso destes parâmetros de reflectância obter-se-á um índice, o NDVI.

No entanto, Ponzoni alerta que o cálculo do NDVI possa trazer em si algumas inconsistências de ordem da aquisição das informações pelos sensores devido às condições atmosféricas e particularidades das superfícies imageadas. Assim, Huete (1988, *apud* PONZONI, 2001), coloca que "as condições da cobertura do solo exercem considerável influência sobre os valores desses índices". Locais com grandes variações edáficas devido à umidade diferenciada nos solos, "rugosidade superficial, sombreamento ou diferenças na quantidade de matéria orgânica" faz com que os índices encontrados possam refletir essas variações (PONZONI, 2001. p.192-193).

1.2 Degradação dos solos

Sob um olhar macro, a degradação dos solos é um processo que reduz seu potencial produtivo, sua utilidade e seu valor, impactando o meio ambiente e sendo considerado um dos mais sérios problemas ecológicos do mundo e, além de ter estas implicações ambientais, seu horizonte de ação abrange também questões sociais e econômicas. Isto acontece porque a degradação dos solos, tendo como resultado alterações na estrutura física e composição química dos solos, com

redução dos nutrientes e perda de produtividade, de biodiversidade e redução de sua viabilidade econômica, pode impactar o Produto Nacional Bruto dos países em desenvolvimento da ordem de 1 a 17% de seu PNB. Nas regiões tropicais este índice está em 10% (ABUBAKAR, 1977; KHRESAT and others, 1998; SMETHURST, 1999; AL DOUSARI and others, 2000; WARREN, 2002; LIU and others, 1997; LI, 1998; SONG and others, 2001 *apud* FENG *et al*, 2004, p. 459).

Dent *et al.* (2007, p. 82-83) acrescenta que como a degradação dos solos pode impactar nos serviços do ecossistema, isto pode contribuir para as mudanças climáticas, e, assim, o processo como um todo é também um risco para o habitat, economia e sociedade. Sustenta que degradação dos solos e pobreza são fatos que se retroalimentam. No entanto, coloca que a degradação é um fenômeno que pode ser revertido, desde que se articule um conjunto de ações que compreendem investimentos de longo prazo tanto por parte do governo como dos agricultores, com pesquisas aplicadas às áreas degradadas e adaptação de tecnologias às circunstâncias locais. Porém, salienta que esse pacote de medidas tem sido raramente aplicado.

Situando o fenômeno historicamente, a primeira iniciativa global empreendida para se ter um diagnóstico do problema da degradação dos solos foi nos anos de 1980, por meio do projeto *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD), trabalho este realizado pelo *International Soils Research and Information Centre* (ISRIC) em uma escala de detalhamento de 1:10 milhões, que contou com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (OLDEMAN; LYNDEN, 1996, p.1).

Embora a escala utilizada tenha sido pequena, os dados levantados por essa iniciativa foram alarmantes acerca da questão da degradação dos solos decorrentes de causas humanas, indicando que 15% das terras do mundo se encontravam com algum grau de degradação. Desta degradação, 83% é decorrente da erosão dos solos; outros 4% relativos a perda de nutrientes; menos de 4% referem-se à salinização e a contaminação química é responsável por aproximadamente 1% (BAI *et al.*, 2008, p. 41).

No entanto, Oldeman & Lynden (1996) tecem algumas críticas sobre as informações derivadas do GLASOD, pois as informações que alimentaram o projeto foram oriundas de opiniões de pesquisadores o que as tornou subjetivas

(OLDEMAN; LYNDEN, 1996, p.5). As informações foram coletadas destes pesquisadores e compuseram um mapa de percepções do problema, baseados em tipos e grau de degradação dos solos, que poderia ser, por exemplo, devido a erosão causada pelas chuvas, vento, salinidade e depauperação da fertilidade dos solos (OLDEMAN *et al.*, 1991 *apud* BAI *et al.*, 2008).

Posteriormente, um programa com o intuito de abordar a questão dos solos degradados e sua dinâmica foi capitaneado pelo PNUMA - "*Land Degradation Assessment in Drylands (LADA)*". O escopo deste programa foi o de criar uma base fundamentada de informações para as políticas direcionadas à questão da degradação dos solos nos níveis global, nacionais e locais. O objetivo principal foi o desenvolvimento de metodologias e ferramentas para o levantamento de solos degradados em diferentes escalas espaciais e temporais para futuro monitoramento. Foi direcionado principalmente para seis países como projetos-piloto, representando diferentes regiões do mundo, sendo: África do Sul, Argentina, China, Cuba, Senegal e Tunísia. Este projeto teve início no ano de 2006, sendo finalizado em 2010 (KELLNER; RISOLI; METZ, 2011, p. 1-2).

No seio deste programa foi implantado o projeto "*Global Assessment of Land Degradation and Improvement*" (GLADA), com o fim de produzir formas de levantamentos que pudessem ser replicados com a produção de informações quantitativas para subsidiar políticas de desenvolvimento nas áreas de segurança hídrica e alimentar, integridade do meio ambiente, estratégias de desenvolvimento econômico e conservação dos recursos naturais. Assim, produziu informações acerca da situação e tendência da degradação dos solos no mundo como também identificou locais sob extrema pressão ou risco de degradação dos solos e também onde esta degradação foi controlada ou revertida. Neste projeto foi constatado que 24% das terras do mundo tornaram-se degradadas entre os anos de 1981 e 2006 (BAI *et al.*, 2008, p. 28).

Assim, considerando que a biomassa é um indicador da produtividade biológica, por meio deste programa, o projeto GLADA se utilizou da metodologia compreendida pelo NDVI, que pode demonstrar se em um local está havendo redução ou aumento na produção de biomassa a partir de um padrão local. O NDVI tem uma grande relação linear com a fração do espectro solar utilizada pelas plantas para a fotossíntese e é fortemente correlacionado com a produção primária da

vegetação que cobre o solo¹. A produção primária é a relação entre o que a vegetação fixa do CO² atmosférico pela fotossíntese e o que o libera por meio da respiração. HALL *et al.* (2006) *apud* BAI *et al.* (2008, p. 1-2) coloca que quando ocorrem desvios nesta relação a partir de um padrão há indicativos de que possa estar ocorrendo degradação do solo ou uma melhoria.

Individualizando a questão de degradação dos solos, para LAL e STEWART (1990) *apud* METTERNICHT (2009, p. 42), há três formas de degradação dos solos: física (erosão eólica e hídrica), química (salinização e acidificação) e biológica (declínio da matéria orgânica do solo). Assim, Bai *et al.* (2008, p.1), acrescenta que solos degradados são aqueles que perderam continuamente suas funções ecossistêmicas e produtivas medidos em termos de produção primária (produção de biomassa) e produtividade, com impossibilidade de se recuperar de forma natural. Como sintomas tem-se principalmente a erosão dos solos, perda de nutrientes, salinidade, escassez hídrica, poluição, ruptura dos ciclos biológicos e perda da biodiversidade.

Para Sampaio, Araújo e Sampaio (2005, p. 95), particularizando o tema, quando a degradação dos solos ocorre nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas (estes dois últimos tipos climáticos existentes no Brasil) esta será parte de uma sequência de fases que terá como consequência o fenômeno da desertificação. As outras fases compreendem a perda da capacidade de produção agropecuária; a redução da renda oriunda destas atividades; a deterioração social da população rural. Como o processo é dinâmico, há uma retroalimentação do fenômeno tornando-o um ciclo vicioso, com uma fase reforçando a seguinte.

Dent (2007, p. 95) contextualizando o componente erosão, expõe que a erosão é um processo natural de remoção do solo causado por água e vento, mas que, no entanto, torna-se um problema quando o processo é acelerado devido ao uso inadequado das terras, compreendendo a remoção de florestas e alteração dos campos naturais para a agricultura sem a utilização de boas práticas agrícolas e promovendo o sobrepastoreio. Acrescenta ainda, como dinamizadores da erosão dos solos a mineração, construção de infraestruturas e a urbanização, sem adequados projetos de gerenciamento ambiental.

¹ Em: <<http://www.isric.org/projects/global-assessment-land-degradation-and-improvement-glada>>. Acesso em: jun. 2017).

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Propõe-se utilizar a metodologia definida por Rouse *et al.* (1973) *apud* PONZONI (2001) que consiste no Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI), o qual se utiliza de bandas espectrais específicas das imagens obtidas por sensoriamento remoto.

Para o caso em questão as bandas utilizadas serão na faixa do vermelho e do infravermelho próximo, pelas razões já apresentadas no referencial teórico deste trabalho.

A extração das informações das imagens será baseada em parâmetros estatísticos oriundos do processamento das imagens.

O trabalho divide-se em duas partes, uma primeira que consiste na obtenção das imagens e processamento no *software* QGIS, um programa de computador para uso como Sistema de Informações Geográficas (SIG). A segunda parte será a vistoria da área a partir das informações geradas pelas imagens processadas a fim de contrapor com a realidade do campo.

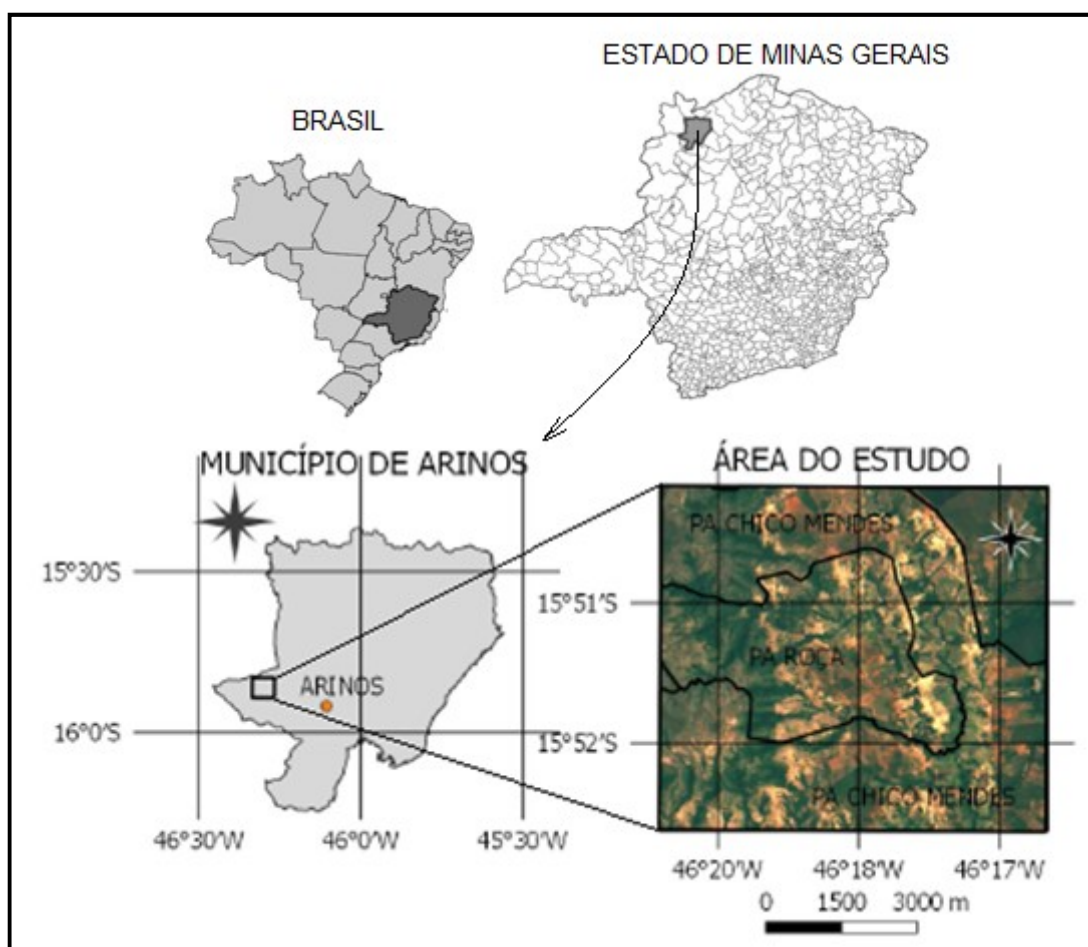
2.1 Caracterização da área do estudo

O local definido para o estudo situa-se no município de Arinos, no noroeste do estado de Minas Gerais. Compreende um quadrilátero com área de 5.015 ha, localizado por um ponto central de coordenadas geográficas 46°18.03' W e 15°51.35' S (vide figura 4) e em uma região abrangida por assentamentos da reforma agrária² implantados pelo INCRA. Os assentamentos abrangidos são o PA Chico Mendes e o PA Roça, ambos criados em 21/08/2000.

A figura 4 indica a localização da área objeto de estudo.

² Mapas dos Projetos de Assentamento disponibilizados pela Divisão de Ordenamento da Estrutura Fundiária, INCRA/SR(28)/DFE.

Figura 4- Localização e área objeto de estudo



Fonte - INCRA/INPE. Elaborado pelo autor

A drenagem local é contribuinte da Bacia Hidrográfica do Rio Urucuia, importante tributário da margem esquerda do Rio São Francisco. Os cursos d'água principais no polígono são os Córregos Caiçara e Barro Vermelho.

O município se caracteriza por ter tipo climático Aw, ou seja, clima tropical com estação seca de inverno, com uma pluviosidade média anual de 1.181 mm, na maior parte concentrada nos meses de outubro a março³. Essa característica do clima, com uma estação seca e outra chuvosa bem definidas reflete no comportamento fenológico da vegetação, principalmente no estrato herbáceo/graminoso que se torna ressecado devido ao déficit hídrico no inverno.

Os solos da porção do município de Arinos, área em questão onde se pretende desenvolver o trabalho, são em sua maioria classificados como Latossolo

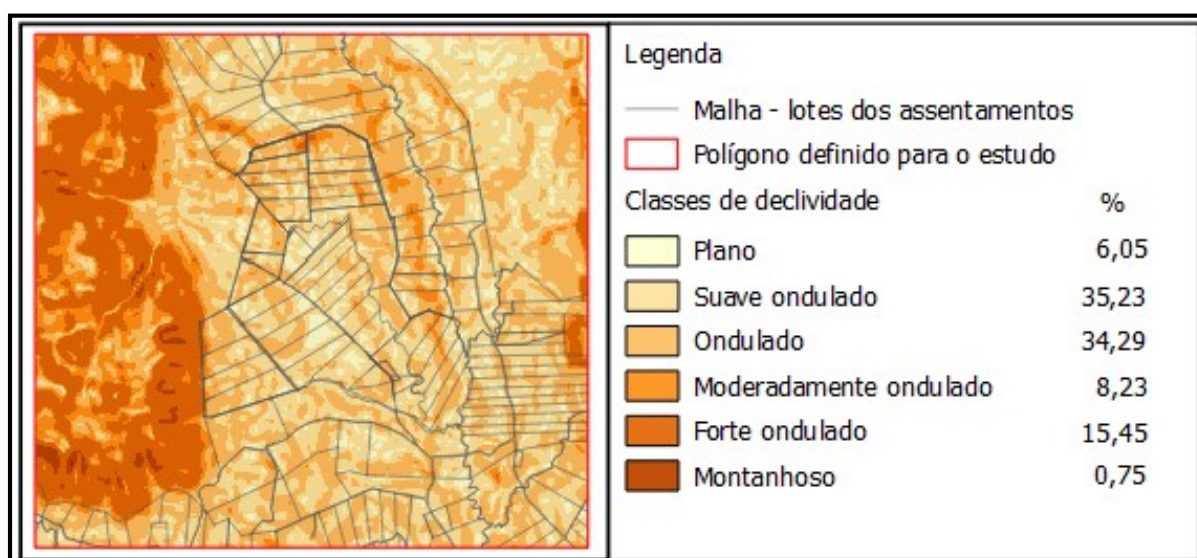
³ Classificação climática e pluviosidade obtida no site <<https://pt.climate-data.org/location/176244/>>. Acesso em: 4 jul. 2017.

Vermelho, Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico, com a predominância destes dois últimos no quadrilátero definido para o estudo⁴.

A vegetação remanescente na região objeto do estudo pertence ao Bioma Cerrado, compondo-se das fitofisionomias de campos, cerrado típico e floresta estacional semidecidual montana⁵.

A declividade no polígono definido para o estudo é predominantemente suave ondulado a ondulado (69,52%), seguido de forte ondulado (15,45%), moderadamente ondulado (8,23%), plano (6,05%) e montanhoso (0,75%)⁶. Na figura 5 está a distribuição percentual destas classes de declividade.

Figura 5 - Detalhamento das classes de declividade



Fonte - INCRA/INPE. Dados SRTM⁷ processados no QGIS. Elaborado pelo autor.

Conforme o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais, para a área do estudo a vulnerabilidade do solo à erosão classifica-se como de alta a muito alta vulnerabilidade em 44,57 % da área. Para a suscetibilidade à degradação estrutural dos solos, tem-se que 47,16% da área enquadra-se como de alta suscetibilidade. Por fim, em termos de prioridade de recuperação mapeados pelo ZEE tem-se que 55,72% da área classificam-se entre alta a muito alta prioridade de recuperação, indicativo este que "fornece subsídios para o

⁴ Conforme Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/2015/SOLOS/hd-mapa_solos_folha1.jpg>. Acesso em: 5 jul. 2017.

⁵ Informações sobre a vegetação obtidas no Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais, disponível em: < <http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/zee/>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

⁶ Calculado a partir dos parâmetros dispostos no Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial do INCRA. INCRA, 2006, p. 29.

⁷ Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff>>. Acesso em 7 jul. 2017

planejamento e gestão, pois direciona esforços de recuperação, conservação e/ou desenvolvimento"⁸.

2.2 Execução do trabalho

Obteve-se imagem do satélite CBERS-4 captada pelo sensor MUX (Câmera Multiespectral Regular) e disponibilizada gratuitamente pelo INPE para a órbita/ponto 156/118. A data selecionada foi 2 de janeiro de 2017 por corresponder ao período chuvoso, importante para se detectar maior atividade fotossintética. Detecta-se melhor também as áreas de campos, que poderiam ter maior exposição do solo pela vegetação se apresentar mais rala.

Esta imagem possui resolução radiométrica de 8 bits o que significa que a imagem original possui 256 possibilidades de registro das características espectrais da superfície imageada. A resolução espacial é de 20m, correspondendo cada pixel da imagem a 400 m² de superfície imageada.

Desta imagem, as bandas utilizadas foram a vermelha e a infravermelho próximo. Essas duas bandas são interessantes quando se pretende identificar vegetação fotossinteticamente ativa e solo exposto. A luz no comprimento de onda correspondente ao vermelho é utilizado pelas plantas na fotossíntese ocorrendo uma depressão na curva de reflectância, mas que continua ascendente no caso de solo seco exposto. A diferenciação destas duas feições provêm do uso do comprimento de onda na faixa do infravermelho próximo, que como não é utilizado pelas plantas para a fotossíntese, em plantas fotossinteticamente ativas é refletida pela estrutura celular das folhas verdes tendo um valor de reflectância superior ao dos solos (vide Figuras 2 e 3 do referencial teórico) podendo-se, então, diferenciar as feições vegetação e solo exposto. A Tabela 1 informa sobre a resolução espacial e o comprimento de onda das bandas utilizadas no estudo.

⁸ Informações sobre a vulnerabilidade dos solos à erosão; suscetibilidade à degradação estrutural dos solos e prioridade de recuperação são calculados pelo ZEE a partir de parâmetros geográficos para a pesquisa. Disponível em: < <http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/zee/>>. Acesso em 7 jul. 2017.

Tabela 1 - Características das bandas 7 e 8 do satélite CBERS-4, sensor MUX, utilizadas para a determinação do NDVI.

Bandas	Resolução espacial (m)	Comprimento de onda (μm)
Vermelho (banda 7)	20	0,63 a 0,69
Infravermelho próximo (banda 8)	20	0,77 a 0,89

Fonte: INPE. Elaborado pelo autor.

As bandas foram processadas utilizando-se o *software* QGIS, versão 2.14. Para o processamento se utilizou somente a área correspondente ao polígono definido para o estudo, cujas coordenadas dos vértices foram lançados como delimitadores do espaço, o que está posto na Tabela 2:

Tabela 2- Coordenadas planas na projeção UTM que definem os vértices do polígono do estudo.

Coordenadas norte (m)	Coordenadas Leste (m)
8249531,76	357022,55
8249531,76	364384,96
8242719,54	364384,96
8242719,54	357022,55

Meridiano central: -45; *datum*: WGS 84; Zona 23S.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizando-se da calculadora *raster* do QGIS fez-se o cálculo do NDVI inserindo nos parâmetros de cálculo os arquivos *raster* (arquivos *raster* - um conjunto de pixels cada qual com seu DN, relativos aos registros da superfície imageada). Os arquivos utilizados foram as bandas vermelha (V) e infravermelho próximo (IVP) a fim de atender os requisitos da equação mencionada no referencial teórico. Esse cálculo fornece os índices de reflectância de cada pixel (que corresponde a 400m² de área imageada) em uma nova imagem (novo arquivo *raster*) obtida a partir da associação das bandas infravermelho próximo e vermelho na determinação do NDVI.

Dado o objetivo do estudo foram definidas somente três classes de aspectos ambientais para enquadramento dos índices oriundos do NDVI. A diferenciação entre as classes se deu a partir dos valores dos índices máximo,

médio e mínimo de reflectância, além do uso do desvio padrão destes índices, inseridos em operações aritméticas conforme exposto no Quadro 1.

Quadro 1 - Definição de classes de cobertura do solo: aritmética utilizada

Classes	Valores situados entre os parâmetros	
I	mínimo	média - desvio padrão
II	média - desvio padrão	média + desvio padrão
III	média + desvio padrão	máximo

I - Corresponde às superfícies que não possuem cobertura vegetal significativa (área degradada, água, solo exposto).

II - Compreende áreas de pastagens, campos, Cerrado.

III - Áreas com densa cobertura vegetal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As informações referentes aos dados estatísticos utilizados no cálculo para a definição das classes de NDVI foram obtidos diretamente dos metadados do NDVI processado e estão expostos na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3 - Dados estatísticos NDVI

Índice	Valor
máximo	0,776
mínimo	-0,405
média	0,444
desvio padrão	0,163

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 4 estão demonstrados os intervalos de valores que definem cada classe do NDVI. Esses valores são o resultado das operações aritméticas (Quadro 1) onde se utilizou os parâmetros estatísticos do NDVI (Tabela 3).

Tabela 4 - Definição das Classes de NDVI

Classe	Intervalo de valores	
I	-0,405	0,281
II	0,281	0,607
III	0,607	0,776

Fonte: Elaborado pelo autor.

O arquivo *raster* do NDVI foi classificado seguindo os intervalos de valores demonstrados na Tabela 4, sendo o cálculo realizado mais uma vez na calculadora *raster* do QGIS. Inseriu-se o arquivo *raster* e os dados que definem as classes na seguinte equação:

$$(("raster\ ndvi"<=max\ class\ I)*1)+(((("raster\ ndvi">max\ class\ I)and("raster\ ndvi"<=max\ class\ II))*2)+(((("raster\ ndvi">max\ class\ II)and("raster\ ndvi"<=max\ class\ III))*3))^9$$

Com essa equação foi possível discretizar os intervalos de classe.

A imagem produzida por estes parâmetros foi utilizada para a vistoria de campo a fim de contrapor com a realidade local e pode ser vista no Mapa 01.

Os trabalhos de campo foram realizados durante os dias 17 a 19 de julho de 2017, a partir dos seguintes critérios:

- No mapa do NDVI classificado (Mapa 01) foram locadas três seções retas em que se procurou abarcar as três classes;
- As seções foram localizadas predominantemente na área ocupada pelos lotes dos assentados;
- Em cada seção foram definidos pontos de amostragem, baseados nas classes do NDVI, num total de 28 pontos a serem localizados no campo para verificação das características do local.

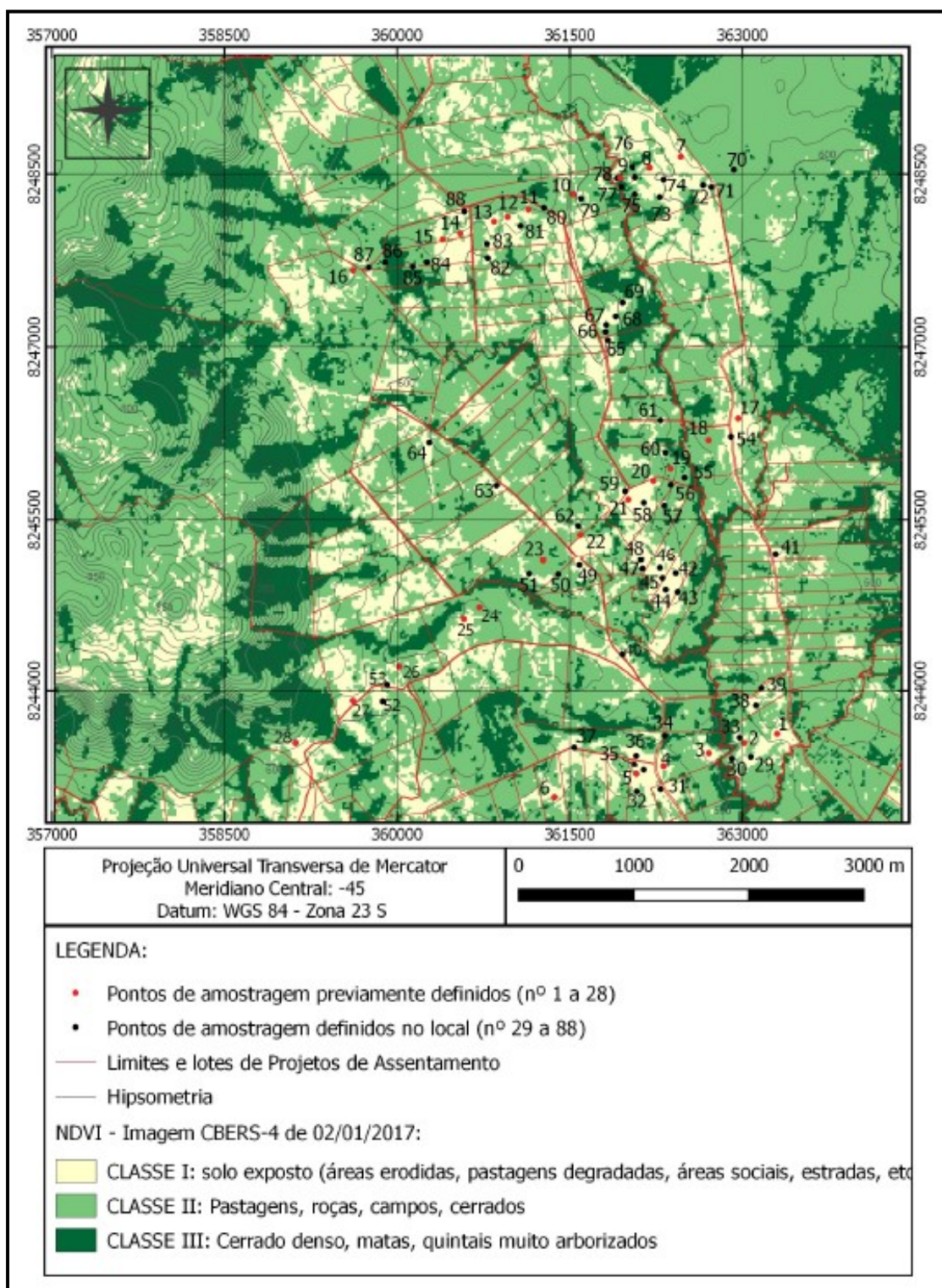
As coordenadas destes pontos foram previamente carregadas em um GPS de navegação Garmin, modelo *etrex Vista*, para posterior localização no campo. Utilizou-se de coordenadas planas UTM, tendo como meridiano central -45, *datum* WGS84 e Zona 23 Sul.

Além destes 28 pontos de amostragem de localização previamente definida, durante a vistoria outros 60 foram obtidos ao largo das três seções, totalizando 88 pontos de amostragem.

O Mapa 01 mostra os pontos de amostragem com as três seções retas (pontos nº 1 a 28 - pontos vermelhos) além dos demais pontos de amostragem (pontos nº 29 a 88 - pontos pretos) dispersos pela área. Demonstra ainda a classificação do NDVI conforme a definição das três classes.

⁹ Esta equação foi adaptada para a situação a partir de uma semelhante divulgada por Romansah Wumu. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=4fvkFGTI-4Y>>. Acesso: 5 jul. 2017.

Mapa 01 - Classificação do NDVI e pontos de amostragem



Fonte: INCRA/INPE. Elaborado pelo autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho teve como objeto de estudo uma região rural do município de Arinos - MG, em local ocupado predominantemente por agricultura familiar decorrente de Projetos de Assentamentos implantados pelo INCRA. O Mapa 01 mostrado anteriormente corresponde à área estudada.

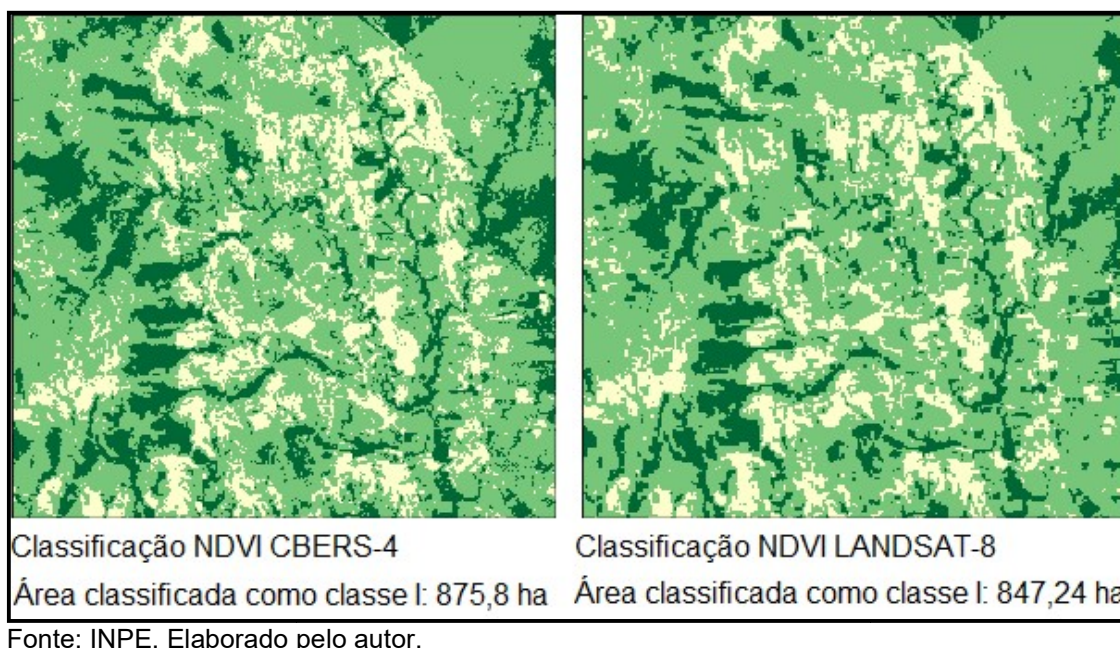
O objetivo foi analisar a possibilidade de se detectar áreas degradadas (principalmente por fatores físicos e biológicos) por meio de sensoriamento remoto utilizando-se de dados estatísticos oriundos da aplicação da metodologia do NDVI.

3.1 Uso das imagens CBERS-4

Os estudos para se analisar a dinâmica da vegetação correlacionando-a com a degradação dos solos, a exemplo do programa GLADA, geralmente são realizados em pequena escala cartográfica, ou seja, abarcam regiões inteiras dos países ou até mesmo países e continentes inteiros. Para isso, as imagens utilizadas podem apresentar uma resolução espacial de várias centenas de metros, as quais se tornam inadequadas quando se pretende focar um estudo para uma região específica, onde se pretende maior nível de detalhamento (grande escala).

Assim, optou-se pela imagem do sensor MUX (Câmera Multiespectral Regular) oriunda do satélite CBERS-4, cujas bandas utilizadas no estudo tem resolução espacial de 20m (400m² de área imageada/pixel). Poderia ter-se utilizado imagem LANDSAT-8 cujo sensor espectral OLI (*Operation Land Imager*) apresenta resolução espacial um pouco menor, de 30m (900m² de área imageada/pixel) para as bandas equivalentes, mas isso significaria uma diferença de 500m² (mais de um pixel do sensor MUX) em que a informação captada acabaria sendo generalizada para o valor de reflectância dos 900m². Esta é uma diferença significativa para um estudo onde se pretendeu utilizar-se de uma escala maior de observação para melhor detalhamento das feições em solo.

A figura 6 compara a classificação do NDVI de ambas imagens.

Figura 6 - Comparação visual entre classificação NDVI CBERS-4 e LANDSAT-8¹⁰

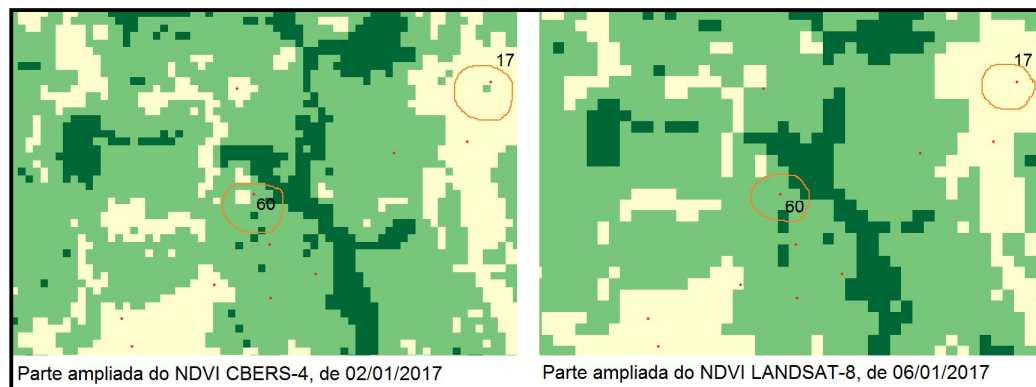
Conforme pode-se observar na figura 6 há uma sensível maior fragmentação das três classes derivadas da classificação do NDVI na imagem obtida do CBERS-4 comparativamente à imagem do LANDSAT-8. Frisa-se que ambas imagens utilizadas na determinação do NDVI para este comparativo são de datas próximas, sendo a imagem CBERS-4 de 2/1/2017 e a imagem LANDSAT-8 de 6/1/2017.

Este aparente maior detalhamento pode ser creditado à maior resolução espacial da imagem CBERS-4 utilizada na determinação do NDVI comparativamente à imagem LANDSAT-8.

Para melhor expor o que isto significa, na figura 7 tem-se um fragmento com maior aproximação visual da área estudada.

¹⁰ Área obtida após vetorização do arquivo *raster* e calculada pelo QGIS.

Figura 7 - Recorte ampliado da classificação do NDVI das imagens CBERS-4 (esquerda) e LANDSAT-8 (direita)

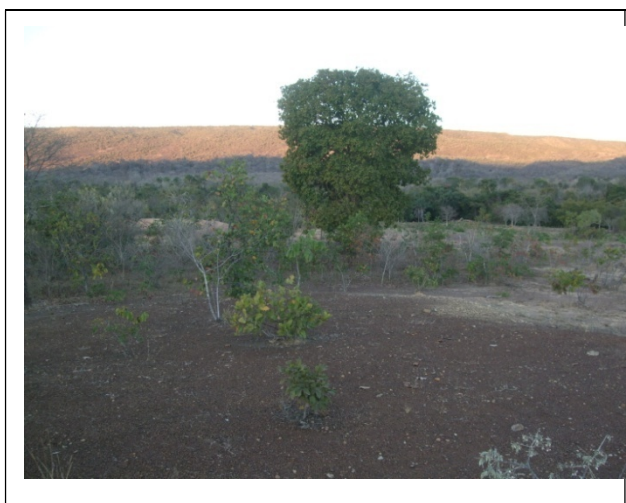


Fonte: INPE. Elaborado pelo autor.

Na figura 7 é nítida a diferença entre as imagens quanto à fragmentação da classificação do NDVI para as três classes definidas no estudo. Exemplificando, para a imagem CBERS-4, no ponto de amostragem nº 17 (circundado por uma marcação na cor laranja) identifica-se um pixel isolado, enquadrado na classe II (campos, cerrados, pastagens, etc.), enquanto que o mesmo local para a imagem LANDSAT-8 generaliza o local como sendo todo classe I (solo exposto, pastagem degradada, etc.).

Ainda na mesma figura, para o ponto de amostragem nº 60, na classificação do NDVI oriundo do CBERS-4 há uma pequena porção de área enquadrada como classe I, o que não ocorre na classificação do NDVI proveniente da imagen LANDSAT-8 que o considerou como classe II. São diferenças sutis que a depender da escala utilizada para o trabalho podem se tornar relevantes. As fotos nº 1 e 2 ilustram a situação observada no campo.

Foto 1 - Fragmento de vegetação identificado pela classificação do NDVI da imagem CBERS-4¹¹



Fonte: Autor do estudo.

Foto 2 - Pequena porção de solo exposto identificado pela classificação do NDVI da imagem CBERS-4¹²



Fonte: Autor do estudo.

Por fim, é interessante observar que em termos de área total enquadrada como classe I (indicada na figura 6) entre as imagens de ambos sensores (MUX e OLI) tem-se somente uma diferença de 28,56 ha (3,37%) a mais para esta classe do NDVI obtido da imagem CBERS-4.

3.2 Análise das amostragens

Conforme já exposto, as amostras foram obtidas de duas formas, sendo uma com o local a ser amostrado previamente identificado no mapa da classificação do NDVI e posterior localização no campo, e a outra foram as coletas de amostras com os locais sendo decididos no momento da vistoria. Na primeira forma as informações do mapa eram comparadas com as características ambientais do campo e na segunda, a característica ambiental do campo era contraposta à informação do mapa.

¹¹ Logo à esquerda desta árvore de baru (*Dipterix alata*) encontra-se uma pequena ilha de vegetação, próxima ao ponto de amostragem nº 17 e identificada no NDVI obtido da imagem CBERS-4.

¹² O topo desta elevação e seu entorno com solo quase a descoberto correspondem à área identificada como classe I, próxima do ponto de amostragem nº 60. No NDVI obtido da imagens CBERS-4 foi possível particularizar este evento.

Foram realizadas 88 amostragens, sendo 28 de localização previamente definida e 60 com os locais sendo decididos durante a vistoria. As duas formas de obtenção das informações ocorreram simultaneamente no transcurso dos caminhamentos.

No Apêndice A estão tabuladas as informações de cada ponto de amostragem, individualmente identificado, com sua localização e classificação do local conforme o mapa de classificação do NDVI, ou seja, Classes I, II ou III. Também está posta a classificação feita na vistoria a partir dos critérios definidos pelo autor. Por fim e em coluna específica, se existe correlação da classificação do NDVI com áreas degradadas, o que foi respondido com sim (S) ou não (N).

No Apêndice B se encontram alguns exemplos relativos às ponderações feitas para a classificação do ponto no momento da vistoria.

No extenso Apêndice C as informações referentes aos pontos de amostragem e sua classificação no mapa do NDVI estão dispostos de forma ilustrada, com fotos caracterizando os locais visitados.

Assim, como primeira informação extraída da planilha está o somatório do número de pontos amostrados e a respectiva classificação do NDVI, o que pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Demonstrativo do enquadramento dos 88 pontos de amostragem na classificação do NDVI

Classe	Nº de pontos	%
I	58	65,91
II	26	29,55
III	4	4,54
Total	88	100

Fonte: Elaborado pelo autor

Como o objeto de pesquisa desta monografia são as áreas degradadas, a atenção foi direcionada aos 58 pontos de amostragem que foram enquadrados na Classe I.

Para estas 58 amostras diferentes situações foram encontradas durante a vistoria. Foi constatado que no que corresponderia à Classe I (baixo índice de vegetação - solo exposto) se encontravam feições diferentes entre si do que tão somente áreas degradadas, como vias de circulação, áreas sociais, solo preparado

para plantio, etc – um falso área degradada. Contudo, quando algum local era identificado como classe I e não pertencia aos "falsos-degradados", normalmente estava relacionado com problemas de ordem ambiental e de manejo dos solos.

Conforme já informado, no Apêndice B estão exemplos quanto às ponderações feitas para a classificação do ponto.

Estas particularidades obrigaram que se subdividisse a Classe I em três categorias de solo exposto, a saber:

- Erosões (erosão laminar, em sulcos, voçoroca);
- Pastagem degradada (compreendendo o aspecto visual da pastagem, cobertura do solo, infestação por plantas invasoras e,
- Outros (área social, campo de futebol, estradas, terras preparadas para plantio, moradias, reservatório.

Essa categorização vem de uma avaliação qualitativa no momento da vistoria para o local do ponto de amostragem e seu entorno. Avaliou-se qual era o fator preponderante para aquele determinado tipo de situação para que o mapa do NDVI produzisse aquele resultado, ou não (quando a realidade encontrada não correspondia com a informação do mapa). Como a metodologia do NDVI se utiliza da dinâmica da vegetação verde é claro que mudanças de uso da terra poderão refletir nos resultados do NDVI em curtos espaços de tempo a exemplo de conversão de áreas para agricultura, formação de pastagens, etc.

Os problemas de ordem ambiental apontados acima geralmente estavam relacionados aos tipos de erosão. Os problemas de manejo do solo estavam na maior parte associados às pastagens degradadas, decorrentes de uma série de fatores, até sociais, mas que não são o objeto deste estudo. Pastagens degradadas e falta de manejo adequado dos solos podem fomentar a erosão a qual culminará com a degradação dos solos que, em determinado estágio podem inviabilizar social e economicamente um imóvel rural para a produção agropecuária.

Esse último parágrafo acima corresponde ao que expõe Metternicht (2009), quando enumera três formas de degradação dos solos (física, química e biológica). Pode-se colocar sem hesitação que pelo menos duas destas formas de degradação dos solos estejam ocorrendo no local: a degradação física, com os

diversos tipos de erosão; a degradação biológica, com o declínio da matéria orgânica dos solos visto ocorrer áreas em que a vegetação não mais se estabelece.

Como agravante do local abordado no estudo foi observado que muitos dos problemas de degradação de pastagens e erosão laminar estavam associados aos solos rasos que lá ocorrem, como cambissolos e neossolos litólicos.

A contribuir com este processo poderia estar a média pluviométrica anual em Arinos que é de aproximadamente 1.181 mm, com a maior parte desta precipitação ocorrendo durante os meses de outubro a março. Tem-se aí um fator que poderia magnificar os processos erosivos destes solos de baixa permeabilidade para as condições de manejo observadas.

Foram constatados ainda intensos processos erosivos, mas aparentemente de ordem natural visto se situarem em partes mais remotas, fora das áreas produtivas. Contudo, somente com um estudo aprofundado de como se deu a ocupação da região no passado se poderia ter uma resposta definitiva para tal.

Os critérios e aspectos discutidos acima foram utilizados para responder se a informação produzida pelo NDVI corresponde à área degradada (áreas erodidas). Ao consultar a última coluna do Apêndice A o leitor perceberá que por vezes pastagens degradadas transitaram entre área degradada ou não (S ou N), o que é resultado de uma percepção visual durante a vistoria em que se utilizou aqueles critérios para a subdivisão da Classe I, como a cobertura do solo pela pastagem, presença de plantas invasoras, presença de tipos de erosão, tipo de substrato superficial (cascalhos, material argiloso), exposição do subsolo (decorrente dos processos erosivos), quantidade de rebrota da vegetação nativa. Desta forma, definiu-se que uma pastagem degradada pode estar com este aspecto devido ao excesso momentâneo de pastoreio e/ou adversidades climáticas, que, caso cessassem estes eventos a pastagem poderia por si só se recuperar, não sendo, portanto, área degradada (N). Por outro lado, caso somente intervenções de grande monta onde fosse necessário semear novamente a pastagem, juntamente com maiores intervenções para conter processos erosivos e outras ações para tornar o solo novamente produtivo, ter-se-ia uma situação definida como área degradada (S).

Este raciocínio vai de encontro com o que Bai et al. (2008, p.1) propuseram, de que solos degradados são aqueles que perderam continuamente

suas funções ecossistêmicas e produtivas medidos em termos de produção primária (produção de biomassa) e produtividade, com impossibilidade de se recuperar de forma natural.

Após essa longa exposição sobre algumas características ambientais dos locais vistoriados que obrigaram que se subdividisse a Classe I para uma correta interpretação, nas Tabelas 6, 7 e 8 onde estão consolidados dados da planilha relativos às áreas compreendidas por esta classe específica, objeto de estudo desta monografia. Entre as Tabelas 6 e 7 a diferença está na forma de obtenção das amostras, se previamente definido o local de amostragem ou se decidido durante a vistoria.

Tabela 6 - Amostragem de localização previamente definida: correspondência entre Classe I no mapa da classificação do NDVI e característica ambiental nos pontos amostrados (pontos 1 a 28)

Característica ambiental	Nº amostras	%
Classe I NDVI não corresponde a solos degradados	5	27,78
Classe I NDVI corresponde a solos degradados	13	72,22
Total nº de pontos da amostragem de localização previamente definida enquadrados na Classe I NDVI	18	100

Fonte: Elaborado pelo autor

Como se observa, do total de amostras que se enquadraram na classe I, 13 destas (72,22% das amostras) se enquadraram como áreas degradadas de acordo com os critérios adotados para o estudo.

Na Tabela 7 se dispôs os valores referentes àquelas amostras que foram sendo obtidas ao largo dos locais da amostragem predefinida. No caso, de um total de 40 amostras classificadas como classe I, 25 destas (62,50%) se enquadraram como área degradada de acordo com os critérios adotados para o estudo.

Tabela 7 - Amostragem com a localização dos pontos decididos no próprio local: correspondência entre Classe I no mapa da classificação do NDVI e característica ambiental nos pontos amostrados (pontos 29 a 88)

Característica ambiental	Nº amostras	%
Classe I NDVI não corresponde a solos degradados	15	37,50
Classe I NDVI corresponde a solos degradados	25	62,50
Total nº de pontos da amostragem enquadrados na Classe I NDVI para esta forma de amostragem	40	100

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esta forma de obtenção de amostras em particular (em que se decidiu no local o ponto de amostragem), se pretendeu investigar o enquadramento de diferentes feições do terreno relativamente à classificação no mapa do NDVI. Assim, deve-se atentar ao fato de que cada amostra acaba tendo o mesmo peso na análise. Por isso, e esse raciocínio já fora anteriormente discutido, uma área social, vias de circulação, locais de moradia, etc. classificados como classe I (solo exposto), em termos de área que ocupam em relação à área total classificada como classe I no mapa do NDVI podem não ser tão relevantes quanto à real quantidade de áreas degradadas existentes. Isto significa que por terem o mesmo peso na análise que uma área realmente degradada, ao serem subtraídos da classe I como áreas degradadas podem artificialmente reduzir o percentual de áreas de fato degradadas, passando a falsa noção de que o montante de áreas degradadas possa ser menor.

Por último, a Tabela 8 abaixo reuniu as informações das Tabelas 6 e 7. Dispôs-se nele o total de amostras enquadradas na Classe I que não correspondem a áreas degradadas; o total de amostras enquadradas na Classe I que correspondem à áreas degradadas e respectivos percentuais.

Salienta-se que estes valores não podem ser encarados como números absolutos, mas relativos, dado o carácter subjetivo na obtenção das amostras. Contudo, conforme já exposto em parágrafos anteriores, entende-se que isto não invalida o método pelas razões lá expostas.

Tabela 8 - Panorama geral das amostras enquadradas na Classe I do NDVI após vistoria de campo

Característica ambiental	Nº amostras	%
Classe I NDVI não corresponde a áreas degradadas	20	34,50
Classe I NDVI corresponde a áreas degradadas	38	65,50
Total nº de pontos da amostragem enquadrados na Classe I NDVI	58	100

Fonte: Elaborado pelo autor

Como se tem mencionado várias vezes ao longo do texto sobre o estado das pastagens como um aspecto que influencia no NDVI da área, às vezes identificando-a como solo exposto quando degradada ou com pouca massa vegetal, elaborou-se um quadro com as informações do Anexo A somente com estes dados para se avaliar qual seria o percentual dos pontos de amostragem identificados

como pastagem degradada e enquadrados como área degradada em relação aos demais dados, o que pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9 - Contribuição das áreas de pastagens classificadas como Classe I pelo NDVI e correspondência com áreas degradadas

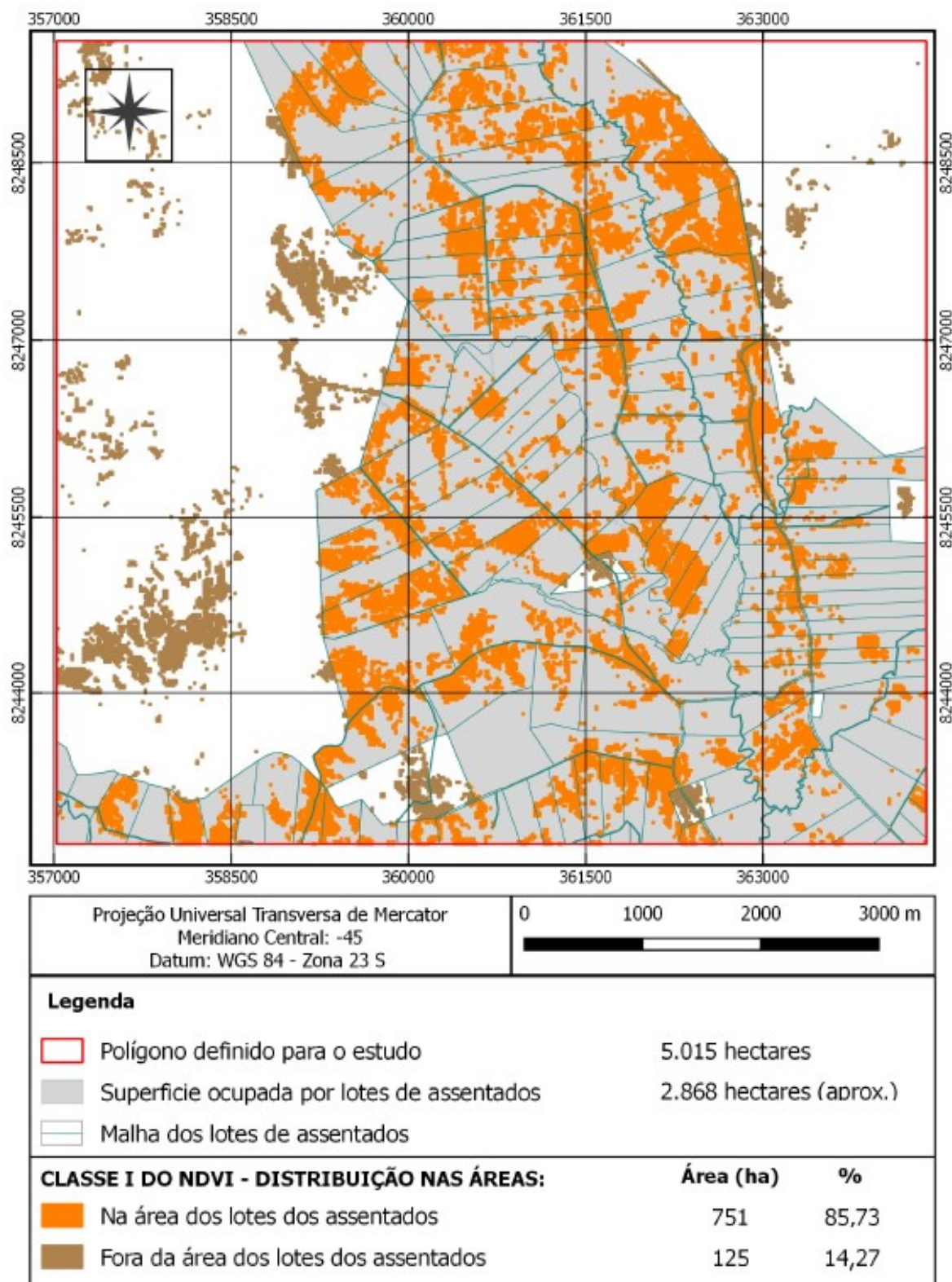
Enquadramento ambiental	Nº amostras	%
Pontos da amostragem identificado como pastagem degradada e área degradada	4	10,53
Outros pontos de amostragem identificados como área degradada	34	89,47
Total pontos de amostragem identificados como área degradada	38	100

Fonte: Elaborado pelo autor

À primeira vista os dados da Tabela 9 sugerem ser pequena a contribuição das pastagens degradadas como contribuinte das áreas degradadas. Contudo, o primeiro aspecto a ser considerado é quanto à forma de coleta dos dados, que não se referem à superfície destas áreas, em metros quadrados ou hectares, mas identificações pontuais, o que nos remete ao que já fora comentado sobre o peso dado às amostras. Um segundo aspecto é que provavelmente muitas áreas classificadas na vistoria já como área degradada (Apêndice A - coluna "erosão") possam ter sido, no passado, uma área de pastagem. Assim, poder-se-ia prever que aqueles locais hoje identificados como "pastagem degradada" classificadas como área degradada (última coluna do Apêndice A) estariam também se encaminhando para um nível de degradação tal dos solos que no futuro fossem reenquadrados como "erosão" pelos critérios definidos para este trabalho.

E para suscitar um pouco mais a discussão se discriminou as áreas Classe I na totalidade, sem a ponderação do que seja realmente área degradada, mas restritas à superfície ocupada pelos lotes dos beneficiários dos Projetos de Assentamento, o que pode ser visto no Mapa 02. Esse recorte foi feito excluindo todas aquelas áreas que não sejam os lotes dos beneficiários dos Projetos de Assentamento (outros imóveis, estradas, áreas comunitárias, áreas de Reserva Legal, etc.). Trata-se de um dado aproximado visto os mapas dos Projetos de Assentamento apresentarem feições (estradas) nem sempre implantadas ou implantadas em local distinto daquele projetado, além de problemas de ordem cartográficas entre os mapas utilizados.

Mapa 02 - Distribuição da Classe I do NDVI nos lotes dos assentados



Fonte: INCRA/INPE. Elaborado pelo autor.

A Tabela 10, abaixo, traz uma síntese das áreas identificadas no Mapa 02.

Tabela 10- Comparativo de áreas Classe I

Superfície considerada	Área (ha)	Classe I (ha)	%
Área não compreendidas pelos lotes dos assentados	2.147 (aprox.)	125	14,27
Área ocupada pelos lotes dos assentados	2.868 (aprox.)	751	85,73
Polígono definida para o estudo	5.015	876	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados apresentados na Tabela 10 são alarmantes, pois mais de três quartos de toda a área classificada como Classe I pelos critérios adotados neste estudo se referem à solo exposto localizado nos lotes dos beneficiários.

Pode-se extrair outra informação significativa do Mapa 02, quando se verifica que o montante de Classe I na área ocupada pelos assentados corresponde a cerca de 26% desta área. Cerca de 1/4 da área ocupada pelos lotes dos assentados podem estar comprometidos para as atividades produtivas.

Porém, como se pode constatar nas ilustrações e dados apresentados, é necessário recepcionar com cuidado as informações geradas a partir da classificação do NDVI para não se incorrer em erros de interpretação. A metodologia adotada para este estudo não foi capaz de discernir somente a feição áreas degradadas das demais. No entanto, há de se considerar que no polígono definido para o estudo estes "falsos degradados" sejam minoria, haja visto se tratar de uma zona rural em que os espaços para moradias, áreas sociais, vias de circulação, etc. não são expressivos. Isto nos leva a concluir que de fato a extensão das áreas degradadas no local estudado possa ser significativa podendo vir efetivamente a comprometer as atividades econômicas lá praticadas, notadamente naquelas superfícies ocupadas por lotes dos assentamentos. Assim, para as famílias beneficiárias do INCRA que lá aplicam sua força de trabalho auferindo subsistência e renda há o risco desta degradação dos solos vir a impactar além de economicamente, também socialmente as famílias. Ter-se-ia, então, um problema socioeconômico e ambiental. Desta forma, aqueles que uma vez já foram "sem-terra" por razões sociais, poderão tornar a sê-lo por questões ambientais.

Outro aspecto que pode ser discutido é sob o ponto de vista dos recursos hídricos. Como já posto, a área estudada está inserida na bacia do Rio Urucuia, um dos principais tributários da margem esquerda do Rio São Francisco. Pelo aspecto

dos locais visitados e pelo que foi revelado pelo mapa do NDVI, a situação encontrada se contrapõe ao anseio de se recuperar a bacia hidrográfica do Rio São Francisco, senão colabora com sua deterioração.

Uma última e instigante observação, e que nos remete ao referencial teórico deste trabalho, é a respeito do percentual de área Classe I definida pelo NDVI para o polígono estudado, que é de 17,47% de solo exposto. Este número se aproxima dos 22,11% identificados como área degradada no território brasileiro no relatório apresentado por Bai *et al.* (2008, p.24) e referente ao levantamento global de terras degradadas, o que de certa forma indica que possa existir um nível de aproximação adequado na metodologia utilizada para este trabalho.

CONCLUSÃO

O estudo permitiu detectar áreas com solo exposto, desprovido de vegetação, que no contexto do local em que fora analisado está muito relacionado com tipos de degradação dos solos, das pastagens e da vegetação nativa.

Quanto aos tipos de degradação identificados no local tem-se áreas erodidas, principalmente com a formação de erosão em sulcos e a erosão laminar. Áreas com compactação superficial também devem ser consideradas na formação das áreas desprovidas de vegetação identificadas pelo método, possivelmente devido ao manejo inadequado do gado, com excesso de animais e a sobreexploração das pastagens.

A metodologia adotada baseada no NDVI das imagens, com a definição de três classes de características ambientais baseadas nos valores mínimo, máximo, média e desvio padrão dos índices de reflectância foi adequada para detectar áreas degradadas, todavia acabou por incluir outras feições que também apresentavam solo exposto. No entanto, propiciou importantes informações acerca das condições gerais dos solos da área pesquisada no tocante às perspectivas de produção agropecuária.

Na análise dos resultados oriundos da metodologia adotada especial atenção deve ser dada às áreas que, embora sejam identificadas como solo exposto, podem não ser locais com problemas de degradação dos solos, mas sim áreas com solo preparado para o plantio, moradias, áreas comunitárias, campos de futebol, vias de circulação. Neste sentido, as características de uso e ocupação da região devem ser consideradas, pois regiões com uso intenso dos solos para a agricultura poderiam apresentar, a depender da época em que foram obtidas as imagens, elevado percentual de solo exposto.

O uso de uma série temporal de imagens poderia segregar estas áreas e indicar onde ocorre continuamente solo exposto, um indicativo de solos degradados. Também o aperfeiçoamento desta metodologia, com uma análise estatística mais sofisticada e talvez com o uso de imagens hiperespectrais pudesse separar estes locais dos alvos de interesse.

Por fim, é perturbador constatar que 85,73% das áreas mapeadas como solo exposto ocorrem exatamente nos lotes dos assentados e estão relacionadas principalmente com pastagens degradadas e erosão dos solos em vários níveis. Isto certamente impacta na produtividade destes lotes e conseqüentemente na subsistência e na geração de renda das famílias que lá vivem.

Este trabalho serve como subsídio para trabalhos futuros de recuperação de áreas degradadas pois indica os locais prioritários para intervenção, a exemplo do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas ou Alteradas (PRADA), instrumento previsto no Plano de Regularização Ambiental para aqueles imóveis cadastrados no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) que apresentam algum passivo ambiental.

Para o INCRA, a metodologia utilizada nesse trabalho é conveniente para uma seleção prévia dos imóveis a serem destinados ao Programa de Reforma Agrária, pois pode-se eliminar de antemão aqueles que se revelarem com percentual elevado de solo exposto não relacionado aos ciclos anuais de cultivos.

REFERÊNCIAS

BAI, Z. G. et al. . **Global assessment of land degradation and improvement 1: identification by remote sensing**. Wageningen: International Soil Reference Centre (ISRIC), 2008. Relatório 2008/01. 60 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/37790474_Global_assessment_of_land_degradation_and_improvement_1_Identification_by_remote_sensing>. Acesso em 13 jun. 2017.

CBERS-4: Imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. 1 imagem, canais 7 e 8.

DENT, David et al. Land. In: UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **GEO4**. Nairobi, 2007, p. 82-83. Disponível em: <http://news.bbc.co.uk/2/shared/bsp/hi/pdfs/15_10_2007_un.pdf> Acesso em: 16 jun. 2017.

FENG, J. et al. Land degradation in the source region of the Yellow River, northeast Qinghai-Xizang Plateau: classification and evaluation. **Environmental Geology**. [S.l.]: Springer - Verlag, v. 47, n. 4, p. 459 - 466, 2005. Disponível em: <<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=b898cd27-8c97-4dc4-b790-d2ad4c9a6075%40sessionmgr4006&hid=4204>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

FLORENZANO, Teresa G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Manual de obtenção de terras e perícia judicial**. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/servicos/publicacoes/manuais-e-procedimentos/manual_de_obtencao.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2017.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos N. Epiphanyo (coord.) et al. 2. ed. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

KELLNER, Klaus; RISOLI, Camillo; METZ, Markus. **Terminal Evaluation of the UNEP/FAO/GEF Project “Land Degradation Assessment in Drylands (LADA)”**. United Nations Environment Programme. 2011. Disponível em: <<https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/890/retrieve>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

LILLESAND, Thomas M.; KIEFER, Ralph W. **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. John Wiley & Sons, Inc. EUA, 1987, p. 1. Disponível em: <<https://openlibrary.org/>>. Acesso em: 19 jun. 2017

MENESES, Paulo R. Origem das feições espectrais. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (Org.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB, 2001, p. 43.

MENESES, Paulo R. Princípios de sensoriamento remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (Org.) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012, p. 22-23. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

METTERNICHT, Graciela et al. Remote Sensing of Land Degradation: Experiences from Latin America and the Caribbean. **Journal of Environmental Quality**. J. Environ. Qual. 39:42–61. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/JA_Zinck/publication/40847180_Remote_Sensing_of_Land_Degradation_Experiences_from_Latin_America_and_the_Caribbean/links/0046352aec8cf6bbfe000000.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2017.

NOVO, Evelyn M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008, p. 4.

MADEIRA NETTO, José da S. Comportamento espectral dos solos. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (Org.) **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB, 2001, p. 127.

OLDEMAN, L. R.; LYNDEN, G. W. J. van. **Revisiting the GLASOD methodology**. Wageningen: International Soil Reference Centre (ISRIC), fev. 1996. Disponível em: <http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i26867_001.pdf> Acesso em 17 jun. 2017.

PONZONI, Flávio J. Comportamento espectral da vegetação. In MENESES, P. R.; NETTO, J.da S. M. (Org.) **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB, 2001, p. 168-169, 191-193.

SAMPAIO, Everardo V. S. B; ARAÚJO, Maria do Socorro B.; SAMPAIO, Yony, S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. Recife: **Revista de Geografia**, 2005. v. 22, nº 1, p. 90 - 112. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/38/8>> Acesso em: 15 jun. 2017

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Global Environment Outlook: environment for development**. Malta: Progress Press Ltd, 2007. Disponível em:< http://news.bbc.co.uk/2/shared/bsp/hi/pdfs/15_10_2007_un.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2017.

APÊNDICE A – Identificação dos pontos de amostragem, classificação NDVI e correlação com a vistoria

Nº PONTO	LOCALIZAÇÃO (m):		Classific. Mapa NDVI	Classificação dos pontos na vistoria			Correspondência Classe NDVI com áreas degradadas? (Sim/Não)
	Projeção UTM. Meridiano Central -45. Datum WGS 84 Zona 23 S			Se Classe I, enquadramento ¹			
	Coord. L	Coord. N		Classes	Erosão ²	Past. Deg. ³	
1	363.300	8.243.628	I	x			S
2	363.015	8.243.547	II				<i>nihil</i>
3	362.707	8.243.460	I			x	N
4	362.312	8.243.347	I		x		N
5	362.077	8.243.281	I	x			S
6	361.365	8.243.078	I		x		N
7	362.462	8.248.650	I	x			S
8	362.192	8.248.556	I	x			S
9	361.936	8.248.467	III				<i>nihil</i>
10	361.528	8.248.326	II				<i>nihil</i>
11	361.140	8.248.191	I	x			S
12	360.959	8.248.128	I	x			S
13	360.841	8.248.087	I	x			S
14	360.548	8.247.986	II				<i>nihil</i>
15	360.395	8.247.933	I	x			S
16	359.616	8.247.662	II				<i>nihil</i>
17	362.963	8.246.379	I	x			S
18	362.705	8.246.190	II				<i>nihil</i>
19	362.374	8.245.946	II				<i>nihil</i>
20	362.226	8.245.837	I		x		N
21	362.006	8.245.675	I	x			S
22	361.589	8.245.368	II				<i>nihil</i>
23	361.267	8.245.131	II				<i>nihil</i>
24	360.715	8.244.725	II				<i>nihil</i>
25	360.579	8.244.624	I	x			S
26	360.017	8.244.211	I	x			S
27	359.615	8.243.915	I		x		N
28	359.117	8.243.547	I	x			S
29	363.071	8.243.427	I		x		S
30	362.907	8.243.410	I		x		N
31	362.287	8.243.148	I			x	N
32	362.080	8.243.127	I	x			S
33	362.975	8.243.595	I	x			S
34	362.324	8.243.612	II				<i>nihil</i>
35	362.142	8.243.316	I		x		S
36	362.076	8.243.436	I			x	N
37	361.538	8.243.509	I		x		S
38	363.116	8.243.873	II				<i>nihil</i>
39	363.163	8.244.023	I			x	N

40	361.956	8.244.317	I	x			S
41	363.288	8.245.200	I	x			S
42	362.420	8.245.022	I	x			S
43	362.436	8.244.859	II			x	<i>nihil</i>
44	362.333	8.244.879	I		x		N
45	362.304	8.244.979	I	x			S
46	362.282	8.245.069	I		x		N
47	362.131	8.245.062	I	x			S
48	362.117	8.245.137	I	x			S
49	361.582	8.245.092	I			x	N
50	361.398	8.245.012	II			x	<i>nihil</i>
51	361.146	8.245.016	II			x	<i>nihil</i>
52	359.875	8.243.908	I	x			S
53	359.913	8.244.053	I			x	N
54	362.900	8.246.220	I		x		N
55	362.496	8.245.866	II			x	<i>nihil</i>
56	362.377	8.245.802	II			x	<i>nihil</i>
57	362.320	8.245.622	II			x	<i>nihil</i>
58	362.143	8.245.648	I		x		N
59	361.980	8.245.748	I	x			S
60	362.331	8.246.081	II			x	<i>nihil</i>
61	362.287	8.246.362	I		x		N
62	361.573	8.245.446	I			x	N
63	360.862	8.245.798	I			x	N
64	360.278	8.246.171	I		x		S
65	361.831	8.247.057	I		x		N
66	361.810	8.247.130	II			x	<i>nihil</i>
67	361.816	8.247.191	I	x			S
68	361.898	8.247.265	I	x			S
69	361.958	8.247.385	I	x			S
70	362.924	8.248.539	II			x	<i>nihil</i>
71	362.730	8.248.386	II			x	<i>nihil</i>
72	362.657	8.248.404	I	x			S
73	362.280	8.248.299	I	x			S
74	362.313	8.248.451	I	x			S
75	362.063	8.248.323	II			x	<i>nihil</i>
76	362.064	8.248.471	I	x			S
77	361.947	8.248.388	III			x	<i>nihil</i>
78	361.911	8.248.464	II			x	<i>nihil</i>
79	361.596	8.248.286	I	x			S
80	361.274	8.248.208	II			x	<i>nihil</i>
81	361.072	8.248.050	II			x	<i>nihil</i>
82	360.787	8.247.769	I	x			S
83	360.780	8.247.894	I	x			S
84	360.259	8.247.734	II			x	<i>nihil</i>
85	360.136	8.247.697	III			x	<i>nihil</i>

86	359.893	8.247.733	III			x	<i>nihil</i>
87	359.753	8.247.692	I	x			S
88	360.583	8.248.175	I			x	N

Elaborado pelo autor.

¹ Conforme definido pelo autor.

² Inclui os diversos tipos e estágios de erosão (laminar, sulcos, voçoroca).

³ Aspecto visual da pastagem, cobertura do solo, infestação por invasoras.

⁴ Área social, estradas, campo de futebol, terreno preparado para plantio, reservatório, moradias.

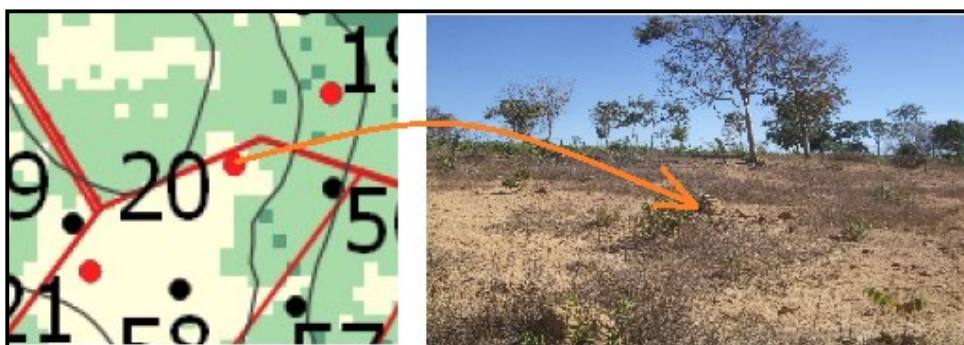
APÊNDICE B - Exemplos de critérios adotados para os trabalhos de campo



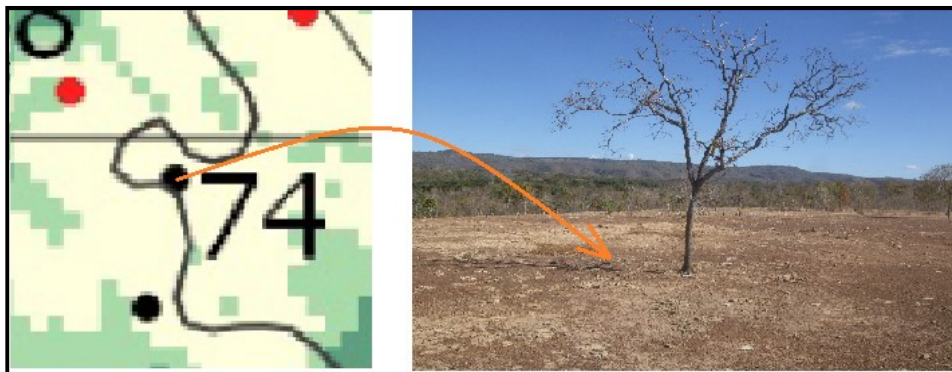
Ponto de amostragem nº 6. Local identificado como classe I (solo exposto) no mapa de classificação do NDVI, contudo trata-se de uma pastagem degradada que, pelos critérios adotados para a vistoria **não foi considerado como área degradada para os objetivos do trabalho.**



Ponto de amostragem nº 37. Local identificado como classe I (solo exposto) no mapa de classificação do NDVI. Trata-se de uma pastagem degradada que por si só não voltará a cobrir o solo. Pelos critérios adotados para a vistoria, **trata-se de área degradada.**



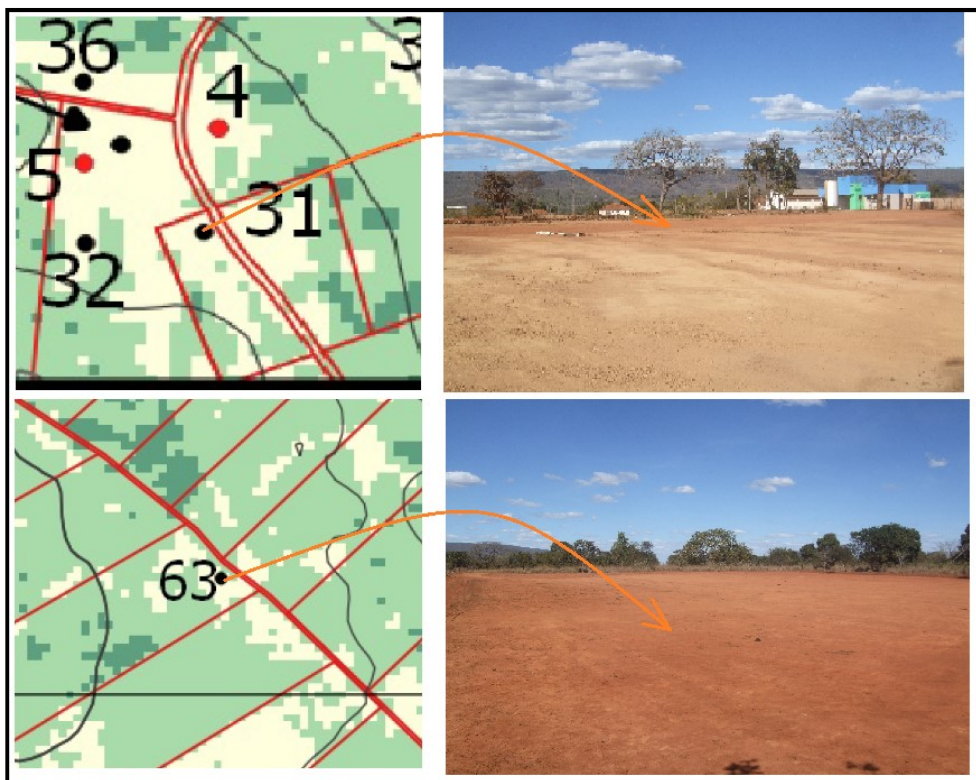
Ponto de amostragem nº 20, local identificado como classe I (solo exposto) no mapa de classificação do NDVI, porém trata-se de uma pastagem degradada que, pelos critérios adotados para a vistoria **não foi considerado como área degradada para os objetivos do trabalho.** Nota-se infestação por plantas invasoras e rebrota de plantas do cerrado. Uma área nestas condições, caso fosse isolada dos animais de criação, ao longo do tempo possivelmente seria recoberta com algum tipo de vegetação. Observa-se que de alguma forma o solo ainda propicia o desenvolvimento das plantas.



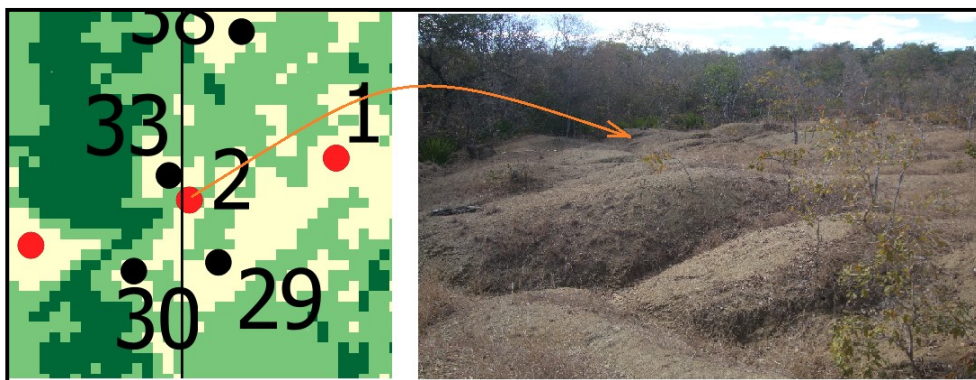
Ponto de amostragem nº 74. No passado este local poderia ter sido uma pastagem, da qual não há mais vestígios. A área apresenta erosão laminar, porções com cascalho superficial e exposição do subsolo (na foto, parte clara do solo). No mapa da classificação do NDVI o local fora classificado como solo exposto, o que não resta dúvida considerá-lo como **área degradada "stricto sensu"**.



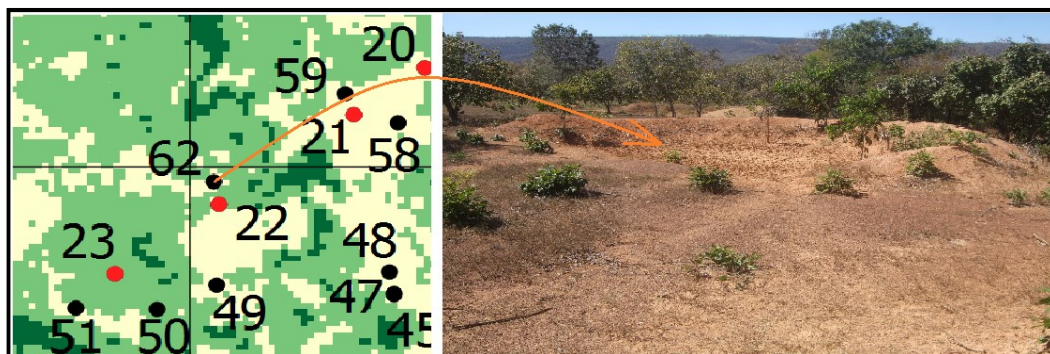
Local identificado como classe I (solo exposto) no mapa da classificação do NDVI. Na realidade se trata de local que fora desmatado mas não utilizado onde se preservaram algumas árvores de maior porte. Sinais evidentes de erosão também não foram constatados. Como as imagens utilizadas para o trabalho são do dia 2/01/2017, a rebrota do cerrado poderia não estar tão vigorosa como no momento da vistoria, em 18/07/2017.



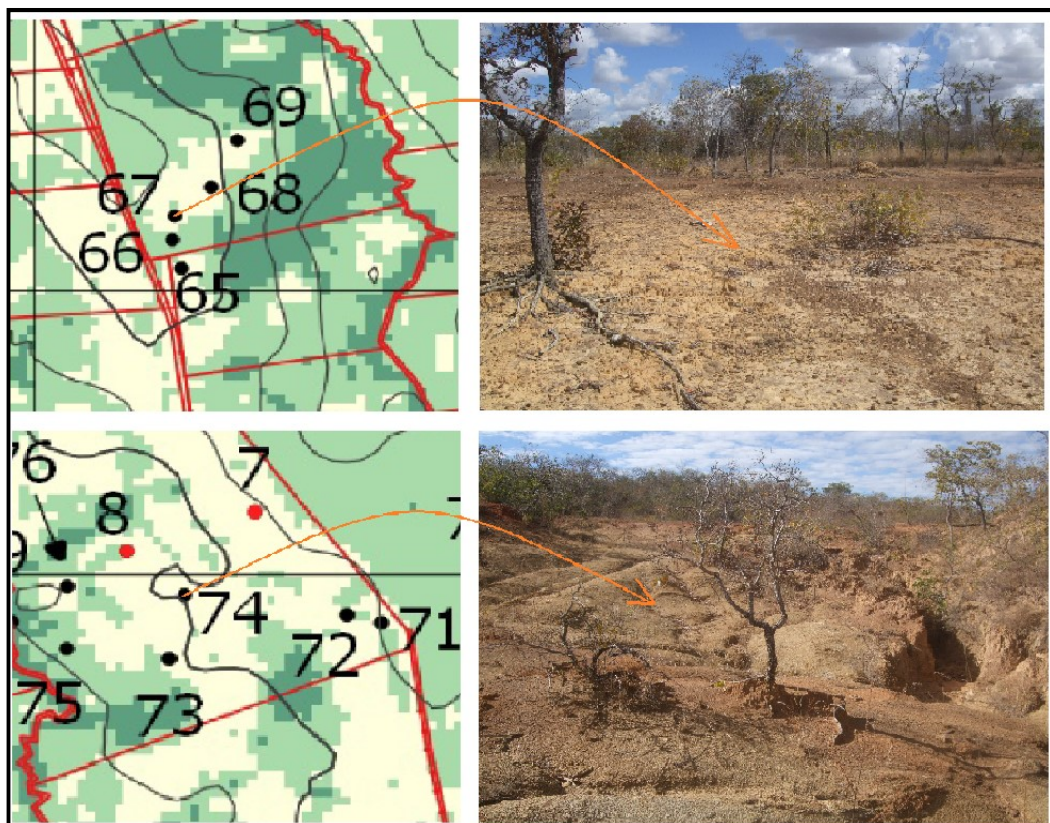
Local identificado como classe I (solo exposto) no mapa da classificação do NDVI. Na realidade se trata de uma área social e um campo de futebol, em nada correspondendo à área degradada, objeto de estudo deste trabalho.



A seta indica o local exato em que se deu a localização do ponto nº 2 pelo GPS. Foi uma situação em que o ponto sobrepunha-se ao mapa da classificação do NDVI em menos de um pixel (20m x 20m) sobre área mapeada como classe II (campos, pastagens, cerrado). Junto ao local ocorre porção significativa de áreas erodidas. Contudo, para manter o rigor na vistoria, este ponto fora classificado como classe II. Este fato pode ser creditado ao erro de posicionamento intrínseco ao GPS, que é em torno de 7 a 9 metros e a algum pequeno deslocamento da imagem.






No local identificado pelo ponto 62 há uma sequência de três barraginhas e pastagem degradada por infestação de plantas invasoras. Há árvores dispersas e alguma rebrota do cerrado. Neste ponto de amostragem tem-se uma situação em que intervenções feitas com o fim de conter as enxurradas se refletiram como solo exposto na classificação do NDVI. Note que não há indícios aparentes de erosões, somente a movimentação do solo para a formação das barraginhas. O local não foi considerado como área degradada para fins de classificação na vistoria.



Áreas claramente degradadas e identificadas no mapa da classificação do NDVI. No ponto 67 uma evidente erosão laminar; no ponto 74 erosão em sulcos com voçoroca em formação.

**APÊNDICE C - Identificação e caracterização dos pontos de amostragem;
Classificação conforme mapa da classificação do NDVI.**

Nº PONTO	LOCALIZAÇÃO (m): Projeção UTM. Meridiano Central -45. Datum WGS 84 - Zona 23 S	CARACTERÍSTICA	ILUSTRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO NDVI
1	363.300 ; 8.243.628	EROSÕES		I
2	363.015 ; 8.243.547	EROSÕES		II
3	362.707 ; 8.243.460	ROÇA		I
4	362.312 ; 8.243.347	PASTAGEM DEGRADADA		I
5	362.077 ; 8.243.281	SOLO EXPOSTO		I

6	361.365 ; 8.243.078	PASTAGEM	 A photograph showing a grassy field with scattered trees and a clear sky.	I
7	362.462 ; 8.248.650	SOLO EXPOSTO	 A photograph showing a dry, reddish-brown soil surface with sparse, low-lying vegetation.	I
8	362.192 ; 8.248.556	SOLO EXPOSTO	 A photograph showing a dry, reddish-brown soil surface with sparse, low-lying vegetation.	I
9	361.936 ; 8.248.467	ÁREA DE MATA	SEM ILUSTRAÇÃO	III
10	361.528 ; 8.248.326	CAMPO	 A photograph showing a field with tall, dry grass and scattered trees.	II
11	361.140 ; 8.248.191	EROSÕES	 A photograph showing a dry, reddish-brown soil surface with a small tree and a clear sky.	I

12 360.959 ; 8.248.128 EROSÕES I



13 360.841 ; 8.248.087 EROSÕES I



14 360.548 ; 8.247.986 TRANSIÇÃO ENTRE ENCOSTA VEGETADA E ÁREA ERODIDA II



15 360.395 ; 8.247.933 SOLO EXPOSTO - EROSÃO LAMINAR I



16 359.616 ; 8.247.662 CERRADO RALO II



17 362.963 ; 8.246.379 PASTAGEM
DEGRADADA



I

18 362.705 ; 8.246.190 PASTAGEM E
CERRADO ABERTO



II

19 362.374 ; 8.245.946 PASTAGEM



II

20 362.226 ; 8.245.837 PASTAGEM
DEGRADADA



I

21 362.006 ; 8.245.675 SOLO EXPOSTO
- EROSÃO
LAMINAR



I

22 361.589 ; 8.245.368 SOLO EXPOSTO
COM ILHAS DE
VEGETAÇÃO II



23 361.267 ; 8.245.131 PASTAGEM II



24 360.715 ; 8.244.725 PASTAGEM II



25 360.579 ; 8.244.624 EROSÕES I



26 360.017 ; 8.244.211 EROSÕES I



27 359.615 ; 8.243.915 PASTAGEM



I

28 359.117 ; 8.243.547 EROSÕES



I

29 363.071 ; 8.243.427

PASTAGEM
DEGRADADA,
SULCOS DE
EROSÃO



I

30 362.907 ; 8.243.410

PASTAGEM
DEGRADADA



I

31 362.287 ; 8.243.148

SOLO EXPOSTO
- ÁREA SOCIAL



I

32	362.080 ; 8.243.127	EROSÕES		I
33	362.975 ; 8.243.595	EROSÕES		I
34	362.324 ; 8.243.612	RESERVATÓRIO		II
35	362.142 ; 8.243.316	PASTAGEM DEGRADADA, EROSÃO LAMINAR		I
36	362.076 ; 8.243.436	ÁREA DESMATADA, MAS NÃO UTILIZADA		I

37 361.538 ; 8.243.509

PASTAGEM
DEGRADADA,
EROSÃO
LAMINAR



I

38 363.116 ; 8.243.873

EROSÕES



II

39 363.163 ; 8.244.023

RESERVATÓRIO



I

40 361.956 ; 8.244.317

EROSÕES



I

41 363.288 ; 8.245.200

EROSÕES



I

42 362.420 ; 8.245.022 EROSÕES



I

43 362.436 ; 8.244.859 CERRADO ROÇADO



II

44 362.333 ; 8.244.879 PASTAGEM DEGRADADA



I

45 362.304 ; 8.244.979 EROSÕES



I

46 362.282 ; 8.245.069 PASTAGEM DEGRADADA



I

47 362.131 ; 8.245.062 EROSÕES



I

48 362.117 ; 8.245.137 EROSÕES



I

49 361.582 ; 8.245.092 SOLO EXPOSTO
- ÁREA SOCIAL



I

50 361.398 ; 8.245.012 CERRADO E
PASTAGEM



II

51 361.146 ; 8.245.016 PASTAGEM
DEGRADADA E
REBROTA DO
CERRADO



II

52 359.875 ; 8.243.908 EROSÕES



I

53 359.913 ; 8.244.053 SOLO EXPOSTO
- MORADIA



I

54 362.900 ; 8.246.220 PASTAGEM
DEGRADADA



I

55 362.496 ; 8.245.866 ROÇA








II

56 362.377 ; 8.245.802 ROÇA



II

57	362.320 ; 8.245.622	ÁREA DE PASTAGEM TOMADA POR INVASORAS		II
58	362.143 ; 8.245.648	PASTAGEM DEGRADADA		I
59	361.980 ; 8.245.748	PASTAGEM DEGRADADA, EROÇÃO LAMINAR, ESTRADAS		I
60	362.331 ; 8.246.081	PASTAGEM DEGRADADA		II
61	362.287 ; 8.246.362	PASTAGEM DEGRADADA		I

62 361.573 ; 8.245.446

PASTAGEM
DEGRADADA,
BARRAGINHAS



I

63 360.862 ; 8.245.798

SOLO EXPOSTO
- CAMPO DE
FUTEBOL



I

64 360.278 ; 8.246.171

PASTAGEM
DEGRADADA,
SULCOS DE
EROSÃO



I

65 361.831 ; 8.247.057

PASTAGEM
DEGRADADA








I






66 361.810 ; 8.247.130

CERRADO



II

67	361.816 ; 8.247.191	EROSÕES		I
68	361.898 ; 8.247.265	EROSÕES		I
69	361.958 ; 8.247.385	EROSÕES		I
70	362.924 ; 8.248.539	CERRADO		II
71	362.730 ; 8.248.386	TRANSIÇÃO ENTRE CERRADO E ÁREA ERODIDA		II

72	362.657 ; 8.248.404	EROSÕES		I
73	362.280 ; 8.248.299	EROSÕES		I
74	362.313 ; 8.248.451	EROSÕES		I
75	362.063 ; 8.248.323	ROÇA		II
76	362.064 ; 8.248.471	EROSÕES		I
77	361.947 ; 8.248.388	MATA	SEM ILUSTRAÇÃO	III

78 361.911 ; 8.248.464 PASTAGEM



II

79 361.596 ; 8.248.286 EROSÕES



I

80 361.274 ; 8.248.208 CERRADO



II

81 361.072 ; 8.248.050 CAMPO



II

82 360.787 ; 8.247.769 EROSÕES



I

83 360.780 ; 8.247.894 EROSÕES



I

84 360.259 ; 8.247.734 CERRADO



II

85 360.136 ; 8.247.697 PASTAGEM



III

86 359.893 ; 8.247.733 CERRADO DENSO



III

87 359.753 ; 8.247.692 EROSÕES



I

88

360.583 ; 8.248.175

ÁREA
DESMATADA,
MAS NÃO
UTILIZADA



I

Fotos e organização do autor.