

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS

Nelson Cicconet

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE INFESTAÇÃO DO
ERAGROSTIS PLANA NEES (CAPIN ANNONI) COM
SENSORIAMENTO REMOTO: ESTUDO DE CASO EM SANTANA DO
LIVRAMENTO/RS/BRASIL.**

Santa Maria, RS
2017

Nelson Cicconet

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE INFESTAÇÃO DO
ERAGROSTIS PLANA NEES (CAPIM ANNONI) COM SENSORIAMENTO
REMOTO: ESTUDO DE CASO EM SANTANA DO LIVRAMENTO/ RS/ BRASIL.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia.**

Roberto Cassol
Professor orientador

Santa Maria, RS

2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CICCONET, NELSON

Mapeamento das áreas de ocorrência de infestação do Eragrostis Plana Nees (Capim Annoni) com sensoriamento remoto: estudo de caso em Santana do Livramento/RS/Brasil. / NELSON CICCONET. – 2017. 81 p. ; 30 cm

Orientador: Roberto Cassol

Co-orientador: Jose Maria Filippini Alba

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2017.

1. Geografia 2. Capim Annoni 3. Gramíneas Nativas 4. Sensoriamento Remoto I. Cassol, Roberto II. Filippini Alba, Jose Maria III. Título.

Nelson Cicconet

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE INFESTAÇÃO DO
ERAGROSTIS PLANA NEES (CAPIM ANNONI) COM SENSORIAMENTO
REMOTO: ESTUDO DE CASO EM SANTANA DO LIVRAMENTO/ RS/ BRASIL.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia.**

Aprovado em 23 de agosto de 2017:

**Roberto Cassol, Dr. (UFSM)
Presidente/Orientador**

Fabio Marcelo Breunig, Dr. (UFSM) - Videoconferência

**Jose Maria Filippini Alba, Dr. (EMBRAPA)
Co-orientador**

Santa Maria, RS
2017

Dedicatória

A minha família, minha esposa Rosangela e ao nosso filho Matheus Henrique, obrigado pelo apoio e incentivo. Também aos meus pais, pela educação recebida.



Uma imagem do Pampa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida.

A Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGEO pela oportunidade de aprofundar conhecimentos adquiridos na graduação em Geografia. Também agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) e a Embrapa Clima Temperado pela bolsa de estudos.

De forma toda especial, a minha família; minha esposa Rosangela Lurdes Spironello e meu filho, Matheus Henrique Cicconet, pela compreensão e pelo incentivo. Não existem palavras que possam agradecer de forma suficiente. Mesmo assim, obrigado. Também aos meus pais e irmãos pela vida e pela força de seguir em frente sempre.

Ao professor orientador Dr. Roberto Cassol e ao co-orientador Dr. Jose Maria Filippini Alba, pesquisador da Embrapa Clima Temperado. Aos Professores Dr. Fábio Marcelo Breunig e Dr. Waterloo Pereira Filho pelo aceite em participarem da banca examinadora. A todos os professores da pós-graduação em Geografia da UFSM que de alguma forma participaram desta etapa de aprendizagem, a todos, muito obrigado

Agradeço de forma especial aos grandes amigos: Sandra Bolfe e Cláudio Teicherieb e também para a Ana Luiza pelo acolhimento e as conversas semanais e pela grande amizade que nos acompanha a anos, obrigado.

Aos professores da graduação de Bacharel em Geografia na UFPEL pela iniciação a pesquisa, obrigado. Aos colegas das disciplinas cursadas na UFSM também obrigado pelo compartilhamento de ideias e conhecimentos.

Ao colega de laboratório de planejamento ambiental da Embrapa, Henrique Cunha pelas conversas e compartilhamento de conhecimentos, obrigado. Também aos coordenadores do projeto “Rede de Pesquisas em Capimannoni”, Dr. Naylor Bastiani Perez e à professora Dra. Simone Basso da UPF, obrigado pela oportunidade de fazer parte do projeto.

RESUMO

MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE INFESTAÇÃO DO ERAGROSTIS PLANA NEES (CAPIM ANNONI), NO MUNICÍPIO DE SANTANA DO LIVRAMENTO/ RS/ BRASIL.

AUTOR: Nelson Cicconet
ORIENTADOR: Roberto Cassol

O *Eragrostis Plana Nees* (capim annoni), é uma espécie invasora originária do continente africano que vem causando inúmeros prejuízos ambientais e socioeconômicos, principalmente em partes do Bioma Pampa. Vários estudos foram e estão sendo desenvolvidos, tendo como objeto o capim annoni. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento foram estudadas e descritas para melhor compreender e aplicar neste estudo. Neste sentido, o objetivo deste é identificar, analisar e diferenciar a distribuição espacial do *Eragrostis Plana Nees* (capim annoni) de outras gramíneas nativas, através da técnica de classificação digital de imagens de alta e média resolução espacial, da parte Norte/Nordeste do Parque Eólico do Cerro Chato, Santana do Livramento – RS, como parte do projeto piloto para o mapeamento da distribuição espacial do capim annoni na área de estudo. A metodologia utilizada é a classificação digital de quatro imagens de satélite – duas RAPIDEYE, uma IKONOS e uma SENTINEL-2 de datas e resoluções diferentes. A metodologia é a classificação supervisionada, com dados coletados a partir de visitas a campo para obter as áreas de interesse. Os resultados são mostrados na forma de mapas de uso, gráficos e tabelas. Foram identificadas sete classes: capim annoni, gramíneas nativas, áreas de transição entre capim annoni e gramíneas nativas, corpos de água, áreas úmidas, vegetação arbórea e solo exposto. Matrizes de confusão e índice Kappa foram gerados para cada imagem para avaliar qual imagem renderia o melhor resultado. Sendo assim, a imagem IKONOS foi a que melhor se adequou a este trabalho, tendo gerado índice Kappa superior a 0,8 e índice de exatidão de classificação superior a 90%. As principais conclusões referentes a essa dissertação nos mostram mapas de uso e cobertura de parte do Parque Eólico do Cerro Chato e com essa metodologia pode-se, através deste e estudos futuros, extrapolar os resultados a todo o município de Santana do Livramento e a outros locais onde a espécie invasora pode ser encontrada.

Palavras chave: Capim Annoni. Gramíneas Nativas. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

MAPPING OF AREAS OF THE INFESTATION OF ERAGROSTIS PLANA NEES (CAPIM ANNONI), IN THE MUNICIPALITY OF SANTANA DO LIVRAMENTO/ RS/ BRASIL.

AUTOR: Nelson Cicconet
ORIENTADOR: Roberto Cassol

Eragrostis Plana Nees (Capimannoni) is an invasive species originating from the African continent that has caused numerous environmental and socioeconomic damages, mainly in parts of the Bioma Pampa. Several studies have been and are being developed, aiming atannoni grass. Remote sensing and geoprocessing techniques were studied and described to better understand and apply in this study. In this sense, the objective of this study is to identify, analyze and differentiate the spatial distribution of Eragrostis Plana Nees (grassannoni) from other native pastures, through the technique of digital classification of high and medium spatial resolution images, applying the Support Vector Machine classifier (SVM), analyzing four different orbital images (spectral, spatial and temporal differences) of the North / Northeast part of Cerro Chato Wind Park, Santana do Livramento - RS, as part of the pilot project to map spatial distribution ofannoni grass in the area. For further mapping in other areas and scales. The methodology used was the digital classification of four satellite images - two RAPIDEYE, one IKONOS and one KOMPSAT of different dates and resolutions. The methodology was supervised classification, with data collected from field visits to obtain the areas of interest. The results were placed in the form of use maps, charts and tables. Seven classes were identified:annoni grass, native grasses, transition areas betweenannoni grass and native grasses, water bodies, wetlands, tree vegetation and exposed soil. Confusion matrices and Kappa index were generated for each image to evaluate which image would yield the best result. Therefore, the IKONOS image was the one that best suited this work, generating a Kappa index higher than 0.8 and a classification accuracy index higher than 90%. The main conclusions regarding this dissertation show us the maps of use and coverage of part of the Cerro Chato Wind Farm and with this methodology it is possible, through this and future studies, to extrapolate the results to all the municipality of Santana do Livramento and to others. Where the invasive species can be found.

Key words: Annoni Grass. Native Grasses. Remote Sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Mapa de localização da área de estudo no município de Santana do Livramento – RS	34
Figura 02	Imagens de dois locais da área de estudo com cobertura de gramíneas nativas	34
Figura 03	Imagem de dois locais da área de estudo com infestação total de capim annoni	35
Figura 04	Imagem da área de estudo contendo gramíneas nativas e capim annoni em proporção próxima de 50%	36
Figura 05	Croqui com alguns locais de pontos de treinamento e validação com imagens dos locais onde os pontos foram coletados	38
Figura 06	Mapa hipsométrico de parte do Parque Eólico do Cerro Chato que contém a área de estudo	44
Figura 07	Figuras que representam dois estádios evolutivos ou fenológicos diferentes do capim annoni na área de estudo	46
Figura 08	Mapa de uso e cobertura da terra referente a imagem RAPIDEYE de 01-07-2011	47
Figura 09	Imagem das bandas 521 (NGB) dos locais de extração dos perfis espectrais e das amostras de treinamento do capim annoni	49
Figura 10	Imagem das bandas 521 (NGB) dos locais de extração dos perfis espectrais e das amostras das Gramíneas Nativas	50
Figura 11	Mapa de uso e cobertura da terra de parte do Parque Eólico do Cerro Chato elaborado a partir da imagem RAPIDEYE de 17-01-2012	52
Figura 12	Imagem de locais de coleta dos ROIs na imagem RAPIDEYE de 17-01-2012	54
Figura 13	Mapa de usos e cobertura da terra referente a imagem IKONOS	57
Figura 14	Imagem dos locais de coleta das amostras na composição NGB (421) e os respectivos perfis espectrais da imagem IKONOS de 13-09-2011	58
Figura 15	Plotter com os locais de coleta e perfis espectrais médios das gramíneas nativas da imagem IKONOS	59
Figura 16	Mapa de uso e cobertura da terra de parte do Parque Eólico do Cerro Chato a partir da imagem Sentinel-2 de 20-07-2017	62
Figura 17	Plotter com os perfis espectrais das subclasses de capim annoni e respectiva imagem N8G3B2 do Sentinel-2 de 20-07-2017	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Características da imagem SENTINEL-2 (USGS, 2017). Data: 20-07-2017.	30
Tabela 02	Características da imagem IKONOS de 13-09-2011(Embrapa Clima Temperado)	31
Tabela 03	Características das imagens RAPIDEYE de 01-07-2011 e 17-01-2012 (Embrapa Clima Temperado)	31
Tabela 04	Valores percentuais e em hectares das classes na área de estudo referentes a imagem RAPIDEYE de 01-07-2011	49
Tabela 05	Matriz de confusão simplificada gerada a partir da classificação digital da imagem RAPIDEYE de 01-07-2011	51
Tabela 06	Quantificação dos usos e cobertura referentes a imagem RAPIDEYE de 17-01-2012	53
Tabela 07	Matriz de confusão da imagem simplificada RAPIDEYE de 17-01-2012	55
Tabela 08	Valores percentuais e em hectares das classes referentes a imagem IKONOS	58
Tabela 09	Matriz de confusão simplificada da imagem IKONOS	60
Tabela 10	Matriz de confusão completa da imagem Sentinel-2 de 20-07-2017	63
Tabela 11	Valores percentuais e em M ² das classes de uso e cobertura da imagem Sentinel-2	68
Tabela 12	Resumo das quatro imagens analisadas	71
Tabela 13	Percentuais de uso e cobertura das principais classes em cada imagem estudada	72

LISTA DE SIGLAS

ANPP	Above Ground Net Primary Production
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DN	Digital Number
GPS	Global Position Systems
PDI	Processamento Digital de Imagens
ROIs	Regions Of Interest
RS	Rio Grande do Sul
SR	Sensoriamento Remoto
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SVM	Support Vector Machine
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO I	14
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos específicos	14
2. Tema e justificativa	14
3. Revisão de literatura	17
3.1 Capimannoni (Eragrostis Plana Nees)	17
3.2 Sensoriamento remoto (SR)	19
3.3 Algoritmos de extração de informações espectrais (Classificadores)	25
3.4 Satélites e sensores	27
3.4.1 IKONOS	27
3.4.2 SENTINEL-2	28
3.4.3 RAPIDEYE	29
CAPÍTULO II	30
1. Materiais e metodologia operacional	30
1.1 Materiais utilizados	30
1.2 Correções e filtros das imagens	31
1.3 Área de estudo	32
1.4 Metodologia operacional	36
1.4.1 Coleta de pontos de amostras	38
1.5 Classificação digital das imagens de satélite	39
1.5.1 Support Vector Machine	41
1.6 Mapeamento das classes de uso e cobertura	42
CAPÍTULO III	43
1. Resultados e discussão	43
1.1 Caracterização da área de estudo	43
2.0 Fenologia dos alvos	45
3.0 Classificação digital das imagens de satélite	46
3.1 Imagem RAPIDEYE de 01-07-2011	46
3.2 Imagem RAPIDEYE de 17-01-2012	52
3.3 Imagem IKONOS de 13-09-2011	56
3.4 Imagem KOMPSAT de 09-08-2014	61
4.0 Análise integrada e proposições	69
CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
BIBLIOGRAFIA	77

INTRODUÇÃO

Estudar as interações naturais ou antrópicas que ocorrem em determinado espaço e tempo, é parte importante do objeto de estudo da Geografia. Nesse sentido, quando as interações dos elementos constituintes do espaço geográfico ocorrem independentes da ação do homem, dizemos que acontecem ou ocorrem de forma natural. Neste aspecto, uma de suas características principais é o alto nível de complexidade com que os elementos se inter-relacionam. Por outro lado, quando há intervenção humana, normalmente é dito que estas ações são de origem antrópicas, ou seja, ocorrem pela ação do homem interagindo com a natureza. Também apresentam níveis de complexidade evidente (SOUTO, 2016).

O homem, através de suas ações no intuito de melhorar o ambiente em que vive, propõem mudanças as vezes drásticas sobre o ambiente natural. Ocorre que estas mudanças normalmente não se manifestam como o planejado. É notório afirmar que a natureza é muito dinâmica e cada ação sobre ela pode desencadear várias ações subsequentes e estas gerarem outras num processo complexo e de difícil compreensão. Neste limiar, estudar qualquer dessas interações (naturais ou antrópicas) faz parte do cotidiano de vários setores da Ciência moderna. Conforme nos indica Souto (2016), procurar entender como estas relações acontecem e procurar meios de tornar esses estudos mais eficazes, faz parte do dia a dia de cientistas, pesquisadores e estudantes da vários níveis científicos e intelectuais.

Sempre que se promove ou se propõe investigações em uma pesquisa científica, um dos objetivos implícitos é buscar o aprimoramento dos conhecimentos sobre o tema. A proposta deste é aprofundar os conhecimentos existentes sobre o *Eragrostis Plana* Nees, popularmente, conhecido como capimannoni. O capimannoni é uma espécie invasora, presente em diversos locais dos campos sul-rio-grandenses. Tem origem na África do Sul e vem causando expressivos prejuízos econômicos principalmente aos pecuaristas da metade Sul do estado do Rio Grande do Sul, principalmente em parte do Bioma Pampa (REIS, 1993). A presença desta espécie invasora nos Pampas Gaúchos provoca perda da rica biodiversidade local e aumenta a degradação dos campos nativos deste bioma. Para Ferreira e Filippi (2010), a disseminação do capimannoni causou alterações na paisagem, além de conflitos socioambientais na região do Pampa. Controlar a infestação de capimannoni poderia resguardar a sustentabilidade da pecuária e até mesmo ajudar a conter o avanço da fronteira agrícola sobre as áreas de campo nativo.

Dada a extensão da distribuição desta espécie, o uso de tecnologias espaciais como o Sensoriamento Remoto (SR), integradas ao geoprocessamento, tem se tornado necessárias e

podem contribuir para estudos de distribuição espacial, forma de expansão, impactos causados ao ambiente em que está inserida, entre outros. O uso das tecnologias supracitadas na análise da paisagem e nas interações inerentes ao espaço geográfico é cada dia mais comum. O acesso a imagens de satélite ou outras plataformas e a aplicativos de manipulação e extração das informações dessas imagens, além do acesso facilitado de dados meteorológicos, de solo, vegetação, recursos hídricos e outros dados, coloca o SR num patamar realçado em diversos pesquisas envolvendo o meio ambiente de modo geral. Típicos trabalhos envolvem, a temporalidade de determinado uso e cobertura da terra, usando recursos obtidos por SR e, a partir dessas análises temporais, podem obter-se projeções para o futuro. Há também evoluções em conhecimentos envolvendo mudanças climáticas e sua relação com vegetações campestres (NOVO, 2010).

A influência de grandes extensões de pastagens sobre o clima tem sido objeto de pesquisa nos dias atuais (LI et al. 2013). Os autores destacam a importância da evolução do conhecimento relativo às grandes extensões campestres e sua relação com o clima regional envolvendo a captura e a reserva de carbono na natureza. As perdas de biodiversidade em pastagens nativas também tem sido motivo de preocupação. Também Guido et al., (2014), manifestam essa preocupação em seu trabalho. Os autores destacam a importância da biodiversidade em pastagens nativas no interior do Uruguai e sua relação com a sustentabilidade. Essa relação não ocorre só em relação entre o meio, mas também entre os agentes inseridos neste ambiente, bem como com o clima local e regional.

Em todas essas pesquisas citadas, o SR acabou se tornando uma ferramenta indispensável na extração de informações. Estas informações, se fossem coletadas em campo, poderiam se tornar dispendiosas e muitas vezes inviáveis economicamente. Com o apoio do SR, pode se ter acesso a informações espaciais sobre quantidade e qualidade das pastagens, área de ocorrência, expansão e dispersão de determinada espécie e as implicações que tudo isso acarreta.

A área de estudo foi escolhida pela facilidade de acesso (próxima a uma rodovia federal e várias estradas secundárias), assim como, pelos potenciais impactos que o Parque Eólico do Cerro Chato no município de Santana do Livramento - RS poderia trazer para o meio ambiente próximo. De certa forma, o local representa um laboratório a céu aberto para estudos de ocupação do espaço geográfico e sua dinâmica. Estudos preliminares apontam a ocorrência de áreas significativas de infestação de capimannoni. Mas apesar do avanço desta invasora ainda há áreas significativas com ocorrência de espécies gramíneas nativas do Bioma Pampa, um dos mais importantes biomas brasileiros. O local também está inserido próximo a um divisor de

águas, contendo algumas nascentes do rio Ibirapuitã. Esse rio dá nome a uma Área de Proteção Ambiental (APA do Ibirapuitã). Ainda se apresenta o fato da disseminação de uma espécie invasora sobre a paisagem natural. Paisagem esta, em relativo equilíbrio e grande biodiversidade, podendo a disseminação do capimannoni, representar um alto impacto sobre os campos nativos do Bioma Pampa.

Essa dissertação encontra-se estruturada em três capítulos definidos. O capítulo I estabelece uma relação entre o objeto principal desta pesquisa - capimannoni; SR; classificação digital de imagens orbitais; satélites e sensores orbitais, bem como conhecimentos já estabelecidos de outras gramíneas e sua relação com o SR. No capítulo II, apresenta-se os objetivos deste trabalho e a forma como o mesmo foi elaborado, mediante metodologias e procedimentos já descritos em outros estudos. No capítulo III foram discutidos os resultados deste trabalho, buscando a evolução do conhecimento sobre o assunto. Finalmente, há breve exposição dos resultados condensados e algumas proposições para o futuro, junto às considerações finais.

CAPÍTULO I

1.0 Objetivos

1.1 Objetivo Geral

Identificar, analisar e diferenciar a distribuição espacial do *Eragrostis Plana* Ness (capimannoni) de outras gramíneas nativas, através da técnica de classificação digital de imagens de alta e média resolução espacial, da parte Norte/Nordeste do Parque Eólico do Cerro Chato, Santana do Livramento – RS, como parte do projeto piloto para o mapeamento da distribuição espacial do capimannoni na área de estudo.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar locais de uso com capimannoni e gramíneas nativas na área de estudo para servir de treinamento, através de visitas a campo;

Gerar mapas de usos e coberturas da terra através da classificação digital das imagens orbitais;

Analisar e discutir os mapas da distribuição espacial do capimannoni e gramíneas nativas;

2. Tema e justificativa

O *Eragrostis Plana* Ness, popularmente chamado de capimannoni, está presente em boa parte do Bioma Pampa - principalmente na parte brasileira do referido bioma. Há relatos da ocorrência desta invasora em diversos outros estados brasileiros em diferentes graus de infestação (MEDEIROS E FOCHT, 2007). Em se tratando de uma espécie invasora, Ferreira e Filippi (2010), destacam que esta espécie está a provocar diversos prejuízos ao ambiente em que se insere, bem como prejuízos econômicos associados ao grau de sua infestação e a área geográfica de sua infestação. Neste sentido, estudar as origens, a forma de disseminação, se tem predadores naturais, formas de controle populacional e extensão atual de áreas de infestação do capimannoni é importante no sentido de evitar prejuízos econômicos e principalmente ambientais nos locais onde está inserido (FERREIRA E FILIPPI, 2010).

Em diversos locais do Bioma Pampa, onde o grau de infestação já é considerado crítico, a redução da capacidade produtiva agropecuária é amplamente comprovada através de estudos neste sentido. Estudos realizados por Zenni & Ziller (2011), alertam sobre várias espécies exóticas encontradas em diversos locais do Brasil, cada uma delas em diversos graus de infestação. Segundo os autores, em 2011, ano que foi publicado o estudo, havia 117 espécies consideradas invasoras no país; sendo que uma delas era o *Eragrostis Plana*. Os autores catalogaram espécies com potencial invasor e posterior estabelecimento e indicaram o perigo em potencial à biodiversidade em locais onde estas espécies são hoje encontradas. (ZENNI & ZILLER, 2011).

Estas frentes de estudo visam melhorar o conhecimento existente para o controle de áreas invadidas, prevenção de invasão de novas áreas e até a extinção por completo da ocorrência desta invasora no território brasileiro e principalmente no Bioma Pampa.

Mas quando se trata de formas de mapeamento específicas visando a identificação do capimannoni inserido em determinada paisagem, o mapeamento através de técnicas de SR é um desafio. Como destaca Ponzoni (2013), é um desafio muito grande o uso de imagens e o sensoriamento remoto para mapeamentos de uso e coberturas da terra. Sabe-se que esta invasora está presente em muitos locais. O que não se sabe ao certo, ao menos sem visitas a campo, é onde e com que intensidade esta infestação ocorre. Todavia, os estudos relativos ao tema SR e capimannoni são inexistentes ou são pouco expressivos. Pesquisas realizadas no âmbito de revistas científicas e anais de congressos científicos relativos ao tema encontraram poucos ou nenhum estudo, no sentido que se está propondo neste. Há, no entanto, considerável literatura relacionada a estudos de gramíneas e outros tipos de pastagens. Estas sim foram consultadas e utilizadas na perspectiva desta dissertação.

Determinar com aceitável grau de precisão científico as regiões de ocorrência e o nível de intensidade de infestação de uma praga qualquer é imprescindível para uma eficaz ação de seu combate. Com o capimannoni não seria diferente. Sempre no intuito de aprimorar ou desenvolver metodologias que possam auxiliar pesquisadores e técnicos a mostrar a localização geográfica e a intensidade de infestação do capimannoni onde possa estar inserido, o presente projeto tem sua justificativa plausível. Com a ajuda do sensoriamento remoto e da classificação digital de imagens de satélites e também de imagens e produtos tomados de outras plataformas, pode ser possível de estabelecer com boa precisão e quantificar áreas de infestação, bem como a grau de infestação dessas mesmas áreas. Objetiva-se, através de técnicas de sensoriamento remoto e classificação digital de imagens, a diferenciação de alvos na área de estudo. Esses possíveis alvos principais são o capimannoni e campo nativo. Aos outros alvos como corpos

de água, vegetação arbórea e arbustiva, área úmidas e solo exposto não se dará tanta importância, muito embora sejam importantes na configuração da paisagem e ao uso e cobertura da terra na área de estudo. Através de metodologias operacionais de classificação digital dos mais diversos tipos de imagens de satélites ou de outras plataformas já aplicadas em outros tipos de alvos e em outros estudos podem-se estabelecer metodologias para pesquisas relacionadas ao capimannoni.

O tema central da presente pesquisa é desenvolver ou aprimorar metodologias existentes no sentido de detectar a presença de capimannoni com imagens de satélite e técnicas de classificação digital dessas imagens. Posteriormente, essas metodologias poderão ser extrapoladas a outros locais do Bioma Pampa e fora dele, onde possivelmente poderia ser encontrada esta espécie invasora. No decorrer do estudo, a validação se dará na forma de visitas a campo, primeiro para obter áreas de treinamento do algoritmo de classificação digital de imagens e em um segundo momento para obter áreas para aplicar a matriz de confusão, conforme o índice Kappa adaptado de Landis e Koch (1977), o mais utilizado em SR e classificação digital de imagens.

Atualmente está em curso um grande projeto de pesquisas atuando em diversas frentes de trabalho com relação ao capimannoni, coordenado por pesquisadores da Embrapa Pecuária Sul, sediada em Bagé – RS e com colaboração de pesquisadores da Embrapa Clima Temperado de Pelotas - RS. Este grande projeto tem como objetivos aumentar o conhecimento sobre a capacidade de dispersão, propriedades alelopáticas da folha, práticas agrônômicas no sentido de controlar e até eliminar a ocorrência, controlar a alimentação do banco de sementes no solo e também mapear as áreas de ocorrência. Todas as atividades relacionadas acima se referem ao *Eragrostis Plana* e estão em desenvolvimento embasado em estudos de diversas universidades e instituições de pesquisa. Este assunto pode ser mais aprofundado.

Através do exposto acima e no contexto da Geografia que procura explicar os mais diversos fenômenos que acontecem no espaço geográfico (MOREIRA, 2006), esta pesquisa poderá contribuir para a identificação dos pontos de maior infestação desta invasora em parte do Parque Eólico do Cerro Chato, município de Santana do Livramento – RS.

3. Revisão de literatura

3.1 Capimannoni (*Eragrostis Plana* Nees)

O conhecimento obtido nos últimos anos sobre capimannoni precisa ser ampliado. Esta espécie invasora tem causado degradação nas paisagens naturais dos campos sul brasileiros. De acordo com Reis (1993), o capimannoni foi introduzido no Brasil por volta de 1950, sendo encontrado em vários municípios do Pampa Gaúcho e em diversos estágios de infestação. É uma espécie alóctone, ou seja, não é originária do Brasil e possui grande capacidade de expansão, sendo relatados casos de ocorrência nos estados de SC, PR, SP e ES. É considerada uma espécie exótica (REIS, 1993).

Presente em boa parte do território do estado do Rio Grande do Sul, o *Eragrostis Plana* Nees, popularmente chamado de capimannoni, tem se tornado um problema para as pastagens do Pampa Gaúcho (MEDEIROS E FOCHT, 2007). Ainda segundo os autores, não sendo uma boa forrageira e sendo preterido pelos animais durante o pastejo, acaba por adquirir vantagens competitivas em relação às outras espécies nativas que ainda ocorrem no local. Ainda conforme Medeiros e Focht (2007), esta espécie de gramínea de origem africana tem alto poder germinativo e desenvolveu capacidades de não germinação precoce, sendo criado no ambiente onde é encontrado uma espécie de banco de sementes no próprio solo. Na opinião dos autores, esta gramínea tem também alto poder de competição, podendo modificar a estrutura e a diversidade vegetal onde está inserida, causando grande desequilíbrio. Estudos realizados por Ferreira et al (2008), demonstraram também a capacidade alelopáticas do capimannoni sobre algumas espécies nativas do Bioma Pampa. Segundo eles, espécies com germinação rápida podem escapar deste efeito, mas as de germinação mais demorada ficam expostas a esse efeito alelopático e podem não vir a germinar, aumentando seu poder de dominação no ambiente ao qual está inserido.

Com relação às formas de controle, há que se destacar estudos realizados por Goulart, et al., (2009). Os autores deste estudo destacam que o controle químico (agrotóxicos) se mostrou eficaz quando realizado em ambiente controlado – em laboratório. No teste verificado no campo com alta infestação de capimannoni, os resultados não se mostraram eficientes como em laboratório e nenhum herbicida testado controlou a infestação da invasora de forma efetiva (GOULART, et al. 2009). Com o passar do tempo, após estabelecer-se num determinado local, pode se tornar dominante no sistema, assumindo o campo, outrora nativo, diversificado e complexo, o aspecto de monocultura (REIS E COELHO, 2000). Esta dominância se daria,

segundo os autores, porque encontra no Bioma Pampa condição ideal para a sua dispersão. Não tem predador natural, só podendo ser combatida com práticas agronômicas específicas a invasora se alastra de forma consistente. Outro fator que pode explicar sua rápida disseminação seria pelo fato de ser rejeitado pelos animais, se expandindo rapidamente pela vegetação campestre local (MEDEIROS E FOCHT, 2007).

Os autores descrevem também outro fator de dominância em relação à pastagem nativa. Eles definem o capim *annoni* como uma espécie de “baixo-N”. Espécies de baixo-N associadas a solos com baixo teor de N (Nitrogênio), tendem a ser mais competitivas que outras espécies com alto-N. Espécies com baixo-N tendem a ter colmos eretos e hábitos cespitosos, apresentando perfilhos (unidade básica de crescimento de gramíneas), mantêm a inflorescência em posição elevada e apresenta maior proporção raiz/parte aérea. As espécies de alto-N ao contrário, apresentam-se rastejantes e perdem em competitividade para as primeiras, como é o caso do capim-*annoni* (MEDEIROS E FOCHT, 2007). Seguindo ainda o raciocínio dos mesmos autores, as pastagens nativas do Pampa Gaúcho seriam formadas principalmente por espécies de “alto-N”, sendo que o capim *annoni* seria de “baixo-N”.

A caracterização feita por Reis (1993), nos mostra que o capim *annoni* ocorre em várias condições de solo (seco, moderadamente drenado e drenado), começa sua inflorescência no final do inverno - depois das últimas geadas - floresce no final da primavera, continuando a produzir sementes até o final de março e inflorescência até a ocorrência das primeiras geadas, quando seca pela não resistência à mesma.

No que tange ao Sensoriamento Remoto (SR), seguindo ainda a caracterização morfológica de Reis (1993), o capim *annoni* pode ser caracterizado como uma planta com folhas e dosséis erectófilos, com ângulo de inclinação em relação ao solo de mais de 60° (GOEL e STREBEL, 1984). Consultando as orientações de Ponzoni et al., (2013), pode se dizer que esses diferentes ângulos de inclinação das folhas ou dosséis de plantas, são de suma importância nos estudos de SR da vegetação. Esses ângulos de inclinação interferem diretamente na resposta espectral dos alvos de SR e conseqüentemente no resultado final do mapeamento de determinado tipo de vegetação utilizando como técnica as diferentes respostas espectrais de cada alvo.

Embora representem aproximadamente 37% de toda a área não inundada terrestre, as savanas e pastagens de modo geral são pouco estudadas através de SR (TABOADA et al., 2015). Os autores evidenciam que estudos em vegetações arbóreas e arbustivas seriam preteridas em detrimento ao estudo de vegetações rasteiras como as gramíneas e as savanas. Um dos motivos disso, ainda segundo os autores, seria o fato das vegetações de maior porte

terem mais aptidão ao sequestro de carbono, enquanto que as espécies encontradas em campos e savanas fariam o caminho inverso (TABOADA et al., 2015).

Como visto até a presente descrição, existem inúmeros estudos relacionados à morfologia, gênese, formas de disseminação, tentativas de controle e erradicação e qualidade da resposta nutricional do capim annoni. Entretanto, estudos envolvendo o mapeamento das áreas de infestação de capim-annoni são quase inexistentes, não só no Brasil, mas também em revistas científicas internacionais. Pesquisas bibliográficas realizadas em diversas revistas científicas e plataformas de pesquisas internacionais revelaram poucos estudos nesse sentido. Estudos inerentes ao SR e ao capim annoni se mostraram poucos nos portais de periódicos pesquisados. Nesta discussão, Cicconet, et al., (2015), realizaram um ensaio visando o mapeamento das áreas de ocorrência do capim annoni. Neste estudo, os autores revelam a dificuldade de se alcançar o objetivo do mapeamento do capim annoni. A resposta espectral de alvos como o capim annoni tem certa semelhança com o restante dos alvos em pastagens nativas do Pampa Gaúcho. Segundo os autores, este tema carece de mais estudos para aprofundar o conhecimento e permitir mapeamentos com confiabilidade e precisão desejáveis.

3.2 Sensoriamento remoto (SR)

O sensoriamento remoto (SR) pode ser considerado como uma ferramenta indispensável em estudos envolvendo ciências agrárias, humanas e ambientais. Como os dados utilizados em estudos de SR são tomados a distância, os custos relativos à sua obtenção podem ser reduzidos significativamente se comparados aos estudos envolvendo trabalhos de levantamento a campo. Aliado ao Geoprocessamento e aos Sistemas de Informação Geográficas (SIGs), constituem um campo da Ciência que chamamos Geotecnologias, o qual tem se mostrado promissor, dados os resultados obtidos. Todas são ferramentas computacionais de entrada, processamento e saída de informações que podem auxiliar na tomada de decisões relativas aos estudos feitos.

No que tange ao sensoriamento remoto, geoprocessamento e à classificação digital de imagens, foram analisados estudos descritos por Crosta (1993), Jensen (2005 e 2009), Moreira (2011), Novo (2010), Santos (2010), Ponzoni, et al. (2013), e outros artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais. Estes autores descrevem metodologias e procedimentos para a análise do uso e cobertura da terra através do processamento digital de imagens de satélite, bem como imagens obtidas através de outras plataformas e sensores.

Nos dias atuais, dados captados e utilizados em SR são de baixo custo (alguns dados são gratuitos e disponíveis principalmente a comunidade científica), de fácil obtenção e estão disponíveis em formato digital, o que favorece sua manipulação utilizando-se para este fim de aplicativos específicos. A cada dia que passa surgem novos aplicativos e também novas funcionalidades, de produtos mais antigos que se utilizam de alguma maneira de dados de SR. Novos conceitos e novos estudos inerentes ao tema são constantemente criados e recriados. E tudo isso facilita o avanço das novas tecnologias que estão a cada dia mais a serviço de mais pessoas. É como uma bola de neve – a Ciência gera determinado produto ou serviço; a sociedade consome este produto ou serviço e gera uma demanda agregada e os pesquisadores e cientistas se engajam no sentido de suprir essa demanda com novas tecnologias e produtos.

Dentro deste contexto, o conceito de sensoriamento remoto (SR) se mostra pertinente. Conforme relatado por Novo (2010), SR pode ser definido como sendo:

...a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010, Pag.28).

Este conceito pode ser considerado como base para o desenvolvimento de estudos relativos ao SR., mas também pode ser muito genérico e abrangente. Neste sentido, Jensen (2009), afirma que o SR é uma ferramenta que se assemelha a matemática e pode ser entendida como arte e ciência. Age em harmonia com outras várias ciências de informação geográfica, principalmente com as chamadas Geociências como a cartografia, o geoprocessamento e os Sistemas de Informação geográficos (SIGs). Segundo o autor, há uma interação entre o SR e as Geociências visando o desenvolvimento de novas formas de utilização em pesquisas científicas (JENSEN, 2009).

Nos dias atuais, tem se destacado também a utilização do sensoriamento remoto proximal, que se utiliza principalmente de um equipamento chamado espectro radiômetro para detectar as diferentes variações espectrais de determinados alvos (SAFANELLI et al., 2015). Os autores obtiveram sucesso na distinção de diferentes variedades e estádios de desenvolvimento na cultura do alho, através da análise das curvas espectrais do alho. Puderam diferenciar ainda se estas diferentes variedades tiveram algum pretratamento das sementes antes do plantio ou não. Já Estrella et al. (2016), destacam que novas técnicas e abordagens

metodológicas surgem no sentido de melhor utilizar produtos de SR. Os autores abordam os efeitos reais em estudos de classificação e mudanças no uso e cobertura da terra. Destacam ainda que o SR pode auxiliar na tomada de decisão no sentido coletar informações a respeito de pastagens degradadas, pastagens naturais e outros usos em desequilíbrio com o meio natural. Já Alba et al. (2015), se utilizaram de técnicas de obtenção da resposta espectral de alvos através de sensores de media resolução espacial, como é o caso das imagens do satélite Landsat® e seus sensores TM e OLI. Os autores afirmaram ter obtido resultados superiores a 80% de índice de Kappa na classificação de uso e cobertura da terra, utilizando-se da resposta espectral dos alvos de SR.

Outro destaque importante no contexto do avanço do SR é o advento de sensores hiperespectrais a bordo de satélites e outras plataformas. Dados hiperespectrais como os do sensor *Hyperion*, por exemplo. Como nos coloca Souza et al. (2014), dados de sensores hiperespectrais são frequentemente utilizados nos Estados Unidos, onde há bibliotecas espectrais e amplos estudos neste sentido. Os autores demonstraram a viabilidade do uso deste sensor em estudos de SR em estádios de conservação de vegetação de Mata Atlântica. Ao analisar as diferentes curvas espectrais dos diferentes alvos, puderam estabelecer padrões de refletância destes alvos. Demonstram também, no entanto, que pode haver influências externas ao SR – as orientações do relevo podem influenciar na resposta espectral de um mesmo alvo na superfície, o que mostra o grau de dificuldade em se caracterizar com precisão classes de uso e cobertura da terra através de SR (DE SOUZA et al., 2014). No contexto de exploração de dados de sensores hiperespectrais, Tisot et al. (2007), destacaram os resultados obtidos na discriminação de variedades de cana de açúcar, através da técnica de remoção do contínuo de refletância em dados de sensores hiperespectrais, conseguindo resultados em torno de 87% de exatidão para uma espécie de cana. Os autores utilizaram também a análise discriminante múltipla para outras espécies e solucionar erros de classificação em alguns talhões. Sendo possível a diferenciação entre variedades de cana de açúcar por SR, poderia ser possível também a diferenciação entre espécies diferentes de gramíneas.

No que tange ao estudo de alvos próximos ao solo, como gramíneas e pastagens em geral, utilizando o SR, as dificuldades se tornam mais evidentes. Neste sentido, Sibanda et al. (2015), relatam estas dificuldades associadas aos altos custos dos dados e ao número limitado de técnicas para tratamento desses dados. De acordo com os autores, esses problemas podem ser sanados com o advento de sensores multiespectrais a bordo de satélites como o Landsat® e Sentinel 2 Multispectral Imager (MSI). Este trabalho demonstra ainda que os dados obtidos a partir destes sensores podem contribuir com a geração de subsídios na gestão de pastagens

utilizadas na pecuária. No entanto, enfatizam que esta pesquisa pode ser utilizada como base para novos estudos, mas os resultados precisam ser testados em escala regional para a comprovação de sua eficácia (ALBA, et al., 2015).

Ensaio realizado por Andrade et al. (2013), demonstraram a viabilidade utilização de técnicas em SR a fim de detectar processos de degradação em pastagens. Aplicaram técnicas de obtenção de Índice de Área Foliar (IAF), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) em imagens de satélite Landsat® 5 em suas análises e descrições, procurando demonstrar três níveis de degradação em micro bacias hidrográficas. Neste sentido também, Knox et al. (2013), lançaram mão de seis índices de vegetação para determinar o estágio fenológico e também as diferentes variedades de gramíneas. Os autores destacam ainda a dificuldade de diferenciar várias espécies de gramíneas através do SR. Estas dificuldades, segundo eles, residem no fato de que as diferentes espécies têm estágios fenológicos diferenciados e apresentam também o processo de fotossíntese ativo e não ativo no mesmo espaço. Outra dificuldade descrita por Knox et al. (2013), reside no fato das imagens Landsat® terem resolução espacial baixa, dificultando a obtenção de áreas de treinamento expressivas para o algoritmo de classificação ser rodado com fidelidade. Além de vários índices de vegetação, os autores destacam o uso da remoção do contínuo combinado a índices de vegetação. Esta combinação (definido como índice PHIX que é uma combinação de índices da região do VNIR e SWIR2 mais a técnica de remoção do contínuo para criar um novo índice fenológico) permitiu melhorar os resultados finais do referido artigo, tendo ultrapassado os 75% de índice Kappa e 79% em acurácia (KNOX et al., 2013). Já, Li et al. (2015), relatam dificuldades na diferenciação de espécies de gramíneas. Segundo eles, além do fato do fator de refletância de um pixel representar um conjunto de alvos e não somente um único alvo, o que por si só já é uma grande dificuldade na extração de informações, há a interferência da resposta espectral do solo. No entanto, os autores sugerem que, se a resposta espectral do solo antes da implantação das pastagens for conhecida, levando-se em conta a análise de imagem de época anterior ao plantio, essa dificuldade passa a ser minimizada. Por outro lado, Zhang et al. (2015), lançara mão de dados do sensor MODIS combinados com imagens do Landsat® para resolver problemas relacionados à resolução espacial e temporal a fim permitir o monitoramento da biomassa de pastagens. A partir da fusão dos dados desses dois sensores, se utilizaram de técnicas de extração de índices de vegetação aliada a algoritmos de Support Vector Machine (SVMs) para monitorar pastagens. Desse modo, aliaram a temporalidade do MODIS com a espacialidade – mesmo baixa do Landsat® em suas pesquisas e obtiveram melhores resultados que quando estudado a imagem de cada sensor separadamente.

A pecuária evoluiu a passos largos nos últimos anos. A demanda crescente por produtos de origem animal fez aumentar o nível, tanto quantitativo como qualitativo das pesquisas, não só na eficiência genética animal, mas também na qualidade das pastagens. Neste sentido, Diouf et al. (2016), se utilizaram de dados meteorológicos obtidos por SR a fim de estimar a disponibilidade de forragem em pastagens em final de estação chuvosa. Os autores usaram dados de sensores que captam a radiação fotossinteticamente ativa em pastagens combinadas com variáveis meteorológicas para determinar a disponibilidade de alimento para os animais. Esta observação vem de encontro ao sugerido por Ponzoni et al. (2012). Segundo os autores, é possível diferenciar pastagens e/ou outros tipos de vegetação, analisando a correlação entre sua resposta espectral e seu estágio fenológico, sanidade vegetativa, bem como estresse hídrico, utilizando a técnica de captura da radiação em função da fotossíntese das folhas pelo SR. A qualidade e a quantidade das pastagens tem forte influência no desenvolvimento regional e dos países como um todo. Pensando nisso, Moran et al. (2014), propuseram ensaios com o intuito de detectar a influência do regime hídrico sobre as pastagens utilizando como ferramenta o SR. Os autores destacam que apesar de sua importância sócio econômica, as pastagens ainda são pouco estudadas e ainda não se pode estimar o real impacto que a mudança climática tem sobre as pastagens nativas ou plantadas. Levando em conta o uso de dados do sensor MODIS, puderam estimar o estágio das grandes pastagens nos EUA em razão da precipitação pluviométrica anual. Segundo eles, o uso do SR pode minimizar custos de gestão e controle de incêndios, perda de quantidade e qualidade da forragem e também nos produtos ecossistêmicos. Os dados do sensor MODIS também foram utilizados por Wagner et al. (2013), para avaliar a redução do vigor vegetativo das pastagens no Bioma Pampa, analisando series temporais. Os autores também se utilizaram de dados de precipitação, tipos de solo e sobre pastejo animal, relacionando-os com os índices de vegetação. Utilizaram-se de técnicas de SR e geoestatística para mostrar a redução do vigor vegetativo nos campos nativos do Bioma Pampa. Ainda neste contexto, Nakano et al. (2013), testaram vários índices de vegetação para extrair níveis de biomassa seca e verde em pastagens. Sugerem em seus estudos que uma única equação linear pode identificar diferenças de gramíneas em determinado espaço.

Campos nativos podem ser fontes de produtos ecossistêmicos. Podem também ser utilizados como locais de sequestro e acumulação de carbono na natureza. Neste sentido, Guido et al. (2014), propuseram uma pesquisa para determinar a produção primária líquida acima do solo (Above ground net primary production - ANPP), desenvolvendo e utilizando técnicas de índices de vegetação do sensor MODIS em pastagens uruguaias entre os anos de 2000 a 2010. Segundo os autores, a variabilidade da ANPP é um ponto chave na entrada e acumulação de

carbono em pastagens. Analisando os gráficos contendo análise da absorção da radiação fotossinteticamente ativa das pastagens, é possível determinar a variação da ANPP em diferentes configurações de solo, geomorfologia, regime hídrico, bem como, a evolução temporal desta variável. Segundo os autores, compreender esta dinâmica pode ser fator preponderante no uso sustentável dos compôs nativos, levando-se em conta o sistema de rotação de pastoreio (GUIDO et al., 2014). A preocupação com o estágio evolutivo de pastagens e sua relação com serviços ecossistêmicos e com os ciclos de carbono também é vista em outras pesquisas. Zhao et al., (2014), descrevem a importância das técnicas utilizadas em SR da biomassa das pastagens na China como potencial indicador do estágio evolutivo das pastagens, aqui sendo tratado como (Above ground biomass – AGB), biomassa de pastagens acima do solo, em tradução livre. Também utilizaram dados temporais do sensor MODIS, dados de topografia e dados meteorológicos tratados com técnicas de extração de índices de vegetação e fazendo uso de redes neurais para a extração da quantidade de biomassa da pastagem. Os autores destacam o fato da tecnologia do SR ser relativamente barato e preciso para grandes extensões, como é o caso de pastagens nativas no centro-oeste chinês.

Inovações e avanços nos processos e técnicas de SR estão permitindo novas pesquisas e avanço no conhecimento nas mais diversas áreas de atuação do geoprocessamento e SR. Estes avanços são necessários porque no entender de Neumann et al., (2015), o SR é uma poderosa ferramenta que se apresenta para se estudar a ameaça crescente de perda de biodiversidade. No entender dos autores, ao se utilizar imagens de satélites de series temporais e técnicas de SR pode se estabelecer com bons níveis de precisão se determinada área monitorada está sendo degradada ou não. Muitos locais de difícil acesso só permitem algum tipo de análise exploratória sobre uso e ocupação da terra com base em dados obtidos em imagens orbitais. Neste sentido ainda, Neumann et al., (2015), destacam a importância de observações relativas ao SR e m análises em ecossistemas com espécies ameaçadas de extinção. Com base em análises de informações de dados espectrais e abordagem geoestatística, pode se estimar o habitat de espécies, indicadores de pressão e estados de conservação do espaço em que se encontram. Conforme relatam Li et al. (2016), o SR pode ser uma ferramenta de grande utilidade na ampliação das pesquisas relativas a pastagens de qualquer natureza. Por meio de técnicas usuais, como índices de vegetação e classificação de imagens, aliadas a abordagens estatísticas, pode-se obter resultados expressivos no que tange à qualidade, quantidade, valor nutritivo de pastagens de modo geral, bem como distinguir os vários tipos de gramíneas presentes em determinado espaço. Os autores desenvolveram metodologia que aperfeiçoou a diferenciação entre tipos de pastagens que, segundo eles, o modelo utilizado pode ser

extrapolado e usado em outros locais, com condições espaciais, espectrais e radiométricas diferentes, mas sempre em diferentes tipos de pastagens.

3.3 Algoritmos para extração de informações espectrais (Classificadores)

A classificação digital de imagens de sensoriamento remoto é o processo de extrair informações e reconhecer padrões e objetos homogêneos para mapear determinada área da superfície terrestre e pode ser realizada, de acordo com Crosta (1993), de duas formas metodológicas distintas: classificação supervisionada e a não supervisionada. Segundo o autor, a classificação não supervisionada pode ser realizada sem o reconhecimento prévio da área a ser mapeada. É realizada com base em parâmetros predefinidos pelo usuário do aplicativo, como número de classes desejadas e o número de interações entre elas. Ainda conforme Crosta (1993), classificação supervisionada requer conhecimento prévio da área a ser mapeada. O conhecimento da área a ser classificada ajuda no reconhecimento das assinaturas espectrais de cada alvo passível de ser mapeado. Com esse conhecimento adquirido, procura-se o classificador ou algoritmo que melhor se aplica ao tipo de estudo desejado. Há, nos dias atuais, uma gama considerável de algoritmos para essa finalidade.

Com o advento da computação gráfica, os processos de aquisição, análise e processamento de dados de SR tornaram-se mais rápidos, eficientes e confiáveis. Os aplicativos, ou softwares desenvolvidos para o Processamento Digital de Imagens (PDIs) possuem, integrados aos mesmos, diversos algoritmos para a extração de informações espectrais e também espaciais de imagens de satélite para mapeamento de usos e coberturas da terra. Não há um algoritmo melhor ou pior que o outro. Há o que mais se adequa aos objetivos propostos, ao conhecimento do pesquisador e, principalmente, aos recursos disponíveis. Atualmente, há a disposição dos pesquisadores, uma gama considerável de algoritmos ou classificadores, com o intuito de extrair informações espectrais de imagens de SR para as mais diversas finalidades.

Porém, muitos usuários dos chamados SIGs desenvolvem seus próprios algoritmos com base em linguagem de programação computacional para fins específicos de determinado trabalho e não são disponibilizados a comunidade científica. De acordo com Li et al. (2014), embora tenham sido desenvolvidos muitos algoritmos para a extração de informações espectrais de imagens orbitais – muitos em linguagem de máquina, eles não são desenvolvidos e testados em outros estudos, ou em estudos específicos. Em suma, cada pesquisador ou grupo de

pesquisadores acaba por desenvolver seus próprios algoritmos com finalidades específicas para seu estudo e, neste contexto, há o incremento de muitos classificadores pontuais, sendo que os algoritmos tradicionais presentes nos aplicativos de processamento digital de imagens continuam os mesmos a tempo e ainda assim continuam sendo utilizados. Os autores testaram diversos algoritmos em seus estudos. Dois não supervisionados e 13 supervisionados, incluindo alguns em linguagem de máquina com base em informações espectrais do sensor TM® do satélite Landsat. Os resultados, segundo eles, foram que a maioria dos algoritmos supervisionados se mostrou satisfatórios quando as amostras de treinamento desses algoritmos suficientemente representativas (LI et al., 2014). Neste sentido também, Moura (2016), testou diferentes classificadores supervisionados para analisar multitemporalidades nos usos e coberturas da terra através de SR. A autora realizou comparações entre classificadores como: Máxima Verossimilhança (Maxver), Distância Mahalanobis, Mínima Distância, Paralelepípedo, Spectral Angle Mapper (SAM), Support Vector Machine (SVM) e Spectral Information Divergence (SID). A autora relata ainda que o classificador SVM demonstrou os melhores resultados em testes de exatidão global e índice de Kappa.

Ainda neste sentido, Andrade, et al. (2015), descrevem e comparam o uso de dois algoritmos na classificação da fisionomia vegetal. Os autores testaram os algoritmos Máxima Verossimilhança (MAXVER) e o Support Vector Machines (SVMs) em imagens de altíssima resolução espacial – menos de um metro. A análise dos resultados deste estudo mostra maior eficiência do algoritmo SVM na detecção de fisionomias vegetais diferentes na paisagem.

Dentre os classificadores ou algoritmos mais utilizados atualmente, destaca-se o (SVM). Conforme Andrade et al. (2015), o SVM é um algoritmo baseado em linguagem computacional com alto grau de generalização, tendo por base, probabilidades estatísticas complexas. Foi elaborado inicialmente para reconhecimento de padrões preestabelecidos. Segundo Nascimento et al. (2009), o algoritmo atua conforme um limite de decisão estabelecido pelo usuário, separando classes distribuídas na imagem analisada, mediante treinamento do mesmo a partir de áreas conhecidas. Já Mountrakis et al. (2011), colocam que, mesmo que esse algoritmo não seja o mais popularmente usado, o uso do mesmo vem aumentando e os resultados por ele alcançados são satisfatórios. Os autores destacam ainda que sua utilização pode ser observada em diversos tipos de detecção de alvos, como tipos de vegetação e solo, recursos minerais, tipos de culturas, pastagens; diferenciando-os com grau satisfatório de exatidão; bem como, podendo mostrar boa resposta frente aos mais variados produtos iniciais – imagens de satélite com diferentes resoluções espaciais, espectrais e radiométricas. Outro aspecto positivo do SVM frente aos demais classificadores reside no fato de não ser necessário um grande número de

amostras de treinamento para a separação das classes. No entanto, o SVM é, de acordo com os autores, um pouco intimidante, devido ao certo grau de entendimento de alguns conceitos do mesmo por parte de pesquisadores leigos ou com pouco conhecimento em linguagem computacional e processos estatísticos mais aprofundados (MOUNTRAKIS et al., 2011).

Os SVMs não são sensíveis ao tamanho e nem a quantidade de amostras de treinamento obtidas para proceder a classificação. Os autores relatam experimentos em que, até um quarto das amostras originais obtidas inicialmente foram suficientes para realizar a classificação digital de imagens de satélite e obter resultados satisfatórios (MOUNTRAKIS et al., 2011).

3.4 Satélites e sensores

Existe atualmente um grande número de satélites para a obtenção de informações orbitais para os mais diversos fins. Há a disposição de pesquisadores dados obtidos via satélite para estudos meteorológicos, estudos ambientais, monitoramento de queimadas e também de desastres naturais, prospecção de recursos minerais entre outros. Dentre os satélites a disposição para extração de dados para pesquisas relacionadas a diversos temas podemos destacar alguns: LANDSAT®, IKONOS, CBERS, WORLDVIEW, RAPIDEYE, KOMPSAT e mais recentemente o satélite da constelação SENTINEL. Nesta dissertação serão utilizadas uma imagem IKONOS, uma SENTINEL2 e duas RAPIDEYE de datas diferentes.

3.4.1 IKONOS

O IKONOS é um satélite com sensor passivo, ou seja, depende de fonte de radiação externa para obter seus dados de alta resolução espacial (um metro na banda pancromática e quatro metros na multiespectral), média resolução espectral (cinco bandas) e resolução radiométrica de 11 bits (2048 níveis de cinza). Como há a possibilidade da fusão de imagens, pode se obter imagens multiespectral com resolução espacial de um metro. No entanto, o ganho de resolução espacial não se reverte em ganho de informações espectrais –normalmente ocorre o contrário em que há a perda de informações espectrais devido a manipulação dos dados. O período de revisita do satélite, ou seja, a resolução temporal é de três dias e opera em 681 km de altitude, com tempo de duração de órbita de 98 minutos e inclinação de 98,1°. Entrou em operação em 1999 e foi o primeiro satélite de observação da terra a oferecer imagens de alta resolução para fins comerciais. Além do uso comercial há o uso em um grande número de artigos científicos e seu uso é diversificado, sendo utilizado em acompanhamento de uso da

terra, áreas de proteção permanente, cartografia, urbanização, estimativas de produção de biomassa, meteorologia, monitoramento de fenômenos naturais, etc. Está em operação atualmente, porém não é possível o pedido de uma área e data específicas. O tamanho de cada cena é de 11,3X11,3 km (IKONOS, 2016).

Na literatura consultada, há um grande número de publicações relacionadas a produtos do satélite IKONOS, SR e PDI. Neste sentido, Fernandes, et al. (2015), avaliaram o cumprimento da legislação ambiental em bacias hidrográficas utilizando o SR em uma imagem ÍKONOS; também Silva et al. (2015), aplicaram técnicas de SR, também em bacias hidrográficas, visando o planejamento e restauração florestal, fazendo uso de imagens ÍKONOS e RAPIDEYE para a classificação para o uso e cobertura da terra. Já Costa et al. (2016), buscaram diferenciar alvos de uso da terra como pastagens degradadas e vigorosa, queimadas e outros alvos também com imagens ÍKONOS e RAPIDEYE. Os autores relatam que os resultados foram animadores em ambas as imagens. O tema: conflitos de uso da terra em microbacias hidrográficas, através de uso de imagens ÍKONOS foi o objeto de estudo de Costa et al. (2013). Nele os autores fizeram um estudo temporal dos usos da terra para gerar um mapa evolutivo de conflitos ambientais em microbacias hidrográficas. Como se vê, os usos de imagens ÍKONOS pode ser o mais variado. Somente em periódicos nacionais pode ser encontrado um grande número de estudos relacionados a este tema.

3.4.2 SENTINEL-2

O satélite da constelação Sentinel é relativamente recente. De acordo com a Agencia Espacial Europeia, o Sentinel-2 entrou em operação em junho de 2015 e tem como propósito a aquisição de imagens multiespectrais (13 bandas) da superfície terrestre com resolução de 10 metros e cinco dias de temporalidade aliando os dois satélites. Outras características dos dados desse novo satélite também são importantes: as imagens fornecidas estão já convertidas para refletância de superfície e com correção de efeitos da atmosfera. Estes parâmetros são importantes principalmente no que tange a geração de índices de vegetação e a classificação digital de imagens de satélite (MANSOUR et al., 2012).

Os estudos com a aplicação dos dados do Sentinel-2 ainda são insipientes. No entanto, se mostram promissores pois, no entender de Saraiva (2015), permitiram melhorar os resultados de classificação digital aliando dados do Landsat-8 com os do Sentinel-1. A autora testou o SVM, Máxima Verossimilhança e Redes Neurais para obter melhores resultados para a identificação de áreas agrícolas e obteve índices Kappa na faixa de 0,9 em seus estudos. Neste

sentido, Guimarães e Cremon (2017), também aplicaram dados combinados do Sentinel-1 e Landsat-8 para a discriminação de classes de uso e cobertura no Bioma Cerrado, obtendo índices de exatidão em torno de 95%.

3.4.3 RAPIDEYE

O satélite RAPIDEYE está em operação desde agosto de 2008. Possui sensor passivo, gerado imagens multiespectrais coloridas com uma capacidade impressionante. Pode gerar até cinco milhões de Km² de área diariamente. Possui órbita circular, heliosíncrona, descendente, 97,8° de inclinação, período de 96,7 minutos e altitude de 630 km. Sua resolução espacial é de cinco metros, resolução radiométrica de 12 bits, ou seja, 4096 níveis de cinza e resolução espectral de cinco bandas (red, green, blue, red edge e infrared). A frequência temporal é de 5,5 dias e é possível programar imageamento e tem tamanho de 25X25 km por cena (ENGESAT, 2016).

A importância deste satélite, principalmente para estudos no Brasil, é muito grande. O acesso a seus dados está liberado a pesquisadores, professores e outros profissionais vinculados a algum órgão das três esferas de poder constituído no Brasil, mediante cadastro via e-mail institucional – há um convenio ainda em vigo do Ministério do Meio Ambiente disponibilizando acesso institucional das imagens RAPIDEYE para estudos ambientais, evolução de usos e coberturas da terra, análises em recursos hídricos, entre outros. Outra característica interessante no satélite RAPIDEYE é a sua banda Red Edge. Neste sentido, Souza et al. (2015), ressaltam a importância dessa banda espectral na discriminação da cobertura vegetal. Também, Antunes et al. (2014), realizaram estudos de avaliação espectral e geométrica de imagens RAPIDEYE para avaliar o potencial das mesmas em mapeamentos e monitoramentos agrícolas e ambientais. Neste sentido também, Costa et al. (2016), buscaram diferenciar alvos de uso da terra como pastagens degradadas e pastagem vigorosa, queimadas e outros alvos também com imagens ÍKONOS e RAPIDEYE. Os autores relatam que os resultados foram animadores em ambas as imagens.

Como se pode ver, há muita literatura envolvendo SR, PDI e imagens de satélite. Os estudos envolvendo o tema vem crescendo muito e a cada dia novas técnicas para extração de informações são desenvolvidas, sendo essa questão, bastante positiva.

CAPÍTULO II

1. Materiais e metodologia operacional

1.1 Materiais utilizados

Na presente pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: Microcomputador Asus; máquina fotográfica semiprofissional marca Nikon, modelo D40; GPS Garmin, modelo Montana650, com precisão aproximada de 3,65m (GARMIN, 2011); Softwares ENVI 5.0 (ESRI, 2011), QGIS 2.14 (SHERMAN et al, 2011) e Microsoft Office. Também foram utilizadas quatro imagens de satélite de parte da região que compreende a pesquisa. As imagens IKONOS e RAPIDEYE foram adquiridas pela Embrapa Clima Temperado com recursos do projeto “Rede de Pesquisas em Eragrostis Plana: estudos para recuperação de áreas degradadas”, financiado pela CAPES, adquiridas junto à Engesat de Curitiba – PR. Já a imagem do satélite SENTINEL2 está disponível de forma gratuita em diversos sítios digitais. A usada nesta pesquisa foi adquirida de forma gratuita no sítio eletrônico da Science for a Changing World (USGS, 2017). Todas as imagens foram recebidas georreferenciadas, com sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84 e zona 21S. As imagens estão apresentadas nas Tabelas 01, 02 e 03.

Tabela 01: Características da Imagem SENTINEL2 (USGS, 2017). Data: 20-07-2017

Bandas do SENTINEL2	Resolução espectral central (nanômetros)	Resolução espacial metros
B02 blue	490	10
B03 green	560	10
B04 red	665	10
B08 infra red	842	10
B05 Red Edge 1	705	20
B06 Red Edge 2	740	20
B07 Red Edge 3	783	20
B08A Red Edge 4	865	20
B11 SWIR 1	1610	20
B12 SWIR 2	2190	20
B01 Aerossol	443	60

B09 Water Vapor	940	60
B10 Cirrus	1375	60
Resolução radiométrica	12 bits	4096 níveis de cinza
Inclinação	98,56°	

Tabela 02: Características da Imagem IKONOS de 13-09-2011 (Embrapa Clima Temperado).

Bandas Ikonos	Resolução espectral (nm)	Resolução espacial (metros)
Banda 1 blue	450-520	2,5
Banda 2 green	520-600	2,5
Banda 3 red	630-690	2,5
Banda 4 infra red	760-900	2,5
Pancromática	450-900	1
Resolução radiométrica	16 bits	65536 níveis de cinza
Inclinação	98,1°	

Tabela 03: Características das Imagens RAPIDEYE de 01-07-2011 e 17-01-2012 (Embrapa Clima Temperado).

Bandas Rapideye	Resolução espectral (nm)	Resolução espacial (metros)
Banda 1 blue	440-510	5
Banda 2 green	520-590	5
Banda 3 red	630-685	5
Banda 4 red edge	690-730	5
Banda 5 infrared	760-880	5
Resolução radiométrica	8 bits	256 níveis de cinza
Inclinação	97,8°	

1.2 Correções e filtros das imagens

Em um primeiro momento, foi estabelecido um pré-tratamento dos dados, ou seja, das imagens de satélite. Conforme procedimento preparatório descrito por Crosta (2002), toda imagem orbital precisa de um tratamento prévio antes de estar em condições de ser analisada por um algoritmo de classificação digital de imagens. O autor descreve uma série de procedimentos a serem aplicados nas imagens orbitais a fim de aplicar correções geométricas, atmosféricas, bem como aplicação de contraste, filtros e outros processos a fim de corrigir

eventuais falhas visando a otimização desta imagem para cada eventual objetivo proposto. Esses procedimentos matemáticos estão embutidos nos principais softwares de Processamento Digital de Imagens (PDIs) disponíveis atualmente. Embora com diferentes interfaces, através desses softwares se obtém resultados muito parecidos pois o procedimento matemático envolvido normalmente é o mesmo.

Em todas as imagens foi aplicada a correção atmosférica. Este tipo de correção transforma os valores de Digital Number (DN) para valores de refletância e também pode corrigir eventuais efeitos atmosféricos relativos a imagem (MANSOUR et al., 2012). Essa correção foi aplicada em todas as imagens através do mesmo procedimento. Utilizando a aba “calculadora de campo” do software QGIS 2.14 (SHERMAN et al., 2011), fez-se as operações necessárias para aplicar estas correções. O procedimento foi realizado através da fórmula encontrada na literatura. A fórmula foi adaptada para a calculadora de campo do software QGIS e ficou assim: $((\pi * L * d^2) / (ESUN * \cos \varnothing))$, onde: L=radiância espectral do sensor (W/m²sr um); d²=distância Terra-Sol; ESUN=irradiância solar estratosférica média (W/m²um) e \varnothing =ângulo zenital solar (graus). Estas variáveis são encontradas nos metadados das imagens utilizadas. O referido procedimento é necessário, conforme relatado em Mansour et al. (2012), para remover possíveis efeitos temporais na obtenção dos dados, compensar os diferentes valores de irradiância estratosférica de cada banda e também corrige possíveis variações de distância entre a Terra e o Sol. Somente foi efetivada a transformação de DN para valores de refletância, não sendo necessária a correção atmosférica por não se tratar de imagens para estudos de evolução temporal de uso e cobertura da terra (MANSOUR et al., 2012).

1.3 Área de estudo

O estudo sobre o uso do espaço é um dos temas centrais na Geografia. Em geografia também há, comumente o uso de determinada delimitação para servir como objeto a ser estudado pelo pesquisador. No entanto, de acordo com Souto (2016), escolha de um determinado lugar detrimento de outro, nem sempre é tarefa fácil. Neste trabalho, a área foi escolhida por apresentar facilidade de acesso (próxima a uma rodovia federal e várias estradas secundárias). No local foi instalado no ano de 2010, o Parque Eólico do Cerro Chato, no município de Santana do Livramento, estado do Rio Grande do Sul. Pode ser considerada uma espécie de laboratório *in situ*.

Estudos preliminares e relatos de produtores rurais da região, apontam para a ocorrência de locais com significativa de infestação de capimannoni. Em conversas informais com produtores locais, percebe-se a preocupação com a invasora e que a mesma estaria presente na

área desde muito antes do início das obras de implantação do parque eólico. Neste fragmento de campo ainda há significativa ocorrência de espécies gramíneas nativas do Bioma Pampa. Neste sentido, a área de estudo faz parte do Bioma Pampa, um dos mais importantes biomas brasileiros; está inserida próxima a um divisor de águas, contendo algumas nascentes de rios como o rio Ibirapuitã. Este rio dá nome também a Área de Proteção Ambiental (APA do Ibirapuitã). Ainda se apresenta o fato da disseminação de uma espécie invasora sobre a paisagem natural. Paisagem esta, em relativo equilíbrio e grande biodiversidade, podendo a disseminação do capimannoni, representar um alto impacto sobre os campos nativos do Bioma Pampa. E estes impactos ambientais são frequentemente estudados pela Geografia. A área de estudo compreende uma pequena parte a Norte/Nordeste do Parque Eólico do Cerro Chato, no município de Santana do Livramento – RS. A Figura 01 representa o local do presente estudo. A área territorial de estudo tem aproximadamente 2809 há de área, sendo somente uma pequena parte de parque Eólico do Cerro Chato.

A fim de melhor conhecer a área de estudo, foi feita uma breve caracterização da mesma. Foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE), para saber a altimetria da área. Junto ao MDE foram também inseridos os cursos de água presentes na região. Com o intuito de conhecer melhor o relevo, foi gerado um mapa de declividade.

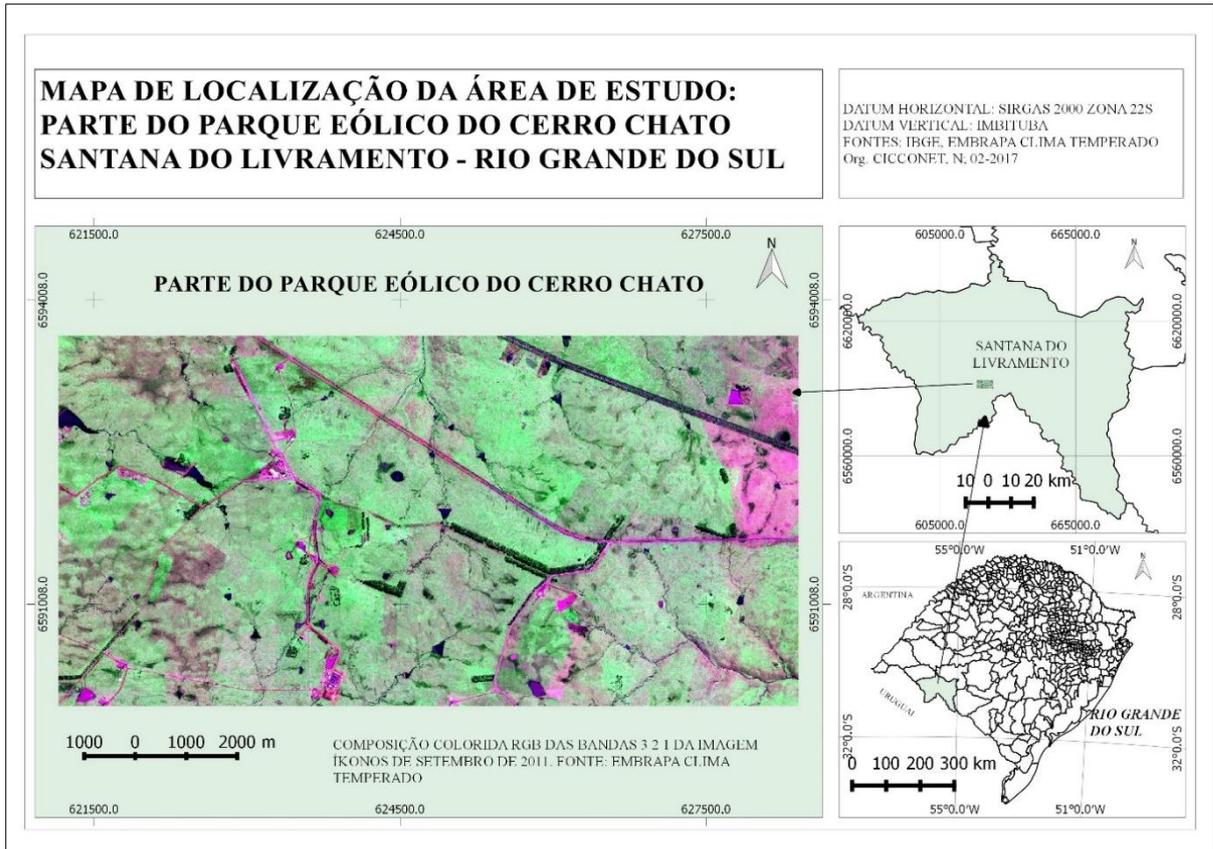


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no município de Santana do Livramento – RS. Fonte: Autor.

O local foi escolhido por ainda apresentar áreas com presença exclusiva de espécies nativas do Bioma Pampa, ou seja, gramíneas nativas rasteiras em sua grande maioria, e de diversas espécies. A Figura 02 mostra uma área composta de espécies gramíneas nativas pastejadas pelos animais. Este é um dos locais, conforme visitas a campo realizadas, onde há predominância de mais de 95% de gramíneas nativas de várias espécies. Em diversos outros locais dentro da área de estudo é possível ver configuração espacial de gramíneas nativas semelhantes.



Figura 02. Imagens de dois locais da área de estudo com cobertura de gramíneas nativas. Fonte: Nelson Cicconet.

Já na Figura 03 se vê uma área completamente invadida por capimannoni. Nela se pode observar a grande infestação da espécie invasora, sendo que a cobertura da terra nesta área estaria próximo aos 100% com capimannoni. Há, no entanto, pequenas porções de outras espécies de gramíneas no local - formando uma espécie de sub-bosque, mas que tornará imperceptível tanto visualmente, quanto espectralmente, mesmo utilizando imagens de satélite de alta resolução espacial e espectral. Da mesma forma com que ocorre com as gramíneas nativas, áreas como essa são comuns em diversos locais da área de estudo, o que poderá facilitar na obtenção da assinatura espectral dos alvos e auxiliar na delimitação de áreas de treinamento do algoritmo a ser usado nesta dissertação.



Figura 03. Imagens de dois locais da área de estudo com infestação total de capimannoni. Fonte: Nelson Cicconet.

Há também algumas partes dentro da área estudada que essa divisão – gramíneas nativas versus capimannoni não se configura de forma totalmente radical, ou seja, tem-se locais onde há uma mistura uniforme de ambos os usos; gramíneas nativas e capimannoni. Nestes locais foi definida uma classe específica para posterior classificação que vem a ser, transição entre gramíneas nativas e capimannoni. Na Figura 4 é mostrada uma parcela dessa mistura citada em proporção próxima a 50% de cada tipo de uso e cobertura.



Figura 04. Imagem da área de estudo contendo gramíneas nativas e capim annoni em proporção próxima a 50%. Fonte: Nelson Cicconet.

1.4 Metodologia operacional

Para se chegar a determinado lugar é preciso percorrer um caminho. Para se cumprir com objetivos propostos em uma pesquisa científica é preciso determinar um método, que pode ser definido como o caminho a ser seguido para obter a resposta aos objetivos propostos. A fim de estabelecer um caminho para o cientista desvendar ou esclarecer, mesmo que por um determinado tempo, a Ciência propõe, segundo Popper (1972), dois métodos: o método indutivo e o dedutivo. O método indutivo parte do particular para o geral, assumindo que se estudar as partes de um todo; somando-se as partes, conhece-se o todo. Já o dedutivo, parte do geral para o particular. Assume-se aqui que é preciso estudar o todo em sua formação para conhecer as partes desse todo e cada parte pode ter grande influência no todo.

O presente trabalho propõe o uso combinado dos dois métodos descritos por Karl Popper: Em um primeiro momento o método usado foi o indutivo. Neste sentido, se apresenta a busca de áreas de treinamento do algoritmo usado no Processamento Digital de Imagens (PDI), partindo-se do particular (áreas de treinamento) para o geral (imagem a ser classificada). No segundo momento, o algoritmo fará o trabalho inverso que é o que propõe o método dedutivo: partirá do geral que é toda a imagem orbital a ser analisada e poderá determinar de

maneira particular onde estão as áreas de ocorrência do capimannoni e as áreas com pastagens nativas dentro da área de estudo. Todo este processo é proposto dentro do princípio da falseabilidade proposto também por Popper (1972). Este princípio nos diz que o enunciado ou teoria científica deverá ser proposta de tal maneira que será passível de refutá-la, ou seja, testada por outros cientistas e provada ou não. A teoria seria considerada válida somente enquanto não surgirem estudos científicos com novas evidências e formulações que considerem a mesma falsa.

1.4.1 Coleta de pontos de amostras

Para entender o espaço geográfico, é preciso também sair do laboratório ou escritório e buscar informações a campo. Para a classificação digital de imagens não é diferente. Embora se possa implementar a classificação digital de imagens sem conhecer a região estudada, normalmente este procedimento somente deve ser adotado em locais onde o acesso é restrito ou inacessível. Em locais onde se tem acesso, o levantamento de campo é indispensável para a obtenção de áreas de interesse ou amostras onde se tem determinado tipo de uso para treinamento do algoritmo de classificação. Neste sentido partiu-se inicialmente em busca desses locais dentro da área de estudo.

As visitas a campo foram realizadas em duas etapas, ou duas datas diferentes. A primeira foi realizada em fevereiro de 2015, quando foram coletadas as amostras para treinamento do algoritmo. A segunda visita foi realizada em julho de 2017, em se tomaram áreas para posterior validação da classificação. Os pontos e a forma de tratamento dado aos mesmos estão descritos a seguir. Foi elaborado um croqui mostrando as áreas de aquisição dos pontos para treinamento do algoritmo e para a matriz de confusão. A Figura 05 mostra esse croqui que foi feito com base na imagem IKONOS RGB (421).

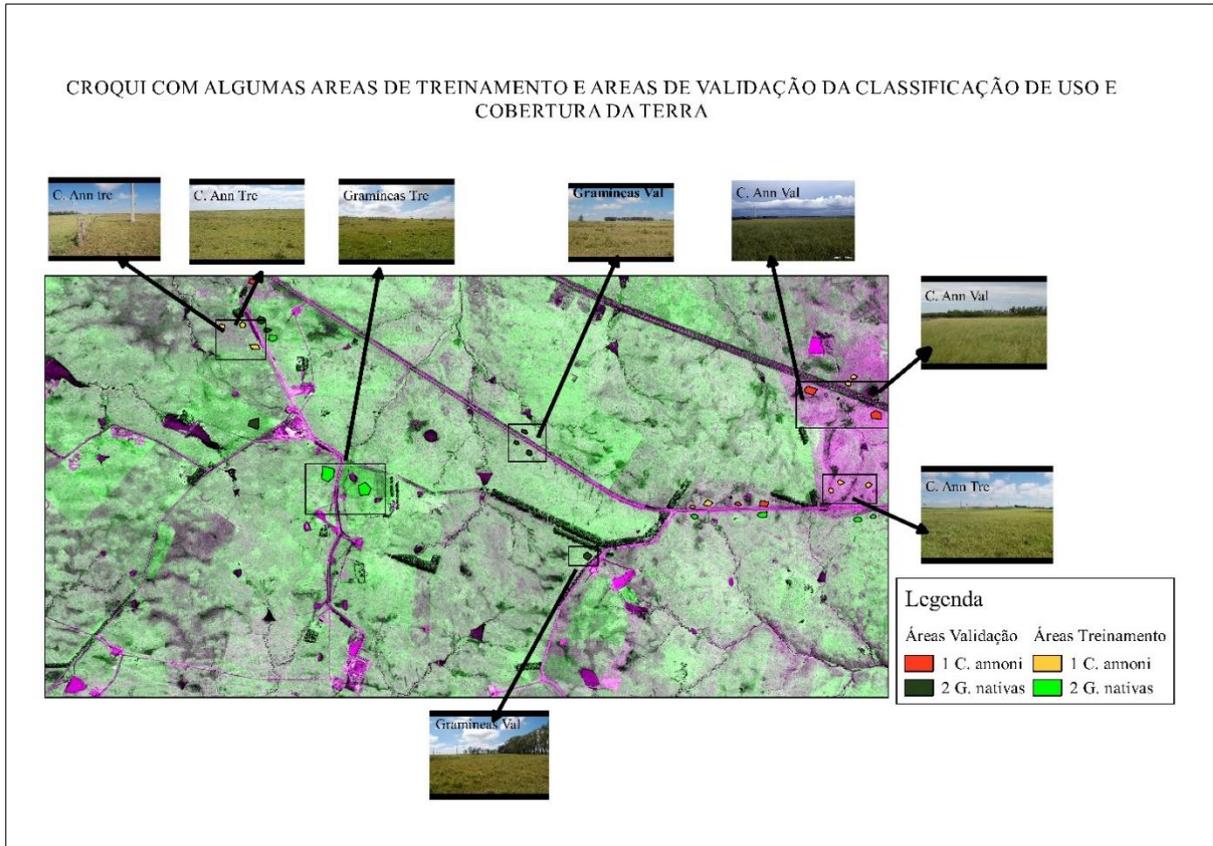


Figura 05. Croqui com alguns locais de pontos de treinamento e validação com imagens dos locais onde os pontos foram coletados. Org. Nelson Cicconet.

Munido de GPS, máquina fotográfica e bloco de anotações, fez-se o trabalho de campo. A ideia central da visita a campo foi coletar pontos de treinamento para treinar o algoritmo SVM de classificação digital. Buscou-se basicamente três classes distintas na área de estudo: áreas com grande infestação de capimannoni (Figura 03), áreas cobertas com gramíneas nativas de várias espécies (Figura 02) e com mistura de ambos os usos – transição entre capimannoni e gramíneas nativas. Esta última classe foi buscada somente se a proporção dos usos fosse de aproximadamente 50% de ambos (Figura 04), visto que, de acordo com preanálise do Parque Eólico, encontrou-se alguns locais de infestação muito menor que 50% - observa-se a presença de algumas “touceiras”, sendo que zonas como essas foram consideradas como sendo gramíneas nativas.

Foram coletados 53 pontos aleatórios distribuídos de forma mais ou menos uniforme dentro da área de estudo. Nestes 53 pontos coletados, as classes observadas foram somente das três classes supracitadas, sendo que as amostras de treinamento das outras classes classificadas – vegetação arbórea, cursos de água, solo exposto e áreas úmidas foram obtidas diretamente analisando as respectivas imagens de satélite – as amostras dessas últimas classes foram obtidas diretamente nas imagens, não sendo necessário buscar fragmentos das mesmas a campo. Foram

coletados cinco pontos da classe com uso de transição entre gramíneas nativas e capimannoni; 24 pontos com gramíneas nativas e 24 pontos de infestação por capimannoni. Estes 53 pontos visitados a campo foram posteriormente quadruplicados em laboratório, analisando as respectivas imagens, tendo como base áreas muito próximas a um dos pontos de controle obtidos inicialmente –no máximo 20 metros de distância de um dos 53 pontos colhidos, sendo que, no visual pode se perceber que o tipo de uso é o mesmo. Através desse recurso, pode-se aumentar o número de amostras de treinamento em quatro vezes, aumentando a eficiência do algoritmo utilizado. No total, as áreas de amostra de treinamento e de controle somadas a partir do processo de laboratório foram 212 amostras, sendo: 96 amostras de capimannoni (pode se perceber duas amostras de capimannoni na Figura 03), 96 de gramíneas nativas (a Figura 02 apresenta duas parcelas com a presença de gramíneas nativas) e 20 amostras de treinamento contendo a transição entre capimannoni e gramíneas nativas, aqui representadas conforme nos é mostrado na Figura 04 desta dissertação. Do total dos 212 pontos amostrais gerados em laboratório, 106 foram usados para o treinamento do algoritmo e 106 para a validação através da matriz de confusão.

O processo de validação da classificação ocorreu no QGIS (SHERMAN, et al., 2011), da seguinte maneira: foi gerado um polígono contendo os pontos de validação. Após a classificação, foi gerada a intersecção dos usos da classificação com o polígono de validação. Os usos que estão em conformidade com os polígonos validam, ou dão credibilidade ao mapeamento. Os usos dentro dos polígonos que estiverem em discordância com o mesmo estarão em desconformidade com o mapeamento. Este procedimento gerará a porcentagem de exatidão dentro dos polígonos de validação, podendo generalizar os resultados para toda a área de estudo

Outros usos também serão mapeados, porém são de menor importância ao estudo e também podem ser definidos analisando visualmente as imagens orbitais, dadas as resoluções espaciais das mesmas. No total, as classes mapeadas serão as seguintes: gramíneas nativas, capimannoni, áreas de transição entre capimannoni e gramíneas nativas, vegetação arbórea arbustiva, água, áreas úmidas e solo exposto, totalizando sete classes distintas.

1.5 Classificação digital das imagens de satélite

De posse das informações obtidas a campo, o procedimento sequencial foi partir para a classificação digital das imagens orbitais escolhidas para a pesquisa.

O procedimento seguinte foi extrair as informações pertinentes a esse trabalho. Essas informações dizem respeito ao objetivo principal deste estudo que é o mapeamento do capim

annoni na área de estudo. Para tanto foram usados os pontos adquiridos no campo para treinar o algoritmo a ser usado para a classificação digital das referidas imagens. Nesses pontos adquiridos a campo, foram encontrados usos bem definidos. Isso facilitou o trabalho de aquisição das amostras nas imagens estudadas. De cada ponto visitado em toda a área de estudo foram extraídos quatro polígonos contendo entre 10 e 15 pixels sobre a imagem em uso no momento, ou seja, se a imagem a ser classificada for a IKONOS (pixel de 2,5X2,5m), em cada ponto visitado a campo extraiu-se quatro polígonos para treinamento do classificador. Sendo assim, tem-se, entre 10m² e 15m², totalizando entre 40m² a 60m² de áreas de treinamento em cada ponto visitado a campo. O mesmo procedimento foi aplicado em todas as quatro imagens estudadas e em todos os pontos obtidos a campo. A área de treinamento varia de uma imagem a outra devido a variação da resolução espacial das imagens estudadas, mas sempre respeitando a relação entre a resolução espacial de cada imagem e a proporção de 10 a 15 pixels obtidos em cada imagem. Este procedimento é possível, segundo Andrade et al, (2015), por ser o SVM um classificador robusto e aceitaria esta quantidade de amostras para aplicar a classificação digital.

Este procedimento descrito acima somente foi aplicado nas áreas amostrais colhidas a campo de duas classes, sendo: capimannoni e gramíneas nativas. Outro procedimento também foi adotado a fim de melhorar a eficiência do classificador SVM: as duas classes prioritárias deste estudo –capimannoni e gramíneas, foram divididas em três subclasses, a saber: capimannoni 1, 2, 3, e gramíneas nativas 1, 2, 3. Ocorre que, em alguns casos, estas áreas apresentavam configurações um pouco diferentes dentro do mesmo uso. Observou-se que em alguns locais, o capimannoni apresentava altura diferente de outra; também a característica textural se apresentava diferente em alguns locais, bem como sua coloração e estágio evolutivo. Essas mesmas implicações foram observadas com relação às gramíneas nativas. Posteriormente estas subclasses foram reunidas em torno da classe mãe. Através deste procedimento buscou-se obter a máxima generalização possível, sempre procurando diferenciar da melhor forma possível a separação entre as classes capimannoni e gramíneas nativas.

Aos outros alvos – Vegetação Arbórea, Corpos de Água, Solo Exposto e Áreas Úmidas foram dados tratamentos diferentes. Como são mais definidas e de fácil visualização em todas as imagens, não foram coletados a campo informações espaciais destes alvos. As áreas de treinamento desses últimos alvos foram obtidas de forma visual, através de conhecimento

geográfico espacial de imagens de satélite e foram adquiridos aleatoriamente sobre cada uma das imagens estudadas, de acordo com o conhecimento do pesquisador.

1.5.1 Support Vector Machine

O classificador SVM foi preparado então para rodar a classificação. Support Vector Machine (SVM) é um método de classificação supervisionado derivado da teoria da aprendizagem estatística que produz bons resultados de classificação de dados complexos e ruidosos. As imagens já prontas para a classificação foram importadas para o software ENVI. Nele foram extraídos os Regions Of Interest (ROIs) com base nas visitas a campo e no procedimento metodológico descrito acima. A partir disso, as regiões de interesse, ou seja, os ROIs foram usados para generalizar a informação contida neles. As imagens formaram um mosaico com empilhamento de todas as bandas de cada uma das imagens e a partir disso foi rodado o SVM, utilizando os mesmos parâmetros em todas as imagens estudadas: O tipo de Kernel utilizado foi o Radial Basic Function (RBF), que é, segundo a literatura o mais utilizado e serviu de base para os outros (ANDRADE, et al., 2015 e MOUNTRAKIS, et al., 2010), sendo os outros tipos de Kernel, uma derivação deste. Outro diferencial, conforme Hsu et al. (2016), possui menos dificuldades estatísticas no processamento e número reduzido de hiperparâmetros, facilitando sua execução. O Gamma in Kernel Function foi deixado no modo padrão do SVM que é 0,250, bem como o parâmetro Pyramid Parameter, que por padrão é 100. Para o parâmetro “Pyramid Levels” foi atribuído valor “3”. Aqui o parâmetro “3” foi definido levando-se em conta o número de linhas e colunas das imagens e também o tamanho do pixel e irá definir o nível hierárquico do processamento aplicado em cada imagem. Já o parâmetro Pyramid Reclassification Threshold ficou em 0,90, que define se um determinado pixel deve ou não ser reclassificado em resolução mais baixa que a da imagem, evitando ruídos desnecessários na classificação. A Classification Probability Threshold ficou em 0,10, porque os pixels em que todas as probabilidades de regra são inferiores a esse limite não estão classificados. O intervalo total é de 0 a 1. O padrão é 0.0 (HSU et al., 2016).

Aos resultados obtidos foram aplicadas a matriz de confusão do próprio ENVI, relacionando os resultados obtidos as áreas de interesse, os ROIs. Este procedimento não elimina a matriz de confusão Kappa e ao índice de exatidão global que serão aplicados posteriormente. Aqui se poderá ter uma ideia inicial de confusão entre os ROIs e a classificação para toda a imagem.

Feito isso, o procedimento seguinte foi estabelecer uma reclassificação com base na matriz de confusão gerada no software ENVI. Foi estabelecido um critério próprio neste

sentido. Se o índice obtido na matriz de confusão gerado pelo ENVI for superior a 60%, índice considerado bom pelo índice Kappa (LANDIS & KOCH, 1977), não seria necessário a reclassificação. Caso esse índice for menor ou igual a 60%, deverá se proceder a reclassificação, obtendo-se mais áreas de treinamento tentando melhorar esse índice.

1.6 Mapeamento das classes de uso e cobertura na área de estudo

A partir desta fase os resultados obtidos foram transferidos para o software de geoprocessamento QGIS 2.14 (SHERMAN et al., 2011). A imagem IKONOS, com 28,09 km², foi usada como referência para padronizar o a metragem da área de estudo.

Seguindo o procedimento metodológico, o próximo passo foi filtragem da classificação digital obtida. No software QGIS, através da aba “raster – análise – filtro”, pode-se eliminar áreas classificadas com pouca expressão, ou seja, numa área onde ocorre um tipo específico de uso, há a ocorrência de alguns pixels classificados por outro uso. Isso pode ocorrer devido a fatores de refletância bidirecional e também porque na classificação digital de imagens sempre podem ocorrer erros de classificação (PONZONI, 2013) mistura espectral de alvos. Estes usos serão então eliminados, levando-se em conta a resolução espacial da imagem, isto é, se a imagem tiver a resolução espacial de 2,5m (IKONOS), o filtro deverá levar em conta o tamanho do pixel e será usado a relação máxima de dois pixels de cada imagem. Com esse processo espera-se um mapeamento mais limpo sem, no entanto, perder informações.

Após isso, foi feita a recontagem dos valores de cada tipo de uso e aí sim gerado os índices Kappa e exatidão global em cada classificação com base em nova visita a campo para obter novas áreas com usos em cada uma das classes extraídas durante todo o processo de classificação. Os resultados são apresentados em forma de mapas temáticos contendo a distribuição espacial de cada classe obtida em cada imagem estudada e também na forma de gráficos como desvio padrão e media de valores de cada classe, tabelas e quadros para a melhor compreensão. A imagem classificada que obter o índice Kappa mais elevado será escolhida para eventuais estudos futuros relacionados ao *Eragrostis Plana* Nees.

Os produtos cartográficos foram gerados dentro dos padrões estabelecidos pelo IBGE (2010). Foram utilizados os sistemas de projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), o Datum WGS84, na Zona 21 Sul. Os mapas de uso e cobertura da terra, destacando a diferenciação entre o capimannoni e as gramíneas nativas são apresentados em tamanho de folha A4 coloridos.

CAPÍTULO III

1.0 Resultados e discussão

A pesquisa científica é produzida em diversas fases. Dentre elas, está a apresentação e a discussão dos resultados obtidos seguindo a metodologia proposta e também se mantendo coerente com a fundamentação teórica e revisão bibliográfica. Neste capítulo são apresentados alguns resultados desta pesquisa, levando-se em conta o entendimento compreendido através da análise das leituras descritas na fundamentação teórica e aplicando a metodologia descrita nesta dissertação.

Estes resultados são apresentados de forma separada, analisando cada imagem de satélite. Posteriormente, haverá uma síntese, discutindo os resultados de todas as imagens aqui apresentadas de forma conjunta e estabelecendo, de acordo com os resultados, qual imagem melhor se adequa aos objetivos propostos e as considerações do analista.

1.1 Caracterização da área de estudo

O Parque eólico do Cerro Chato foi instalado em 2010 para atender as crescentes demandas de energia elétrica. A área de estudo é parte deste parque eólico e está localizada no município de Santana do Livramento – RS. Está situada na região centro sul do município, às margens da rodovia federal BR-293.

Em se tratando de relevo, a área de estudo encontra inserida no planalto da campanha, ou planalto meridional (IBGE, 1986). Em termos de solo, ainda de acordo com o IBGE (1986), na região predomina o planossolos, cobertos com vegetação estepe, relevo plano a suavemente ondulado, pouco indicado para as práticas agrícolas que aliado a parte estrutural evidencia melhor aptidão para a pecuária. Outra informação importante com relação ao solo da região vem da Fepam (2001). De acordo com o relatório apresentado, na área de estudo, o solo apresenta resistência a impactos ambientais, devendo, portanto, se tomar cuidado em relação a empreendimentos ou ações que provoquem impactos ao mesmo.

O clima é temperado, com quatro estações bem definidas. De acordo com o INMET (2011), as temperaturas no inverno podem ser negativas, não raro havendo a ocorrência de geadas. Nos períodos que compreendem este estudo, as mínimas estiveram em torno de -1° , com as máximas no inverno raramente passando dos 20° . Já no verão, as temperaturas mínimas estiveram na faixa dos 18° e as máximas superiores a 30° , com picos em alguns dias chegando aos 35° .

O regime hídrico também está baseado nos dados do INMET (2011). De acordo com esses dados a média mensal de chuvas nos meses de inverno fica na casa dos 120mm mensais e em 90mm mensais nos meses de verão. É possível que nos meses de verão possa vir a ter alguma estiagem, podendo causar estresses hídrico na vegetação local.

Corroborando com as características da área de estudo, mostra-se na Figura 06, o mapa da hipsometria, mostrando também os principais cursos de água e o sombreamento do relevo. De acordo com o mapa, a altitude da área de estudo varia de 258m a 325m acima do nível do mar.

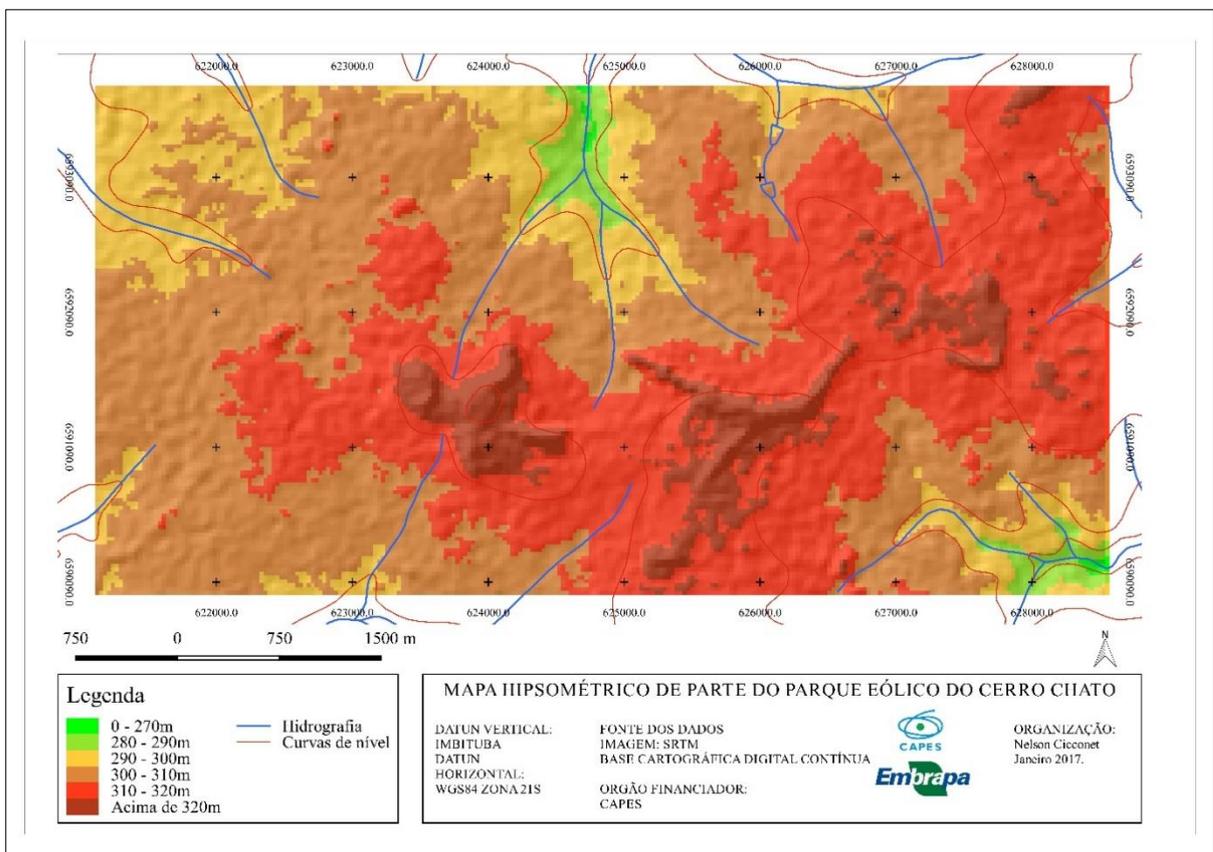


Figura 06. Mapa hipsométrico de parte do Parque Eólico do Cerro Chato que contém a área de estudo. Org. Nelson Cicconet.

Ao observar o mapa hipsométrico, se percebe um divisor de águas bem definido, praticamente dividindo a área no sentido norte/sul. Os cursos de água vistos no sudeste do mapa, são partes das nascentes de um importante rio da região: o rio Ibirapuitã.

Também foi gerado o mapa de declividade. No entanto, como a área de estudo é relativamente pequena e a declividade média do local não passa dos 3%, sendo a área toda considerada plana (ROSS, 1994), este mapa não será mostrado.

2.0 Fenologia dos alvos

Para resumir, temos neste estudo, três imagens do mês de julho (RAPIDEYE de 01-07-2011; Sentinel-2, de 20-07-2017 e IKONOS de 13-09-2011) e uma imagem obtida no verão (RAPIDEYE de 17-01-2012). Estas informações são importantes para procurar entender um pouco a fenologia dos alvos objeto deste estudo: capimannoni e gramíneas nativas. De acordo com Moreira et al. (2013), entender os estádios fenológicos dos alvos, principalmente em séries temporais, é importante para entender a resposta espectral dos mesmos. Os autores expuseram gráficos diferenciando os valores obtidos de diferentes alvos, utilizando dados do sensor MODIS de 2011. Os gráficos deste estudo mostram maior diferenciação de valores de NDVI e EVI nos meses de inverno para os dois índices, diferenciando a capimannoni de pastagem plantada, campo cespitoso e campo prostrado na APA do Ibirapuitã.

Nos meses de inverno, o capimannoni apresenta, com as condições climáticas citadas acima, um estágio vegetativo próximo ao final do seu ciclo fenológico, estando já em vias de sementar e posteriormente a secar. No entanto, há relatos ainda que informais dos fazendeiros e com carência de estudos, que a invasora estaria criando resistência a geadas. A se confirmar essa tendência, os estudos sobre os alvos tendem também a ser modificados, dada a influência da vegetação seca ou verde na resposta espectral.

Já durante o período de verão, tanto o capimannoni, como as gramíneas nativas estão em pleno desenvolvimento vegetativo. No entanto, o capimannoni sai favorecido na estação, pois, de acordo com Reis (1993), tem maior tolerância a solos mais secos, fenômeno relativamente comum no verão do Pampa Gaúcho. Ainda segundo o autor, no começo do verão está florescendo e produzindo as primeiras sementes, estando no ápice de seu estágio vegetativo. Ocorre que, nesta época muitos produtores lançam mão de algum tipo de controle, seja ele químico ou através de poda mecânica. Este procedimento acaba dificultando a identificação do mesmo através das propriedades espectrais do alvo. Através da Figura 07 pode se perceber essa diferença. No primeiro caso, o capimannoni está com aproximadamente 45cm de altura. Já no segundo caso, foi podado mecanicamente a poucos dias.



Figura 07. Figuras que representam dois estádios evolutivos ou fenológicos diferentes do capimannoni na área de estudo. Org. Nelson Cicconet.

A configuração erectófila do capimannoni facilita a detecção via imagens digitais, diferenciando-o das gramíneas nativas com configurações mais rasteiras, verdes e planófilas. No entanto, podem ocorrer confusões espectrais em determinados locais devido as mudanças de configuração, tanto das gramíneas nativas, quanto do capimannoni.

Já as gramíneas nativas sofrem menos a influência das condições edáficas e climatológicas, pois, como são nativas estariam mais adaptadas a esse tipo de influência.

3.0 Classificação digital das imagens de satélite

3.1 Imagem RAPIDEYE 01-07-2011

As imagens geradas pelo satélite RAPIDEYE são muito utilizadas para extração de informações técnicas para mapeamento de usos e coberturas da terra. De acordo com Antunes et al (2013), o fato deste sensor fornecer uma banda de transição entre o vermelho (red) e o infravermelho (nir), a banda “red edge”, pode facilitar a detecção e separação de alvos relacionados ao estudo de vegetações de modo geral, principalmente neste caso que é a separação de duas classes distintas de pastagens.

Seguindo os procedimentos metodológicos descritos, produziu-se um mapa de uso e cobertura da terra em parte do Parque Eólico do Cerro Chato em Santana do Livramento, estado do Rio Grande do Sul, tendo como base a imagem de satélite RAPIDEYE de 01-07-2011. As informações produzidas através de processamento digital de imagens (PDI) no software ENVI (ENVI, 2011), como matriz de confusão, área de cada classe obtida e gráficos dos perfis espectrais, bem como medias e desvios padrão das classes estudadas serão mostrados no decorrer da análise.

A Figura 08 mostra o mapa de uso e cobertura da terra da parte Norte/Nordeste do Parque Eólico do Cerro Chato, Santana do Livramento – RS. Apresenta as seguintes classes de

uso e cobertura: Capimannoni, Gramíneas nativas, Transição entre capimannoni e gramíneas nativas, Vegetação arbórea, Corpos de água, Áreas úmidas e Solo exposto.

Deve-se destacar o caráter representativo do mapa, sendo este, a representação de algo real e total como uso e ocupação da terra, nunca o é como a realidade absoluta.

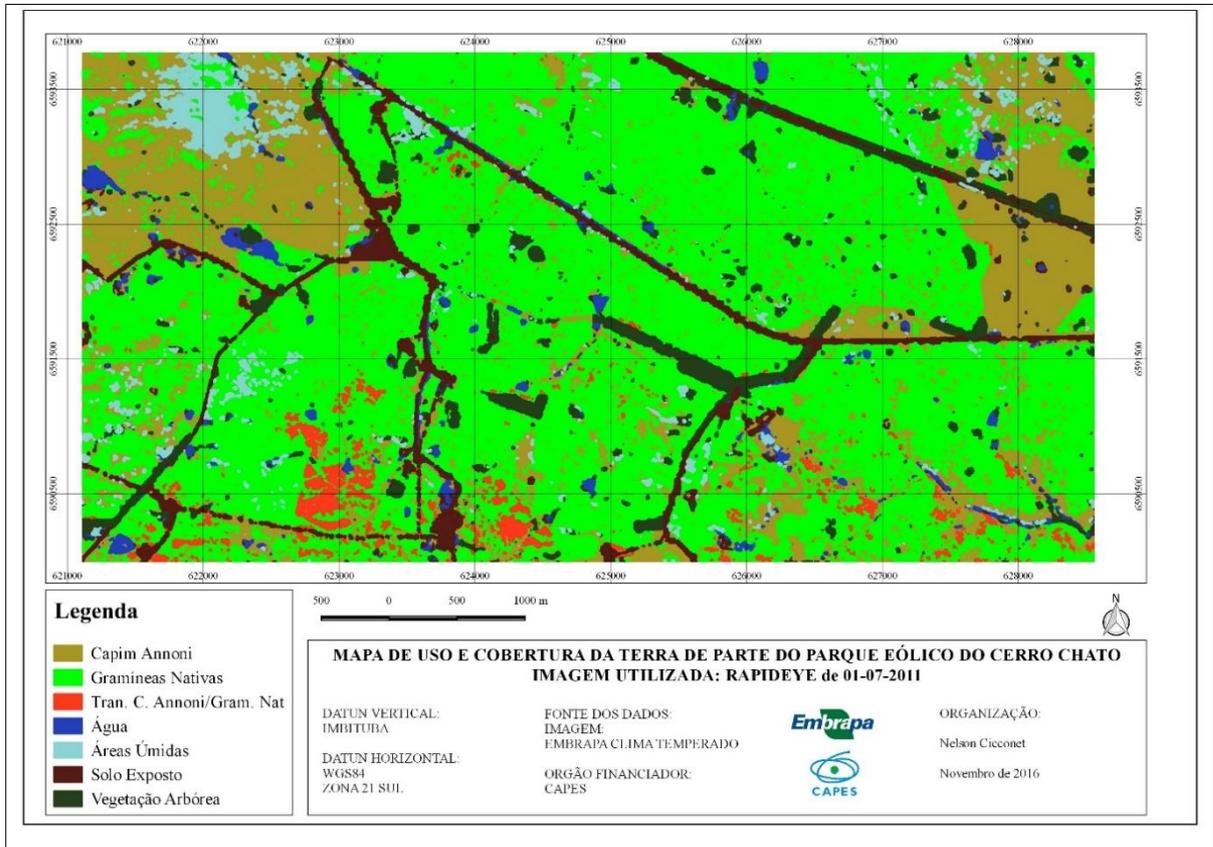


Figura 08. Mapa de uso e cobertura da terra referente a imagem RAPIDEYE de 01-07-2011. Org. Nelson Cicconet.

Através da classificação digital de imagens de dois alvos principais: o capimannoni e as gramíneas nativas, buscou-se a separação dos mesmos na área de estudo. Sendo assim, os dados aqui expostos representam a realidade a campo de forma relativa e foram validados através da matriz de confusão Kappa descrita por (LANDIS e KOETH, 1977).

No que se refere a distribuição espacial dos alvos na área de estudo, pode se afirmar, com base na classificação digital da imagem de satélite que a localização de cada classe está bem definida, salvo algumas exceções. O capimannoni está presente numa grande área a nordeste da imagem estudada de forma bem definida e clara. Um pouco a esquerda desta área, a centro nordeste, há um local bem definido com infestação quase total de capimannoni. Há também, uma área a noroeste em que a presença da invasora é vista em proporções consideráveis, sendo que, aqui há uma mistura da invasora com as gramíneas nativas no mesmo

setor da imagem. O PDI classificou vários polígonos com capim annoni e muito próximo, classificou vários outros com a presença de gramíneas nativas. No local é percebida essa configuração, tem-se manchas de infestação de capim annoni e outras manchas ainda não infestadas, mostrando assim a mistura entre ambas as classes.

Há também outros locais com grau de infestação menor, distribuídos por toda a imagem de maneira aleatória, sem nexos aparentes. Porém há uma configuração em especial que chama a atenção: ao longo, ou nas imediações das estradas e caminhos e até mesmo próximo aos cursos de água, onde se percebe a presença de capim annoni no mapa de classificação. Essa presença também é notada nas visitas a campo realizadas. A ocorrência de capim annoni próximo a esses vetores, pode ter mais de uma explicação. Em alguns locais pode ocorrer confusão espectral entre os alvos. Como o solo próximo a estradas e caminhos pode ser deficitário em termos de nutrientes devido ao uso de material para compactação das estradas, as gramíneas e as invasoras tem configurações muito parecidas em termos visuais e espectrais. As diversas espécies de pastagens encontradas próximo às vias de acesso confundem a extração de informações espectrais nesses locais, principalmente porque as gramíneas nativas adquirem configuração igual ou parecida com as do capim annoni, sendo uma mistura espectral de difícil caracterização.

Há ainda outra explicação técnica para essa dispersão ao longo das vias de acesso. De acordo com Ferreira et al (2008) e Ferreira & Filippi (2010), esta seria uma das principais formas, ou vetores de infestação do capim annoni em diversas áreas do Bioma Pampa em que está inserido. Ou seja, as áreas próximas as estradas e caminhos seria uma porta de entrada desta invasora que tem causado prejuízos econômicos e ambientais sobre os campos nativos. Vale destacar que o processo de extração das informações da imagem gerou o mapeamento próximo à realidade de campo, com índice de acerto acima de 75%, conforme será mostrado adiante através de índice Kappa.

A que se discutir também as áreas que as classes estudadas adquirem na imagem de satélite. O total de infestação com capim annoni na imagem estudada perfaz 26,3%, o que em hectares (ha) dá 737,95ha. As gramíneas nativas, por seu turno apresentam um total de 1679,98ha, o que em termos percentuais representam 59,68% de área coberta com gramíneas nativas na imagem de 01-07-2011. As áreas de transição representam apenas 2,15% do total da área de estudo. Os outros 11,87%, são representados por corpos de água, vegetação arbórea, solo exposto e áreas úmidas. Somente a título de informação, a Tabela 04 apresenta as áreas e seus respectivos percentuais de cada classe extraída a partir da classificação digital da imagem do RAPIDEYE de 01-07-2011.

Tabela 04. Valores percentuais e em hectares das classes na área de estudo referentes a imagem RADIDEYE de 01-07-2011. Org. Nelson Cicconet.

Classes/Distribuição (há) e (%)	Área Hectares	Área (%)
Capim Annoni	737,95	26,3
Gramíneas Nativas	1679,98	59,68
Áreas de Transição	60,42	2,15
Corpos de Água	43,16	1,53
Vegetação Arbórea	91,56	3,17
Áreas Úmidas	136,76	4,86
Solo Exposto	65,05	2,31
Total	2814,88	100

Conforme estabelecido na metodologia, a classe “capimannoni” foi dividida em três classes. Os locais onde as amostras de treinamento para o capimannoni foram adquiridas estão apresentadas na Figura 09. Nota-se que as amostras do capimannoni tem diferentes respostas ao mesmo filtro (NGB). Isto acontece, pois, a invasora tem mais de um estágio fenológico nos diferentes locais onde é encontrada. Na amostra “Capim Annoni 1”, a invasora está próxima ao seu estágio final do ciclo fenológico, isto é, já se encontra com sementes maduras e folhas em fase de senescência. Nas outras duas amostras, a configuração se mostra diferente, não se sabe ao certo o porquê, mas a possibilidade mais plausível remete a práticas agrônômicas como podas e pastejo diferenciados. O certo é que, o capimannoni se manifesta em mais de um estágio vegetativo ao longo da área de estudo e por isso essa classe foi, a princípio, dividida em três subclasses. As colorações são diferentes devido a diferença de tamanhos e estágio vegetativo do capimannoni. Em locais onde a infestação é maior ou mais densa, ele adquire coloração com tons próximos ao ciano. Por outro lado, onde as touceiras são mais espaçadas, a cor puxa um pouco para a tonalidade laranja. A influência do NIR é evidente na imagem.

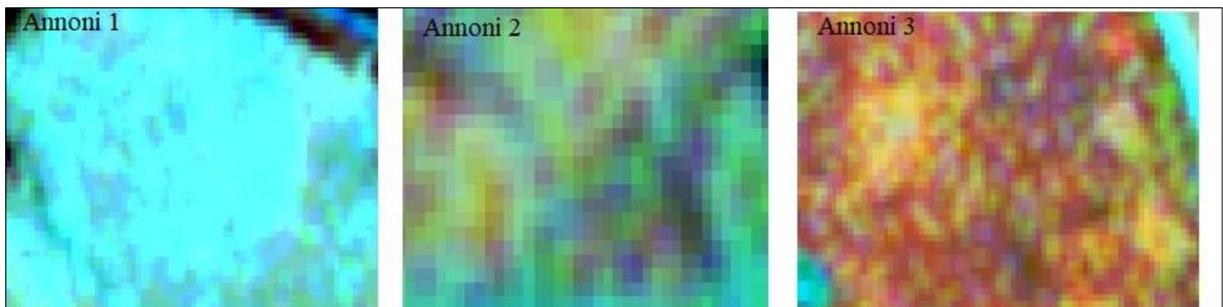


Figura 09. Imagem das bandas 521 (NGB) dos locais de extração dos perfis espectrais e das amostras de treinamento do capimannoni. Org. Nelson Cicconet.

Já os locais onde as amostras da classe gramíneas nativas foram adquiridas estão representados na Figura 10. Com a classe “gramíneas nativas” também se obteve o resultado semelhante. As gramíneas também foram divididas em três subclasses



Figura 10. Imagem das bandas 521 (NGB) dos locais de extração dos perfis espectrais e das amostras das Gramíneas Nativas. Org. Nelson Cicconet.

Assim como na questão do capimannoni, as gramíneas nativas tiveram comportamento espectral parecido, mas não igual - a semelhança dos espectros se justifica devido ao comportamento espectral das imagens ser muito próximas. Como os locais de coleta também foram feitos em diferentes áreas da imagem, o resultado do perfil espectral médio também foi diferente. A cor das gramíneas não teve grandes mudanças de um lugar para outro, mesmo que os locais onde as amostras de treinamento foram obtidas não sejam os mesmos.

Durante o processo de classificação que posteriormente originaram o mapeamento dos usos da terra, foi gerada a matriz de confusão Kappa (LANDIS e KOTCH, 1977), para conferir a confiabilidade do mapeamento realizado com base no levantamento realizado no campo e a partir das áreas de treinamento obtidas a partir deste levantamento. O índice Kappa inicial obtido a partir do PDI foi de 0,701, sendo um índice considerado bom dentro de uma escala que vai de zero (0) a um (1) e acurácia de 73,73% áreas classificadas corretamente. Durante o processo de classificação da imagem RAPIDEYE de 01-07-2011, foram gerados 43781 polígonos de diversos tipos de uso. Desses polígonos, 32280 foram classificados satisfatoriamente de acordo com as áreas de treinamento e com as visitas a campo realizadas para gerar a matriz de confusão. A Tabela 05 mostra a matriz de confusão gerada a partir da classificação da imagem RAPIDEYE do dia 01-07-2011, já com o agrupamento de três subclasses de capimannoni e três de gramíneas nativas descritas na metodologia.

Tabela 05. Matriz de confusão simplificada gerada a partir da classificação digital da imagem RAPIDEYE de 01-07-2011. Org. Nelson Cicconet.

CLASSES/ CLASSES	Capim Annoni	Gramíneas Nativas	Áreas de Transição	Corpos de Água	Vegetação Arbórea	Áreas Úmidas	Solo Exposto	Total
Capim Annoni	10772	3076	1	2	0	61	195	14107
Gramíneas Nativas	2826	21503	445	0	21	95	0	24890
Áreas de Transição	11	671	814	0	0	0	0	1496
Corpos de Água	5	4	0	1077	0	0	8	1094
Vegetação Arbórea	0	33	0	10	1769	0	1	1813
Áreas Úmidas	71	137	0	5	5	1416	1	1635
Solo Exposto	0	2	0	0	0	0	686	688
Total	13685	25426	1260	1094	1795	1572	891	45723

Na Tabela 05 está sendo representada a matriz de confusão gerada a partir da relação entre as áreas de treinamento (ROIs) com a imagem classificada. Como estas áreas de treinamento foram obtidas através de visitas a campo, pode fazer a relação entre o índice de exatidão (ROIs X imagem), com a exatidão do campo, guardadas as devidas generalizações que qualquer mapa sempre oferece. O índice Kappa gerado através do procedimento adotado foi de 0,78, índice considerado bom em uma escala que vai de 0 a 1 (LANDIS E KOTC, 1977).

Quando se discute apenas as classes alvos principais desta dissertação; capim annoni, gramíneas nativas e transição entre as duas, percebe-se algumas particularidades. O SVM, em conjunto com o processo de agrupamento de classes mostrou-se bastante eficaz no mapeamento das áreas de infestação de capim annoni e também nas ocupadas com gramíneas nativas. As duas principais classes foram classificadas com aproximadamente 81,75% de acerto. Já a área de transição entre o capim annoni e as gramíneas nativas foram classificadas com um percentual mais baixo 64,68%, mostrando aqui certo grau de dificuldade do SVM para estabelecer um limite entre as classes.

3.2 Imagem RAPIDEYE 17-01-2012

Da mesma forma que a imagem anterior, esta foi processada levando-se em conta alguns aspectos climáticos da área de estudo. Sendo esta imagem obtida durante o período de verão, as condições climáticas e conseqüentemente os estádios vegetativos das gramíneas nativas e também do capim annoni são diferentes da primeira que foi obtida seis meses antes, ou seja, durante o inverno.

Levando-se em conta as variáveis climáticas da entrada do verão descritas sucintamente acima, foi produzido um mapa de usos e coberturas da terra na parte Norte/Nordeste do Parque

Eólico do Cerro Chato, Santana do Livramento – RS, tendo como base a imagem do satélite RAPIDEYE de 17-01-2012, representado através da Figura 11. As classes representadas no são: Capim annoni, Gramíneas nativas, Transição entre capim annoni e gramíneas nativas, Vegetação arbórea, Corpos de água, Áreas úmidas e Solo exposto, totalizando sete classes. Vale lembrar que, as classes que mais interessam neste estudo são as gramíneas nativas, o capim annoni e a transição entre as duas na proporção próxima a 50% de cada uma.

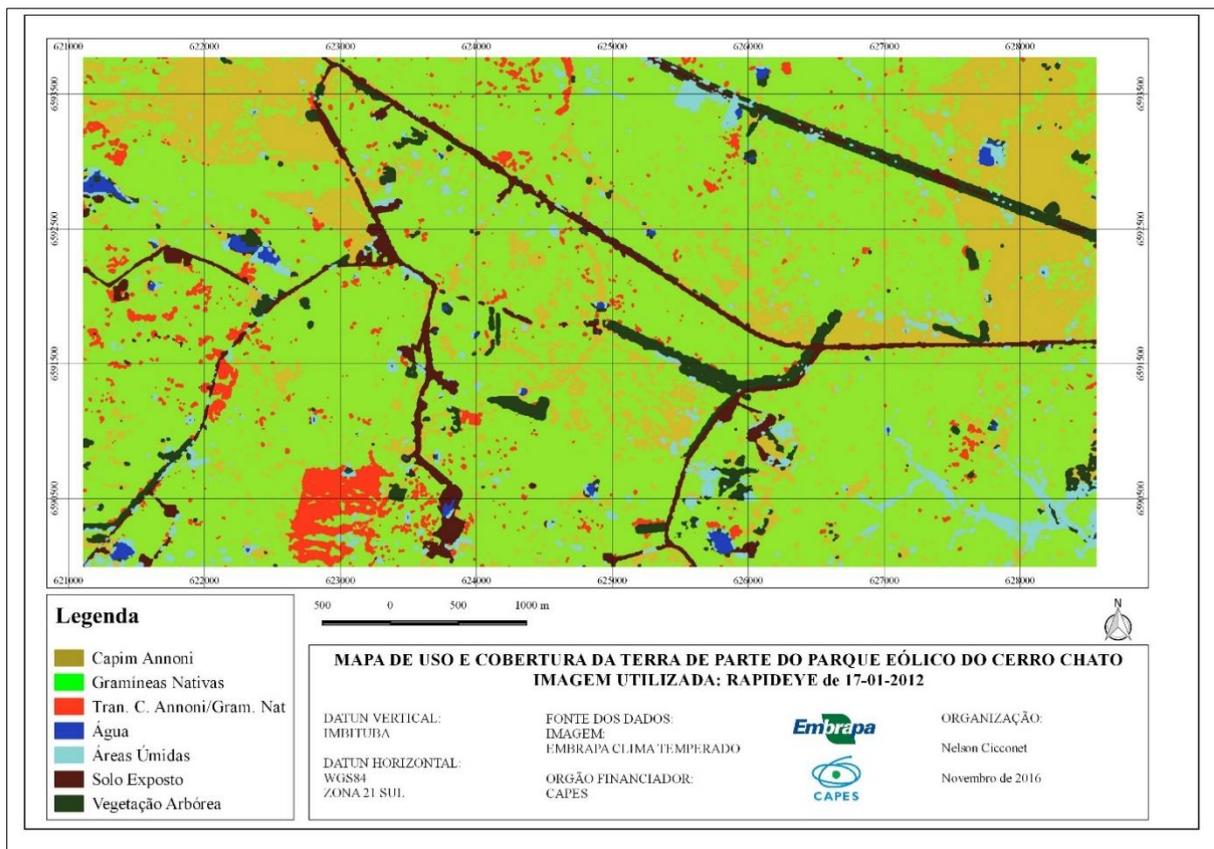


Figura 11. Mapa de uso e cobertura da terra de parte do Parque Eólico do Cerro Chato elaborado a partir da imagem RAPIDEYE de 17-01-2012. Org. Nelson Cicconet.

No que tange a distribuição espacial do capim annoni, nota-se no mapa que o mesmo está concentrado principalmente a nordeste da área de estudo. Há também uma porção a noroeste e outras pequenas porções aleatórias em quase toda a área de estudo. Nota-se também, a distribuição do capim annoni em áreas próximas a estradas e caminhos. Este fenômeno também foi percebido na imagem RAPIDEYE de 01-07-2011 e é possível que isso ocorra pelos mesmos motivos relacionados a essa imagem. Outra semelhança percebida entre o resultado do mapeamento das duas imagens são as áreas de infestação do capim annoni na área de estudo. Com algumas exceções, as infestações coincidem em ambas as imagens, fenômeno que também foi percebido por ocasião das visitas in situ.

A classe de gramíneas nativas está bem distribuída em toda a imagem e as visitas a campo confirmam os locais de uso, tanto do capimannoni, quanto os relacionados as gramíneas nativas, com algumas inconsistências pouco representativas.

Na imagem de 17-01-2012 nota-se a presença do capimannoni, mesmo em pequenas porções, em praticamente toda a área de estudo. Esta presença não é notada no mapa que representa a imagem de 01-07-2011. Não se sabe ao certo qual a causa disso. Pode-se supor que seja pelo fato de a vegetação campestre, modo geral, estar em estágio vegetativo próximo à senescência, dificultando a separabilidade entre as gramíneas nativas e o capimannoni.

No processo de geração da classificação da imagem RAPIDEYE de 17-01-2012, um dos resultados foi a quantificação dos usos e suas respectivas classes que são mostrados na Tabela 06. Percebe-se através da Tabela 06, que a área de cobertura do capimannoni diminuiu e as gramíneas nativas aumentaram em relação a imagem anterior (Tabela 04 da imagem de 01-07-2011). Não se sabe ao certo o motivo disto, visto que as áreas de coleta de amostra de treinamento foram as mesmas e as áreas de ocorrência da invasora observadas in situ também são as mesmas. A hipótese provável é a diferença de datas, tendo maior mistura da resposta espectral entre as duas classes – capimannoni e gramíneas nativas.

Tabela 06. Quantificação dos usos e cobertura referentes a imagem RAPIDEYE de 17-01-2012. Org. Nelson Cicconet.

Classes/Distribuição (há) e (%)	Área Hectares	Área (%)
Capim Annoni	530,75	18,87
Gramíneas Nativas	1955,25	68,59
Áreas de Transição	71,37	2,54
Corpos de Água	19,49	1,53
Vegetação Arbórea	89,2	3,17
Áreas Úmidas	94,94	3,38
Solo Exposto	53,88	1,92
Total	2814,88	100

Ao observar os dois mapas – o de 01-07-2011 e o de 17-01-2012 se percebe a diferença de cobertura por capimannoni a noroeste da área de estudo. Neste local foi percebido, no momento das visitas a campo, alguma forma de manejo do capimannoni – tinha sido podado mecanicamente. Esta diferença de configuração de planta ereta e com aproximadamente 45cm de altura do capimannoni verificada a nordeste, para pastagem podada pode ter gerado confusão espectral e, por conseguinte, diferença na classificação e posterior mapeamento do uso e cobertura.

Outro fator determinante na separabilidade entre classes é o manejo observado a campo. A nordeste, por exemplo, no foi verificada a presença de animais no pasto e nem vestígios deles. Nestes locais, o capim annoni está em pleno desenvolvimento vegetativo e sem pastejo. Em outros locais, como foi dito antes, o mesmo é podado regularmente e há pastejo excessivo, sendo que nestes últimos, pode se ter certa confusão dos espectros com as espécies nativas encontras em locais próximos.

Através de imagens dos locais de coleta dos perfis espectrais é possível ter a dimensão da dificuldade de separação entres as classes de capim annoni e gramíneas nativas. A Figura 12 mostra três locais distintos onde amostras dessas duas classes foram obtidas. Foram utilizados os filtros NGB para as bandas 521, respectivamente. Temos três locais representando o capim annoni e três a classe de gramíneas nativas.

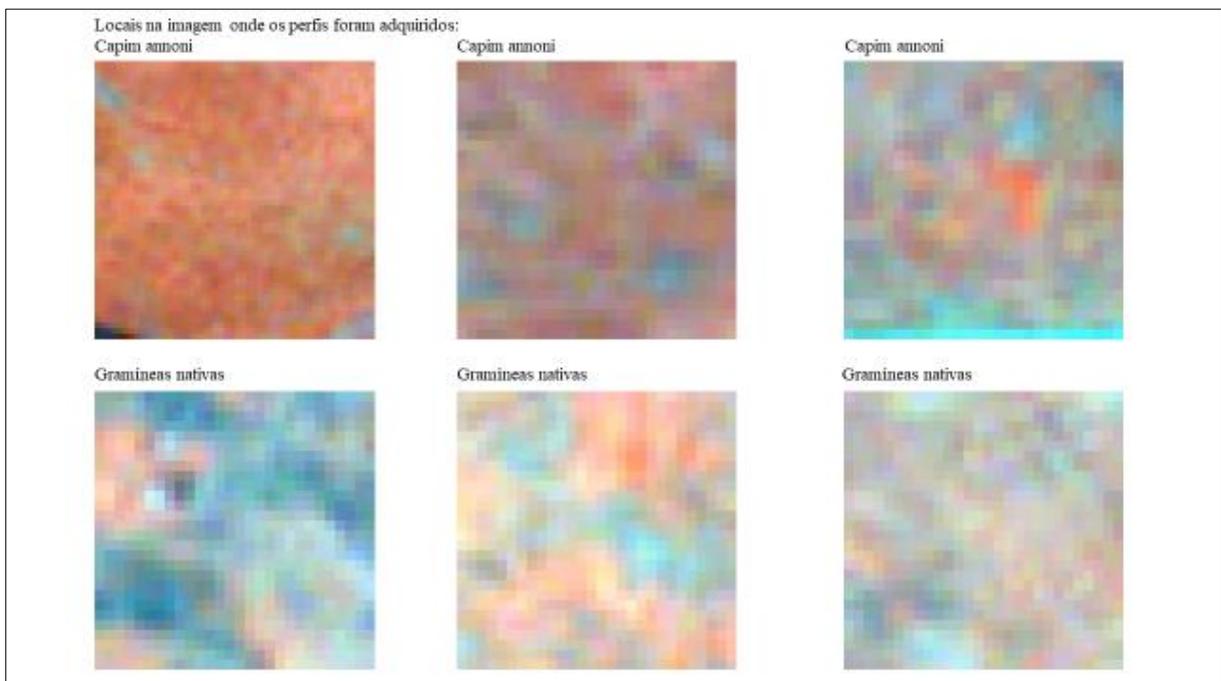


Figura 12. Imagem de locais de coleta dos ROIs na imagem RAPIDEYE de 17-01-2012. Org. Nelson Cicconet.

A Figura 12, mostra também que algumas semelhanças entre perfis representando classes diferentes tem a ver com os locais onde estas amostras foram adquiridas. A configuração espectral das amostras do capim annoni tem diferenças consideráveis entre elas, o que explicaria alguns perfis “fora do padrão” para a mesma classe do capim annoni.

Como as gramíneas nativas também tem estádios vegetativos diferentes por serem um conjunto de espécies e não uma somente, as configurações espectrais também mudam e dificultam a separação entre classes. Ações como pastejo excessivo, práticas agrônômicas como

a poda e adubação podem interferir na resposta espectral das gramíneas e conseqüentemente no mapeamento através de sensoriamento remoto.

Essas diferenças foram minimizadas pela separação em subclasses, tanto das gramíneas nativas, quanto do capimannoni, descrita na metodologia e o resultado final da classificação foi satisfatório conforme será apresentado num segundo momento.

Nas áreas de transição entre as gramíneas nativas e o capimannoni tiveram um comportamento espectral menos homogêneo. Como são pixels que representam várias espécies, pode se dizer que isso é previsível. Essa classe foi encontrada principalmente nas partes oeste e sudoeste da área de estudo. No entanto, pode ser percebida em pequenas porções espalhadas em todo o mapa de uso e cobertura (Figura 11). Porém, não é possível estabelecer o grau de confiabilidade que essas porções representam. Isso só seria possível através de visitas a campo em cada local mapeado.

Para estabelecer parâmetros de confiabilidade ao mapeamento, foi gerada a matriz de confusão, relacionando os ROIs e o mapa de uso e cobertura gerado pela classificação da imagem do RAPIDEYE de 17-01-2012. O resultado é apresentado na Tabela 07.

Tabela 07. Matriz de confusão simplificada RAPIDEYE de 17-01-2012. Org. Nelson Cicconet.

CLASSES/CLASSES	Capim Annoni	Gramíneas Nativas	Áreas de Transição	Corpos Água	Vegetação Arbórea	Áreas Úmidas	Solo Exposto	Total
Capim Annoni	8117	1446	0	0	0	4	0	9567
Gramíneas Nativas	1070	10878	1072	0	0	95	0	13115
Áreas de Transição	0	36	48	0	0	0	0	84
Corpos de Água	0	0	0	1312	0	24	0	1336
Vegetação Arbórea	0	0	0	66	3265	0	6	3337
Áreas Úmidas	117	134	0	0	5	1325	2	1583
Solo Exposto	0	0	0	0	0	0	1360	1360
Total	9304	12494	1120	1378	3270	1448	1368	30382

A matriz de confusão foi gerada a partir da confrontação dos dados gerados pela classificação da imagem com os ROIs. Como as áreas de interesse foram obtidas através de visitas a campo, pode se tomar a matriz de confusão também como verdade de campo, guardadas as devidas generalizações de qualquer mapeamento por sensoriamento remoto.

Índice de exatidão geral obtido no software ENVI (ENVI, 2011), foi de 86,58% e o coeficiente Kappa foi de 0,830. Tanto o índice de exatidão, quanto o Kappa foram altos, levando-se em conta todas as classes analisadas na área de estudo. No entanto, estes índices estão superestimados devido as quatro classes “menos” importantes nesta análise. Se levarmos em conta somente as três classes “preferenciais” deste trabalho, os índices diminuem para

74,98% de exatidão geral e índice Kappa de 0,6544, sendo considerado muito bom em se tratando de classes parecidas do ponto de vista espectral.

3.3 Imagem IKONOS de 13-09-2011

Como ocorre nas outras imagens, algumas considerações de ordem climatológicas se fazem necessárias. A média de precipitação nos três meses anteriores a data da imagem ficou próxima aos 90 mm mensais, um pouco abaixo da média mensal para a região. A temperatura ficou dentro da média e houve ocorrência de geadas normais para a época do ano na região de Santana do Livramento – RS (INMET, 2011).

Nas condições climáticas descritas, tanto o capim *annoni* quanto as gramíneas nativas estariam em estádios evolutivos considerados normais para a época do ano. Ambos estariam passando por algum tipo de estresse em função das geadas que ocorrem naturalmente em época anterior a imagem. Porém, nenhuma anomalia climática ou evento extremo ocorreu neste tempo.

Assim sendo, o processamento digital de imagens gerou o mapa de usos e cobertura da terra na parte Norte/Nordeste do Parque Eólico do Cerro Cato, Santana do Livramento – RS, tendo como base a imagem do satélite IKONOS do dia 13-09-2011. As classes representadas são as mesmas das outras imagens Capim *annoni*, Gramíneas nativas, Transição entre capim *annoni* e gramíneas nativas, Vegetação arbórea, Corpos de água, Áreas úmidas e Solo exposto. Como nas outras imagens, a análise se atém, principalmente, sobre duas classes principais: capim *annoni*, gramíneas nativas e a transição entre as duas. A Figura 13 apresenta o mapa de usos e coberturas do Parque Eólico do Cerro Chato em Santana do Livramento - RS.

A distribuição espacial das classes representadas não difere muito das representadas nos mapas anteriores. Na parte nordeste da área de estudo se concentra a maior concentração de capim *annoni*. Esta observação é percebida em todas as outras imagens. Em abordagens *in situ*, essa informação é confirmada em sua totalidade, visto ser esta a porção de maior infestação de capim *annoni* nas imagens estudadas. Há ainda uma porção menor a sudeste que se relaciona com a primeira e maior infestação. Há outra infestação a oeste/noroeste em porções menores e descontinuas. Neste interim há uma particularidade percebida *in situ*: tanto o capim *annoni* como as pastagens nativas passam por algum tipo de manejo como poda e controle via produtos químicos. Isso dificultou um pouco a separação entre as classes, podendo ser percebidas pequenas incongruências relativas, tanto em termos numéricos, quanto aos locais de ocorrência das classes.

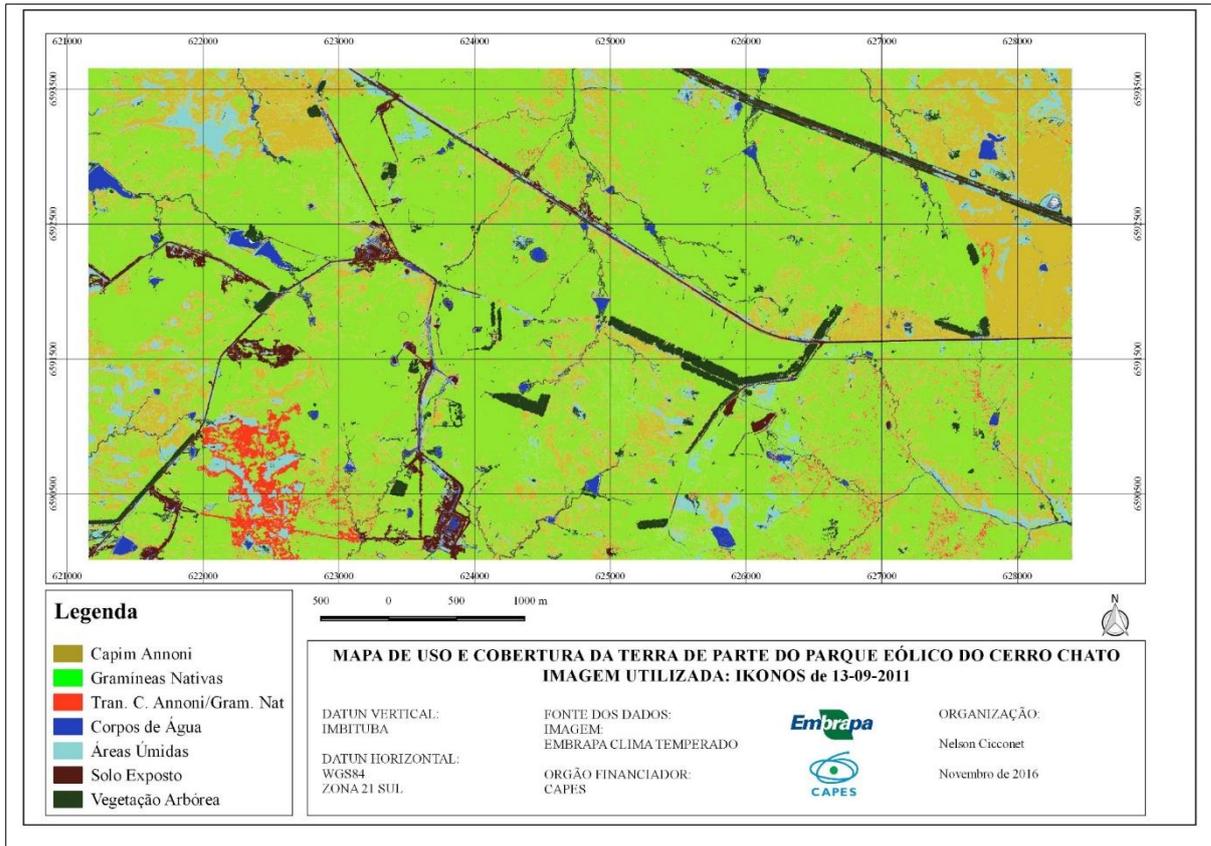


Figura 13. Mapa de usos e cobertura da terra referente a imagem IKONOS. Org. Nelson Cicconet.

Uma pequena porção a sudoeste da área de estudo aponta a ocorrência de áreas de transição entre as duas classes principais. Nas visitas a campo, o fenômeno foi confirmado pelo engenheiro agrônomo que auxiliou e orientou a visita. Nas outras áreas de visita, este profissional da agronomia conhecedor, tanto da região, quando das espécies ali encontradas foi de grande auxílio nas pesquisas a campo, orientando na obtenção dos locais de ocorrência das espécies que originaram as classes deste estudo.

Percebe-se também que o classificador gerou algumas pequenas porções da classe capim annoni em diversos locais e em diferentes tamanhos. Não se pode definir ao certo se estes locais contêm realmente a classe identificada ou se ocorreram confusões espectrais comuns em sensoriamento remoto.

Além do mapa, outros produtos foram gerados no decorrer do processo de classificação. A tabela quantificando cada uma das classes da área de estudo corrobora para melhor compreensão dos resultados obtidos na dissertação. A Tabela 08 mostra as classes identificadas, bem como as respectivas quantificações de cada uma em hectares e em porcentagem.

Tabela 08. Valores percentuais e em hectares das classes referentes a imagem IKONOS. Org. Nelson Cicconet.

CLASSES/ÁREAS	Hectares	%
Capim Annoni	659,89	23,46
Gramíneas Nativas	1754,71	62,3
Áreas de Transição	63,65	2,26
Corpos de Água	35,88	1,38
Vegetação Arbórea	128,13	4,56
Solo Exposto	65,85	2,34
Áreas Úmidas	104	3,7
Total	2812,11	100

No decorrer do PDI, o processo gerou vários produtos. Entre eles, vale destacar e discutir aqui o mapa de uso e cobertura, o perfil espectral de cada uma das subclasses, os valores médios de pixels que cada classe adquiriu, bem como o respectivo desvio padrão de cada classe individual.

Para corroborar com o enunciado anterior, opta-se em mostrar os locais de coleta das amostras de treinamento para a classificação da imagem. Através da Figura 14 se pode verificar as diferentes configurações que a espécie invasora adquire na área de estudo. O filtro utilizado é o NBG para as bandas 421, respectivamente do satélite IKONOS.

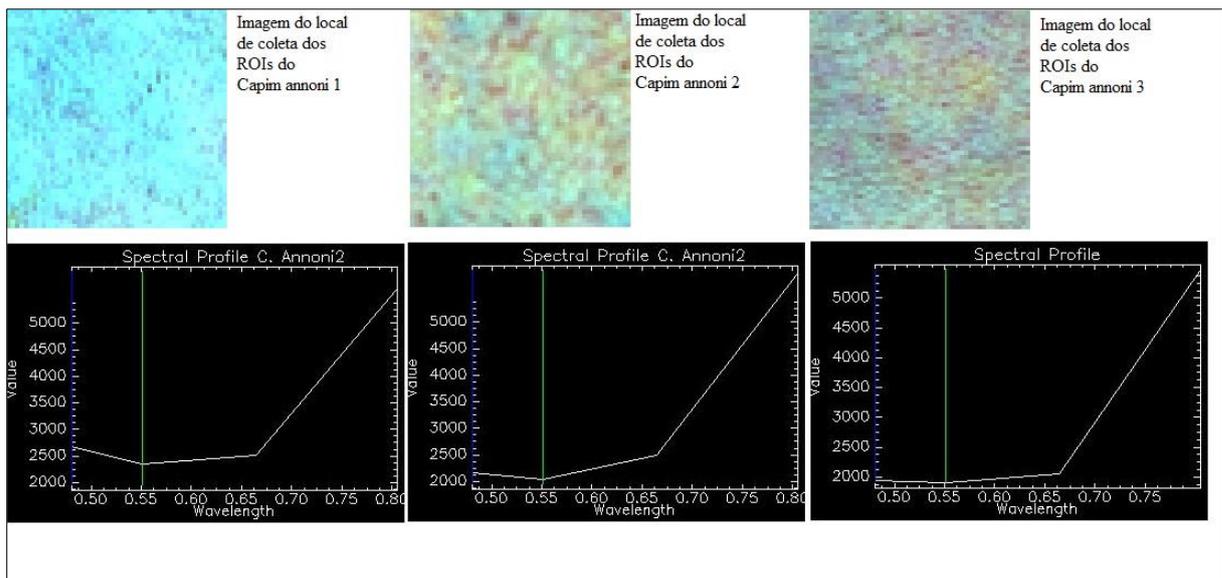


Figura 14. Imagem dos locais de coleta das amostras na composição NGB (421) e os respectivos perfis espectrais da imagem IKONOS de 13-09-2011. Org. Nelson Cicconet.

Ao analisar a Figura 14, se pode perceber diferenças espectrais verificadas em cada local de coleta. Vale lembrar que este perfil representa uma média dos perfis dos locais onde foram coletados os ROIs. Tem-se três amostras de capimannoni, que a princípio estão separadas

conforme descrito na metodologia. A classe invasora tem mais diferenciação entre ela. Percebe-se nas visitas a campo essa configuração também.

As gramíneas nativas são mais homogêneas e a disparidade espectral entre as subclasses é menor que a do capimannoni. Como são espécies mais adaptadas ao Bioma Pampa, o controle através de poda mecânica ou produtos químicos verificados no capimannoni, não precisa ser efetuado. Neste contexto, a homogeneidade é mais evidente entre as espécies nativas. Como toda a regra tem exceção, neste contexto não é diferente.

Ao observar a amostra correspondente às gramíneas nativas3 (Figura 15) e o respectivo perfil, note-se diferença considerável. Ocorre que neste local, no momento das visitas a campo, foi percebida a presença de pastagem plantada, ou seja, algum tipo novo de capim que não oannoni e também espécies nativas do Pampa.

Os locais de coleta e os perfis espectrais médios das gramíneas nativas foram plotados e mostrados na Figura 15.

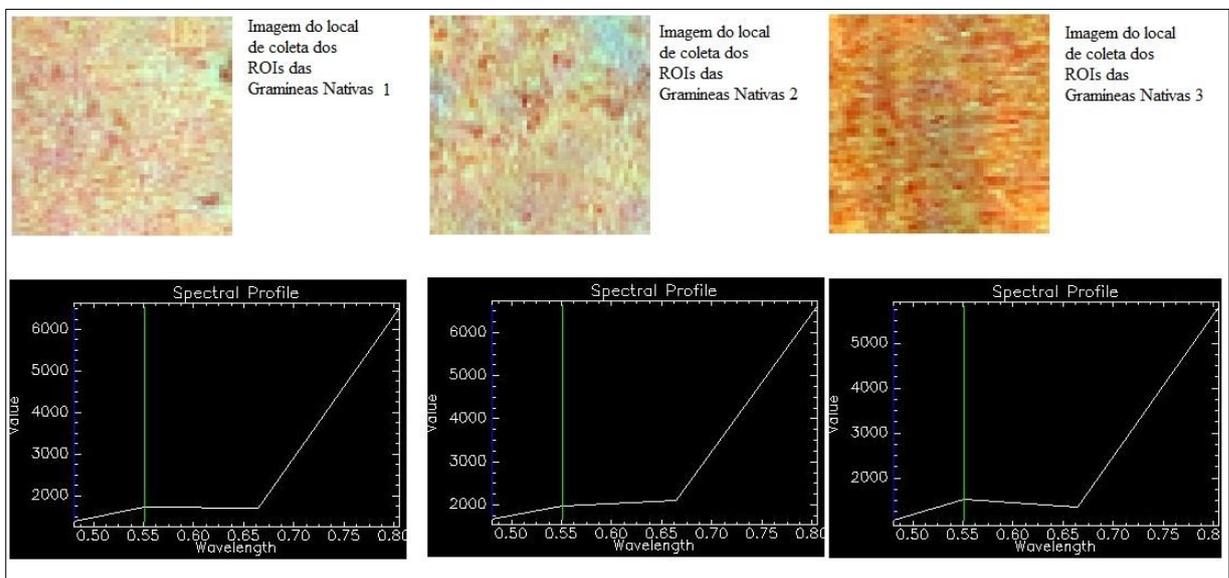


Figura 15. Plotter com os locais de coleta e perfis espectrais médios das gramíneas nativas da imagem IKONOS. Fonte: Nelson Cicconet.

Além dos gráficos contendo os perfis espectrais, os desvios padrão e a média dos pixels de cada imagem que foram extraídos durante o processo de classificação que posteriormente originaram o mapeamento dos usos da terra, foi gerada a matriz de confusão Kappa (LANDIS e KOTCH, 1977), para conferir a confiabilidade do mapeamento realizado com base no levantamento realizado no campo e a partir das áreas de treinamento obtidas a partir deste levantamento. A partir do agrupamento das subclasses de capimannoni e gramíneas nativas e mais as áreas de transição, foi gerada a matriz de confusão com somente estas três classes

principais que contempla somente as pastagens de modo geral. O índice de acerto foi alto para classificação digital de imagens. A classificação gerou 89901 pontos classificados. Desses, 84726, foram classificados de acordo com os ROIs, o que gera 94,24% de acerto e índice Kappa de 0,858, índice bastante elevado em escala que vai de zero a um (0, 1).

O índice de acerto nas três classes principais agrupadas foi um pouco menor que a matriz original em função das quatro classes menos importantes terem gerado baixa confusão. A porcentagem de acerto então ficou em 90,71 e o Kappa em 0,8262, ainda assim bastante alto.

Ao analisar as três principais classes alvo deste estudo, se percebe que a confusão maior ocorre entre as áreas de transição com as gramíneas nativas. O classificador gerou somente um ponto como certo nas áreas de transição, enquanto que gerou grande confusão com as gramíneas nativas e em menor número com o capimannoni. As outras classes principais tiveram confusão entre os ROIs e a classificação dentro do normal. A matriz de confusão abreviada é mostrada na Tabela 09.

Tabela 09. Matriz de confusão simplificada da imagem IKONOS. Org. Nelson Cicconet.

CLASSES/CLASSES	Capim Annoni	Gramíneas Nativas	Áreas de Transição	Corpos de Água	Vegetação Arbórea	Áreas Úmidas	Solo Exposto	Total
Capim Annoni	17762	1030	521	0	0	13	0	19326
Gramíneas Nativas	1756	32638	1640	0	111	0	0	36145
Áreas de Transição	4	84	1	0	0	0	0	89
Corpos de Água	0	0	0	14885	0	0	16	14901
Vegetação Arbórea	0	0	0	0	9893	0	0	9893
Áreas Úmidas	0	0	0	0	0	6497	0	6497
Solo Exposto	0	0	0	0	0	0	3050	3050
Total	19522	33752	2162	14885	10004	6510	891	89901

Na imagem foi testado um outro método de validação além da matriz de confusão apresentada e gerada no software ENVI (2011). Conforme descrito na metodologia, polígonos foram criados representando os tipos de uso ali existentes conforme conferido a campo. Dentro destes polígonos foram analisados os usos de cada um. Somente foram tomados como base para a validação os dois usos principais; capimannoni e gramíneas nativas.

Do total de 35310,35m² de área dos polígonos, o classificador classificou como certo, ou seja, capimannoni ou gramíneas nativas, aproximadamente 98% da área dos polígonos. Os 2% restantes foram classificados como outros usos. No entanto, ao analisar cada polígono individualmente, o resultado foi menos eficiente. Somente dois polígonos foram classificados em sua totalidade com a classe verificada a campo. Os outros apresentaram confusão média de aproximadamente 20% entre capimannoni e gramíneas nativas. Este procedimento nos mostra

o grau de dificuldade de classificação de diferentes tipos de pastagens. Essa dificuldade diminui de forma considerável quando os alvos são mais diversos.

A imagem IKONOS foi a imagem classificada que mais gerou pontos ao final do processo de classificação. A quantidade de pontos gerados pode ser um fator diferencial a qualificar a classificação. Essa quantidade de pontos foi proporcional aos níveis de cinza da imagem (resolução radiométrica). Como a imagem IKONOS é a que tem a maior resolução de todas (16 bits), é natural que o número de pontos classificados seja compatível. Por outro lado, esse processo gera muitos polígonos com áreas reduzidas, ocorrendo misturas de classes que não ocorre na realidade da área de estudo.

3.4 Imagem SENTINEL-2

Imagem do satélite Sentinel-2, é a última a ser abordada neste estudo. A imagem tomada deste satélite é do dia 20-07-2017. Por sua vez, a última visita a campo foi realizada quatro dias depois, no dia 24-07-2017.

Nesta imagem do alto inverno, com condições climáticas normais para a época do ano, o capim annoni está em fase final de seu estágio fenológico anual, com sementes onde no sofreu o processo mecânico de poda. Se encontra ereto, com aproximadamente 45cm de altura e coloração no nível do visível em tons esverdeado, puxando para a coloração palha. Onde a invasora sofreu alguma intervenção, seja mecânica ou química, mostra configuração menos elevada, sem sementes e com tons verdes mais vivos, com aparência de franco estágio vegetativo.

As gramíneas nativas, por sua vez, estão um pouco mais degradadas devido ao pastejo excessivo e final dos ciclos vegetativos anuais de algumas espécies de verão e o advento de espécies de inverno.

Neste contexto e seguindo os procedimentos metodológicos adotados nas outras imagens, o primeiro produto gerado através da classificação digital da imagem do satélite Sentinel-2 foi o mapa de uso e cobertura da terra da parte Norte/Nordeste do Parque Eólico do Cerro Chato, Santana do Livramento – RS, que será representado na Figura 16.

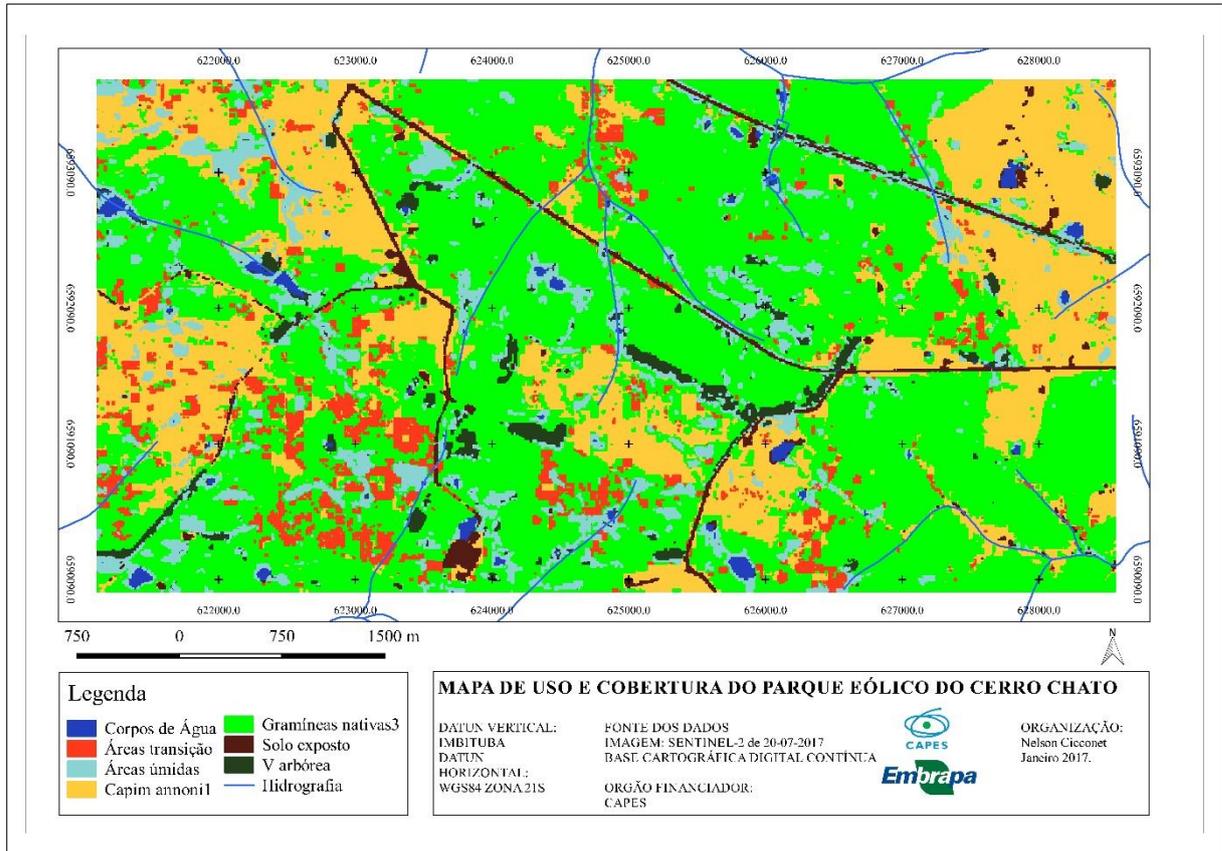


Figura16. Mapa de uso e cobertura da terra de parte do Parque Eólico do Cerro Chato a partir da imagem Sentinel-2 de 20-07-2017. org. Nelson Cicconet.

As imagens do Sentinel-2 são gratuitas e com média resolução espacial e espectral. Desse modo elas podem ser muito úteis na classificação para mapeamento de uso e cobertura da terra em escala de detalhes – em escalas entre 1:25000 a 1:100000. Diante disso, neste estudo, optou-se em usar uma das primeiras imagens deste satélite disponíveis de boa qualidade na área de estudo.

Também aqui, as duas classes principais subdivididas em três subclasses com posterior agrupamento em uma. Sendo assim, o capim annoni teve aquisição de treinamento como capim annoni 1, 2 e 3; assim como as gramíneas nativas que tiveram tratamento semelhante. Como a última visita a campo foi realizada com poucos dias de diferença da imagem, a validação obtém maior confiabilidade.

A distribuição espacial, tanto do capim annoni, quanto das gramíneas nativas não difere muito do registrado na classificação das outras imagens. O capim annoni está presente numa área considerável e bem definida a nordeste da área de estudo, entre uma estrada vicinal e a rodovia federal. Um pouco a oeste, mas com ligação com a primeira grande área, se percebe outro local com presença quase total da invasora. Uma porção que não se viu nas outras três imagens, mas está presente nesta fica ao sul da estrada vicinal, de frente a principal área de

infestação da invasora. Seguindo pela estrada vicinal, sentido sudoeste, também há dois locais – um de um lado e outro do outro lado da estrada, onde a presença do capim annoni é novidade, ou seja, nas outras imagens estudadas ele praticamente não se manifesta. É um novo local onde a infestação é recente – presume-se que seja posterior a implantação do parque eólico.

Já a noroeste, a área com a presença da invasora aumentou de tamanho e também em grau de infestação. Ela é mais uniforme que nas outras imagens. Um pouco mais ao sul desta, há uma nova área de infestação que também é relativamente recente. Nas outras imagens havia somente infestação ao longo dos caminhos ali presentes, mas não foi possível precisar se essa infestação era verdadeira ou se ocorreu confusão espectral entre mais de um alvo, visto que, a presença da invasora in loco não foi confirmada nas visitas a campo.

Nesta imagem foram classificados menos pixels “errados”, ou seja, foram gerados poucos polígonos de tamanho reduzido de um tipo de uso em áreas que, comprovadamente são de outro uso que não o classificado. Por esse motivo não foi necessário o uso de filtros para eliminar esses polígonos que por algum motivo representavam alvos diferentes.

Para qualificar os resultados da classificação para o mapeamento dos uso e cobertura, foi produzida a matriz de confusão gerada a partir das áreas de validação obtidas a campo. Os dados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Matriz de confusão completa da imagem Sentinel-2, de 20-07-2017. Org. Nelson Cicconet.

Confusion Matrix:	Imagem SENTINEL-2 de 20-07-2017				
	Overall Accuracy =7836/9810 Kappa Coefficient = 0.7727	79,8777%			
	Ground Truth	(Pixels)			
Classes/Classes	Capim annoni1	Capim annoni2	Capim annoni3	Gramíneas Nativas 1	Gramíneas Nativas 2
Capim annoni1	863	50	3	0	0
Capim annoni2	332	835	175	3	0
Capim annoni3	314	117	461	0	0
Gramíneas Nat1	0	0	0	971	204
Gramíneas Nat2	0	0	0	336	1471
Gramíneas Nat3	13	22	1	38	93
Áreas transição	0	0	0	4	0
Corpos de água	0	0	0	0	0
Vegetação arbórea	0	0	0	0	0
Áreas úmidas	5	0	0	0	0
Solo exposto	21	0	0	0	0
Total	1548	1024	640	1352	1768
	Ground Truth	(Pixels)			

Classes/ Classes	Gramíneas Nativas 3	Áreas transição	Corpos de água	Vegetação arbórea	Áreas úmidas
Capim annoni1	0	0	0	0	0
Capim annoni2	11	80	0	0	1
Capim annoni3	5	11	0	0	0
Gramíneas Nat1	62	0	0	0	0
Gramíneas Nat2	45	0	0	0	0
Gramíneas Nat3	881	0	0	2	11
Áreas transição	0	1	0	0	1
Corpos de água	1	0	576	0	0
Vegetação arbórea	0	0	0	702	2
Áreas úmidas	3	0	0	0	789
Solo exposto	0	0	1	0	0
Total	1008	92	577	704	804

Ground Truth (Pixels)

Classes/ Classes	Solo exposto	Total
Capim annoni1	0	916
Capim annoni2	2	1439
Capim annoni3	5	913
Gramíneas Nat1	0	1237
Gramíneas Nat2	0	1852
Gramíneas Nat3	0	1061
Áreas transição	0	6
Corpos de água	0	577
Vegetação arbórea	0	704
Áreas úmidas	0	797
Solo exposto	286	308
Total	293	9810

Ground Truth (Percent)

Classes/ Classes	Capim annoni1	Capim annoni2	Capim annoni3	Gramíneas Nativas1	Gramíneas Nativas2
Capim annoni1	55.75	4.88	0.47	0.00	0.00
Capim annoni2	21.45	81.54	27.34	0.22	0.00
Capim annoni3	20.28	11.43	72.03	0.00	0.00
Gramíneas Nat1	0.00	0.00	0.00	71.82	11.54
Gramíneas Nat2	0.00	0.00	0.00	24.85	83.20
Gramíneas Nat3	0.84	2.15	0.16	2.81	5.26
Áreas transição	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00
Corpos de água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vegetação arbórea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Áreas úmidas	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Solo exposto	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Ground Truth (Percent)

Classes/ Classes	Gramíneas Nativas3	Áreas transição	Corpos de água	Vegetação arbórea	Áreas úmidas
Capimannoni1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Capimannoni2	1.09	86.96	0.00	0.00	0.12
Capimannoni3	0.50	11.96	0.00	0.00	0.00
Gramíneas Nat1	6.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Gramíneas Nat2	4.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Gramíneas Nat3	87.40	0.00	0.00	0.28	1.37
Áreas transição	0.00	1.09	0.00	0.00	0.12
Corpos de água	0.10	0.00	99.83	0.00	0.00
Vegetação arbórea	0.00	0.00	0.00	99.72	0.25
Áreas úmidas	0.30	0.00	0.00	0.00	98.13
Solo exposto	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Ground Truth (Percent)					
Classes/ Classes	Solo exposto	Total			
Capimannoni1	0.00	9.34			
Capimannoni2	0.68	14.67			
Capimannoni3	1.71	9.31			
Gramíneas Nat1	0.00	12.61			
Gramíneas Nat2	0.00	18.88			
Gramíneas Nat3	0.00	10.82			
Áreas transição	0.00	0.06			
Corpos de água	0.00	5.88			
Vegetação arbórea	0.00	7.18			
Áreas úmidas	0.00	8.12			
Solo exposto	97.61	3.14			
Total	100.00	100.00			
Classes/ Classes	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)	
Capimannoni1	5.79	44.25	53/916	685/1548	
Capimannoni2	41.97	18.46	604/1439	189/1024	
Capimannoni3	49.51	27.97	452/913	179/640	
Gramíneas Nat1	21.50	28.18	266/1237	381/1352	
Gramíneas Nat2	20.57	16.80	381/1852	297/1768	
Gramíneas Nat3	16.97	12.60	180/1061	127/1008	
Áreas transição	83.33	98.91	5/6	91/92	
Corpos de água	0.17	0.17	1/577	1/577	
Vegetação arbórea	0.28	0.28	2/704	2/704	
Áreas úmidas	1.00	1.87	8/797	15/804	
Solo exposto	7.14	2.39	22/308	7/293	
Classes/ Classes	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)	
Capimannoni1	55.75	94.21	863/1548	863/916	

Capim annoni ²	81.54	58.03	835/1024	835/1439
Capim annoni ³	72.03	50.49	461/640	461/913
Gramíneas Nativas 1	71.82	78.50	971/1352	971/1237
Gramíneas Nativas 2	83.20	79.43	1471/1768	1471/1852
Gramíneas Nativas ³	87.40	83.03	881/1008	881/1061
Áreas transição	1.09	16.67	1/92	1/6
Corpos de água	99.83	99.83	576/577	576/577
Vegetação arbórea	99.72	99.72	702/704	702/704
Áreas úmidas	98.13	99.00	789/804	789/797
Solo exposto	97.61	92.86	286/293	286/308

A Tabela 10, mostrada acima apresentada mostra a matriz completa gerada a partir da classificação no ENVI e submetida às regiões de interesse e as regiões de controle. Esta tabela combina os ROIs com a verdade obtida após a classificação e relaciona o que foi treinado com as classes classificadas, quantificando os pixels classificados de maneira correta, bem como a porcentagem dos mesmos. Relaciona ainda os pixels que foram omitidos ou classificados em classes diferentes àquela admitida nos ROIs.

O índice Kappa alto, 0,77, pode ser atribuído a técnica de divisão em subclasses dentro de uma classe. Essa técnica facilitou a classificação das duas classes principais, visto que, tanto capim annoni, quanto gramíneas nativas apresentaram configurações espectrais diferentes nos diversos locais onde as amostras de treinamento foram adquiridas. Sem esse procedimento metodológico, a classificação teria um índice menor e o mapeamento poderia estar comprometido.

Para corroborar com o exposto acima, se expõe a plotagem com as áreas de coleta dos ROIs e os respectivos perfis espectrais médios desses locais. A composição colorida é a NGB correspondendo as bandas 832 do satélite Sentinel-2. O plotter com as imagens dos perfis espectrais e as áreas de coleta do capim annoni está sendo mostrado na Figura 17. Pode ser percebido na imagem que a refletância espectral média do capim annoni é mais alta na região do infravermelho (Nir), representado pela banda 8 do Sentinel-2. Nas bandas 2 e 3 (Blue e Red) a refletância é mais baixa, vindo de encontro ao exposto por Formaggio e Sanches (2017), que mostram o perfil espectral de gramíneas de modo geral. A coloração em tons de ciano pode ser confundida com áreas de solo exposto se deve ao fato do capim annoni estar no fim de seu ciclo evolutivo, já secando em alguns locais devido às geadas que ocorrem nesta estação do ano.

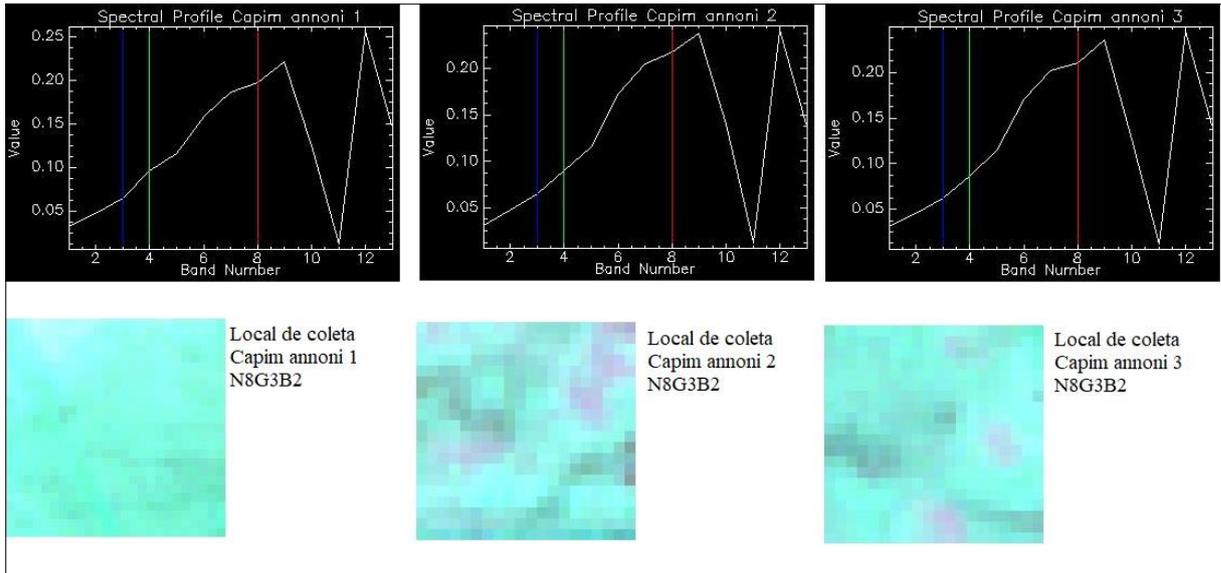


Figura 17. Plotter com os perfis espectrais das subclasses de capimannoni e respectiva imagem N8G3B2 do Sentinel-2 de 20-07-2017. Org. Nelson Cicconet.

O mesmo acontece com as gramíneas nativas da região. A Figura 18 representa o plotter com as áreas de coleta e respectivos perfis espectrais das gramíneas nativas. As bandas utilizadas são as mesmas do capimannoni.

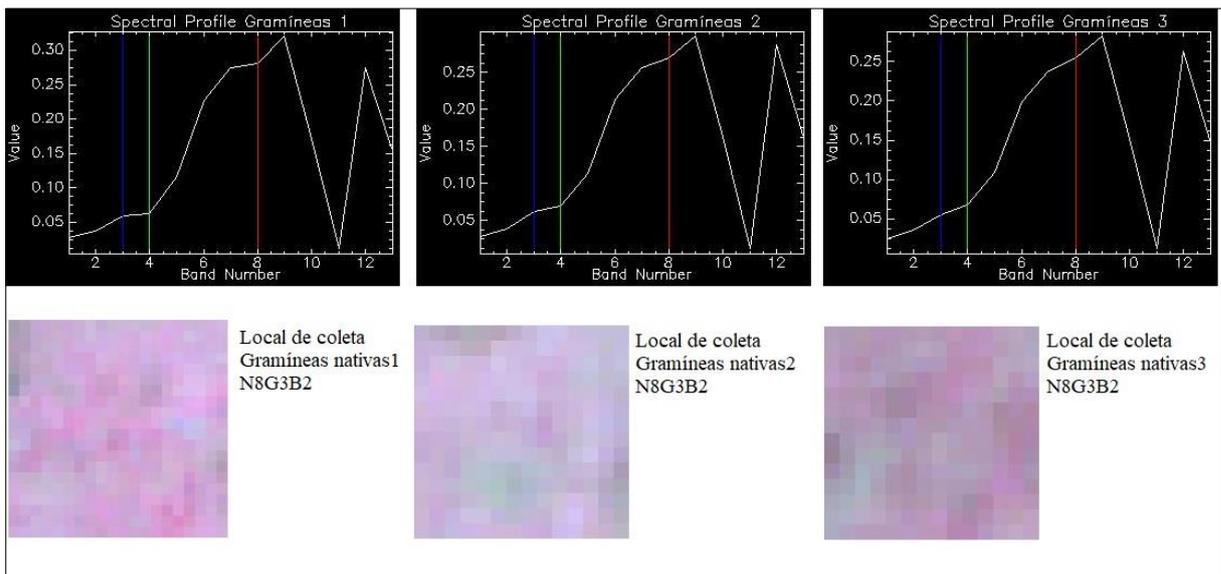


Figura 18. Plotter com os perfis espectrais das subclasses de gramíneas nativas e respectiva imagem N8G3B2 do Sentinel-2 de 20-07-2017. Org. Nelson Cicconet.

As gramíneas nativas são mais homogêneas, tanto no nas cores como no perfil espectral. Isso pode ser explicado pelo fato de as espécies representadas serem mais adaptadas às condições climáticas da região como as geadas e as condições hídricas. Nas gramíneas nativas, a refletância na região do azul é ligeiramente menor que no capimannoni, bem como na região

do espectro representado pela cor verde. A explicação se deve ao fato de as gramíneas estão adaptadas a região. Consequentemente sofrem menos dos efeitos climáticos e estão em estágio vegetativo inicial das espécies adaptadas ao inverno. Em função disso, absorvem mais a luz verde, situação normal em vegetações verdes e saudáveis.

Além do mapa, dos perfis espectrais e a matriz de confusão, foi organizada uma tabela quantificando os usos classificados da imagem Sentinel-2. Os resultados da tabela poderão ser comparados com os das outras imagens e com o modelo numérico de terreno apresentado anteriormente. A tabela 11, mostra os resultados da classificação, quantificando cada uma das classes em hectares e em porcentagens da cada uma.

Tabela 11. Valores percentuais e em M² das classes de uso e cobertura da imagem Sentinel-2. Org. Nelson Cicconet

Imagem Sentinel-2 de 20-07-2017			
Classes	Pixels classificados	Área %	Área (m ²)
Capimannoni1	23210	8,21%	2321000
Capimannoni2	36644	13,03%	3664400
Capimannoni3	13352	4,75%	1335200
Gramíneas nativas1	43177	15,35%	4317700
Gramíneas nativas2	35804	12,75%	3580400
Gramíneas nativas3	62326	22,19%	6232600
Áreas transição	31727	11,28%	3172700
Corpos de água	3515	1,25%	351500
Vegetação arbórea	6877	2,45%	687700
Áreas úmidas	19018	6,76%	1901800
Solo exposto	5561	1,98%	556100
Total	281211	100,00%	28121100

Ao somarmos as três subclasses da Tabela 11, teremos 26% da área de estudo coberta com capimannoni. As áreas com cobertura de capimannoni aumentaram em relação as outras imagens aqui analisadas, menos na imagem RAPIDEYE da mesma época. A imagem de 01-07-2011 teve um total de 26,3% de áreas cobertas com a espécie invasora. Vale lembrar que a comprovação de campo desta época não foi comprovada por este pesquisador. A mesma foi feita através de relatos dos proprietários rurais que relataram a presença da invasora nos locais mapeados muito antes da instalação do parque eólico.

Nas outras duas imagens – RAPIDEYE de 17-01-2012 e IKONOS de 13-09-2011, as porcentagens de capimannoni foram mais baixas (18,87 e 23,46% de cobertura, respectivamente). Não se sabe ao certo porque essas diferenças ocorrem. O fato é que, como a imagem do Sentinel-2 ter resolução espacial de 10m, a mesma gerou menor ruído na

classificação. Ou seja, esta última imagem gerou poucos polígonos de baixa expressividade, ou com áreas menores que 10 pixels, o que equivale a 1000m². Nas outras imagens, esse fenômeno foi visto com frequência e é visto em vários locais dos mapas. Isso aumenta a área da classe do capimannoni, no entanto não representando a verdade de campo.

Conseqüentemente, as áreas de uso com gramíneas nativas diminuíram em termos quantitativos. Isso pode significar que a espécie invasora estaria se alastrando para outras áreas. Com as áreas de transição entre as duas classes também houve um aumento significativo. Estas áreas passaram de 2,5% em média nas três primeiras imagens para 11,30% aproximadamente. Um aumento considerável.

O que mais chama a atenção na imagem do Sentinel-2 é que as áreas classificadas são as mesmas, ou estão muito próximas as verificadas a campo. Como apresentou menor ruído em relação as outras, pode se tomar como verdade a classificação obtida através desta imagem com algo em torno de 85% de certeza. Atingir um resultado assim em sensoriamento remoto é algo muito bom. Como a área de estudo é relativamente pequena e pode se visitar praticamente todos os locais onde a invasora ocorre, este resultado era o esperado.

No entanto, seria necessário um estudo com área maior, todo o município de Santana do Livramento por exemplo, para se ter uma ideia melhor de como os produtos do satélite Sentinel-2 se comportariam.

4.0 Análise integrada e proposições

O estudo do espaço geográfico é o principal objeto de estudo da Geografia. Neste sentido, a distribuição espacial das classes de uso em parte do Parque Eólico do Cerro Chato entra em voga. Nas quatro imagens trabalhadas neste estudo, a distribuição espacial, ou os locais onde há ocorrência da espécie invasora e onde ainda persistem as gramíneas nativas, é pouco perceptível. No aspecto visual – olhando para os mapas, essa percepção é praticamente nula. No entanto, algumas diferenças podem ser percebidas. Em todas as imagens há três áreas bem definidas e distintas onde a infestação de capimannoni é percebida. A nordeste da área de estudo há um local com infestação completa por parte da invasora. Neste, percebe-se que o capimannoni tomou conta e predomina em ampla área. As gramíneas nativas não são percebidas. As outras duas áreas com grande infestação também notórias nas imagens e são percebidas também nas visitas a campo.

No processamento digital, o capimannoni foi detectado também próximo aos caminhos e estradas. Na maioria dos locais este fenômeno é detectado também nas visitas a campo; porém

não em todos. O que é possível de ocorrer nestes locais é o que chamamos de confusão espectral. Como há mistura de espécies dentro do mesmo pixel representado na imagem, as espécies que se sobressaem vão ser identificadas em detrimento de outras que estão presentes. Conforme relatado por Ferreira et al (2008) e Ferreira & Pilippi (2010), as vias de acesso seriam um dos principais vetores de expansão da espécie invasora, explicando a ocorrência da mesma às margens das estradas e caminhos.

Há também ocorrências da espécie invasora em locais aleatórios em todas as imagens. É quase impossível saber ao certo a veracidade dessa informação sem um minucioso trabalho a campo, visitando toda a área de estudo e tornando a classificação digital das imagens desnecessária. É possível que nestes locais tenha havido confusão espectral entre as espécies nativas e a invasora.

Outra informação importante em relação a espacialidade das informações diz respeito aos valores numéricos que cada classe assumiu na área de estudo. Nas imagens estudadas, esta informação teve pouca variação entre elas. As áreas com ocorrência de gramíneas nativas ficaram na casa dos 60% da área de estudo. Somente na imagem RAPIDEYE de 2012, esse valor aumentou para próximo dos 70%, fato esse que gerou a consequente diminuição dos valores da espécie invasora como consequência direta. O capimannoni, por seu turno, teve variação, no que tange a área de cobertura, menos homogênea nas quatro imagens. Variou de 18,87% a 26,3% de uso. Na imagem de 2012, mostrou-se menos perceptível em termos de valores numéricos de área.

Há uma particularidade na disparidade entre as duas imagens onde ocorreu esta incongruência: as duas são do satélite RAPIDEYE, mas são de datas e estações do ano bem diferentes. Uma é de 01-07-2011, em pleno inverno, com temperaturas mínimas próximas a zero, ou abaixo de zero e ocorrências de geada. A outra é de 17-01-2012, em alto verão, temperaturas máximas acima dos 30° e solo em possível estresse hídrico. Pressupõe-se que essas variáveis tenham influenciado na diferenciação entre as espécies nativas e a espécie invasora, mas não é possível, ao menos nesta pesquisa, estabelecer ao certo o que ocasionou esta disparidade.

Quanto as áreas de transição entre as gramíneas nativas e o capimannoni na proporção de 50% de cada uma, a classificação mostrou uma área representativa somente. O local foi identificado por ocasião das visitas a campo e serviu de base para a respectiva classe, quase não ocorrendo de forma significativa em outros locais

As outras classes mapeadas dizem respeito a alvos de fácil identificação em qualquer classificação digital de imagens, ou seja, vegetação arbórea, corpos de água solo exposto e áreas

úmidas são alvos que causam pouca ou nenhuma confusão espectral, principalmente em imagens de alta resolução espacial, sendo passíveis de serem mapeados manualmente através de digitalização direta sobre as imagens.

Outro resultado analisado nas imagens processadas foi a matriz de confusão entre o processamento digital e as áreas de treinamento do algoritmo (ROIs), obtidas diretamente das informações obtidas a campo e confrontadas num segundo momento pós classificação. A matriz de confusão e o coeficiente Kappa são contribuintes na validação do processamento digital das imagens de satélite.

Como era de se esperar, os índices Kappa e as matrizes de exatidão global das quatro imagens tiveram resultados próximos. Um dos motivos se deve ao fato de que as áreas de coleta das amostras de treinamento foram as mesmas em todas as imagens. Como os locais onde as amostras foram obtidas, tem como base as visitas a campo, as matrizes podem servir como verdade de campo.

Cada imagem gerou um número próprio de pontos totais de classificação, pois a quantidade de pixels de cada uma delas é diferente. A Tabela 12 mostra os resultados gerais de índice Kappa e acurácia de cada imagem.

Tabela 12. Resumo das quatro imagens analisadas. Org. Nelson Cicconet.

IMAGEM/DATA	INFORMAÇÕES	N. PONTOS	KAPPA	ACERTO (%)
RAPIDEYE 01-07-2011	5 bandas 8 bits	45673	0,780	82,04%
RAPIDEYE 17-01-2012	5 bandas 8 bits	30382	0,830	86,58%
IKONOS 13-09-2011	4 bandas 16 bits	89901	0,858	94,26%
SENTINEL-2 20-07-2017	13 bandas 12bits	9810	0,772	79,88%

De acordo com os dados da tabela 12, a imagem do satélite IKONOS foi a que gerou o melhor resultado. Ao observar os quatro mapas gerados verifica-se um mapeamento mais “fino”, na imagem do IKONOS, com bom detalhamento de todas as classes. A resolução radiométrica de 16 bits (65536 níveis de cinza) da imagem IKONOS possibilitou esse detalhamento, dada a quantidade de informações espectrais que possui. Quanto mais níveis de cinza, maior pode ser a quantidade de informações mostradas. As outras imagens geraram mapas com menor detalhamento.

Por outro lado, a mapa com maior detalhamento das classes gerou também muitos polígonos com área pequena e muitos outros dentro de polígonos com área maior, ou seja, polígonos dentro de outros. A combinação do tamanho dos pixels e os níveis de cinza dos mesmos na imagem IKONOS, provoca o aumento do número de informações, gerando, por

consequente, quantidade de polígonos maiores que as outras imagens. Essa quantidade de variáveis requer também software e hardware em condições de processamento das mesmas.

Outra questão interessante envolvendo a classificação das quatro imagens é a área de cada uso obtido através do processo. Estes dados servem para se ter uma informação a respeito do possível aumento ou diminuição das áreas de infestação, bem como a relação entre as estações e as condições climáticas. Este resultado está representado em forma da Tabela 13.

Tabela 13. Percentuais de uso e cobertura das principais classes em cada imagem estudada. Org. Nelson Cicconet.

IMAGEM/CLASSES	CAPIM ANNONI	GRAMÍNEAS NATIVAS	TRANSIÇÃO	OUTROS
RAPIDEYE 01-07-2011	26,30%	59,68%	2,15%	11,87%
RAPIDEYE 17-01-2012	18,87%	68,59%	2,54%	10%
IKONOS 13-09-2011	23,46%	62,30%	2,26%	11,98%
SENTINEL-2 20-07-2017	26%	50,29%	11,28%	12,43%

Os dados da Tabela 13, mostram certa homogeneidade entre os resultados da classificação das imagens. O ponto fora da curva é representado pela imagem RAPIDEYE de 17-01-2012. Como não se tem dados de campo reais desta data, apenas relatos dos produtores, a comprovação fica comprometida. A data da imagem também representa uma estação do ano diferente das outras – esta é do verão e as outras representam imagens tomadas no inverno. Outro dado chama a atenção. O aumento das áreas de transição entre a invasora e as gramíneas nativas na imagem de 2017. Como esta imagem é a mais atual e com isso passível de comprovação, acredita-se que as áreas de infestação do capim annoni estejam se expandido sobre as áreas de gramíneas nativas. Porém, as áreas mapeadas como sendo capim annoni também são mais homogêneas e mais claramente identificáveis através da classificação da imagem do Seninel-2, bem como as gramíneas nativas e as áreas de transição.

Outra variável a ser considerada é o perfil espectral de cada classe em cada imagem. Assim sendo, durante o processo de classificação digital das imagens foram obtidos perfis espectrais das duas classes principais: capim annoni e gramíneas nativas. A imagem IKONOS se mostrou mais eficaz na separação das classes através da análise do espectro dessas classes. Lembrando que todos os espectros obtidos foram produzidos a partir das imagens correspondentes e nas áreas de treinamento obtidas a campo.

Neste contexto, analisando as variáveis que foram produzidas no processamento das quatro imagens, podem se dizer que a imagem do satélite IKONOS de 13-09-2011, foi a que melhor resultado produziu. A análise desta imagem gerou o mapa de uso e cobertura da terra com 62,3% de área coberta com pastagens de gramíneas nativas, 23,46% de capim annoni,

2,26% de áreas de transição, ou seja, mistura de ambas as classes na proporção aproximada de 50% de cada classe e 12% de cobertura das outras classes. No que se refere a matriz de confusão e ao índice Kappa, também foi esta a imagem com melhor desempenho, tendo margem de acerto de classificação acima de 90% e índice acima de 0,85.

Já a imagem Sentinel-2 se mostrou muito promissora. Além de ser gratuita, tem um tempo de revisita baixo – cinco dias, ou seja, em teoria dá para se ter seis imagens mensais de determinada área para estudos. A resolução espacial também é boa, podendo ser analisados objetos ou alvos de 100m² ou superiores, com 13 bandas espectrais e 4096 níveis de cinza.

Com estas características, a imagem de 20-07-2017 produziu um mapa com índice de acurácia bem próxima a 80% e Kappa de 0,772. Como é uma imagem atual e uma visita a campo foi realizada quatro dias da passagem do satélite sobre a área de estudo, a probabilidade de a classificação gerada ser confiável é alta. O tamanho do pixel (10X10) também gerou menos ruídos na classificação, ou seja, os pixels classificados como diferentes do uso encontrado a campo, mas com pouca expressividade em termos de área, foram em menor número, se comparado às outras imagens. Esse fator é importante para a classificação com áreas maiores, onde a verificação da verdade de campo poderá ser realizada mais facilmente, não precisando procurar pequenas porções de determinado alvo.

No decorrer da pesquisa, uma pergunta – entre tantas, passou a fazer parte da pesquisa: haveria alguma relação com as áreas de ocorrência da espécie invasora com o relevo da área de estudo? Com base no modelo digital de elevação produzido, não é possível estabelecer relação entre as condições de relevo local - mesmo porquê este varia pouco em relação a formas, altimetria e declividade, com a presença do capimannoni.

Seria possível, com base nos dados analisados de todas as quatro imagens, apontar qual a melhor imagem para o objetivo proposto? Seria possível sim. A imagem do Sentinel-2, seria a melhor opção. A temporalidade proposta pelo sensor, a gratuidade, as informações espectrais e a boa resolução espacial, são pontos importantes a serem analisados quando se propõem qualquer estudo envolvendo imagens de satélite ou quaisquer outros dados tomados de outras plataformas.

Neste caso específico envolvendo o mapeamento das áreas de ocorrência do capimannoni, a imagem do satélite Sentinel-2, poderia sim ser utilizada com sucesso no mapeamento das áreas de ocorrência desta invasora em todo o estado do Rio Grande do Sul, sempre aliando a classificação digital com visitas a campo para obter áreas de treinamento do algoritmo a ser usado e também para obter pontos para futura validação da classificação e mapeamento.

Por outro lado, todas as imagens processadas deixam a desejar em pelo menos um aspecto muito importante: duas imagens têm cinco bandas, uma quatro e a outra, 13 bandas espectrais. Isto significa dizer que são imagens com bandas largas. Ao se produzir um espectro de uma dessas imagens, o que se vê é um conjunto de retas ligando uma banda a outra. No intervalo dessas bandas, há muitas informações importantes que não podem ser analisadas. Uma imagem multiespectral ou hiperespectral tenderia a fornecer essas informações que seriam de suma importância, principalmente no que se refere a separabilidade de espécies diferentes de pastagens.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSIÇÕES FUTURAS

A classificação digital de imagens de sensoriamento remoto com o intuito de mapear os usos e a coberturas da terra não é tarefa simples de ser realizada. Envolve um número considerável de variáveis, algumas delas ainda desconhecidas da comunidade científica e as metodologias aplicadas envolvem procedimentos matemáticos, muitas vezes pouco conhecidos de áreas do conhecimento de ciências humanas como a Geografia. Mapeamentos dessa natureza estão em evolução e nos dias atuais, pesquisas neste sentido estão prosperando. Pesquisadores de diversas áreas procuram respostas no sentido de análises espaciais através de produtos obtidos à distância, ou seja, mapear determinado espaço geográfico remotamente.

Estudos envolvendo mapeamentos genéricos são relativamente simples e muito usados na atualidade. Muitas são as metodologias já em uso a fim de diferenciar alvos “fáceis” de distinguir remotamente. A separação através de classificação digital de alvos como florestas, solo exposto, corpos de água, culturas perenes ou efêmeras e pastagens faz parte de muitas pesquisas neste sentido.

Porém, quando se propõem um estudo visando a separabilidade de espécies parecidas, tanto fisiológica quanto espectralmente, como diferentes tipos de pastagens, a pesquisa é um tanto desafiadora e pode se tornar inédita, bem como, inovadora. Nesta, o objetivo tem se mostrado muito mais desafiador e precisa avançar muito para começar a se tornar inédito e inovador. Num estudo qualquer, quanto mais profundo for o conhecimento das variáveis envolvidas maior será o conhecimento obtido sobre o objeto de estudo. Em sensoriamento remoto, há variáveis ainda pouco conhecidas e, no dizer do professor Flavio Ponzoni, variáveis que talvez jamais conheceremos.

O objetivo inicial que foi de: identificar, analisar e diferenciar a distribuição espacial do *Eragrostis Plana* Ness (capimannoni) de outras pastagens nativas, através da técnica de classificação digital de imagens de alta e média resolução espacial, aplicando o classificador Support Vector Machine (SVM), analisando quatro imagens orbitais diferentes (diferenças espectrais, espaciais e temporais) de parte Norte/Nordeste do Parque Eólico do Cerro Chato, Santana do Livramento – RS, como parte do projeto piloto para o mapeamento da distribuição espacial do capimannoni na área de estudo para posterior mapeamento em outras áreas e escalas está finalizado.

No entanto, finalizando esta etapa da pesquisa, se tem mais dúvidas que certezas – a Ciência seria movida pelas dúvidas e não pelas certezas.

O aspecto fundamental deste estudo foi a separação, ou a tentativa de separação de dois tipos de pastagens: um tipo de invasora (*Eragrostis Plana*), de gramíneas nativas de diversas espécies encontradas no Bioma Pampa. Tudo isso analisando imagens de satélite de alta resolução espacial, porém com baixa resolução espectral. Duas das imagens usadas contam com cinco bandas espectrais, uma com quatro bandas e uma com 12 bandas.

Neste trabalho, um dos aspectos fundamentais relativos ao sucesso do mesmo foram as visitas a campo. O campo se mostrou indispensável, tanto para obter as áreas de treinamento do algoritmo, quanto para a validação da pesquisa. Somente analisando e classificando imagens de satélites os resultados não seriam os mesmos, dada a complexidade do processo. Vasta literatura em Geografia evidencia a importância do levantamento de campo no auxílio a estudos de geoprocessamento, sensoriamento remoto e uso da terra.

Com base nas informações coletadas a campo, que foram fundamentais durante o procedimento, a matriz de confusão de cada imagem foi gerada. Com base no campo também foram obtidas as áreas de treinamento do algoritmo para a classificação de todas as imagens de satélite. Não fosse dessa forma, a separabilidade das classes principais poderia estar comprometida e não geraria resultado expressivo. De toda forma, qualquer estudo envolvendo sensoriamento remoto deveria vir acompanhado de visitas a campo para a validação dos resultados obtidos.

Nesse sentido, este estudo propõe desafios futuros. O processamento de imagens hiperespectrais e com alta resolução espacial, aliado a estudos envolvendo a coleta do espectro das duas classes desta pesquisa, com o uso do espectro radiômetro e também da investigação das propriedades físico químicas dessas espécies, poder-se-ia ter resultados muito mais conclusivos. A hipótese sugerida é que a separabilidade poderia ser realizada com precisão estatística razoável parece aceita.

Por hora, no entanto, os resultados foram estes com o material e a metodologia envolvida. Aprendeu-se um pouco e ainda há muito a aprender.

BIBLIOGRAFIA

ADAMS, J. B; SMITH, M. O; GILLESPIE, A. R. Simple models for complex natural surfaces: A strategy for the hyperspectral era of remote sensing. **Canadianos Symposium on Remote Sensing**, July, 1989 / v. 1, n. 21, p. 16-21.

ALBA, E; PERREIRA, R. S; DIEL, G. F; MELLO, E. P; SILVA, E. A; TRAMONTINA, J. Uso da resposta espectral na identificação e monitoramento de espécies florestais a partir de imagens de média resolução espacial. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. **Anais**.

ANDRADE, A. C. de; FRANCISCO, C. N; ALMEIDA, C. M. Desempenho de classificadores paramétrico e não paramétrico na classificação da fisionomia vegetal. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. **Anais**.

ANGELO, N. P. **Aplicação de filtros de Gabor no processo de classificação de imagens digitais com base em atributos de textura**. 2000. 168p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ANTUNES, M. A. H; DEBIASI, P; SIQUEIRA, J. C. dos SANTOS. **AVALIAÇÃO ESPECTRAL E GEOMÉTRICA DAS IMAGENS RAPIDEYE E SEU POTENCIAL PARA O MAPEAMENTO E MONITORAMENTO AGRÍCOLA E AMBIENTAL**. **Revista Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto**. Nº66/1, p.105-113. 2014.

CAMARA, G; SOUZA, R. C. M; FREITAS, U. M; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CHANDER, G; MARKHAM, B. L; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, 113, 893-903. 2009.

CICCONET, N; J. M. FILIPPINI ALBA; SPIRONELLO, R. L; CUNHA, H. MAPEAMENTO DO ERAGROSTIS PLANA NEES (CAPIM ANNONI) POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. São Paulo, v. 29, n. 1, p. 20-33, jul. 2016.

COSTA, E. M; ANTUNES, M. A. H; DEBIASI, P; DOS ANJOS, L. H. C. Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília-DF, v.51, nº9, p.1417-1427, setembro 2016.

CROSTA; A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. Rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993.

DE SOUZA, E. R; VICENS, R. S; CRUZ, C. B. Estágios de conservação da vegetação em área de mata atlântica, utilizando sensoriamento remoto hiperespectral. **GEOgraphia**, V. 16, nº31, p. 101-122, 2014.

ENVI-ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2011. ArcGIS Desktop. **Release 10**. Redlands: ESRI.

ESTRELLA, R. M; LEON, J. R. R; CASTELLANOS, A. E; AIZPURO, F. J. G; HARTFIELD, K. Analyzing Landscape Trends on Agriculture, Introduced Exotic Grasslands and riparian Ecosystems in Arid Regions of Mexico. **Remote Sensing**, 8, 664, 2016.

FERNANDES, M. M; CEDDIA, M. B; FRANCELINO, M. R; MOURA FERNANDES, M. R. de. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA FAIXA CILIAR E QUALIDADE DE ÁGUA DE DUAS MICROBACIAS UTILIZADAS PARA ABASTECIMENTO HUMANO. **Irriga**, V. 20 n°1, p. 128-138, Botucatu, janeiro/março, 2015.

FERREIRA, R. N; FILIPPI, E. E. REFLEXOS ECONOMICOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS DA INVASAO BIOLOGICA PELO CAPIM-ANNONI (*Eragrostis plana* Nees) NO BIOMA PAMPA. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 27, n° 1/3, p. 47-70, jan/dez. 2010.

FERREIRA, R. N; MEDEIROS, R. B. de; FAVRETO, R. BANCO DE SEMENTES DO SOLO DE MARGEM VIÁRIA DOMINADA POR CAPIM-ANNONI-2 E SUJEITO AO CONTROLE COM DISTÚRBIOS NO SOLO E INTRODUÇÃO DE GRAMÍNEAS. IN: **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 30, N°3, p. 054-063, 2008.

FERREIRA, R. N; MEDEIROS, R. B. de; SOARES, G. L. G. Potencial alelopático do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) na germinação de sementes de gramíneas perenes estivais. **Revista Brasileira de Sementes**. Vol. 30 N°2 Londrina, 2008. Disponível em: www.scielo.br/pdf/rbs/v30n2/a06v30n2.pdf. Acesso em 18/07/2015 as 16:30.

FORMAGGIO, A. R; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

GARMIN MONTANA 650. **Manual do utilizador**. Disponível em: www.hezolinem.com/produtos/16/51/327/anexos/453.pdf. Acesso em: 04-08-2016.

GOEL, N. S.; STREBEL, D. E. Simple beta distribution representation of leaf orientation in vegetation canopies. **Agronomy Journal**. V. 76, p. 800 a 803, 1984.

GOULART, I.C.G.R.; MEROTTO, J. A.; PEREZ, N.B.; KALSING, A.; MEROTTO JR, A. Controle de capim-annoni-2 (*Eragrostis plana*) com herbicidas pré-emergentes em associação com diferentes métodos de manejo do campo nativo. **Planta Daninha**, v. 27, p. 181-190, 2009.

GUIDO, A.; VARELA, D. D.; BALDASSINI, P; PARUELO, J. Spatial and temporal Variability in Aboveground Net Primary Production of Uruguayan Grasslands. **Rangeland Ecology & Management**, V. 67(1): 30-38. 2014.

GRIZIO, E. V. **REGIME DE DESCARGA DO RIO PARAGUAI SUPERIOR**. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia. 2008. Dissertação de Mestrado, Maringá, 2008.

HSU, C-W; CHANG, C-C; LIN, C-J. Department of Computer Science National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan. **Guide**. Initial version: 2003, Last updated: May 19, 2016. Disponível em: <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin>. Acesso em 12-2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1986.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Boletim Climático – agosto – setembro – Outubro (2011)** Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/portal_antigo/clima/prog_clima_rs/pdf/bol_jul2011.pdf. Acesso em 01-05-2017.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. Pearson Prentice Hall Ed. 2005.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos – SP. Tradução da Segunda Edição. Ed. Parêntese, 2009.

KNOX, N. M; SKIDMORE, A. K; WERFF, H. M. A van der; GROEN, T. A; BOER, W. F. de; PRINS, H. H. T; KOHI, E; PEEL, M. Differentiation of plant age in grasses using remote sensing. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. October 2013, Pages 54-62.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, p.159-179, 1977.

LI, D; KE, Y; GONG, H; LI, X. Object-Based Urban Tree Species Classification Using Bi-Temporal WorldView-2 and WorldView-3 Images. **Remote Sensing**, 7, 16917-16937. 2015.

LI, Z.; HUFFMAN, T.; MCCONKEY, B.; TOWNLEY-SMITH, L. Monitoring and modeling spatial and temporal patterns of grassland dynamics using time-series MODIS NDVI with climate and stocking data. **Remote Sensing Environment**, p, 138, 232-244. 2015.

MEDEIROS, R. B. de; FOCHT, T. invasão, prevenção, controle e utilização do capim-anonni-2 (*Eragrostis Plana* Ness) no Rio Grande do Sul, Brasil. Revisão Bibliográfica. **PESQ. GAUCHA, PORTO ALEGRE**, v. 13, nº1-2, p. 105-114, 2007.

MANSOUR, K; MUTANGA, O; EVERSON, T. Remote sensing base indicators of vegetation species for assessing rangeland degradation: Opportunities and challenges. In: **African Journal of Agricultural Research** Vol. 7(22), pp. 3621-3270, June, 2012.

MORAN, M. S; PONCE-CAMPOS, G. E; HUETE, A; MCCLAREN, M. P; ZHANG, Y; HAMERLYNCK, E. P; AUGUSTINE, D. J; GUNTER, S. A; KITCHEN, S. G; PETERS, D. P. C; STARKS, P. J; HERNANDEZ, M. Functional response of U.S. grasslands to the early 21st-century drought. **The Ecological Society of America**. Vol. 95, Nº8, p. 2121-2133, 2014.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação 4º**. Ed. São Paulo SP. Oficina de Textos, 2011.

MOREIRA, R. O. **Que é Geografia**. São Paulo: Ed. Brasiliense, 2006. 14º Ed.

MOUNTRAKIS, G; IM, J; OGOLE, C. Support vector machines in remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 66 (2011) 247–259

MOURA, N. V. A. de. **Comparação entre classificadores supervisionados para fins de análise multitemporal do uso e cobertura da terra no entorno do reservatório da usina hidrelétrica de corumbá IV/GO**. Mestrado em Geografia. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília DF, 2016.

NAKANO, T; BAVUUDORJ, G; URIANHAI, N. G; SHINODA, M. Monitoring aboveground biomass in semiarid grasslands using MODIS images. **Journal Agriculture Meteorology**. V. 69, n°1, p.33-39, 2013.

NASCIMENTO, R. F. F; ALCÂMTARA, E. H; KAMPEL, M; STECH, J. L; NOVO, E. M. L. M; FONSECA, L. M. G. O algoritmo Support Vector Machines (SVM): avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD-CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14 (SBSR), 2009, Natal-RN, **Anais...**

NEUMANN, C; WEISS, G; SCHMIDTLEIN, S; ITZEROTT, S; LAUSCH, A; DOKTOR, D; BRELL, M. Gradient-Based Assessment off Habitat Quality for Spectral Ecosystem Monitoring. **Remote Sensing**. N°7, p.2871-2898, 2015

NOVO, E. M. L. de MORAES. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. – 4°ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, S; BENTO-GONÇALVES, A; NUNES, A; VIEIRA, A; FELIX, F; LOURENÇO, L. Prevenção de incêndios florestais e análise da vulnerabilidade com recurso a dados de satélite. O exemplo do projeto REFER. **Cadernos de Geografia** N°33 – 2014 Coimbra, FLUC – pp.183-188.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y, E; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação. 2ª edição revisada e ampliada**. – São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

POPPER, K. R. **A Lógica da Pesquisa Científica**. Editora Cultrix São Paulo, 1972.

REIS, J. C. L. Capim annoni-2: Origem, Morfologia, Características, Disseminação. In: REUNIÃO REGIONAL DE AVALIAÇÃO DE PESQUISA COM ANNONI-2. Anais. Bagé: EMBRAPACPPSUL, 1993. p. 5-23. **Documentos, 7**.

REIS, J. C. L; COELHO, R. W. Controle do Capim Annoni-2 em Campos Naturais e Pastagens. Pelotas: EMBRAPA Clima temperado, 2000ª. 21p. **Circular Técnica, 22**.

ROSS, J. L. S; Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. V. 8, p.3-74, 1994.

SAFANELLI, J. L; TEN CATEN, A; BOSCO, L. C. Sensoriamento proximal para caracterização e diferenciação espectral *in situ* de cultivares de alho. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. **Anais**.

SANTOS, A. R. dos; PELUZIO, T. M. de Oliveira; SAITO, N. S. **SPRING 5.1.2 PASSO A PASSO. Aplicações Práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010.

SARAIVA, C. S. A; **Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-1 para Identificação de Culturas Agrícolas**. UNIVERSIDADE DE LISBOA. FACULDADE DE CIÊNCIAS. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENGENHARIA. 2015. Dissertação de mestrado em Geografia. Lisboa, 2015

SHERMAN, G. E; SUTTON, T; BLAZEK, R; HOLL, S; DASSAU, O; MORELY, B; MITCHELL, T; LUTHMAN, L. 2011. **Quantum GIS User Guide - Version 1.7 “Wroclaw”**. Disponível em: http://download.osgeo.org/qgis/doc/manual/qgis-1.7.0_user_guide_en.pdf. Data de acesso: 19-07-2015, as 20:00.

SIBANDA, M; MUTANGA, O; ROUGET, M. Examining the of Sentinel-2 MSI spectral resolution in quantifying above ground biomass across diferente fertilizer treatments. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 110 (2015) 55-65. ELSERVIER.

SILVA, K. G. da; SANTOS, A. R. dos; SILVA, A. G. da; PELUZIO, J. B. E; FIEDLER, N. C; ZANETTI, S. S. ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALEGRE, ES. **CERNE**. V.21, n°2, p.311-318, 2015.

SOUTO, R. D. O papel da geografia em face da crise ambiental. **Estudos Avançados**. Vol. 30 N°87, São Paulo, maio/agosto 2016.

SOUZA, C. H. W. de; LAMPARELLI, R. A. C; DELA JUSTINA, D. D; ROCHA, J. V. Estudo da Banda Red Edge do satélite Rapideye na discriminação da cobertura vegetal. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. **Anais**.

TABOADA, F. A; TAMMADGE, D; SHLERF, M; SKIDMORE, A. Assessing MODIS GPP in Non-Forested Biomes in Water Limited Areas Using EC Tower Data. In: **remote sensing**, 2015, 7. Disponível em: www.mdpi.com/journal/remotesensing. Acesso em agosto de 2016.

TEIXEIRA, K. dos S. **Uma proposta metodológica de integração de técnicas de análise espectral e de inteligência computacional, baseadas em conhecimento, para o reconhecimento de padrões em imagens de satélite**. 2012. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, tese de doutoramento, Rio de Janeiro, 2012.

TISOT, D. A; FORMAGGIO, A. R. RENNÓ, C. D. GALVÃO, L. S. EFICÁCIA DE DADOS HYPERION/EO-1 PARA IDENTIFICAÇÃO DE ALVOS AGRÍCOLAS: COMPARAÇÃO COM DADOS ETM+ /LANDSAT-7. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n°2, p. 511-519, maio/agosto 2007.

USGS. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em agosto 2017.

WAGNER, A. P. L; FONTANA, D. C; FRAISSE, C; WEBER, E. J; HASENACK, H. Tendências temporais de índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e do Uruguai. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.48, n°9, p. 1192-1200, setembro 2013.

ZHAO, F; XU, B; YANG, X; JIN, Y; LI, J; XIA, L; CHEN, S; MA, H. Remote Sensing Estimates off Grassland Aboveground Biomass Based on MODIS Net Primary Productivity (NPP): A Case Study in the Xilingol Grassland off Notthern China. **Remote Sensing**. V.6, 2014.

ZHANG, B; ZHANG, L; XIE, D; YIN, X; LIU, C; LIU, G. Application off Synthetic NDVI Time Series Blended from Landsat and MODIS Data for Grassland Biomass Estimation. **Remote Sensing**. V.8, 2016.

ZENNI, R. D; ZILLER, S. R. An overview off invasive plants in Brazil. **Brasilian Journal off Botany**. Vol. 34, N°3. São Paulo, junho/setembro, 2011.