

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
tese será disponibilizado
somente a partir de 13/09/2021.



UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**Classificação interativa de imagens orbitais utilizando técnica de
projeção multidimensional de dados**

Orientando: Tiago Oyan Aguiar

Orientador: Prof. Dr. Erivaldo Antônio da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Wallace Correa de Oliveira Casaca

PRESIDENTE PRUDENTE
OUTUBRO DE 2019

Tiago Oyan Aguiar

**Classificação interativa de imagens orbitais utilizando técnica de
projeção multidimensional de dados**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – PPGCC da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP.

Orientador: Prof. Erivaldo Antônio da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Wallace Correa de Oliveira Casaca

PRESIDENTE PRUDENTE

2019

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

A282c	<p>Aguiar, Tiago Oyan</p> <p>Classificação interativa de imagens orbitais utilizando técnica de projeção multidimensional de dados / Tiago Oyan Aguiar. -- Presidente Prudente, 2019</p> <p>59 p. : il., fotos, mapas</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente</p> <p>Orientador: Erivaldo Antônio da Silva</p> <p>Coorientador: Wallace Correa de Oliveira Casaca</p> <p>1. Ciências Cartográficas. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Local Affine Multidimensional Projection (LAMP). 4. Classificação de Imagens. 5. Processamento Digital de Imagens. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

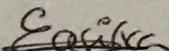
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CLASSIFICAÇÃO INTERATIVA DE IMAGENS ORBITAIS UTILIZANDO
TÉCNICA DE PROJEÇÃO MULTIDIMENSIONAL DE DADOS

AUTOR: TIAGO OYAN AGUIAR

ORIENTADOR: ERIVALDO ANTONIO DA SILVA

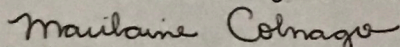
COORIENTADOR: WALLACE CORREA DE OLIVEIRA CASACA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS
CARTOGRÁFICAS, área: Aquisição, Análise e Representação de Informações Espaciais pela
Comissão Examinadora:



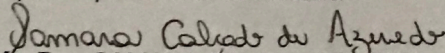
Prof. Dr. ERIVALDO ANTONIO DA SILVA

Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente



Profa. Dra. MARILAINE COLNAGO

Campus Experimental de Rosana



Profa. Dra. SAMARA CALÇADO DE AZEVEDO

UNIFEI / Universidade Federal de Itajubá

Presidente Prudente, 13 de setembro de 2019

Dedico,

A minha mãe Sonia pela base, afeto e amparo necessários para trilhar meu caminho. Aos meus avós Maria e Antônio, pelo amor e carinho incondicional. Ao professor Eivaldo por acreditar e apoiar meu desenvolvimento acadêmico, deste o segundo ano da minha jornada na UNESP. Dedico também, a minha esposa Fernanda, que de uma forma especial me deu forças, auxílio, amor e coragem para continuar e me desenvolver cada vez mais.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço primeiramente a Deus, pela sabedoria e perseverança a mim concedidas e por sempre me guiar e proteger pelos caminhos da vida.

- Aos meus pais e avós, por todo apoio, incentivo, cuidado, paciência, amor e carinho ao longo da minha vida.

- A minha esposa, Fernanda, pelo amor, companheirismo e paciência, por enfrentarmos juntos cada dificuldade.

- A toda minha família, por todo carinho, companheirismo, incentivo e momentos de alegria.

- Aos professores Dr. Erivaldo Antônio da Silva e Dr. Wallace Correa de Oliveira Casaca, pelo aceite em me orientar, por todo conhecimento transmitido, pela paciência, amizade, compreensão e auxílio no meu desenvolvimento acadêmico.

- A UNESP, pela infraestrutura, por todo suporte e todos os funcionários, que me ajudaram diretamente ou indiretamente nas atividades desenvolvidas.

- A CAPES, pelo incentivo financeiro cedido durante o desenvolvimento do mestrado.

- Aos meus amigos do PPGCC (alunos, funcionários, professores), que me ajudaram ativamente em toda minha trajetória acadêmica do mestrado.

- Aos meus amigos da empresa Raízen Energia, pelo companheirismo e auxílio durante meu desenvolvimento acadêmico. Em especial ao meu gestor Vanderson, que me ajudou ativamente me apoiando e colaborando para o desenvolvimento desta pesquisa.

- A todos que não citei de forma direta, mas que me incentivaram e auxiliaram nesta jornada.

- O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios. Por isso, cante, chore, dance, ria e viva intensamente, antes que a cortina se feche e a peça termine sem aplausos.”

Charlie Chaplin

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo da aplicação do sensoriamento remoto na lavoura.	17
Figura 2: A reflectância da vegetação mostra alto gradiente entre as bandas 4 e 3.	18
Figura 3: Processamento pixel a pixel realizado nas operações aritméticas.	20
Figura 4: Projeção do conjunto de 1357 notícias, divididas em 9 classes.	25
Figura 5: Área teste correspondente ao comprimento de onda da banda do VERDE.	31
Figura 6: Área teste correspondente ao comprimento de onda da banda do VERMELHO.	31
Figura 7: Área teste correspondente ao comprimento de onda da banda do INFRAVERMELHO.	32
Figura 8: Área teste correspondente a composição colorida cor verdadeira.	33
Figura 9: Montagem da matriz base de processamento.	36
Figura 10: Sequência parcial de processamento utilizada no módulo de interação com o usuário.	39
Figura 11: Etapas de trabalho para o desenvolvimento da pesquisa.	40
Figura 12: Resultado da aplicação do índice RVI sobre a imagem teste.	41
Figura 13: Resultado da aplicação do índice NDVI sobre a imagem teste.	42
Figura 14: Resultado da aplicação do índice NDWI sobre a imagem teste.	42
Figura 15: Gráfico contendo os dados resultante da técnica de projeção LAMP (os eixos do gráfico se encontram na mesma escala da normalização).	44
Figura 16: Imagem resultante do processo de clusterização, gerado sem a intervenção do usuário (branco representa regiões com vegetação e preto representa regiões com solo exposto).	45
Figura 17: Processo de intervenção do usuário na clusterização.	46

Figura 18: Gráfico contendo o pixel selecionado (em vermelho), e os demais pontos da projeção (vegetação e não vegetação) - (os eixos do gráfico se encontram na mesma escala da normalização).....	47
Figura 19: Gráfico didático utilizado para compreender melhor o processo de geração do novo ponto de controle (baseado no pixel selecionado pelo usuário). ...	47
Figura 20: Imagem resultante do processo de clusterização, após a intervenção do usuário (branco representa regiões com vegetação e preto representa regiões com solo exposto).....	49
Figura 21: Produto cartográfico gerado com o processamento.....	50
Figura 22: Imagens resultantes do processamento, destacando as regiões que sofreram alterações com o processo de intervenção do usuário.	52

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. JUSTIFICATIVA.....	14
1.2. OBJETIVO GERAL	15
1.2.1. Objetivos específicos.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1. SENSORIAMENTO REMOTO	16
2.2. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS	17
2.2.1. Comportamento Espectral da Vegetação.....	18
2.2.2. Comportamento Espectral da Água.....	19
2.3. OPERAÇÕES ARITMÉTICAS DE IMAGENS	19
2.4. ÍNDICES ESPECTRAIS	21
2.4.1. Índice de Vegetação: RVI.....	21
2.4.2. Índice de Vegetação: NDVI	22
2.4.3. Índice de Corpos d'água: NDWI	23
2.5. DADOS DE ALTA DIMENSÃO	23
2.6. PROJEÇÃO MULTIDIMENSIONAL DE DADOS	24
2.6.1. Local Affine Multidimensional Projection (LAMP)	27
2.6.2. Clusterização K-MÉDIAS	28
2.7. CARTOMORPH	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS.....	30
3.2. ÁREAS TESTE	30
3.3. METODOLOGIA	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. APLICAÇÃO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS.....	41
4.2. PROCESSAMENTOS INICIAIS	43
4.3. PROJEÇÃO MULTIDIMENSIONAL LAMP	43

4.4.	CLUSTERIZAÇÃO	44
4.5.	INTERVENÇÃO DO USUÁRIO.....	45
4.6.	PRODUTO CARTOGRÁFICO	49
4.7.	DISCUSSÃO	51
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

RESUMO

A extração de informação por meio do uso de imagens digitais orbitais é de grande importância para diversas áreas do conhecimento. Deste modo, essa pesquisa visa classificar imagens orbitais de alta resolução espacial, utilizando índices espectrais e a técnica de projeção multidimensional de dados Local Affine Multidimensional Projection (LAMP). Embora técnicas de projeções multidimensionais têm sido utilizadas com sucesso em grande conjunto de aplicações na área de visualização de dados, estas, por sua vez, não têm sido exploradas no contexto de cartografia. Observando esta lacuna, foi desenvolvido um método, no contexto da Cartografia e Geociências, a partir do uso e manipulação da técnica LAMP, em uma imagem orbital do satélite QuickBird, com a finalidade de apresentar à comunidade cartográfica e empresas interessadas, novas possibilidades de desenvolvimento de atualizações de bases cartográficas. É válido destacar os benefícios da técnica mencionada, principalmente para suprimir uma demanda cada vez mais recorrente no Sensoriamento Remoto, ligada ao aumento das resoluções espectrais e espaciais e consequente aumento do volume de dados para processamento, que, com o auxílio da técnica LAMP, podem ser manipulados e processados de forma adequada. Assim, mostra-se que a referida técnica, quando aliada a outras abordagens clássicas da área de Geociências, atinge um bom nível de classificação em imagens aéreas, definindo adequadamente as áreas de vegetação e solo exposto. Como produto da pesquisa, foi gerado um mapa de classificação da vegetação e um algoritmo utilizado no processamento dos dados. Vale ressaltar que o foco da pesquisa está voltado para a cultura da cana-de-açúcar, sendo essa, a feição de interesse neste estudo.

ABSTRACT

The extraction of information by using orbital digital images is of great importance for several areas of knowledge. Thus, this research aims to classify orbital images of high spatial resolution, using spectral indexes and the technique of multidimensional data projection site Affine Multidimensional Projection (LAMP). Although, multi-dimensional projection techniques have been successfully used in a large set of applications in the field of data visualization, however, have not been explored in the context of cartography. Observing this gap, a method was developed in the context of cartography and geosciences, from the use and manipulation of the LAMP technique, in an orbital image of the QuickBird satellite, to present to the cartographic community and companies new possibilities for the development of cartographic bases updates. It is worth highlighting the benefits of the aforementioned technique, mainly to suppress an increasingly recurrent demand in remote sensing, linked to the increase of spectral and spatial resolutions and consequent increase in the volume of data for processing, which, with the aid of the LAMP technique, can be manipulated and processed appropriately. Thus, it is shown that the aforementioned technique, when allied to other classical approaches in the area of geosciences, achieves a good level of classification in aerial images, appropriately defining the areas of vegetation and exposed soil. As a research product, a vegetation classification map was generated and an algorithm used in the data processing. It is noteworthy that the focus of the research is focused on the sugarcane crop, which is the feature of interest in this study.

1. INTRODUÇÃO

Os produtos cartográficos são de fundamental importância para o planejamento e o gerenciamento de projetos em diversas áreas e vários países enfrentam problemas para manter suas bases cartográficas atualizadas. Por isso diversas técnicas para atualizações de produtos cartográficos têm surgido para mitigar esses problemas, sendo o Sensoriamento Remoto uma ferramenta que têm contribuído de forma decisiva para minimização dessa desatualização.

O desenvolvimento de trabalhos que favoreçam as atualizações de produtos cartográficos é importante, principalmente visando a obtenção de bases cartográficas confiáveis e economicamente viáveis para aplicações diversas. Dentre as aplicações, têm-se o uso em planejamentos urbano (plano diretor) e rural (cadastro rural), estudos ambientais, classificação da cobertura do solo, dentre muitos outros que podem ser citados. Assim, integrando produtos de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens (PDI), é possível desenvolver ferramentas que possam suprir as atuais necessidades.

As técnicas de PDI existentes, foram sendo aprimoradas e utilizadas principalmente para desenvolver realce e restauração em imagens digitais, fato esse que têm atraído diversos pesquisadores, que contribuem com melhorias em diferentes processos, acarretando um crescimento expressivo, onde suas aplicações podem ser notadas nos mais variados ramos da atividade humana. Exemplos do uso do processamento e a interpretação automática de imagens captadas por satélites, são os trabalhos apresentados nas áreas de Geografia, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Meteorologia.

Neste contexto, esta pesquisa foi estruturada para estudar e avaliar o potencial de utilização da técnica de projeção multidimensional *Local Affine Multidimensional Projection* (LAMP), apresentada nos estudos de Joia et al. (2011) e Casaca et al. (2012), no campo da cartografia. Essa técnica supri uma demanda atual, relacionada ao aumento do volume de dados que são processados rotineiramente nas atividades de classificação em imagens orbitais. Portanto, a linha de pesquisa foi iniciada com base nos estudos desenvolvidos durante o período de realização da Iniciação Científica do acadêmico, que abordaram os índices espectrais e evoluída nessa pesquisa de mestrado; combinando o estudo dos

índices espectrais com a utilização da projeção multidimensional. Mais informações sobre os índices mencionados podem ser encontradas em trabalhos publicados pelo acadêmico em Aguiar et al. (2016), Aguiar et al. (2018) e Silva et al. (2018).

No caso dos índices, estes foram aplicados às imagens orbitais de alta resolução, com o intuito de realçar feições de interesse, antes que elas sejam submetidas ao processamento da projeção LAMP, que é o foco desta pesquisa. Os índices espectrais, segundo Schowengerdt (2006), tem como principal característica promover o realce de feições de interesse, como a vegetação e solo exposto, sendo muito utilizados para auxiliar na estimativa de biomassa e cobertura vegetal, por exemplo.

As imagens resultantes das aplicações dos índices espectrais, juntamente com as imagens originais (correspondentes ao comprimento de onda do verde, vermelho e infravermelho próximo), produzem uma série de dados (*features*), que estão localizados em um espaço de “n” dimensões. Esses dados são então mapeados para um espaço de recursos visuais, utilizando para isso, um método de projeção multidimensional iterativo. Conforme já mencionado, o método de projeção selecionado nesta pesquisa foi a técnica LAMP, que permite que o usuário interaja com a classificação, visando a obtenção de resultados mais precisos e customizados a fim de atender aos anseios do mesmo.

Uma diferença entre vários métodos de classificação extensivamente usados em estudos atuais e a metodologia proposta nesta pesquisa é a possibilidade de o usuário contribuir de forma mais proativa no processo de classificação, por meio de seus *insights* visuais e perspectivas de uso para o cumprimento de suas tarefas de interesse.

1.1. JUSTIFICATIVA

A pesquisa se justifica pela necessidade em buscar soluções consistentes e eficazes para a classificação de imagens digitais, visto que, são fontes de informação para uma série de aplicações. Nesse sentido, é estudado o uso de uma nova abordagem no campo da cartografia, que se fundamenta na aplicação da técnica de projeção multidimensional de dados *Local Affine Multidimensional Projection*, aliado a possibilidade de o usuário contribuir com este processo. Também se destaca a possibilidade de estudar uma alternativa que possa ser

eficiente no processo de classificação em imagens digitais orbitais, correlacionando com as necessidades do grupo Raízen Energia e a dinâmica de alteração da vegetação.

1.2. OBJETIVO GERAL

O estudo tem como principal objetivo estabelecer uma classificação em imagens orbitais, utilizando algoritmos clássicos de clusterização, aliado ao processo de interação com o usuário. Isso promove um aprimoramento da classificação a partir da técnica de projeção multidimensional de dados LAMP, procurando assim, analisar os benefícios do uso dessa técnica na cartografia.

1.2.1. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do desenvolvimento desse estudo são:

- ❖ Aplicar e verificar a eficiência dos índices espectrais implementados no *software* CARTOMORPH, dando sequência a linha de pesquisa do acadêmico;
- ❖ Desenvolver e sistematizar um algoritmo que realize o processo interativo de classificação, baseado em algoritmos clássicos de cluterização e na técnica de projeção multidimensional de dados LAMP;
- ❖ Disponibilizar, sob demanda, o algoritmo de processamento para os usuários, sempre considerando um desenvolvimento claro e conciso;
- ❖ Avaliar a classificação da imagem proposta, aplicada no estudo de áreas vegetativas;
- ❖ Obtenção de um produto cartográfico que possa ser útil para estudos diversos, principalmente no que diz respeito a áreas de vegetação do setor sucroenergético.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o propósito de estudar alternativas para os processos de classificação em imagens digitais, esta pesquisa de mestrado foi desenvolvida, com foco na aplicação de uma técnica de projeção multidimensional de dados, já consolidada na área da visualização da informação, porém pouco explorada na área da cartografia. A técnica em questão é a *Local Affine Multidimensional Projection*, mais conhecida como *LAMP*.

Com a finalização da pesquisa, foi possível verificar que os valores de ND dos pixels, são as informações básicas para todo o desenvolvimento do processamento. Portanto, a utilização das imagens multiespectrais (correspondente as bandas proveniente do sensor do satélite) aliada as informações provenientes dos índices espectrais, contribuíram positivamente com os resultados obtidos; uma vez que os índices espectrais promovem realce de feições específicas, que no caso desta pesquisa estavam centradas na vegetação e solo exposto. Assim, a correta escolha dos índices espectrais utilizados, foi importante para alcançar um bom resultado de processamento, sendo altamente aconselhável conhecer os alvos de interesse, para escolher os melhores índices espectrais que devem ser utilizados.

O processo de intervenção do usuário contribuiu de forma positiva para a obtenção do resultado final, porém, vale ressaltar que este procedimento pode gerar resultados inversos ao almejado, caso o usuário não tenha total domínio ou conhecimento sobre quais pixels estão classificados de forma incorreta. Portanto é importante mencionar que o usuário deve estar familiarizado com a área e saber interpretar corretamente a imagem gerada, a fim de não contribuir de forma inadequada para o processamento, selecionando pixels que estejam classificados corretamente.

Conforme dito nas considerações iniciais do trabalho, os produtos da pesquisa foram o algoritmo de processamento e o mapa. Portanto foi possível concluir que os objetivos estabelecidos foram alcançados, sendo disponibilizado, sob demanda, o algoritmo de processamento, desenvolvido no ambiente do MATLAB e a geração do produto cartográfico (mapa). Assim observa-se que a técnica de processamento utilizada (LAMP), pode colaborar para trabalhos de

atualizações de bases cartográficas e outros, que estejam relacionados com a classificação de imagens de satélite.

Algumas considerações podem ser feitas sobre possibilidades futuras de aprimoramento deste estudo. Uma possível contribuição, seria a implementação do processamento em uma linguagem de programação que consiga trabalhar de forma mais rápida com o grande volume de dados, contribuindo principalmente para a atenuação do tempo de processamento, visto que, neste caso, o processamento completo demorou cerca de 3 a 4 horas para ser realizado. Uma possível alternativa seria a linguagem de programação C++. Além disso, estudar outras abordagens de classificação como a proposta por Negri et al. (2018), ou ainda outras técnicas de projeção multidimensional de dados, pode ser algo importante no sentido de contribuir para o desenvolvimento de processos mais eficazes e rápidos. Portanto, uma sugestão seria a reavaliação do processo com a técnica de projeção *Least Square Projection* (LSP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, T. O.; AZEVEDO, S. C.; PEDROSA, M. M.; CARDIM, G. P.; SILVA, E. A. **Multispectral Image Processing System Developed**. In CARTOMORPH Software - NDVI Module. *Advances in Remote Sensing*, v. 07, p. 91-100, 2018.

AGUIAR, T. O.; AZEVEDO, S. C.; SILVA, E. A. **Aplicação do índice espectral de corpos d'água - water index (WI) implementado no software CARTOMORPH**. In: Simposio Internacional SELPER 2016, 2016, Puerto Iguazu. *Actas do Simposio Internacional SELPER 2016*. Puerto Iguazu: SELPER, 2016. p. 1295-1306.

ALSABTI, K.; RANKA, S.; SINGH, V. **An efficient k-means clustering algorithm**. *Electrical Engineering and Computer Science*. 1997.

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; CARVALHO, J. C.; PEREIRA FILHO, W.; MANTOVANI, J.E. **Caracterização spectral das massas d'água amazônicas**. *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - 2003*. São José dos Campos: INPE, p. 1099-1106. 2003

BERKHIN, P. **A Survey of Clustering Data Mining Techniques**. 2002.

CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CARDIM, G. P. **Desenvolvimento do Sistema Computacional CARTOMORPH para Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Tese de Mestrado em Ciências Cartográficas—Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, 2015.

CASACA, W. NIETO, E. G. FERREIRA, C. O. L. TAVARES, G. PAGLIOSA, P. PAULOVICH, F. NONATO, L. G. PAIVA, A. **Colorization by Multidimensional Projection**. 25th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images. Ouro Preto, Brazil. 2012.

ETEMADPOUR, R.; LINSEN, L.; PAIVA, J. G.; CRICK, C.; FORBES, A. G. **Choosing Visualization Techniques for Multidimensional Data Projection Tasks: A Guideline with Examples**. *Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*. Anais. Springer International Publishing, 2016.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**, 2005.

FIORIO, P. R. **Tópicos Básicos de Comportamento Espectral de Alvos**. (Material Didático). 2004.

FLORENZANO, T. G.; JÚNIOR, S. S. T.; LORENA, R. B.; MELO, D. H. C. T. B. **Multiplicação e Adição de Imagens Landsat no Realce de Feições da Paisagem.** Anais do X Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, p. 1257–1263, 2001.

FONTANA, A.; NALDI, M. C. **Estudo de Comparação de Métodos para Estimação de Números de Grupos em Problemas de Agrupamento de Dados.** Universidade de São Paulo. 2009.

GAO, B. **NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space.** Remote Sensing of Environment, v. 58, n. 3, p. 257–266, 1 dez. 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (ED.). **Introdução ao Processamento Digital de Imagens.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2000.

JAIN, A. K.; MURTY, M. N.; FLYNN, P. J. **Data clustering: a review.** p. 264–323. 1999.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.** Ed 2. Prentice Hall. 2004

JOIA, P.; COIMBRA, D.; CUMINATO, J.; PAULOVICH, F.; NONATO, L. G. **Local affine multidimensional projection.** IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v. 17, n. 12, p. 2563–2571, dez. 2011.

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems.** Cambridge University Press, 2ed. 509p. 1994.

KOGAN, J.; NICHOLAS, C.; TEBOULLE, M. **Grouping Multidimensional Data: Recent Advances in Clustering.** 1. ed. [s.l.] Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

KRISHNA, K.; MURTY, M. N. **Genetic K-Means Algorithm.** IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Cybernetics, Vol. 29, No. 3. June 1999.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. **Remote Sensing and Image Interpretation.** 5. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

MACHADO, B. B. **Exploração visual do espaço de características: uma abordagem para análise de imagens via projeção de dados multidimensionais.** text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 13 dez. 2010.

MACQUEEN, J. B. **Some methods for classification and analysis of multivariate observations.** Proceedings of the Fifth Symposium on Math, Statistics and Probability. Berkeley, CA: University of California Press. p. 281-297. 1967.

MAMANI, G. M. H. **Empregando técnicas de projeção multidimensional para transformação interativa de espaços de características.** text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 24 out. 2012.

MARQUES, F. O.; VIEIRA, N. H. **Processamento Digital de Imagens.** Rio de Janeiro: Brasport, 1999. ISBN 8574520098.

MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction.** 3. ed. University of Nottingham: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

MathWorks - Documentation. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/stats/kmeans.html> - Acessado em 01 de maio de 2019.

MCFEETERS, S. K. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.** International Journal of Remote Sensing, v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 1 maio 1996.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

NEGRI, R. G.; SILVA, E.; CASACA, W. **Inducing Contextual Classifications with Kernel Functions Into Support Vector Machines.** IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v. 15 (6), 962-966, 2018.

NEVES, T. T. DE A. T.; FADEL, S. G.; COIMBRA, D. B.; PAULOVICH, F. V. **Análise visual utilizando projeções multidimensionais.** Revista de Informática Teórica e Aplicada - RITA, v. 22, n. 2, p. 258–288, 2015.

NIETO, E. G.; CASACA, W.; MOTTA, D.; HARTMANN, I.; TAUBIN, G.; NONATO, L. **Dealing with Multiple Requirements in Geometric Arrangements.** IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v. 22 (3), 1223-1235, 2016.

NIETO, E. G.; ROMAN, F. S.; PAGLIOSA, P.; CASACA, W.; HELOU, E. S.; DE OLIVEIRA, M. C. F.; NONATO, L. **Similarity Preserving Snippet-Based Visualization of Web Search Results.** IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v. 20 (3), 457-470, 2014.

NIETO, E. M. G. **Projeção multidimensional aplicada a visualização de resultados de busca textual.** text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 30 ago, 2012.

NOVO, E. M. L. DE M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2008.

PAPPU, V.; PARDALOS, P. M. **High-Dimensional Data Classification.** In: Clusters, Orders, and Trees: Methods and Applications. Springer Optimization and Its Applications. [s.l.] Springer, New York, NY, 2014. p. 119–150.

PAULOVICH, F. V.; NONATO, L. G.; MINGHIM, R.; LEVKOWITZ, H. **Least Square Projection: A Fast High-Precision Multidimensional Projection Technique and Its Application to Document Mapping**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v. 14, n. 3, p. 564–575, jun. 2008.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da Vegetação**. Ed. São Jose dos Campos: Parentese. 2010

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. 3. ed. University of Arizona: Academic Press, 2006.

SIEDLECKI, W.; SIEDLECKA, K.; SKLANSKY, J. **An overview of mapping techniques for exploratory pattern analysis**. Pattern Recognition, v. 21, n. 5, p. 411–429, 1 jan. 1988.

SILVA, E. A. DA. **Extração de feições cartográficas de imagens multiespectrais fundidas**. Tese de Doutorado em Engenharia - São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

SILVA, E. A.; AGUIAR, T. O.; AZEVEDO, S. C.; CARDIM, G. P.; CASACA, W. C. O. **Aplicação do Índice Espectral de Vegetação (Ratio Vegetation Index) implementado no Software CARTOMORPH**. In: XVIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remoto - SELPER, Cuba, 2018.

STEINBACH, M.; ERTÖZ, L.; KUMAR, V. **The Challenges of Clustering High Dimensional Data**. In: WILLE, L. T. (Ed.). New Directions in Statistical Physics: Econophysics, Bioinformatics, and Pattern Recognition. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 273–309.

TEJADA, E.; MINGHIM, R.; NONATO, L. G. **On Improved Projection Techniques to Support Visual Exploration of Multi-Dimensional Data Sets**. Information Visualization, v. 2, n. 4, p. 218–231, 1 dez. 2003.

WAGSTAFF, K.; CARDIE, C.; ROGERS, S.; SCHROEDL, S. **Constrained K-means Clustering with Background Knowledge**. Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning. p. 577-584. 2001.