

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**RICARDO FREDDO NETO**

**CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS EM SENSORIAMENTO REMOTO:  
DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA IDENTIFICAÇÃO DE  
ÁREAS DE INCERTEZA**

**Itaqui  
2018**

**RICARDO FREDDO NETO**

**CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS EM SENSORIAMENTO REMOTO:  
DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA IDENTIFICAÇÃO DE  
ÁREAS DE INCERTEZA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Rodrigues de Vargas

Coorientador: Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass

**Itaqui  
2018**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F852c Freddo, Ricardo

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS EM SENSORIAMENTO REMOTO:  
DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA IDENTIFICAÇÃO  
DE ÁREAS DE INCERTEZA / Ricardo Freddo.

33 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA DE  
AGRIMENSURA, 2018.

"Orientação: Rogério R. de Vargas".

1. Fuzzy ckMeansImage. 2. Processamento de  
imagens. 3. Sensoriamento Remoto. I. Título.

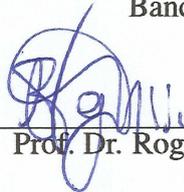
**RICARDO FREDDO NETO**

**CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS EM  
SENSORIAMENTO REMOTO: DESEN-  
VOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA  
PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE  
INCERTEZA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

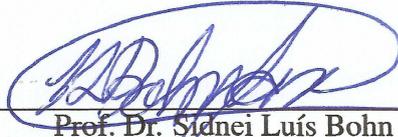
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 19 de junho de 2018.

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Rogério Rodrigues de Vargas  
Orientador



---

Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass  
Universidade Federal do Pampa



---

Prof. MSc. Leonard Niero da Silveira  
Universidade Federal do Pampa

Dedico este trabalho aos meus pais, André e Teresa, e irmãs, Francine e Letícia, que sempre estiveram ao meu lado e nunca mediram esforços para que este momento chegasse.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por toda a educação, mostrando todos os dias que o caminho correto jamais será o mais fácil e que não se deve desistir. Por sempre me apoiarem e acreditarem em mim, dando suporte para que nada me abalasse, ensinando novas lições a cada dia.

As minhas irmãs, por todas as conversas de apoio e descontração, fazendo com que os dias fossem mais fáceis. Pela incrível união, estando sempre a disposição para tudo que fosse necessário.

Ao Prof. Rogério Rodrigues de Vargas, pela amizade e por aceitar me orientar nessa etapa. Por acreditar em minha capacidade e pela ajuda em todas as dúvidas ao longo deste trabalho. Pelos inúmeros momentos de descontração, fazendo com que tudo acontecesse naturalmente.

Ao Prof. Sidnei Luís Bohn Gass, pela amizade e por aceitar coorientar este trabalho. Pela tranquilidade e paciência, contribuindo positivamente de várias maneiras para o desenvolvimento deste trabalho.

A amigos, colegas, demais professores e a todos, que de alguma forma fizeram parte desta caminhada.

Principalmente, a Deus, por tornar tudo possível.

“Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo só depende de nossa vontade e perseverança.”

— Albert Einstein

## RESUMO

O Sensoriamento Remoto fornece dados da superfície da Terra com consistência e periodicidade, podendo ser compreendido como a prática de obter informações sobre a Terra e superfícies de água usando imagens adquiridas a partir de uma perspectiva aérea, utilizando radiação eletromagnética em uma ou mais regiões do espectro eletromagnético, refletida ou emitida da superfície da Terra. No entanto, imagens de Sensoriamento Remoto necessitam passar por processamentos computacionais. Processar uma imagem é um método de transformações sucessivas que geram grupos destacados entre si a partir da detecção de padrões, permitindo obter informações com maior facilidade. Este trabalho desenvolveu uma ferramenta *web* no processo de segmentação de imagens, oferecendo a escolha de dois algoritmos de agrupamento, o Fuzzy C-Means e o Fuzzy ckMeansImage, em que o segundo, traz como grande diferencial a opção de selecionar o parâmetro  $\alpha$ -corte, determinando o grau mínimo de pertinência de cada *pixel* a seu respectivo *cluster*. Os algoritmos foram aplicados em duas imagens da mesma área, localizada na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, porém em épocas distintas (Rio Uruguai em nível normal e em período de cheia). Resultados são apresentados e discutidos ao longo do trabalho.

**Palavras-chave:** Fuzzy ckMeansImage. Processamento de imagens. Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

Remote Sensing provides Earth data with consistency and periodicity, and can be understood as a practice of obtaining information about the Earth and surface of water with the images acquired from an aerial perspective, using electromagnetic radiation in one or more of the regions of the electromagnetic spectrum, reflected or emitted of the Earth's surface. However, images of Remote Sensing require through computational processing. Process an image is a method of successive transformations that generate groups detached from each other from the detection of patterns, allowing information to be obtained more easily. This work developed a tool in process of image segmentation, offering the choice of two grouping algorithms, the Fuzzy C-Means and the Fuzzy ckMeansImage, in which the second, brings as a big differential the option of selecting the  $\alpha$ -cut parameter, determining the minimum degree of pertinence of each pixel to its respective cluster. The algorithms were applied in two images of the same area, located in the western border of the state of Rio Grande do Sul, at different times (Rio Uruguai at normal level and during flood season). The results are presented and discussed throughout the work.

**Keywords:** Fuzzy ckMeansImage. Image processing. Remote Sensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tela inicial do <i>site</i> .....	22
Figura 2: Lista de processos.....	23
Figura 3: Telas para iniciar um novo processo.....	23
Figura 4: Localização relativa da área de estudo.....	24
Figura 5: Etapas do processamento.....	25
Figura 6: Área de estudo.....	26
Figura 7: Área selecionada com o rio em nível normal.....	27
Figura 8: Área selecionada com o rio em período de cheia.....	28
Figura 9: Imagens processadas com o Algoritmo Fuzzy C-Means.....	29

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Análise da área inundada.....	28
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>15</b>
<b>3 OBJETIVO</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1 Sistemas de Informação Geográfica</b> .....	<b>18</b>
4.1.1 Sensoriamento Remoto .....	18
<b>4.2 Processamento de imagens</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3 Agrupamento de dados</b> .....	<b>19</b>
<b>4.4 Lógica fuzzy</b> .....	<b>20</b>
4.4.1 $\alpha$ -corte .....	21
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
<b>5.1 Interface web (site)</b> .....	<b>22</b>
<b>5.2 Área de estudo</b> .....	<b>24</b>
<b>5.3 Pré-processamento e pós-processamento</b> .....	<b>24</b>
<b>5.4 Algoritmos Fuzzy C-Means e Fuzzy ckMeansImage</b> .....	<b>25</b>
<b>6 RESULTADOS</b> .....	<b>26</b>
<b>6.1 Rio em nível normal</b> .....	<b>26</b>
<b>6.2 Rio em período de cheia</b> .....	<b>27</b>
<b>6.3 Análise da área inundada</b> .....	<b>28</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto fornece dados da superfície da Terra com consistência e periodicidade, obtendo dados para fins urbanos (cadastró, planejamento urbano, inferência demográfica), agrícolas (previsão de safras, erosão do solo, condição das culturas), ecológicos (regiões alagadas, florestas, oceanos), florestais (controle de desflorestamento, produção de madeira), oceanográficos (monitoramento de óleo, estudos costeiros), cartográficos (mapeamento topográfico, atualização de terra, mapeamento temático), hidrológicos (mapeamento de áreas afetadas por inundações), e muitas outras aplicações (NOVO, 2010).

Segundo Novo (2010), o Sensoriamento Remoto está dividido principalmente em dois períodos, de 1860 à 1960 o qual era baseado na utilização de fotografias aéreas, e a partir de 1960, que ficou caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores, ocorrendo avanços tecnológicos na construção de sensores, na obtenção de dados, capacidade de transmissão de informações, armazenamento e processamento, proporcionado pelo grande desenvolvimento da informática e telecomunicações.

A prática de obter informações sobre a Terra e superfícies de água usando imagens adquiridas a partir de uma perspectiva aérea, utilizando radiação eletromagnética em uma ou mais regiões do espectro eletromagnético, refletida ou emitida da superfície da Terra pode ser definida como Sensoriamento Remoto (CAMPBELL; WYNNE, 1944).

Com o vasto campo de aplicações que o Sensoriamento Remoto apresenta, tornou-se necessário armazenar esse grande número de informações geradas. Desse modo, contribuiu para o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como fonte de tecnologias e dados (MAGUIRE et al., 2013). A definição de SIG ainda é algo muito discutido, porém, segundo Silva (1999), pode ser compreendida como tecnologia que oferece as ferramentas necessárias para analisar dados espaciais, auxiliando na tomada de decisões no que se refere ao gerenciamento do espaço geográfico. Os SIG recebem apoio de vários campos do conhecimento, dentre eles a ciência da computação, gerenciamento de informações, cartografia, geodésia, fotogrametria, topografia, processamento digital de imagens e geografia (SILVA, 1999). Esta grande quantidade de dados compõe o Banco de Dados (BD).

Imagens de Sensoriamento Remoto podem ser geradas a partir de sensores imageadores acoplados em satélites ou por meio de aeronaves ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), caracterizando assim as técnicas fotogramétricas. Tais imagens, em sua forma original, muitas vezes não permitem uma análise precisa e de qualidade. Portanto, é necessário executar processamentos computacionais aplicado às imagens.

De acordo com Albuquerque e Albuquerque (2002), processar uma imagem é um método de transformações sucessivas que geram grupos destacados entre si a partir da detecção de padrões, permitindo obter informações com maior facilidade. O processamento de imagens está dividido em três categorias, que são: o realce de imagens (melhora a visualização das imagens), restauração de imagens (objetiva reconstruir imagens danificadas) e análise de imagens (extrair informações das imagens). Geralmente é preciso unir estas três categorias para que um resultado de qualidade seja obtido (BOTELHO, 2007). Na última etapa do processamento de imagens, ou seja, a análise, ocorre a busca de detalhes que formem padrões, atribuindo-lhe rótulos.

A formação dos padrões é dada pelo agrupamento de dados, no caso de imagens, o agrupamento de *pixels* semelhantes. Agrupamento de dados, geralmente se refere a uma divisão de dados dentro de grupos por técnicas simples, como por exemplo, uma imagem que pode ser separada em segmentos baseados apenas na intensidade e cor do *pixel* (TAN; STEINBACH; KUMAR, 2005). Para o processo de segmentação de imagens, neste trabalho são aplicados algoritmos *fuzzy* de agrupamento.

A lógica *fuzzy* é um instrumento capaz de encontrar soluções em problemas onde os dados de entrada são incertos e devolver conclusões convertidas em formatos numéricos, sendo esta sua principal característica e vantagem (TANSCHKEIT et al., 2007). A lógica *fuzzy* tem várias aplicações, uma delas está centrada no processamento de imagens digitais, onde é aplicada para quantificar o grau de pertinência de cada *pixel* a determinados grupos de cores predefinidos pelo usuário. A lógica *fuzzy* aplicada ao processamento de imagens digitais permite a manipulação das incertezas dos dados e sua adequada manipulação e quantificação e ainda, permite que os dados sejam combinados e se tornem um único valor final (BOAVENTURA, 2010). Segundo Zadeh (1965), o grau de pertinência pode assumir qualquer valor entre o intervalo 0 e 1, onde 1 afirma completa pertinência a um único grupo e 0 indica exclusão dos demais.

O agrupamento de dados utilizado no processamento de imagens não garante que cada *pixel* tenha pertinência confiável a um certo grupo, podendo assim, ser um *pixel* impreciso. Como método para detectar os *pixels* imprecisos, aplicou-se o conceito de  $\alpha$ -corte. A análise *fuzzy* do  $\alpha$ -corte é baseada na lógica *fuzzy* e na teoria dos conjuntos *fuzzy* introduzida por Zadeh (1965), que é amplamente utilizada na representação de dados incertos (ABEBE; GUINOT; SOLOMATINE, 2000).

Este trabalho aplica o Algoritmo Fuzzy ckMeansImage no processo de segmentação de imagens, adaptado com o parâmetro  $\alpha$ -corte, sendo que para utilização da ferramenta foi desenvolvida uma interface *web*. O capítulo 2 apresenta a justificativa para realização do trabalho.

Os objetivos são mostrados no capítulo 3. Conceitos inerentes às práticas aplicadas no trabalho são apresentadas no capítulo 4. O capítulo 5 apresenta a metodologia. Os resultados obtidos a partir dos processamentos podem ser verificados no capítulo 6, e, por fim, são apresentadas as conclusões.

## 2 JUSTIFICATIVA

Com a existência de sensores imageadores capturando praticamente tudo na superfície terrestre (por meio de satélites, aviões, VANT), o estudo dos métodos de processamento de imagens deve continuar se desenvolvendo, uma vez que torna possível a prática do Sensoriamento Remoto. Além disso, alguns órgãos como o INPE <sup>1</sup> e a USGS <sup>2</sup> disponibilizam imagens de satélites para *download*, de forma gratuita. De qualquer forma, essas imagens obtidas precisam ser processadas e analisadas para que seja possível inferir o que a área de estudo em questão apresenta (FREDDO, 2017).

Para tornar possível a análise das imagens provenientes de sensores imageadores, é necessário que processamentos sejam realizados nas imagens. Fazendo com que a prática da segmentação de imagens aplicada ao Sensoriamento Remoto permita estudos sobre a vegetação, uso e cobertura do solo, controle de inundações, controle de queimadas, entre outras aplicações.

Para a realização do processamento das imagens existem softwares comerciais como o ENVI <sup>3</sup>, TerrSet (EASTMAN, 2016) e Erdas <sup>4</sup>, tendo aplicação na visualização, exploração, análise e apresentação de dados na área do Sensoriamento Remoto/SIG. Contudo, necessitam de aquisição, por meio de compra de licença e posterior instalação, dependendo da qualidade do *hardware* e Sistema Operacional (S. O.) da máquina do usuário. Além desses, existem programas gratuitos para o mesmo fim, como no caso do Spring (CÂMARA et al., 1996). O Spring é um SIG com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta de banco de dados espaciais. Apesar de ser gratuito, esse programa requer um processo de cadastramento no *site* do INPE para que a aquisição seja possível por meio de *download*, sendo assim, necessitando de instalação pelo usuário. Desse modo, viu-se a importância e a necessidade de se disponibilizar uma ferramenta gratuita, livre e de fácil acesso (via web), que desperte o interesse de profissionais que utilizam as técnicas de Sensoriamento Remoto para inferir detalhes contidos em determinadas áreas a partir de detecção padrões.

A técnica de segmentação de imagens, dependendo das características da imagem, pode ser um processo moroso e que exige muito da capacidade do *hardware* da máquina. Além disso, as imagens geradas ficam salvas na própria máquina do usuário, consumindo espaço em disco de armazenamento. A ferramenta desenvolvida oferece um ambiente totalmente externo para execução do processamento das imagens e armazenamento dos dados gerados, que podem ser

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>.

<sup>2</sup>U. S. Geological Survey. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/>>.

<sup>3</sup>Marca registrada da empresa Hexagon Geospatial.

<sup>4</sup>Marca registrada da empresa Harris Geospatial Solutions.

acessados e efetuado *download* quantas vezes for necessário. Ressalta-se que até o momento não foram encontradas ferramentas *online* para o processamento da segmentação de imagens.

Como grande diferencial, a ferramenta oferece o parâmetro  $\alpha$ -corte, conceito que nenhum outro software para agrupamento de dados no processo de segmentação de imagens de Sensoriamento Remoto oferece. O  $\alpha$ -corte destaca os *pixels* imprecisos e dessa forma, possibilita ao especialista que analisa as imagens tirar conclusões mais precisas a cerca da área de estudo que a imagem representa. Neste trabalho desenvolveu-se a adaptação do Algoritmo Fuzzy ckMeans (VARGAS; BEDREGAL, 2010), propondo o algoritmo denominado Fuzzy ckMeansImage (VARGAS et al., 2018) a partir de uma interface *web*, de forma gratuita, sem a necessidade de ter à disposição um *hardware* de qualidade por parte do usuário.

Ao longo do curso, pesquisas sobre a temática vêm sendo realizadas em conjunto com um grupo de professores, de modo que os resultados obtidos com as publicações (VARGAS et al., 2016), (FREDDO et al., 2017a), (FREDDO et al., 2017b), (VARGAS et al., 2018) e (VARGAS et al., 2018) dão suporte para o presente trabalho.

## 3 OBJETIVO

### 3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo propor uma ferramenta para segmentação de imagens com aplicação no campo do Sensoriamento Remoto, com o parâmetro  $\alpha$ -corte. Ainda, objetiva o acesso de forma gratuita e com fácil uso, para que possa ser utilizada, especialmente em instituições de ensino e por profissionais da área de Sensoriamento Remoto.

### 3.2 Objetivos Específicos

Foram definidos os seguintes objetivos específicos para o presente trabalho:

1. Disponibilizar o Algoritmo Fuzzy C-Means via *web*;
2. Adaptar o Algoritmo Fuzzy ckMeans com  $\alpha$ -corte;
3. Utilizar o método de decomposição e recomposição de imagens nos Algoritmos Fuzzy C-Means e Fuzzy ckMeans;
4. Desenvolver um *site* para acessar a ferramenta elaborada, utilizando as linguagens de programação *web* PHP e JavaScript, linguagem de marcação de HiperTexto (HTML) e linguagem para aplicar estilos ao *site* (CSS);
5. Realizar um estudo de caso dos algoritmos aplicados (Fuzzy C-Means e Fuzzy ckMeans).

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A ferrmaneta desenvolvida utiliza algoritmos aplicados no processo de segmentação de imagens de sensoriamento remoto, que empregam lógica *fuzzy* no agrupamento dos *pixels*. O conceito de  $\alpha$ -corte está implementado no Algoritmo Fuzzy ckMeansImage.

### 4.1 Sistemas de Informação Geográfica

O Sensoriamento Remoto teve participação no desenvolvimento dos SIG, por meio do fornecimento de dados para análise. Apesar da dificuldade de definir os SIG, persistem algumas definições que podem ser destacadas.

Dueker (1979) trata os Sistemas de Informação como um caso especial, no qual o BD possui informações espacialmente distribuídas, sobre eventos ou atividades, que são representados por pontos, linhas ou polígonos (áreas). O autor, conclui que os SIG manipulam estes dados de acordo com suas representações, a fim de induzir a perguntas analíticas com o objetivo de gerar embasamento para tomada de decisões.

Segundo Ozemoy, Smith e Sicherman (1981), SIG é definido como funções automáticas que permite aos profissionais com conhecimentos avançados, armazenar, recuperar, manipular e exibir dados geograficamente localizados.

Por sua vez, Parent (1988) define SIG como um sistema que compreende dados espaciais referenciados que podem ser analisados e transformados em informações para aplicação de fins únicos. A característica principal de um SIG é analisar dados para gerar informações.

#### 4.1.1 Sensoriamento Remoto

Vários autores definem Sensoriamento Remoto de formas diferentes, algumas muito amplas, porém, segundo Elachi (1987), a definição que estreita o Sensoriamento Remoto consiste na obtenção de informações a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o rodeiam, sejam estes, eletromagnéticos, acústicos ou potenciais.

No entanto, o Sensoriamento Remoto utiliza a radiação eletromagnética por diversos fatores. O mais importante é pelo fato de a radiação eletromagnética não necessitar de um meio para se propagar, diferenciando-se dos demais campos. Desse modo, os sensores podem

ser colocados a distâncias longas dos objetos a serem medidos (por exemplo, satélites), dando sentido a palavra “remoto” (NOVO, 2010).

Segundo Novo (2010), a partir de estudos mais aprofundados, pode-se então definir sensoriamento remoto como, a utilização conjunta de sensores, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou qualquer outra plataforma, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos ou processos que ocorrem na superfície terrestre a partir da anotação e da observação das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem em suas mais diversas manifestações.

## 4.2 Processamento de imagens

As imagens fornecidas por satélites de Sensoriamento Remoto necessitam passar por análises para que informações sejam extraídas. Uma técnica que melhora a retirada de informações é o processamento de imagens, por meio do agrupamento de *pixels* semelhantes gerando padrões que dão rótulo a imagem.

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional,  $f(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais, e a amplitude de  $f$  de qualquer par de coordenadas  $(x,y)$  é chamado de intensidade ou nível de cinza da imagem em cada ponto. Quando  $x, y$ , e o valor de amplitude de  $f$  são todos finitos, então há uma imagem digital (GONZALEZ; WOODS, 2008).

Segundo Meneses e Sano (2012), o processo de segmentação de imagens agrupa os *pixels* de uma imagem em um número limitado de *clusters* que representam a superfície do mundo real, partindo de seus valores digitais. Se um *pixel* atende a determinadas características, ele é atribuído a um *cluster*. O resultado final de um processamento digital de imagens é a imagem mostrada como um mapa de *pixels*, representado por símbolos, gráficos ou cores.

## 4.3 Agrupamento de dados

A extração das informações de Sensoriamento Remoto demandam métodos e análises claras e lógicas para que possam ser aplicados a qualquer produto (MENESES; SANO, 2012). Uma das ferramentas de análise é a classificação, que pode ser compreendida como uma técnica de reconhecimento de padrões representados em uma imagem multiespectral, através do agrupamento de *pixels*, de forma que *pixels* semelhantes pertençam ao mesmo *cluster* (MELGANI; HASHEMY; TAHA, 2000).

Segundo Doni (2004), agrupamento de dados é o procedimento que separa os conjuntos de dados seguindo padrões de comportamento, tornando cada grupo semelhante a partir de algum critério. Com os padrões formados nos subconjuntos, estes podem compor novos subgrupos que possuam mais similaridade, facilitando análises. Os métodos de análises são amplamente utilizados em várias aplicações, sendo alguns o reconhecimento de padrões, análise de dados, processamento de imagens e pesquisa de mercado.

O agrupamento pode ser realizado por meio da lógica *fuzzy*, que por ter uma maior flexibilidade na formação dos grupos traz resultados mais detalhados, que se aproximam melhor dos dados reais. Segundo Kaufman e Rousseeuw (1990), o agrupamento *fuzzy* é válido pelo fato de relacionar graus de incerteza aos elementos associados a seus grupos, fazendo com que as características dos dados fiquem mais próximas da realidade.

#### **4.4 Lógica *fuzzy***

Zadeh (1965) concluiu em seu trabalho que a lógica *fuzzy* torna-se a mais adequada quando é necessário trabalhar com informações que apresentam possíveis ambiguidades ou imprecisões. Assim, é possível notar o potencial dessa metodologia para ser aplicada no âmbito do Sensoriamento Remoto.

No trabalho de Vargas, Bedregal e Dimuro (2014) aplicou-se um algoritmo *fuzzy* no processo de segmentação de imagens em que o caso de estudo foram imagens médicas, no qual resultados preliminares foram discutidos.

Em trabalhos como Sousa et al. (2008), Shen et al. (2015) e Oldeland et al. (2010) os autores trabalham com o algoritmo Fuzzy C-Means aplicado ao Sensoriamento Remoto no monitoramento da temperatura da superfície do mar para melhorar os padrões térmicos, determinação de substâncias opticamente ativas nos corpos d'água, mapeamento dos tipos de vegetação e as características em regiões semiáridas, respectivamente. Contudo, Vargas e Bedregal (2010) propõe uma nova equação matemática para calcular o grupo central do *cluster*. Para validar a proposta, os autores comparam o algoritmo proposto com o Fuzzy C-Means, discutindo que o Algoritmo Fuzzy ckMeans proposto é mais rápido que o Fuzzy C-Means.

#### 4.4.1 $\alpha$ -corte

Em muitos casos é útil considerar os elementos que possuem pelo menos um grau mínimo de pertinência, evidenciando os dados que possuem aprovação para uma determinada classe. Este conceito pode ser chamado de  $\alpha$ -corte.

Vários autores utilizam a idéia do  $\alpha$ -corte no processo de agrupamento de dados. No trabalho de Yang et al. (2008), é proposto a implementação do  $\alpha$ -corte em algoritmos *fuzzy* de agrupamento, chamado de FCMalpha. O FCMalpha gera centros para os *clusters* e cada ponto (dados) está restrito à um grau de associação aos centros, resolvendo as desvantagens do FCM.

Reznik e Stoica (1994) demonstram a aplicação do  $\alpha$ -corte no mapeamento de bordas. Os resultados mostraram que este método é mais rápido do que o método de fuzzificação convencional.

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a ferramenta desenvolvida, a área selecionada para o estudo e a obtenção das imagens, as etapas de pré-processamento e pós-processamento e os algoritmos disponíveis na ferramenta.

### 5.1 Interface *web* (*site*)

Para que fosse possível executar o processamento de imagens via *web* utilizando o Algoritmo Fuzzy ckMeansImage, tornou-se necessário desenvolver uma interface entre servidor e usuário. A ferramenta funciona partindo do princípio onde umas das partes é o cliente e outra o servidor. Segundo Curti (2004), cliente/servidor é um modelo no qual ocorre troca de serviços, gerenciados por um provedor de acessos, em que o acesso dos dados pelo usuário se dá por uma interface gráfica. A Figura 1 mostra a tela inicial do *site*.

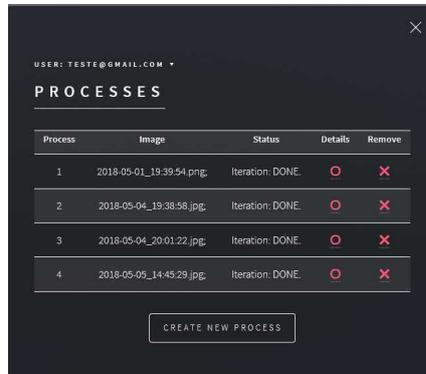
Figura 1 – Tela inicial do *site*. Fonte: O autor (2018).



O primeiro menu do *site* oferece as opções de *Intro*, *Login*, *Processes*, *About* e *Contact*. Na *Intro* é mostrado um texto conceitual da ferramenta, e apresenta ao final os trabalhos relacionados com o Algoritmo Fuzzy ckMeans e Fuzzy ckMeansImage. No *Login*, são exibidos os campos para inserir usuário (endereço de *e-mail*) e senha, oferecendo também as opções de cadastro de novo usuário e “*forgot my password*” (esqueci minha senha). Na opção *Processes*, é apresentado as imagens que estão com o processamento em andamento ou, finalizado, com opção para verificar detalhes referentes ao processamento de cada imagem, *download* e exclusão da mesma. Abaixo da lista de processos, encontra-se o botão para criar um novo processo. Ainda no *processes* (Figura 2), o usuário pode editar seus dados cadastrais e fazer *logout* da conta. No item *About* são exibidas informações técnicas a cerca do servidor e desenvolvedores.

O *Contact* é o local onde o usuário pode entrar em contato com os desenvolvedores.

Figura 2 – Lista de processos. Fonte: O autor (2018).



Process	Image	Status	Details	Remove
1	2018-05-01_19:39:54.png	Iteration: DONE	○	✖
2	2018-05-04_19:38:58.jpg	Iteration: DONE	○	✖
3	2018-05-04_20:01:22.jpg	Iteration: DONE	○	✖
4	2018-05-05_14:45:29.jpg	Iteration: DONE	○	✖

CREATE NEW PROCESS

A opção de criar um novo processo oferece a escolha de dois algoritmos para a segmentação de imagens, o Algoritmo Fuzzy ckMeansImage (Figura 3(a)) e o Fuzzy C-Means (Figura 3(b)).

Figura 3 – Telas para iniciar um novo processo. Fonte: O autor (2018).



**FUZZY CKEANSIMAGE**

SELECT IMAGE  
Browse... No file selected.

NUMBER OF CLUSTERS  
2

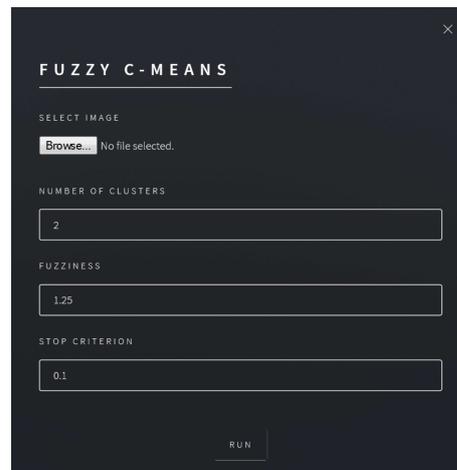
FUZZINESS  
1.25

STOP CRITERION  
0.1

ALPHA-CUT  
Don't use

RUN

(a) Tela para criar processo utilizando o Algoritmo Fuzzy ckMeansImage.



**FUZZY C-MEANS**

SELECT IMAGE  
Browse... No file selected.

NUMBER OF CLUSTERS  
2

FUZZINESS  
1.25

STOP CRITERION  
0.1

RUN

(b) Tela para criar processo utilizando o Algoritmo Fuzzy C-Means.

A Figura 3(a) apresenta, como grande diferencial, a escolha do valor que irá definir o corte para a pertinência de cada *pixel* à seu respectivo *cluster*, deixando todos os *pixels* imprecisos agrupados em um *cluster* na cor rosa.

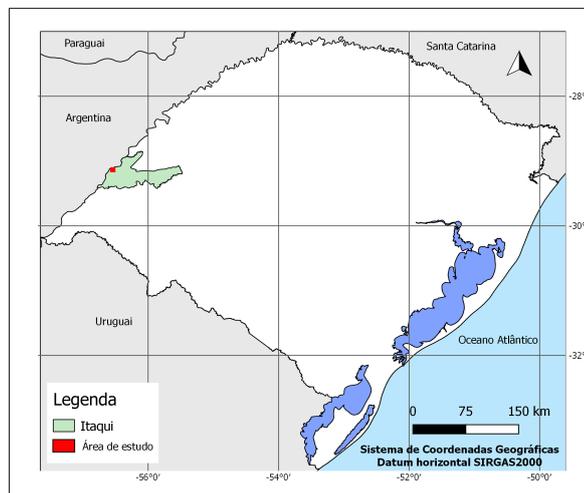
A ferramenta está disponível em <<http://labsim.unipampa.edu.br/labsim/ckMeansImage>>.

## 5.2 Área de estudo

As imagens utilizadas para o experimento são um fragmento do *tile* T21JWH do satélite Sentinel-2, datadas de 06/02/2017, quando o Rio Uruguai estava 10,96 m acima do nível normal, e 08/07/2017 quando o rio estava em seu nível normal. As imagens são compostas pelas bandas 483 (*red, infrared e green*, respectivamente) do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 m, possuindo resolução radiométrica de 12 bits por *pixel* e tempo de revisita (resolução temporal) de 5 dias com a constelação de 2 satélites Sentinel 2A e 2B, no equador. As imagens possuem uma dimensão de 660X629, totalizando 415.140 *pixels*, compondo uma área de 41,51 km<sup>2</sup>.

As imagens selecionadas para o experimento recobrem a área urbana do município de Itaqui, localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 4). A região é caracterizada por um relevo plano, e a cidade está situada entre o Rio Uruguai ao norte e o Rio Cambaí à leste. As características morfológicas da região, associada a uma grande área drenada pela bacia do Rio Uruguai, causam sucessivas inundações em Itaqui, gerando transtornos para a população. A coordenada do ponto central das imagens é dada por 29° 08' 22,81''S e 56° 32' 32,04''W.

Figura 4 – Localização relativa da área de estudo. Fonte: O autor (2018).



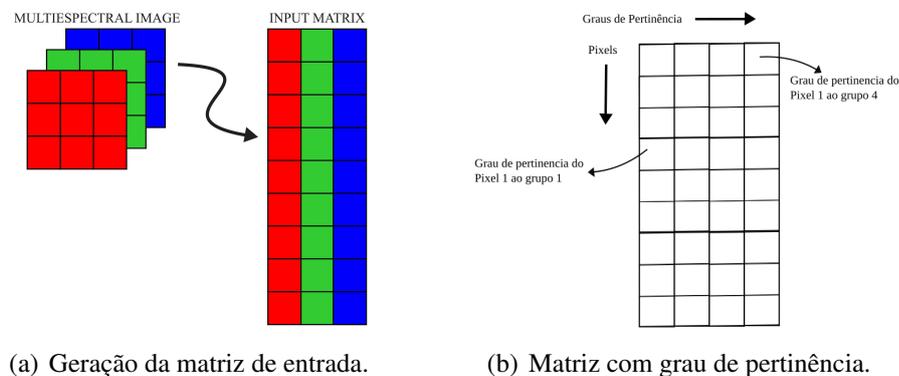
## 5.3 Pré-processamento e pós-processamento

Para que seja possível obter uma imagem final, com os *pixels* agrupados, é necessário decompor a imagem (pré-processamento), processar e remontar a imagem (pós-processamento).

Para as etapas de pré-processamento e pós-processamento, utilizou-se a biblioteca OpenCV (OPENCV, 2017). Os passos a seguir detalham as etapas desde a leitura da imagem até a finalização do processo:

1. Pré-processamento: leitura e extração do número digital da imagem (RGB(*Red*, *Green*, *Blue*));
2. Matriz de entrada: monta os números digitais da imagem em uma matriz de dimensão igual a  $n$  ( $n$  = número total de *pixels*) por 3 colunas, correspondente ao RGB (Figura 5(a));
3. Algoritmo Fuzzy ckMeans: executa o Algoritmo Fuzzy ckMeans a partir da matriz de entrada;
4. Matriz com grau de pertinência: matriz resultante com grau de pertinência para cada *pixel* da imagem, de acordo com a quantidade de *clusters* definido pelo usuário (Figura 5(b));
5. Pós-processamento: cada *pixel* recebe a cor de seu respectivo *cluster* de acordo com seu grau de pertinência, ainda, o  $\alpha$ -corte definido pelo usuário separa os *pixels* imprecisos em um *cluster* a parte, desse modo, ocorre a caracterização da imagem.

Figura 5 – Etapas do processamento. Fonte: O autor (2018).



#### 5.4 Algoritmos Fuzzy C-Means e Fuzzy ckMeansImage

Foram executados processamentos com os Algoritmos Fuzzy C-Means e Fuzzy ckMeansImage. Para cada imagem foram executados 3 processamentos, com 3, 4 e 5 *clusters*, com  $m = 1,5$  e  $\varepsilon = 0,001$ . Utilizando o Fuzzy ckMeansImage, foram utilizados valores de 0,6, 0,7 e 0,8 para o  $\alpha$ -corte. Os melhores resultados foram selecionados para serem exibidos neste trabalho.

## 6 RESULTADOS

O experimento consistiu em processar duas imagens da região definida para o estudo, uma com o rio em nível normal (Figura 6(a)) e outra em período de cheia (Figura 6(b)), utilizando o Algoritmo Fuzzy ckMeansImage para o processamento. As imagens foram processadas com 3, 4 e 5 *clusters* e o melhor resultado foi selecionado.

As imagens foram analisadas qualitativamente e quantitativamente, sendo medida suas áreas, ou seja, o tamanho do *cluster*. A área foi medida utilizando uma simples multiplicação entre o número de *pixels* em cada *cluster* e a resolução espacial (tamanho do *pixel*) da imagem.

Figura 6 – Área de estudo. Fonte: (VARGAS et al., 2018).



(a) Rio Uruguai com nível normal.

(b) Rio Uruguai em período de cheia.

### 6.1 Rio em nível normal

Com o objetivo de separar a área ocupada efetivamente por corpos d'água, a imagem processada pelo Algoritmo Fuzzy ckMeans que apresentou melhor resultado foi com 4 *clusters*, como pode ser observado na Figura 7(a). A Figura 7(b) mostra a imagem processada com  $\alpha$ -corte = 0,6.

Analisando estas imagens é possível inferir que o *cluster* azul representa regiões de corpos d'água, composta pelos rios enquadrados na área de estudo e por acumulações naturais de água, geralmente utilizadas para irrigação do cultivo de arroz.

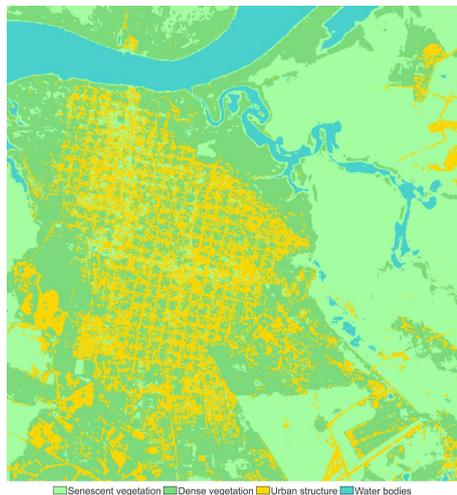
Os *pixels* com coloração verde escuro representam áreas com vegetação densa como mata ciliar, vegetação urbana, pastagens ou gramíneas com um menor acúmulo de umidade

durante o período de captura da imagem. Os *pixels* representados pela cor verde claro estão associados a áreas de menor densidade vegetativa ou vegetação senescente, ou, na maior parte, com áreas ocupadas por lavouras de arroz, que durante o período em que a imagem de satélite foi obtida apresentavam maior concentração de umidade no solo.

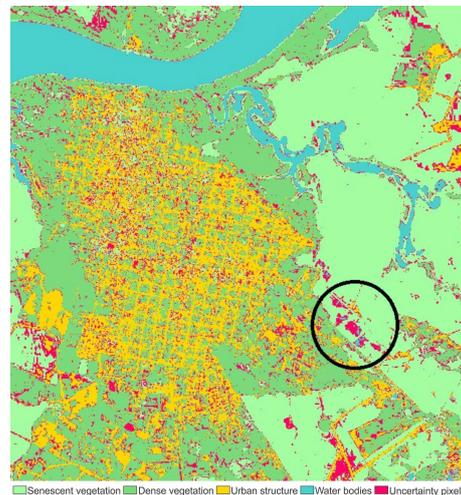
Todos os outros elementos agrupados pelos *pixels* em amarelo representam a estrutura urbana da cidade de Itaqui e outros elementos de intervenção humana como irrigação, compactação do solo e estruturas rodoviárias.

Ainda, analisando a Figura 7(a), é possível identificar áreas que foram agrupadas erroneamente, no entanto, a Figura 7(b) processada pelo Algoritmo Fuzzy ckMeansImage mostra exatamente estas regiões.

Figura 7 – Área selecionada com o rio em nível normal. Fonte: O autor (2018).



(a) Imagem processada com ckMeans.



(b) Imagem processada pelo Fuzzy ckMeansImage com  $\alpha$ -corte = 0,6.

## 6.2 Rio em período de cheia

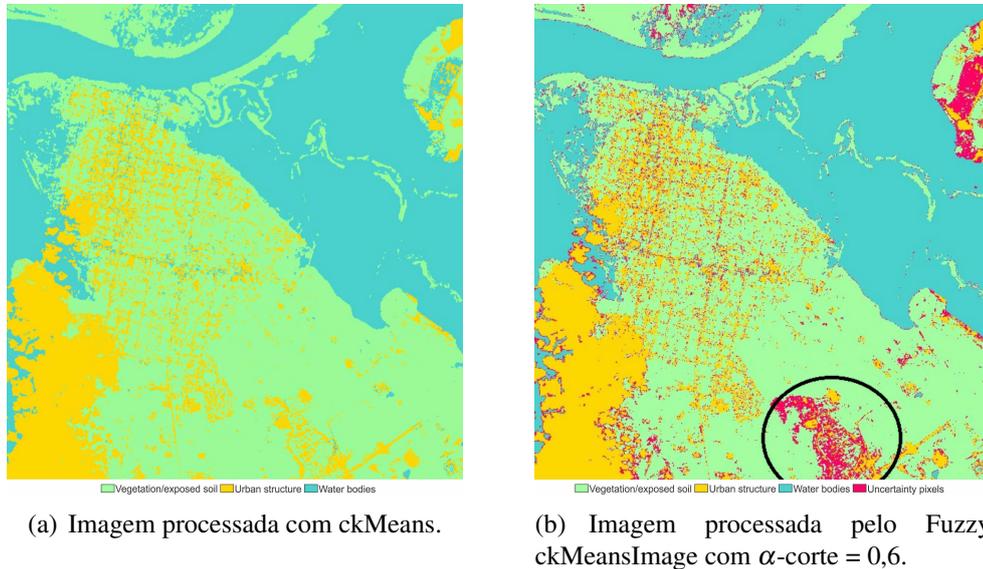
A imagem processada com o Algoritmo Fuzzy ckMeans para o período de cheia apresentou resultado satisfatório com 3 *clusters*, como pode ser observado na Figura 8(a).

Analisando a Figura 8(a) é possível inferir que os *pixels* que representam os corpos d'água estão na cor azul. Os *pixels* da imagem que representam elementos vegetativos e solo exposto estão agrupados na cor verde. Por fim, os outros elementos, estrutura urbana e nuvens estão representados com a cor amarelo.

O Algoritmo Fuzzy ckMeansImage com  $\alpha$ -corte = 0,6 destacou uma área, representada na Figura 8(b), onde os *pixels* não possuem grau de pertinência confiável. Para esta região, o

Algoritmo Fuzzy ckMeans agrupou algumas áreas como elementos vegetativos e outras como estrutura urbana.

Figura 8 – Área selecionada com o rio em período de cheia. Fonte: O autor (2018).



### 6.3 Análise da área inundada

A contagem dos *pixels* em cada *cluster* foi executada pelo Algoritmo Fuzzy ckMeansImage, tornando possível estimar a área efetivamente alagada da imagem utilizada para o experimento. Considerando a área de cada *pixel* sendo igual a  $0,0001 \text{ km}^2$  (para uma resolução espacial de  $10 \text{ m}$  da imagem), os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Análise da área inundada.

	Nº de <i>pixels</i>	Área ( $\text{km}^2$ )	%
Nível normal	34.534	3.45	8.32
Período de cheia	154.105	15.41	37.12

Fonte: O autor (2018).

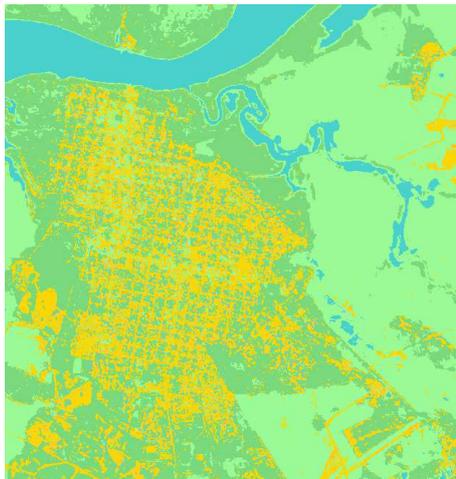
Por meio de observação da imagem processada foi possível verificar com clareza a região onde ocorreu a transição da água do rio em seu período de cheia, com maior ocorrência entre o perímetro urbano e nos campos de arroz. Entretanto, o Algoritmo Fuzzy ckMeansImage com  $\alpha$ -corte = 0,6 mostra que é necessário ter atenção ao inferir resultados, mostrando que as áreas onde o grau de pertinência é baixo, o agrupamento torna-se impreciso. O número total de *pixels* imprecisos para a imagem do rio em nível normal é de 39.759, correspondendo à 3,97

$km^2$ . Para a imagem do rio em período de cheia o número de *pixels* imprecisos foi de 25.979, representando uma área de 2,59  $km^2$ .

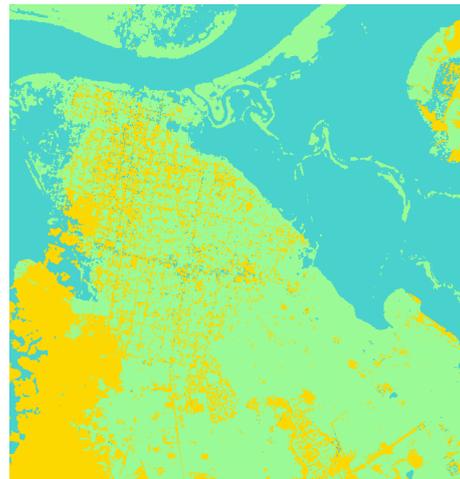
Desta forma, é possível inferir antecipadamente as áreas com potencial risco de alagamento, servindo como subsídio para órgãos públicos executarem projetos de expansão da área urbana. A negligência da observação das áreas de risco pode causar sérios problemas sociais como realocação de famílias, saneamento e infraestrutura, bem como perdas na economia. Tendo em vista que lavouras de arroz encontram-se em áreas de risco e que a prática do cultivo de arroz é a principal fonte econômica do município. Ainda, parte do comércio encontra-se na área de risco, causando redução no giro do capital.

Utilizando o Algoritmo Fuzzy C-Means as imagens resultantes não sofreram alterações significativas, entretanto, o número de iterações e o tempo de processamento foram mais elevados. Portanto não foram discutidas. As imagens para o rio em nível normal e em período de cheia são representadas pelas Figuras 9(a) e 9(b).

Figura 9 – Imagens processadas com o Algoritmo Fuzzy C-Means. Fonte: O autor (2018).



(a) Imagem processada do rio em nível normal.



(b) Imagem processada do rio em período de cheia.

## 7 CONCLUSÕES

O presente trabalho propõe o uso de uma ferramenta no processo de segmentação de imagens de Sensoriamento Remoto. Para tal, desenvolveu-se uma interface *web*, adequada para a ferramenta, oferecendo o processamento e armazenamento dos dados de forma *online* e gratuita. A ferramenta desenvolvida possibilita o uso de dois algoritmos de agrupamento de dados aplicado à imagens, oferecendo, na opção do Algoritmo Fuzzy ckMeansImage a seleção de um valor de corte para definir quando um dado (*pixel*) será impreciso.

A partir da análise das imagens, é possível verificar que o Algoritmo Fuzzy ckMeansImage se comportou de forma adequada para geração dos padrões, deixando a imagem resultante com melhor interpretação visual e facilitando a inferência das características presentes na área de estudo. Mostrou ser eficiente para o controle do fenômeno natural analisado (inundações), gerando dados importantes, como o cálculo aproximado da área inundada no período de cheia. A aplicação do parâmetro  $\alpha$ -corte facilitou a análise do especialista acerca dos detalhes presentes na imagem, permitindo identificar regiões de incerteza.

Como trabalhos futuros, pretende-se aprimorar a interface do *site*, oferecendo ao usuário a opção de mudança de cores da imagem processada. Ainda, objetiva-se aperfeiçoar o Algoritmo Fuzzy ckMeansImage no que se refere ao tempo de execução, acelerando seu processamento.

## REFERÊNCIAS

- ABEBE, A. J.; GUINOT, V.; SOLOMATINE, D. P. **Fuzzy alpha-cut vs. Monte Carlo techniques in assessing uncertainty in model parameters**. Iowa, USA, 2000.
- ALBUQUERQUE, M. P. de; ALBUQUERQUE, M. P. de. **Processamento de imagens: Métodos e análises**. 2002.
- BOAVENTURA, I. A. G. **Números Fuzzy em Processamento de Imagens Digitais e Suas Aplicações na Detecção de Bordas**. Thesis (PhD) — Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2010.
- BOTELHO, G. M. **Processamento de Imagens no Auxílio à Detecção de Câncer de Pele utilizando Redes Neurais Artificiais**. São Paulo, 2007.
- CÂMARA, G. et al. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, p. 17, 1996.
- CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to Remote Sensing**. Fifth edition. The Guilford Press, 1944.
- CURTI, J. C. **Análise de segurança em aplicações que utilizam plataformas UNIX e MS-Windows como Clientes e Servidores**. 154 p. Dissertation (Masters Thesis) — Universidade Federal de Campinas, São Paulo, August 2004.
- DONI, M. V. **Análise de cluster: Métodos Hierárquicos e de Particionamento**. 2004. Monografia (Bacharel em Sistemas de Informações), Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil.
- DUEKER, K. Land resource information systems: A review of fifteen years experience. **Geoprocessing**, n. 1, p. 105–128, 1979.
- EASTMAN, R. **TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling software**. 2016. Worcester: ClarkLabs.
- ELACHI, C. (Ed.). **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sense**. New York: Wiley, 1987.
- FREDDO, R. **Desenvolvimento de uma ferramenta web no processo de segmentação de imagens**. 2017. Monografia (Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia), UNIPAMPA (Universidade Federal do Pampa), Itaqui, Brasil.
- FREDDO, R. et al. Aplicação do algoritmo fuzzy ckmeans image para detecção de pixels não confiáveis no processo de segmentação de imagens. In: **IV Workshop-Escola de Informática Teórica**. 2017. p. 10–16.
- FREDDO, R. et al. Desenvolvimento de uma ferramenta web para a execução do algoritmo fuzzy ckmeans no processamento de imagens. **Revista Jr de Iniciação Científica em Ciências Exatas e Engenharia**, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil, v. 1, n. 15, 2017.
- GASS, S. B.; VARGAS, R.; GALAFASSI, C. Comparativo entre os algoritmos k-means e ck means para mapeamento automatizado de uso do solo. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, São Paulo, Brasil, 2017.

- GONZALEZ, R.; WOODS, R. (Ed.). **Digital Image Processing**. Pearson Prentice Hall, 2008.
- KAUFMAN, L.; ROUSSEEUW, P. (Ed.). **Finding groups in data: an introduction to cluster analysis**. New York: Wiley, 1990.
- MAGUIRE, D. et al. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. BOOKMAN COMPANHIA ED, 2013. ISBN 9788565837699.
- MELGANI, F.; HASHEMY, B. A.; TAHA, S. An explicit fuzzy supervised classification method for multispectral remote sensing images. *geoscience and remote sensing*. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, n. 1, p. 287–295, 2000.
- MENESES, R.; SANO, E. **Classificação pixel a pixel de imagens**. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: UnB/Cnpq, 2012.
- NOVO, E. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. Blucher, 2010. ISBN 9788521205401.
- OLDELAND, J. et al. Combining vegetation indices, constrained ordination and fuzzy classification for mapping seminatural vegetation units from hyperspectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 1155–1166, 2010.
- OPENCV. **Open Source Computer Vision Library**. 2017. Available from Internet: <<http://opencv.org/>>.
- OZEMOY, V.; SMITH, D.; SICHERMAN, A. Evaluating computerized geographic information systems using decision analysis. **Interfaces**, n. 11, p. 92–98, 1981.
- PARENT, P. J. **Geographic Information Systems: Evolution Academic Involvement and Issues Arising from Proliferation of Information**. 1988.
- REZNIK, L.; STOICA, A. Mapping alpha-cut borders: classification and pid realization. In: **Proceedings of 1994 IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference**. 1994. p. 1604–1607 vol.3.
- SHEN, Q. et al. Classification of several optically complex waters in china using in situ remote sensing reflectance. **Remote Sens.**, 2015.
- SILVA, A. de B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Editora Unicamp, 1999. ISBN 9788526804937.
- SOUSA, F. M. et al. Identification of upwelling areas on sea surface temperature images using fuzzy clustering. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, 2008.
- TAN, P.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Cluster Analysis: Basic Concepts and Algorithms**. 2005. 487-568 p.
- TANSCHKEIT, R. et al. (Ed.). **Enciclopédia de Automática: Controle e Automação. Modelagem e controle nebuloso**. Blucher, 2007. 283-324 p.
- VARGAS, R. de et al. Fuzzy algorithm applied to flood monitoring. In: **26th Geographic Information Science Research - UK**. 2018.

VARGAS, R. de et al. Algoritmo ckmeans aplicado ao sensoriamento remoto. In: **XXXVI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional**. São Carlos, São Paulo, Brasil, 2016. p. 1–6.

VARGAS, R. R. de; BEDREGAL, B. R. C. A comparative study between fuzzy c-means and ckmeans algorithms. In: **2010 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society**. Toronto, Canada, 2010. p. 1–6.

VARGAS, R. R. de; BEDREGAL, B. R. C.; DIMURO, G. Using ckmeans algorithm in image segmentation process: Preliminary results on mammography analysis. In: **Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional**. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 2014.

VARGAS, R. R. de et al. Identifying pixels classified uncertainties ckmeans image algorithm. In: MEDINA, J. et al. (Ed.). **Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 429–440.

YANG, M.-S. et al. Alpha-cut implemented fuzzy clustering algorithms and switching regressions. **Trans. Sys. Man Cyber. Part B**, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 38, n. 3, p. 588–603, 2008.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.