

Análise Automática do Uso do Solo no Entorno de Rodovias Usando uma Abordagem *Fuzzy*

L. R. MARINS ZURSSA^{1*} e A. C. G. MARTINS²

Recebido em 11 de fevereiro de 2021 / Aceito em 21 de janeiro de 2022

RESUMO. A extensão da malha rodoviária brasileira tanto em pistas simples quanto em pistas duplas ou alargamento de rodovias, tem aumentado significativamente junto ao crescimento populacional, e os impactos causados em função das construções e reformas vêm sendo constantemente discutidos sob o ponto de vista de suas consequências ambientais. Rodovias nunca deixarão de existir, tampouco novas construções, contudo, a implantação de medidas de controle e monitoramento ambiental podem reduzir os impactos negativos evitando danos irreversíveis ao meio ambiente. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia para classificação de regiões em imagens do entorno de rodovias com base em Processamento Digital de Imagens (PDI) e Lógica *Fuzzy* a partir do uso dos descritores de cor e textura que melhor caracterizam os variados tipos de cobertura do solo. Para isso foram extraídas 600 amostras (recortes de imagens) de dimensões 29×29 pixels do entorno da rodovia Raposo Tavares, sendo 100 amostras para cada grupo de cobertura do solo considerados neste trabalho: residências, indústrias, rodovias, solo exposto, vegetação rasteira (gramíneas) e vegetação arbórea (matas). A partir dessas amostras foi construído um SIF (Sistema de Inferência *Fuzzy*) para classificação dos tipos de cobertura do solo. Ao se aplicar este sistema nas 600 amostras obteve-se uma matriz de confusão dos resultados e um índice *kappa* igual a 0,9197, que mostra a eficiência da metodologia desenvolvida.

Palavras-chave: rodovia, cor e textura, *fuzzy*, Mamdani, classificação e segmentação.

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 1940, a evolução da malha rodoviária brasileira foi motivada pelo PRN 2000 (Plano Rodoviário Nacional), que previa 27 diretrizes principais distribuídas em seis rodovias longitudinais, 15 transversais e seis ligações, totalizando na época, 35.574 km, os quais receberam o símbolo BR de acordo com o Ministério da Infraestrutura - Governo Federal [4].

*Autor correspondente: Lazaro Rodrigo de Marins Zurssa – E-mail: lazarodrigo@gmail.com

¹Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, UNESP, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Instituto de Ciências e Tecnologia, Câmpus de Sorocaba, Av. Três de Março, 511, Alto da Boa Vista, 18087-180 Sorocaba, SP, Brasil – E-mail: lazarodrigo@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-5043-6975>

²UNESP, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Instituto de Ciências e Tecnologia, Câmpus de Sorocaba, Av. Três de Março, 511, Alto da Boa Vista, 18087-180 Sorocaba, SP, Brasil – E-mail: antonio.martins@unesp.br <https://orcid.org/0000-0002-7683-8729>

O Brasil ocupa a 4ª posição dentre os países que possuem as maiores extensões rodoviárias do mundo, ficando atrás apenas dos EUA, China e Índia, respectivamente [6,7]. A Figura 1 apresenta a evolução total por ano da malha brasileira de 1955 a 2018 e tendo sido construído a partir de dados do Ministério dos Transportes: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, antes denominada Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes (GEIPOT) nos Anuários Estatísticos: 1970-1976, 1978, 1982 e 1985 [11, 15] e do Anuário CNT (Confederação Nacional do Transporte) de Transportes: Estatísticas Consolidadas [3].

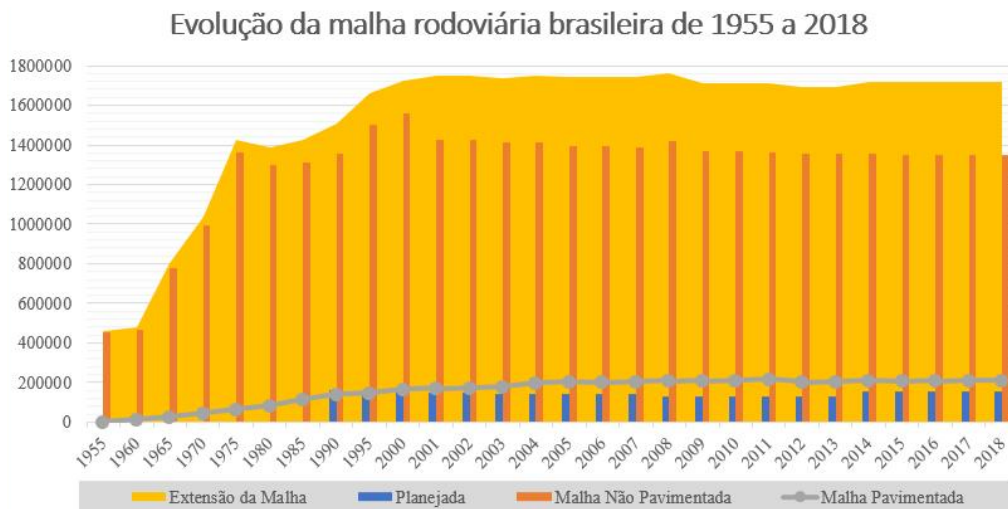


Figura 1: Evolução total da malha rodoviária brasileira de 1955 a 2018.

Iniciando na fase de planejamento, continuando na fase de implantação até a fase operacional, essas construções representam uma barreira permanente para o processo de evolução natural e a avaliação desses impactos ambientais deveria ocorrer de forma continuada, mas nem sempre é o que ocorre no Brasil, principalmente devido a grande quantidade de informação a ser analisada em um único trecho de uma rodovia. Assim, quanto mais automático for este processo de análise, maior será a eficácia do especialista ambiental na realização de avaliações, aplicações e verificações de modelos e desenvolvimento de políticas de mitigação e conservação do meio [9, 10, 20, 22].

Porém, o aumento nas construções de rodovias tanto em pistas simples como duplicações e alargamentos criam, como já mencionados neste trabalho, modificações profundas nos meios físicos, bióticos e antrópicos acarretando sérias consequências negativas para o meio. Uma dessas consequências relacionadas foi o uso e a ocupação do solo no entorno das rodovias, o que torna extremamente importante uma análise detalhada sobre sua evolução.

Rodovias nunca deixarão de existir, tampouco novas construções e reformas, mas os impactos devem ser acompanhados e a implantação de medidas de controle e monitoramento ambien-

tal podem reduzir ou mitigar grande parte dos impactos negativos e potencializar os positivos, medidas estas fundamentais para evitar danos irreversíveis ao meio ambiente [21].

Uma forma de se agilizar o processo de análise da variação do uso e ocupação do solo no entorno de rodovias é utilizando técnicas e Processamento Digital de Imagens (PDI) e Inteligência Artificial (IA).

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar uma nova metodologia de classificação de regiões em imagens no entorno de rodovias usando conceitos de PDI e Lógica *Fuzzy* ao utilizar descritores de cor e textura e a análise automática utilizando um Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF) pelo método de Mamdani.

2 TRABALHOS CORRELACIONADOS

2.1 Construções de rodovias x Impactos ambientais

As construções de rodovias, apesar de serem importantes para o deslocamento de pessoas e materiais, levam a alterações das áreas próximas acarretando o aumento dos riscos para a preservação dos recursos naturais, bem como a degradação ambiental [5].

Para Gomes *et al.* [12], a construção ou ampliação de uma infraestrutura rodoviária implica na geração de vários impactos negativos para o meio biótico como, por exemplo, afugentamento da fauna e interferência de ruídos e vibrações, pisoteamento de flora e invertebrados, aumento do efeito de borda e do nível de fragmentação do habitat, alteração da dinâmica das águas superficiais e profundas, intervenção em áreas de preservação e unidades de conservação, risco de supressão das espécies ameaçadas de extinção, alteração no nível de risco em ocorrência de incêndios florestais, alteração na ecologia da fauna aquática, redução da cobertura vegetal e atropelamento de fauna, variando em natureza, influência, dimensão, prazo, ciclicidade e reversibilidade.

Salomão *et al.* [26] caracterizam os impactos negativos causados pelas construções e pavimentações de rodovias como enormes e catastróficas, uma vez que podem se estender por tempo indeterminado pelo período de operação da rodovia. Dentre os impactos relacionados, os autores citam: aumento do tráfego de veículos pesados afetando a estrutura das residências, aumento de ruídos e acidentes causados por veículos, aglomerações de casas e barracos nas margens das pistas, a retirada da vegetação local levando à extinção da fauna e a modificação do ecossistema e acidentes com animais.

Panazzolo *et al.* [21] desenvolveram um trabalho de estudo de caso sobre os impactos ambientais causados pelas construções e pavimentações de rodovias. Em suas análises na rodovia BR-448 foram constatados os impactos nos meios físicos como erosão, assoreamento e inundação, modificação dos parâmetros físicos e químicos do solo e da superfície geomorfológica, contaminação do solo e alteração na qualidade das águas subterrâneas e superficiais; nos meios bióticos como proliferação de vetores e reservatórios de zoonoses e doenças relacionadas, supressão da vegetação e de ambientes terrestres e transitórios, criação de barreiras ao

deslocamento de animais, afugentamento da fauna e deposição de resíduos sólidos às margens da rodovia e por fim, no meio antrópico como interferência no fluxo de veículos e pedestres e modificação da malha viária, redução de áreas produtivas, alteração de sítios arqueológicos e acidentes.

2.2 Processamento Digital de Imagem e Lógica Fuzzy

Considerando-se a complexidade em analisar imagens aéreas devido à imensa quantidade de detalhes, tamanho, formato e não homogeneidade das regiões, a classificação de cada pixel não depende somente de suas características, mas também dos pixels vizinhos. Assim, deve-se buscar parâmetros que possam caracterizar cada tipo de ocupação do solo, como a cor e textura [13].

Além disto, o uso de uma classificação que leve em consideração os conhecimentos de um especialista bem como possibilite associar graus de aderências às várias classes para que se determine a posteriori a classificação final, seria uma abordagem importante para se obter resultados mais próximos dos obtidos pela avaliação humana. O uso de uma abordagem *fuzzy* permite que se implemente tal sistema de classificação [1, 17, 19].

Porém, na literatura existe um número relativamente baixo de trabalhos que utilizam Sistema de Inferência *Fuzzy*, principalmente o método de Mamdani associado ao processamento de imagens. Dentre eles, pode-se destacar os trabalhos de Moallen [18], Ramos [24], Boaventura [2] and Ranjbar *et al.* [25].

Morais, Peres e Martins [19] fizeram um trabalho exploratório que foi apresentado em um congresso, analisando preliminarmente as possibilidades de classificação por meio de lógica *fuzzy* utilizando o método de Mamdani. Em seus estudos, trabalharam somente com dois descritores simples de textura (Contraste e Homogeneidade) e três simples de cor (Matiz, Saturação e Intensidade). Este trabalho, aprofundou o tema, fazendo diversas análises com outros descritores de diversos modelos de cor, melhorando o resultado de classificação e utilizando descritores compostos, além de obter uma avaliação quantitativa com a construção da matriz de confusão e o cálculo do índice *kappa*.

Arantes e Martins [1] apresentam um método de segmentação híbrido usando lógica clássica e lógica *fuzzy*, com metodologia baseada na técnica de crescimento de regiões onde a lógica clássica determina a região original de interesse e a lógica difusa realiza a segmentação geral de todas as feições que se assemelham à região de interesse de acordo com o critério de similaridade predeterminado por uma função de associação.

Siebra [27] propõe um modelo de segmentação de imagens coloridas com características texturais usando uma abordagem *fuzzy* que é feito através da redução de dimensionalidade dos histogramas das imagens coloridas e do uso da Divergência *Skew* no cálculo das funções *fuzzy*. Para o autor, é um método adequado para ser aplicado em imagens geológicas, dermatoscópicas e imagens naturais, como as que apresentam montanhas, rochas, gramas e florestas.

Vale [29] apresenta uma técnica de segmentação e classificação de imagens usando uma abordagem *fuzzy* pelo método de Mamdani. O método é realizado em imagens microscópicas de esfregaços por dois Sistemas de Inferência *Fuzzy*. O SIF I realiza a segmentação da imagem em quatro regiões (núcleo e citoplasma leucocitário, eritrócitos e área de plasma) e o SIF II classifica os leucócitos segmentados em cinco tipos (basófilos, eosinófilos, linfócitos, monócitos e neutrófilos).

Contudo, nas pesquisas realizadas na literatura, além do estudo inicial de Moraes, Peres e Martins [19], não foram encontrados outros trabalhos de segmentação e classificação de imagens utilizando técnicas de lógica *fuzzy* pelo método de Mamdani baseando-se nos descritores de cor e textura aplicados na análise de imagens aéreas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para se atingir os objetivos propostos neste trabalho, selecionou-se um banco de imagens, um conjunto de descritores, um modelo de Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF), e foram realizados diversos experimentos com o objetivo de relacionar e identificar o melhor resultado de classificação dos pixels para posterior segmentação das respectivas áreas. A Figura 2 mostra o diagrama de blocos do método proposto para a extração de descritores e classificação de regiões em imagens no entorno das rodovias, cujas etapas estão detalhadas nas seções posteriores.

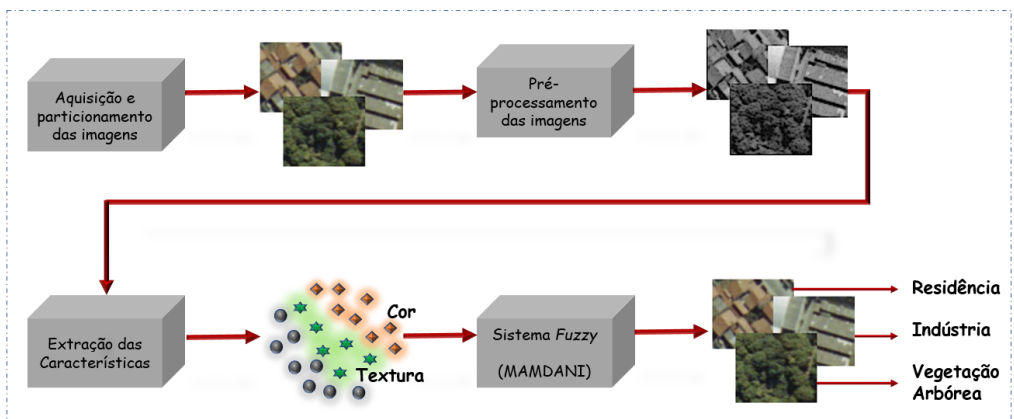


Figura 2: Etapas realizadas no processo de classificação das coberturas terrestres.

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se um conjunto de imagens aéreas com dimensões 8418×8443 pixels salvas em arquivos de 203 MB no formato “*tif*”. Definida a região de interesse (do quilômetro 90 ao 100) do entorno da Rodovia Raposo Tavares fez-se recortes de 10 sub-imagens (regiões) de dimensões 1366×619 pixels com 2,41 MB e salvos em formato “*bmp*”. A Figura 3 mostra dois exemplos destas imagens.



Figura 3: Recortes utilizados neste trabalho.

Na etapa seguinte foi realizado um levantamento sobre os diversos tipos de cobertura do solo no entorno da rodovia (regiões selecionadas) identificando e caracterizando as áreas, sendo que para os resultados apresentados neste trabalho, foram consideradas as seguintes categorias: Residencial, Industrial, Rodovia, Solo Exposto, Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira como mostrados na Figura 4.

Para compor o banco¹ de imagens coletou-se, aleatoriamente das coberturas terrestres estudadas, 600 amostras de texturas com dimensões 29×29 pixels, sendo 100 de cada tipo considerado (ver Figura 5 para alguns exemplos).

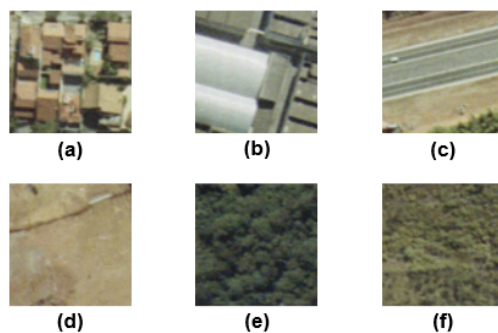


Figura 4: Tipos de cobertura do solo: (a) Residencial, (b) Industrial, (c) Rodovia, (d) Solo Exposto, (e) Vegetação Arbórea, (f) Vegetação Rasteira.

3.2 Métodos

Com técnicas de Processamento Digital de Imagens e Sistema de Inferência *Fuzzy* desenvolveu-se um algoritmo para classificação das regiões no entorno das rodovias com o objetivo de identificar os diversos tipos de cobertura do solo utilizando descritores de cor e textura.

¹Base de dados disponibilizada em plataforma da Universidade. Além disto, a mesma pode ser obtida por solicitação direta aos autores.

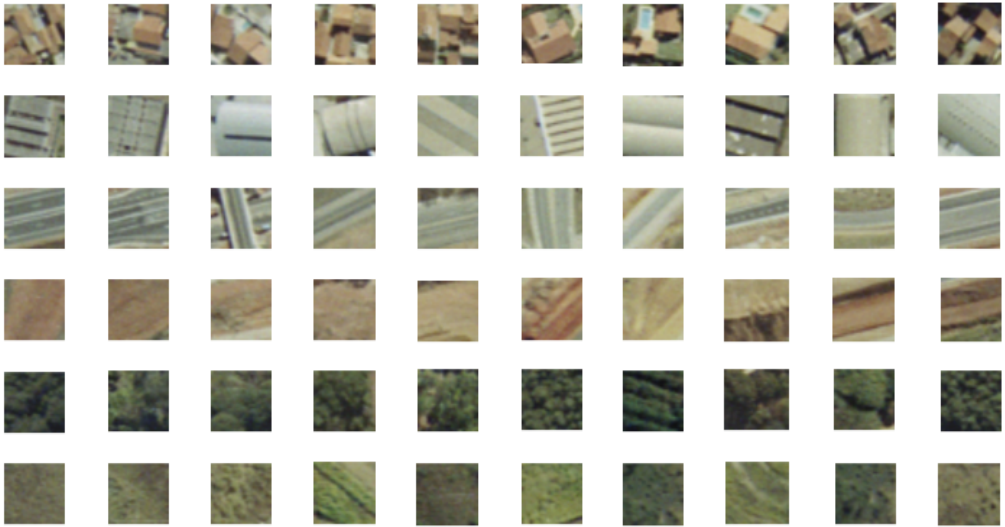


Figura 5: Alguns recortes (amostras) do banco de imagens.

3.2.1 Pré-processamento das imagens

Em uma etapa de pré-processamento fez-se a análise nos canais R , G e B da imagem. O canal B não apresentou bons resultados, o que motivou desenvolver o trabalho apenas com os canais R e G , aplicando a diferença entre ambos ($R - G$) [8]. Foi realizado a aplicação de três filtros de suavização nos canais R , G e B das imagens consideradas: filtragem pela média, mediana e gaussiana [13]. Para o presente trabalho a filtragem pela mediana superou as principais limitações dos demais filtros. Solomon e Breckon [28] afirmam que este filtro se destaca por sua eficácia na preservação de detalhes finos de alta frequência, como bordas e contornos durante a eliminação de ruídos, principalmente isolados.

3.2.2 Descritores de Cor

Para o presente trabalho procurou-se utilizar os modelos de cor mais usados na literatura.

Na extração dos atributos de cor, o espaço RGB foi convertido para os modelos HSV , HSI , LAB , $NTSC$, XYZ , CMY e $YCBCR$ [23]. Cada canal de cor foi separado para uma análise exaustiva de suas características e aplicados, em cada um, a média aritmética, o desvio padrão, a soma acumulada e o desvio médio absoluto (ver exemplo desta aplicação no canal I do espaço HSI na Figura 6). Por meio dos gráficos de dispersões foi possível observar que os canais H e V do espaço HSV , H e I do espaço HSI e I do espaço YIQ ($NTSC$) melhor definem os grupos de cobertura do solo. Para os descritores $D4$ e $D5$ foi necessário a manipulação de dois e três canais de cores, respectivamente, sendo que $D4$ diferencia indústrias de rodovias e $D5$ separa o grupo residencial de rodovias, solo exposto e vegetação rasteira.



Figura 6: Exemplo do calculo da Intensidade em área de Vegetação Arbórea (Canal I do modelo de cor HSI).

Tais análises resultaram nos seguintes descritores:

$$D1 = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M I_{ij} \tag{3.1}$$

$$D2 = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \Gamma_j[\Gamma_i[V_{ij}]] \tag{3.2}$$

$$D3 = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{(Z_{ij} - \mu_Z)^2}{N \cdot M}} \tag{3.3}$$

$$D4 = 2\Delta_j[\Delta_i[H_{ij}]] - 3\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{(\zeta_{ij} - \mu_\zeta)^2}{N \cdot M}} \tag{3.4}$$

$$D5 = 5\Delta_j[\Delta_i[b_{ij}]] - 2\Delta_j[\Delta_i[H_{ij}]] + \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{(I_{ij} - \mu_I)^2}{N \cdot M}} \tag{3.5}$$

onde:

I_{ij} é o valor do canal I do sistema HSI do pixel ij ,

N e M são o número de linhas e colunas na imagem,

V_{ij} é o valor do canal V do sistema HSV do pixel ij ,

$\Gamma_i[]$ é operador soma acumulada das colunas de uma matriz,

$\Gamma_j[]$ é operador soma acumulada de um vetor,

Z_{ij} é o valor do canal Z do sistema XYZ do pixel ij ,

μ_Z é a média dos valores do canal Z do sistema XYZ da imagem,

$\Delta_i[H_{ij}]$ é o desvio absoluto médio na coluna j da componente H do sistema HSI da imagem dada por:

$$\Delta_i[H_{ij}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_{ij} - m_i| \tag{3.6}$$

sendo m_i o valor da média do canal H do sistema HSI na linha j da imagem,

$\Delta_j[]$ é o desvio absoluto médio de um vetor,

ζ é o valor do canal I do sistema YIQ do pixel ij ,

μ_ζ é a média dos valores do canal I do sistema YIQ da imagem,

b_{ij} é o valor do canal H do sistema HSV do pixel ij ,
 μ_I é a média dos valores do canal I do sistema HSI da imagem.

Para se buscar correlações entre os descritores, foram construídos gráficos de dispersão entre pares, como mostrado na Figura 7, onde é possível observar que os descritores $D1$ e $D3$ definem bem os grupos de Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira. Já as áreas Residencial, Solo Exposto e Industrial, embora apresentem boa definição, ainda possuem regiões de superposições. As áreas Industriais não estão definidas, ficando misturada com as demais. Esta análise permitiu que fossem obtidas as regras na etapa de construção do sistema *fuzzy*, a ser apresentada a frente.

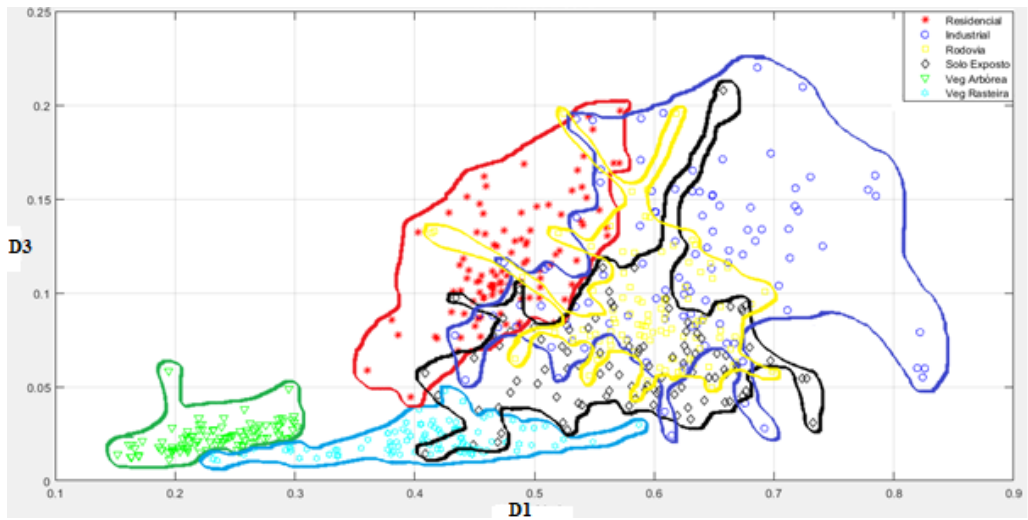


Figura 7: Gráfico de dispersão de $D1$ e $D3$.

3.2.3 Descritores de Textura

Para as características de textura, fez-se uma análise nos descritores de contraste, energia, homogeneidade e correlação obtidos a partir das matrizes de coocorrências com base na metodologia apresentada por Haralick [14]. Como as matrizes de coocorrências podem ser calculados em quatro orientações (0° , 45° , 90° e 135°), fez-se a média aritmética desses parâmetros (ver metodologia em Figura 8) para o cálculo dos quatro descritores mencionados, dos quais selecionou-se os descritores $D6$ (média do contraste nas quatro orientações) e $D7$ (a média da energia nas quatro orientações). A escolha desses descritores foi feita através de análise visual nos gráficos de dispersão como é mostrado um exemplo na Figura 9.

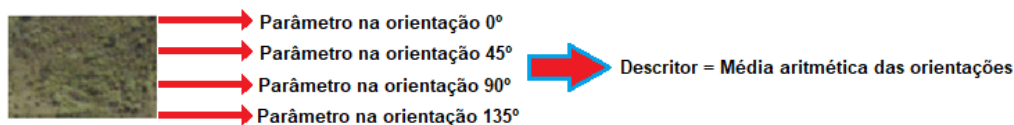


Figura 8: Cálculo dos parâmetros $D6$ e $D7$.

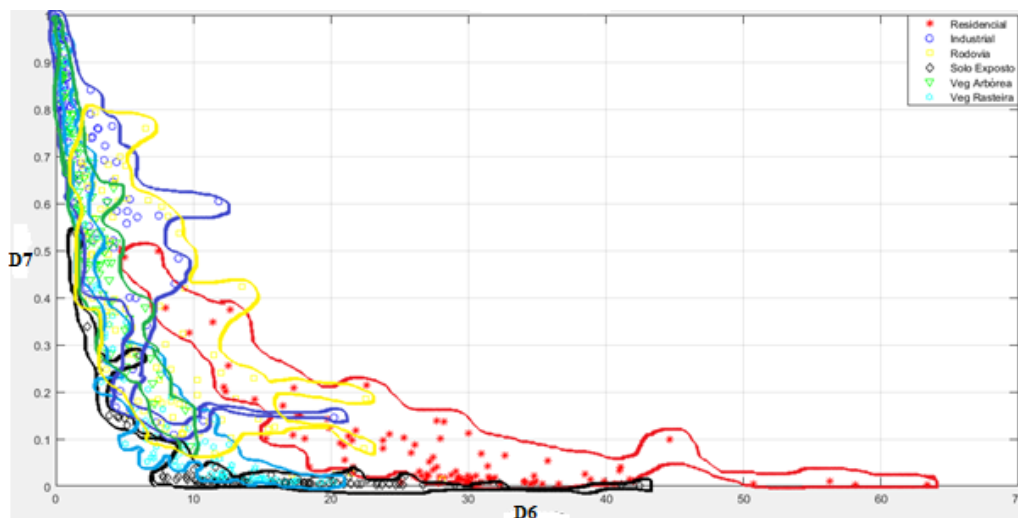


Figura 9: Gráfico de dispersão de $D6$ e $D7$.

3.2.4 Construção do Sistema de Inferência Fuzzy (SIF)

Como é possível observar nas Figuras 5 e 7, alguns grupos de Cobertura do Solo estão bem definidos, enquanto outros não. Considerando as superposições dos valores dos descritores para os grupos sendo tratados foi construído um SIF para se implementar o processo de classificação de cada uma das 600 imagens do banco. Os grupos de descritores de cor e textura formam as variáveis de entrada do sistema, pelo método de Mamdani, que retorna o tipo de cobertura do solo como variável de saída, a partir da defuzzificação pela média dos máximos.

O conjunto de Base de Regras utilizado é controlado pelo método de Mamdani (*min* no modo de implementação do operador *and* e *max* na agregação) com funções de pertinência trapezoidais (por ser uma das mais comuns na literatura) e composto por 60 regras do tipo “Se ($D1$ é Alto) e ($D2$ é Alto) e ($D3$ é Baixo) e ($D4$ é Baixo) e ($D5$ é Alto) e ($D6$ é Alto) e ($D7$ é Baixo) então (Cobertura do Solo é Residencial)”. Regras estas que foram construídas de acordo com a inspeção visual dos gráficos de dispersão construídos. Vale ressaltar que o ponto de intersecção entre Baixo e Alto para cada descritor foi feito de modo que melhor separe os grupos de Cobertura do Solo, como por exemplo, o descritor $D6$ separa o grupo Residencial ($D6$ maior que dez) dos grupos Industrial e Vegetação Arbórea ($D6$ menores que dez). Alguns grupos de Cobertura do Solo apresentaram descritores com valores Baixo e Alto (ver Tabela 1).

O conjunto de Saída classifica cada imagem quanto ao Tipo de Cobertura do Solo em Residencial, Industrial, Rodovia, Solo Exposto, Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira, ou seja, é realizado a leitura da imagem identificando os níveis (baixo/Alto) dos descritores de cor e textura e classificando o grupo ao qual pertence.

Tabela 1: Classificação (Alto/Baixo) dos tipos de Cobertura do Solo em relação aos Descritores.

Cobertura do Solo	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D3</i>	<i>D4</i>	<i>D5</i>	<i>D6</i>	<i>D7</i>
Residencial	Alto	Alto	Alto Baixo	Alto Baixo	Alto	Alto	Alto Baixo
Industrial	Alto	Alto	Alto Baixo	Alto	Alto Baixo	Baixo	Alto
Rodovia	Alto	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Alto Baixo	Alto
Solo Exposto	Alto	Alto Baixo	Alto	Alto Baixo	Baixo	Alto Baixo	Baixo
Veg. Arbórea	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	Alto Baixo	Baixo	Alto
Veg. Rasteira	Alto Baixo	Baixo	Baixo	Alto Baixo	Baixo	Alto Baixo	Alto

3.2.5 Classificação

Como foi mencionado na Seção 2.2.4, o SIF (na fase de construção) faz a leitura e o pré-processamento dos recortes com tamanho 29×29 pixels, analisa os descritores de cor e textura, identifica o intervalo a que pertence e classifica o tipo de cobertura de cada uma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cobertura e Descritores

Conforme metodologia apresentada, analisou-se seis tipos diferentes de Cobertura do Solo do entorno da rodovia Raposo Tavares: Residencial, Industrial, Rodovia, Solo Exposto, Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira. Após coletados 600 amostras de pequenas imagens com dimensões 29×29 pixels trabalhou-se com os cinco descritores de cor (*D1*, *D2*, *D3*, *D4* e *D5*) e dois de textura (*D6* e *D7*). O tamanho da janela foi escolhido de modo que não perca as características de cor ou de textura, ou seja, janelas muito pequenas interferem na textura e se muito grandes distorcem os resultados de cor. Com base em testes realizados com outros tamanhos de janelas, obteve-se resultados parecidos para janelas de tamanhos próximos e distorcidos para tamanhos distantes. Na Tabela 2 é apresentado o resultado em intervalos desses descritores em

relação às coberturas terrestres. Como exemplo, tem-se o grupo Residencial com valores de $D6$ variando entre 5,02 e 63,35. O mesmo raciocínio se aplica aos demais descritores.

A partir desses dados criou-se os conjuntos de pertinência para o Sistema de Inferência *Fuzzy* apresentados na próxima Seção.

Tabela 2: Intervalo de valores dos Descritores em cada Cobertura do Solo. RE = Residencial - IN = Industrial - RO = Rodovia - SE = Solo Exposto - VA = Vegetação Arbórea - VR = Vegetação Rasteira.

Cobertura do Solo	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	$D5$	$D6$	$D7$
RE	[0,36; 0,58]	[0,04; 0,20]	[0,40; 0,64]	[-0,08; 0,08]	[0,14; 0,39]	[5,02; 63,35]	[0,00; 0,50]
IN	[0,43; 0,83]	[0,02; 0,22]	[0,46; 0,85]	[-0,02; 0,10]	[0,02; 0,34]	[0,00; 20,21]	[0,10; 1,00]
RO	[0,41; 0,70]	[0,04; 0,20]	[0,44; 0,74]	[-0,09; 0,10]	[0,04; 0,37]	[0,38; 28,06]	[0,01; 0,87]
SE	[0,40; 0,74]	[0,01; 0,21]	[0,47; 0,77]	[-0,08; 0,03]	[0,02; 0,31]	[1,45; 42,45]	[0,00; 0,54]
VA	[0,15; 0,31]	[0,01; 0,06]	[0,16; 0,35]	[-0,01; 0,12]	[0,08; 0,30]	[0,03; 9,79]	[0,08; 0,99]
VR	[0,23; 0,59]	[0,01; 0,05]	[0,25; 0,66]	[-0,04; 0,13]	[0,02; 0,27]	[0,06; 20,17]	[0,00; 0,95]

4.2 SIF

As análises anteriores serviram de base para a construção do modelo SIF composto por 60 regras. Os cinco descritores de cor e os dois de textura formam as sete variáveis de entrada do sistema, pelo método de Mamdani, que retorna o tipo de cobertura do solo como variável de saída, a partir da defuzzificação pela média dos máximos. As funções de pertinência utilizadas para cada variável de entrada e seus domínios estão ilustradas, respectivamente, nas Figuras 10, 11, 12 e 13. A variável de saída do SIF fornece o tipo de cobertura do solo, ilustrado na Figura 14 e o domínio para cada grupo.

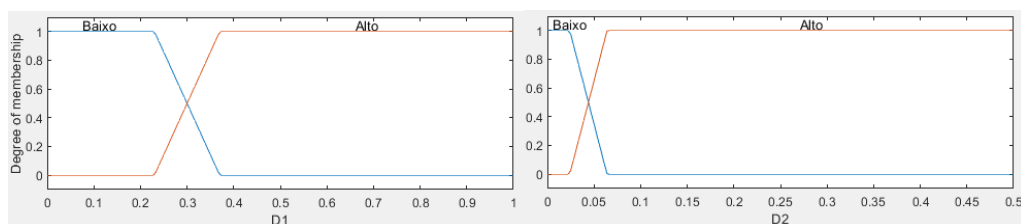


Figura 10: Funções de pertinência para as variáveis $D1$ e $D2$.

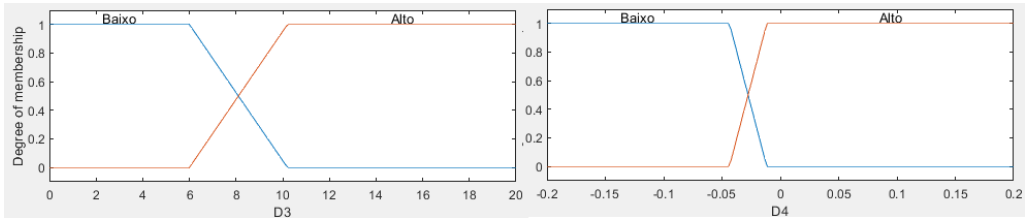


Figura 11: Funções de pertinência para as variáveis $D3$ e $D4$.

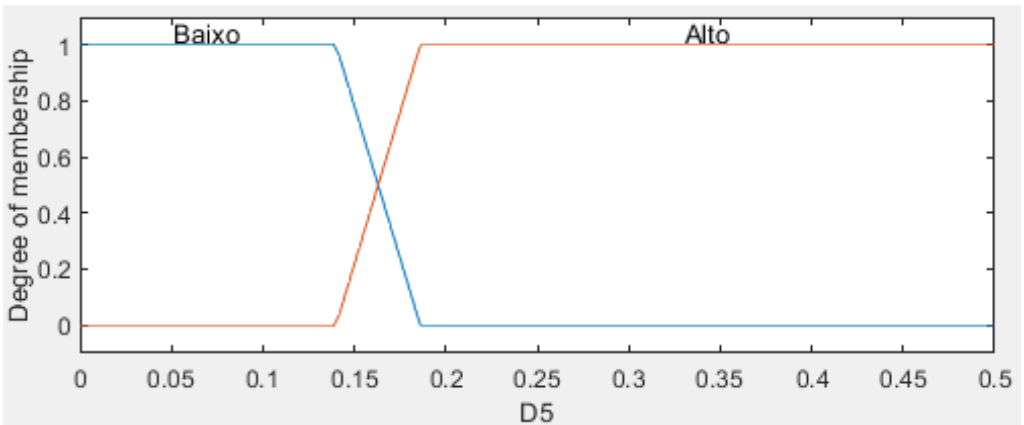


Figura 12: Função de pertinência para a variável $D5$.

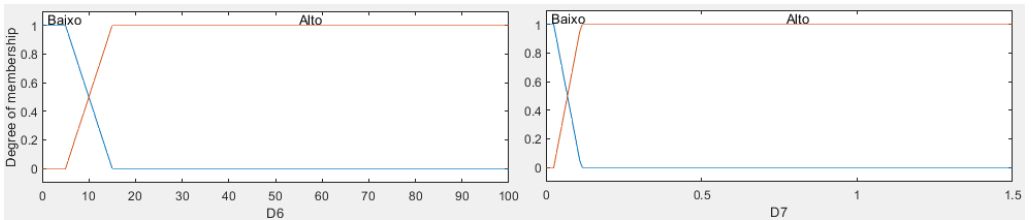


Figura 13: Funções de pertinência para as variáveis $D6$ e $D7$.

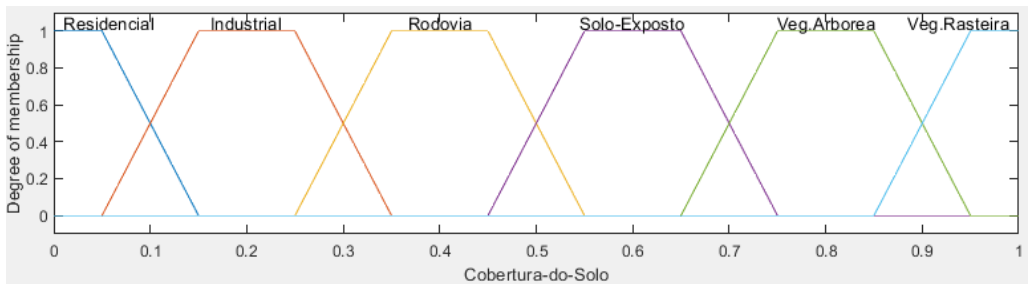


Figura 14: Variável de Saída Cobertura do Solo.

Após estudos e várias análises para construção do algoritmo de classificação das imagens, aplicou-se o mesmo em 600 recortes de dimensões 29×29 pixels, sendo 100 amostras classificadas visualmente para cada tipo de cobertura do solo. Os resultados obtidos foram confrontados com os reais em uma matriz de confusão como pode ser visto na (Tabela 3). Tomando-se como exemplo a Cobertura do Solo Residencial, o sistema classificou 93 amostras como sendo residenciais (corretamente), 2 em industriais (erro), 2 como rodovias (erro), 3 de solos expostos (erro) e 0 para vegetações arbóreas e rasteiras (acertos). Estes dados foram utilizados para o cálculo do índice *kappa*, com base na mesma metodologia dada por Landis e Koch [16], dando um valor de 0,9197 (faixa quase perfeito), o que mostra a eficiência do algoritmo.

Tabela 3: Matriz de confusão com os dados fornecidos pelo SIF para Cobertura do Solo.

Cobertura do Solo	Residencial	Industrial	Rodovia	Solo Exposto	Veg. Arbórea	Veg. Rasteira
Residencial	93	2	2	3	0	0
Industrial	4	95	0	0	0	1
Rodovia	4	5	89	2	0	0
Solo Exposto	2	5	3	88	0	2
Veg. Arbórea	0	0	0	0	99	1
Veg. Rasteira	0	0	0	3	3	94

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma abordagem de classificação de regiões em imagens utilizando lógica *fuzzy* pelo método de Mamdani, aplicando a análise de diversos tipos de cobertura do solo no entorno da rodovia Raposo Tavares. Na área de estudo, do quilômetro 90 ao 100, destacou-se grandes concentrações de residências, indústrias, solos expostos, vegetações arbóreas (matas) e rasteiras (gramíneas), focos do presente trabalho.

Para um banco com 600 imagens, sendo todas com a mesma dimensão (29×29 pixels) obteve-se a menor taxa de acerto com 88% para a região de Solo Exposto e a maior taxa de acerto de 99% em Vegetação Arbórea. O SIF, porém, se mostrou adequado na classificação obtendo um ótimo valor de índice *kappa* igual a 0,9197

Dos descritores de textura considerados, o *D6* e *D7* se mostraram bastante eficientes na caracterização das coberturas terrestres. No caso dos descritores de cor, obteve-se os melhores resultados com: *D1* (média aritmética do canal *I* do espaço *HSI*), *D2* (soma acumulada do canal *V* do espaço *HSV*), *D3* (desvio médio absoluto do canal *Z* do espaço *XYZ*), *D4* (combinação linear do canal *H* do espaço *HSI* e canal *I* do espaço *YIQ* (*NTSC*)) e *D5* (combinação linear dos canais *H* e *I* do espaço *HSI* e Canal *H* do espaço *HSV*).

Quanto às técnicas de identificação dos descritores para classificação automática dos tipos de coberturas do solo, fez-se uma série de análises visuais em gráficos de dispersões. Essa metodologia facilitou na identificação dos descritores que melhor definem os grupos de cobertura do solo,

uma vez que esses gráficos cruzam os valores de dois descritores agrupando-os e fortalecendo a inspeção visual.

A metodologia de classificação das imagens quanto ao tipo de cobertura do solo foi realizada por técnicas de lógica *fuzzy*. Adotou-se o Sistema de Inferência *Fuzzy* pelo método de Mamdani que contou com apenas 60 regras com defuzzificação pela média dos máximos. A base de regras foi construída de acordo com a análise visual nos gráficos de dispersões. O sistema proposto foi bastante eficiente na classificação dos tipos de coberturas do solo para o banco de imagens considerado.

Para a área das Ciências Ambientais é um estudo muito relevante, uma vez que através de técnicas de Processamento Digital de Imagens e Lógica *Fuzzy* torna a identificação automática das coberturas terrestres já estudadas e orientadas neste trabalho, o que contribuirá significativamente para análise de regiões no entorno das rodovias em uma série temporal, permitindo o planejamento e ações a partir das informações obtidas em grandes conjuntos de imagens.

Em trabalhos futuros pretende-se tratar a questão de se construir um sistema que implemente a escolha automática dos descritores utilizando uma rede neural do tipo ARTMAP e outras abordagens. Neste trabalho buscou-se validar a metodologia baseada na aplicação de Mamdani para a classificação das regiões.

ABSTRACT. The extension of the Brazilian road network, both in simple and multiple lanes and in widening of highways, has increased along with population growth, and the impacts caused by important constructions and reforms are constantly discussed from the point of view of their consequences environmental issues. Highways will never cease to exist, nor will new construction. However, the implementation of control and environmental monitoring measures can reduce negative impacts by avoiding irreversible damage to the environment. This work, aims to develop a methodology for classifying and replacing images of highways around based on Digital Image Processing and Fuzzy Logic to extract color and texture descriptors from various types of soil cover. For this, 600 (29×29 pixels) dimensions (image clippings) were collected from the surroundings of the Raposo Tavares highway, 100 for each ground cover group, forming the basis of the thesis study: residences, industries, highways, exposed soil, undergrowth (grasses) and tree vegetation (forests). From these samples, a FIS (Fuzzy Inference System) was built to classify the types of soil cover. When applying this system to the 600 samples, a confusing matrix was obtained and a calculated *kappa* index equal to 0.9197, which shows the efficiency of the developed methodology.

Keywords: highways, color and texture, fuzzy, Mamdani, classification and segmentation.

REFERÊNCIAS

- [1] D.M. Arantes & A.C.G. Martins. Desenvolvimento de um método híbrido para segmentação imagens utilizando crescimento de regiões e lógica fuzzy. In “Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR”. INPE (2011), p. 740.

- [2] I.A.G. Boaventura. “Números fuzzy em processamento de imagens digitais e suas aplicações na detecção de bordas”. Ph.D. thesis, Escola de Engenharia de São Carlos da Faculdade de São Paulo (2010).
- [3] CNT. Anuário CNT do Transporte 2020, Estatísticas Consolidadas: Malha rodoviária total. URL <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transportes-no-brasil-sintese-historica>. Acessado em 20/12/2020.
- [4] G.F.M. da Infraestrutura. Transporte no Brasil - Síntese Histórica (2021). URL <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transportes-no-brasil-sintese-historica>. Acessado em 20/01/2021.
- [5] M. de Fatima da Silva. “A degradação ambiental decorrente da construção do Ramal da Água Preta/Areal, Zona Rural de Manaus/Amazonas”. Master’s thesis, Universidade Federal do Amazonas, Manaus (2020).
- [6] W.V.A. dos Santos, M. de Jesus Rodrigues da Nóbrega & A.C.R.M. Magdaleno. Estudo de acidentes de trabalho na construção de rodovias brasileiras. *Projectus-UNISUAM*, **I(I)** (2016), 71–81.
- [7] K.S. dos Santos et al. Manutenção no sistema de transporte rodoviário. In “Anais VI Simpósio de Engenharia de produção de Sergipe”. RIUFS (2014), p. 245–255.
- [8] E.J. Esmael Hamuda, Martin Glavin. A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. *Computers and Electronics in Agriculture*, **125** (2016), 184–199.
- [9] V.G. Ferreira. “Viabilidade Ambiental de traçados rodoviários: o caso do trecho sul do Rodoanel Mário Covas, São Paulo”. Master’s thesis, USP, São Carlos (2012).
- [10] M.C. Fogliati, F. Filippo & B. Goudart. “Avaliação de Impactos Ambientais – Aplicação aos Sistemas de Transporte”. Meio ambiente. Interciências, Rio de Janeiro (2004).
- [11] GEIPOT. *Anuários Estatísticos dos Transportes* (2016). URL <https://archive.org/search.php?query=creator%3A%22Empresa+Brasileira+de+Planejamento+de+Transportes+-+GEIPOT%22>. Acessado em 10/12/2020.
- [12] M. Gomes, C.F. Vitória, E.R. Silva & J.R. Almeida. Avaliação de Impactos Ambientais da duplicação da BR 101 RJ/Norte, trecho compreendido entre o KM 144,2 e 190,3. *Revista Internacional de Ciências*, **9** (2019), 22–34.
- [13] R.C. Gonzalez & R.E. Woods. “Processamento de Imagens Digitais”. Pearson, São Paulo (2010).
- [14] R. Haralick, K. Shanmugam & I. Dinstein. Textural features for image classification. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, SMC-3*, (1973), 610–621.
- [15] IBGE. AEB-Anuário Estatístico do Brasil (2021). URL <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=720&view=detalhes>. Acessado em 01/02/2021.
- [16] J.R. Landis & G.G. Koch. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, **33(1)** (1977), 159–174.

- [17] L.R. Marins. “Diagnóstico médico por meio de relações fuzzy: dengue, chikungunya ou zica”. Master’s thesis, UFSCAR, Sorocaba (2016).
- [18] P. Moallem & B.S. Mousavi. Gender Classification by Fuzzy Inference System. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, **10**(89) (2013), 1–7.
- [19] F.G. Moraes, A.B. Peres & A.C.G. Martins. Avaliação da cobertura do solo no entorno de rodovias usando uma abordagem fuzzy baseada no método de inferência de Mamdani. In “IV Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy- CBSF”. SBMAC (2016), p. 380–387.
- [20] R.H. Naime, G.G. Hoff, L.C. Robinson & C.A. Nascimento. A percepção da responsabilidade sócio ambiental na indústria, no comércio e nos serviços de Novo Hamburgo - comércio e nos serviços de Novo Hamburgo – RS. In “IV Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy- CBSF”. REDES, Santa Cruz do Sul (2009), p. 204–207.
- [21] A.P. Panazzolo, L.C. Frantz, S.O. S., F.L. Costa & C. Munõz. Gestão ambiental na construção de rodovias - O caso da BR 448, Rodovia do Parque. In “3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente”. Bento Gonçalves (2012).
- [22] M. Polidoro & M.V.F. Barros. Considerações sobre a expansão urbana dos municípios paranaenses localizados em trecho da Rodovia BR-369. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, **8**(3) (2012), 322–341.
- [23] B.A. R. M. Rangayyan & C. Serrano. “Color Image Processing with Biomedical Applications”. SPIE Press, Washington, edition ed. (2011).
- [24] A.S. Ramos. “Contagem de células somáticas em leite de búfalas usando um classificador fuzzy e técnicas de processamento de imagens”. Master’s thesis, Universidade Federal da Bahia, Salvador (2019).
- [25] H.R. Ranjbar, H. Dehghani, A.R.A. Ardalán & M.R. Saradjian. A GIS-based approach for earthquake loss estimation based on the immediate extraction of damaged buildings. *Geomatics Natural Hazards and Risk*, **8**(2) (2017), 772–791.
- [26] P.E.A. Salomão & J.A.G. Santos. Impactos ambientais gerados pela construção e operação de rodovias. *Pesquisa, Sociedade e desenvolvimento*, **8**(10) (2019), 1–24.
- [27] H.A. Siebra. “Segmentação fuzzy de imagens coloridas com características texturais: uma aplicação a rochas sedimentares”. Master’s thesis, Universidade Federal do Rio Grande de Norte, Natal, RN (2013).
- [28] C. Solomon & T. Breckon. “Fundamentos de Processamento Digital de Imagens: Uma abordagem prática com exemplos em Matlab”. LTC, Rio de Janeiro (2016).
- [29] A.M.P.G. Vale. “Técnica para segmentação automática de imagens microscópicas de componentes sanguíneos e classificação diferencial de leucócitos baseada em lógica fuzzy”. Ph.D. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2014).

