

Estudo da relação homem-natureza por meio de lógica fuzzy e índice de vegetação

Tatiane Tambarussi (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) tambarussi@utfpr.edu.br

Volmir Eugênio Wilhelm (Universidade Federal do Paraná) volmirw@gmail.com

Diego Venâncio Thomaz (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) dvthomaz@utfpr.edu.br

Resumo:

A proposta desse trabalho é discutir sustentabilidade observando ferramentas capazes de analisar de forma ampla áreas com cobertura verde, usando o índice de vegetação “otimizado” do inglês *Enhanced Vegetation Index* (EVI), como variável a ser investigada, por meio de *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Também foi utilizado a lógica *fuzzy* que permitiu combinar a informação do EVI com uma variável qualitativa, essa teoria tem sido muito utilizada para descrever sistemas complexos por conseguir descrever circunstâncias intermediárias. O modelo proposto neste trabalho pode ser aplicado como uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão, quando se trata de áreas de preservação relacionadas a ação humana, como por exemplo: um parque com visitação, uma estrada que atravessa uma área de preservação. Este modelo permitirá avaliar a relação homem-natureza em que o resultado é um número entre 0 e 10. No qual 10 representa o melhor cenário. Além disso, é apresentada uma simulação com dados gerados.

Palavras chave: Modelo, Sustentabilidade, Decisão.

Study of the man-nature relationship through fuzzy logic and vegetation index

Abstract

The purpose of this work is to discuss sustainability by observing tools capable of broadly analyzing areas with green cover, using the optimized vegetation index in English *Enhanced Vegetation Index* (EVI), as a variable to be investigated, Geographic Information (GIS). We have also used fuzzy logic that allowed us to combine EVI information with a qualitative variable, this theory has been widely used to describe complex systems because we can describe intermediate circumstances. The model proposed in this work can be applied as an auxiliary tool in decision making when it comes to preservation areas related to human action, such as: a park with visitation, a road that crosses a preservation area. This model will allow to evaluate the man-nature relationship in which the output data is a number between 0 and 10. In which 10 represents the best scenario. In addition, a simulation with generated data is presented.

Key-words: Model, Sustainability, Decision.

1. Introdução

O elo entre o homem e a natureza tem buscado uma caracterização bastante discutida nos dias atuais, denominada sustentável. O tema sustentabilidade foi abordado por Kennedy (2007) que debateu muitas situações, conceituou sustentabilidade como a gestão de recursos de maneira

que contribua ao bem-estar humano. O autor caracteriza como equidade transgeracional a gestão de recursos melhorada para as gerações seguintes. Suponha que em algum momento t , o acesso médio per capita para algum recurso é adequado. No momento $t + 1$, o acesso médio per capita é aumentado. Como administrar recursos indispensáveis, como a água, de tal forma que a população mundial cresça e ao mesmo tempo o recurso não desapareça? Esse foi um dos temas discutidos na reunião anual da Associação Americana de Apoio a Ciência (AAAS) em 2007.

Arrow *et al.* (1995) definem que um sistema sustentável é aquele que sobrevive. Biologicamente, isso significa evitar a extinção e viver para sobreviver e reproduzir. Economicamente, isso significa evitar grandes perturbações e colapsos, de cobertura contra instabilidades e descontinuidades. Sustentabilidade, na sua base, refere-se sempre à temporalidade, e, em particular à longevidade.

Darwin (1859) já descrevia a relação homem-ambiente por meio da natureza dos envolvidos; “o homem tem apenas um fim: escolher para vantagem de si próprio; a natureza, ao contrário, escolhe para vantagem do próprio ser”.

O modelo aqui proposto apresenta um estudo da relação homem-natureza, utilizando como ferramenta principal para associar as variáveis consideradas, a lógica *fuzzy*. Quando se trata de ambientes naturais, muitas variáveis podem tornar o sistema complexo, e ao mesmo tempo podem depender da observação em campo. Com a finalidade de tornar essa avaliação prática, foi escolhido uma medida clássica, o índice de vegetação (EVI), que permite a análise por meio de software de informação geográfica, poupando esforços na coleta de dados. Por outro lado, é preciso considerar a observação da área com relação a intervenção humana. Os valores atribuídos a essa variável são intrínsecos aos pesquisadores. Por exemplo, quando se deparar com a presença de lixo, dois pesquisadores diferentes podem classificar de 0 a 10 esta variável, sendo 0 pouco impacto à natureza e 10 máxima intervenção humana, um pode classificar como 6 e outro como 2. Em virtude desse tipo de situação alguns direcionamentos são propostos nesse estudo para que a modelagem possa ser padronizada.

A aplicação deste modelo pode ser voltada para inúmeras situações, por exemplo: na avaliação de impacto de um parque com visitação, em uma reserva próxima a área urbana, uma estrada atravessando uma área de preservação, população morando dentro de reservas, indústrias próximas a áreas de preservação, outros modelos podem ser criados a partir deste, para tanto basta entender o contexto a ser estudado.

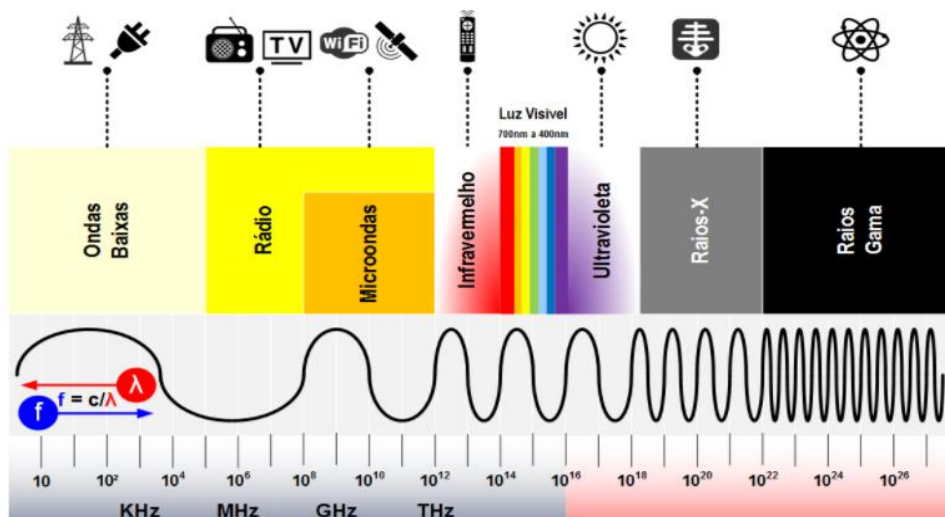
2. Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto (SR) tem contribuído em várias pesquisas, nas mais diferentes áreas, oferecendo informações relevantes em mapeamentos de recursos naturais. Essa tecnologia aliada a alguns parâmetros, permite monitorar e analisar dados de fenômenos terrestres em escalas globais. Florenzano (2011, p. 9) define sensoriamento remoto como:

A tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). O termo remoto, significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, sem o contato físico entre o sensor e objetos na superfície terrestre.

O processo de captação de dados por meio de imagens tem como elo entre o objeto e o sensor, a Radiação Eletromagnética (REM), que é a única forma de energia capaz de ser transmitida no vácuo. Todos os materiais da superfície terrestre com temperatura superior a zero absoluto (0

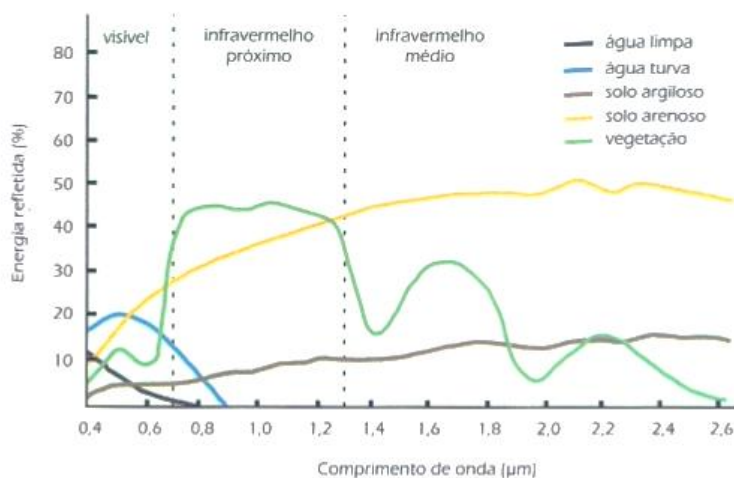
K) podem emitir, refletir, transmitir ou absorver seletivamente REM. A obtenção dos dados requer energia e para o SR a fonte de energia mais importante é a radiação solar, que se propaga na forma de ondas eletromagnéticas em forma senoidal (Figura 1). As ondas possuem uma frequência e comprimento que podem ser medidos por meio da distância entre dois pontos máximos sucessivos. O comprimento de onda e a frequência são grandezas inversamente proporcionais, quanto maior a frequência menor o comprimento de onda (MENESES *et al.*, 2012).



Fonte: Adaptado de Brito e Bucke (2013)

Figura 1– Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência. Parte da REM que incide sobre os objetos é refletida para atmosfera, outra parte é absorvida e o restante é transmitido proporções variáveis, dependendo do ângulo de incidência dos raios solares e das características estruturais dos objetos. A vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem REM em proporções que variam de acordo com o comprimento de onda (Figura 2) (FLORENZANO, 2011).



Fonte: Adaptado de Florenzano (2011)

Figura 2 – Curva espectral de vegetação, água e solo

Na vegetação, tais características estão intimamente relacionadas com a disposição espacial das folhas, ângulo de inserção foliar, índice de área foliar e propriedades óticas da vegetação. Devido a estrutura interna as folhas das plantas, na região do visível (0.4 a 0.7 μm) o espectro de reflectância da vegetação é caracterizado por baixa reflectância e transmitância devido a fortes absorções por pigmentos foliares. Na faixa de 0.71 a 1.3 μm (infravermelho próximo) as plantas geralmente têm uma alta reflectância e transmitância, em contraste com a luz nos comprimentos de onda visíveis, os níveis de energia da luz do infravermelho próximo não são suficientemente grandes para reações fotoquímicas e, portanto, não são absorvidos por cloroplastos e outros pigmentos, refletindo aproximadamente 40-50% da energia incidente (KUMAR *et al.*, 2002). Acima desta faixa (1.31 a 2.5 μm – infravermelho médio), a energia incidente é fortemente absorvida pela água e outros conteúdos bioquímicos foliares. A reflectância nesta região é muito menor do que no infravermelho próximo. Medir a quantidade de energia refletida em comprimentos de onda conhecidos permite obter algumas informações sobre as características das plantas (SCOTFORD; MILLER, 2004).

Para mapear remotamente os distúrbios e o uso do solo / cobertura do solo, os dados detectados a partir de sensores baseados em satélites serão úteis para a caracterização da área (ATZBERGER, 2013). Para a maioria dos estudos agrícolas, a reflectância espectral de pelo menos duas bandas de comprimento de onda é medida permitindo calcular uma relação, chamada de índice de vegetação. Muitos índices de vegetação podem ser encontrados na literatura, (SCOTFORD; MILLER, 2004). Entretanto o mais utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (equação 1). Este índice estabelece a razão entre a diferença das reflectividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho pela soma dessas mesmas refletividades e tem intervalo de abrangência de -1 a 1 indicando a condição da vegetação, onde -1 pode significar solo totalmente exposto e 1 vegetação verde

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}, \quad (1)$$

onde ρ_{nir} é a refletância na banda do infravermelho próximo (0.73 μm) e ρ_{red} a refletância na banda do vermelho (0.66 μm) (ROUSE *et al.*, 1974).

Outro índice utilizado é o EVI (equação 2). É um índice de vegetação "otimizado", projetado para melhorar o sinal de vegetação com melhor sensibilidade em regiões de alta biomassa e monitoramento de vegetação, melhorado através de desacoplamento do sinal de fundo do dossel e redução de influências atmosféricas (JENSEN, 2009)

$$EVI = G \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{(\rho_{nir} + C_1 \rho_{red} + C_2 \rho_{blue} + L)} (1 + L), \quad (2)$$

onde ρ_{nir} é a refletância na banda do infravermelho próximo (0.73 μm), ρ_{red} a refletância na banda do vermelho (0.66 μm), L é um fator de ajuste do solo, C_1 e C_2 coeficientes que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis.

Esses coeficientes são empiricamente determinados, sendo adotados no algoritmo MODIS-EVI, $L = 1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7.5$ e G (fator de ganho) = 2.5.

3. Lógica Fuzzy

A lógica *fuzzy* tem se mostrado uma ferramenta importante associada à modelagem. Segundo Chen e Pham (2000), isso ocorre porque a modelagem, a análise e o controle incorporam uma certa quantidade de conhecimento humano em suas componentes (conjuntos difusos, lógica difusa e base de regras difusas). Usar a experiência humana na modelagem de sistemas e no design de controlador não é algo apenas vantajoso, mas muitas vezes indispensável, principalmente quando a estrutura e os parâmetros do controlador dependem em parte da decisão e preferência do designer ou quando as escolhas são múltiplas.

Os conjuntos *fuzzy* oferecem uma característica importante e única de descrever informações nas quais os elementos podem pertencer ao conjunto com diferentes graus de adesão, o que facilita a modelagem de conceitos comumente encontrados no mundo real. As noções, como baixa renda, alta inflação, pequena aproximação e muitos outros, são exemplos de conceitos aos quais a quantificação sim-não, não se aplica ou torna-se bastante artificial e restritiva (PEDRYCZ; GOMIDE, 2007).

Para tratar lógica *fuzzy* consideram-se os conjuntos nos quais seus elementos possuem graus de associação no intervalo $[0,1]$, regras que associam esses conjuntos por meio de operadores que acarretam em implicações lógicas. A lógica *fuzzy* é descrita por Lourenço (2016) como um conceito lógico onde são considerados não apenas os valores verdadeiro e falso, mas também nuances que podem existir entre esses valores.

A base da teoria *fuzzy* é fundamentada na definição de conjuntos *fuzzy*, na qual cada elemento do conjunto está associado a um grau de pertinência, diferente da teoria de conjuntos clássica em que um elemento pertence ou não a um dado conjunto.

O conceito foi introduzido por Zadeh (1965), que define se U é uma coleção de objetos (conjunto universo) denotados genericamente por x , então um conjunto *fuzzy*, $\tilde{A} \subset U$ é um conjunto de pares ordenados:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\} \quad (3)$$

em que $\mu_A(x) \in [0,1]$ é denominada função de pertinência ou grau de pertinência (também grau de compatibilidade ou grau de verdade) de x em $\tilde{A}$. Quando $\mu_A(x) \in \{0,1\}$, A não é *fuzzy* e $\mu_A(x)$ é idêntica à função característica de um conjunto tradicional (não *fuzzy*).

A função de pertinência ou associação, de acordo com Passino e Yurkovich (1997), atribui valores de forma contínua, sendo que $\mu_A(x)$ em questão quantifica o significado da declaração linguística, por essa razão denomina-se função de associação.

O alcance dos elementos pertencentes aos conjuntos *fuzzy* permite uma modelagem que descreve termos como: muito, extremamente, bastante, pouco, razoável (ZIMMERMANN, 2001).

Os conjuntos *fuzzy* para as variáveis de entrada (*input*) e saída (*output*) considerando a hipótese de trabalho podem ser representados de várias maneiras por funções de pertinência do tipo: triangular, trapezoidal, gaussiana, forma de sino, forma de “Z”, sendo essas as mais comuns (IBRANHIM 2004). As funções de pertinência utilizadas neste trabalho estão descritas abaixo.

A função de pertinência Z, recebe este nome devido a sua forma de “Z”, com parâmetros a e b , como na equação (4),

$$f(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x < a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x < \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (4)$$

A função de pertinência sino na equação (5) depende dos parâmetros a , b e c .

$$f(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}. \quad (5)$$

A função com forma de “S”, tem parâmetros a e b e é exibida na equação (6),

$$f(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x < \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1, & x \geq b. \end{cases} \quad (6)$$

A construção do conjunto de regras pressupõe um conhecimento do contexto que se pretende modelar. Ross (2010) afirma que no campo da inteligência artificial, existem várias maneiras de representar conhecimento, destacando que a maneira mais comum seja formá-lo em expressões de linguagem natural do tipo: “*if* premissa (antecedente), *then* conclusão (consequente)”. A forma *if-then* (se-então) é comumente referida como uma forma dedutiva. Geralmente, expressa uma inferência de um fato que se conhece (premissa, hipótese, antecedente), então pode-se inferir ou proceder, outro fato chamado de conclusão (consequente).

No entanto, a forma clássica não captura as estruturas mais profundas de conhecimento. Já sistemas baseados em regras difusas são mais úteis na modelagem de alguns sistemas complexos, porque utilizam variáveis linguísticas como antecedentes e consequentes. Como descrito aqui, essas variáveis linguísticas podem ser naturalmente representadas por conjuntos *fuzzy* e conectivos lógicos e modificadores desses conjuntos. Ao usar as propriedades básicas e as operações definidas para conjuntos *fuzzy*, as restrições de modo geral são modeladas por conjuntos e relações *fuzzy*. Essas instruções de restrição geralmente são integradas por conectivos linguísticos, como “ou”, “e” ou “então”.

De modo geral as regras podem ser contruídas da seguinte maneira:

Se x_1 é A e x_2 é B e x_3 é C e $\dots$ e x_n é Z então y é W

onde A, B, C,..., Z indicam conjuntos *fuzzy* para as variáveis de entrada e W conjunto *fuzzy* para variável de saída. Logo, o conjunto de regras do tipo se-então forma um sistema *fuzzy* que mapeia entradas e saídas, no qual as regras podem ser entendidas como dispositivos que definem regiões do espaço “entrada x saída”.

4. Formulação do Modelo

Na formulação do modelo foi utilizado como variáveis de entrada o EVI e a informação de intervenção humana, uma analisada por meio de imagens de satélite e outra por observação em campo, respectivamente. Com a finalidade de combinar informações para obter uma variável de saída que caracterize a relação homem-natureza.

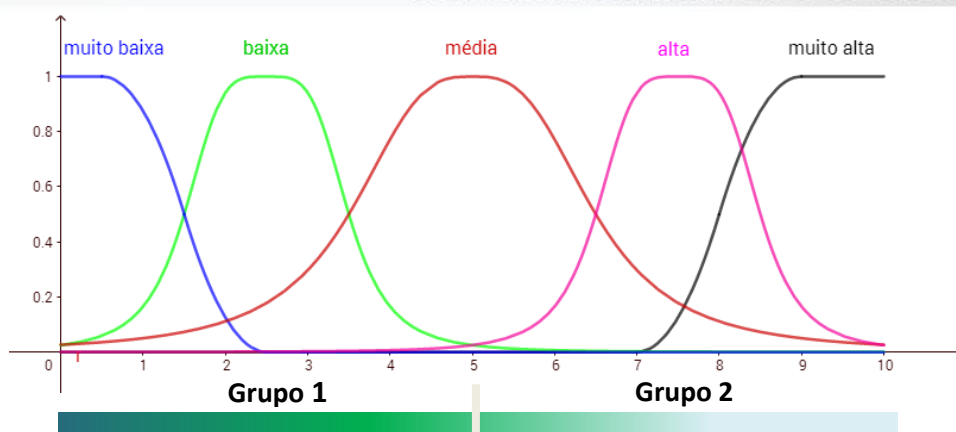
Nesta simulação a variável de entrada EVI foi obtida pela análise das imagens de satélite (Landsat 8) e foi calculado com o *software* QGIS versão 2.14.17. O índice de vegetação varia no intervalo de [-1,1], como estamos usando intervalos de [0,10] para todas as variáveis. Primeiro procede-se a normalização, ou seja considera-se o melhor cenário na área de estudo sendo 1, o máximo que o índice pode alcançar, depois realiza-se o produto por 10, para valores negativos considera-se o índice igual a zero, para enquadrar a variável no intervalo considerado, equação (7)

$$\begin{cases} 0, & \text{se } EVI_i < 0 \\ \left(\frac{EVI_i}{\max_{1 \leq i \leq n} EVI_i} \right) \times 10, & \text{se } EVI_i \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

Outra variável de entrada intitulada "intervenção humana" é a variável com maior relevância em se tratando de áreas de preservação. Por que essa pode caracterizar de que forma se dá a relação homem-natureza.

Uma vez que essa variável depende da observação em campo, os valores atribuídos a essa quantificação são intrínsecos aos pesquisadores, Para instruir melhor o pesquisador, sabendo que a intervenção humana pode aparecer de forma muito agressiva ou de maneira mais suave, foram criados dois grandes grupos. Ambos são caracterizados por: elementos que indicam a presença do homem e fatores que modificam o ambiente, respectivamente. O grupo 1 com menor grau impacto está na faixa de 0 a 5 e o grupo 2 com o grau de impacto mais alto de 5 a 10 (Figura 3).

- a) Grupo 1: construções, corte de árvores, pastagens, incêndio, etc.
- b) Grupo 2: presença de lixo, indícios de caça, etc.

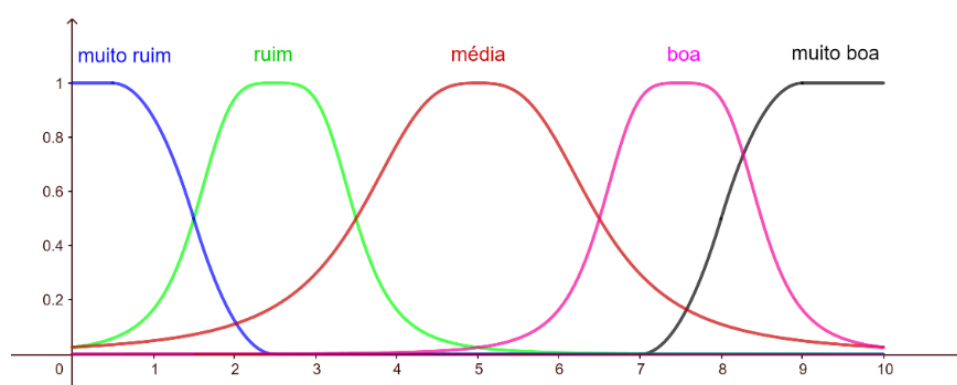


Fonte: A autora (2017).

Figura 3 – Funções de pertinência que descrevem a variável de entrada intervenção humana

A função de pertinência com título “muito baixa” é apresentada em (4) com $f(x, 0.5, 2.5)$, ou seja, parâmetros $a=0.5$ e $b=2.5$. O termo linguístico “baixa” é descrito pela função sino exposta em (5), com $a=1$, $b=2$ e $c=2.5$ assim, $f(x, 1, 2, 2.5)$. A função com referência à palavra “média” é expressa pela função sino com $f(x, 1.5, 1.5, 5)$. A expressão com função sino $f(x, 1, 2, 7.5)$ refere-se à designação “alta”. Enfim, a função de pertinência que descreve o termo linguístico “muito alta”, apresentada em (6), logo, $f(x, 7, 9)$ com parâmetros $a=7$ e $b=9$.

A variável de saída “relação homem-natureza” possui cinco funções de pertinência que descrevem em termos linguísticos essa relação como: muito ruim, ruim, média, boa e muito boa. O intervalo onde se encontram essas cinco funções de pertinência é de 0 a 10, que deve ser entendido de maneira crescente quanto maior o valor melhor a relação homem-natureza (Figura 4).



Fonte: A autora (2017).

Figura 4 – Funções de pertinência que descrevem a variável de entrada intervenção humana

A função de pertinência que representa o termo “muito ruim” é apresentada em (4), com $f(x, 0.5, 2.5)$, ou seja, parâmetros $a=0.5$ e $b=2.5$. Em “ruim” a função de pertinência associada foi a exposta em (5), com $a=1$, $b=2$ e $c=2.5$ assim, $f(x, 1, 2, 2.5)$. Para “média” a função sino com $f(x, 1.5, 1.5, 5)$. A expressão com função sino $f(x, 1, 2, 7.5)$ refere-se a

palavra “boa”. Por fim, a função de pertinência que descreve “muito boa”, tem forma de S apresentada em (6), logo, $f(x, 7, 9)$ com parâmetros $a = 7$ e $b = 9$.

A base de regras no modelo proposto combina as variáveis de entrada de acordo com seus atributos, considerando a agregação dos antecedentes com a função mínimo e a agregação das regras com a função máximo. A Tabela 1 apresenta as 15 regras formuladas.

nº	Se EVI	e	se intervenção humana	então	relação homem-natureza
1	baixo	e	muito baixa	então	Média
2	baixo	e	baixa	então	Média
3	baixo	e	média	então	Ruim
4	baixo	e	alta	então	muito ruim
5	baixo	e	muito alta	então	muito ruim
6	médio	e	muito baixa	então	Boa
7	médio	e	baixa	então	Boa
8	médio	e	média	então	Média
9	médio	e	alta	então	Ruim
10	médio	e	muito alta	então	Ruim
11	alto	e	muito baixa	então	muito boa
12	alto	e	baixa	então	muito boa
13	alto	e	média	então	Média
14	alto	e	alta	então	Média
15	alto	e	muito alta	então	Média

Fonte: A autora (2018)

Tabela 1 – Regras associadas as variáveis de entrada e saída

Na Figura 5 observa-se a variação do índice de vegetação da área, referente a uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), localizada no município de Santa Helena, oeste do Paraná, imagens de satélite do dia 08 de março de 2018.

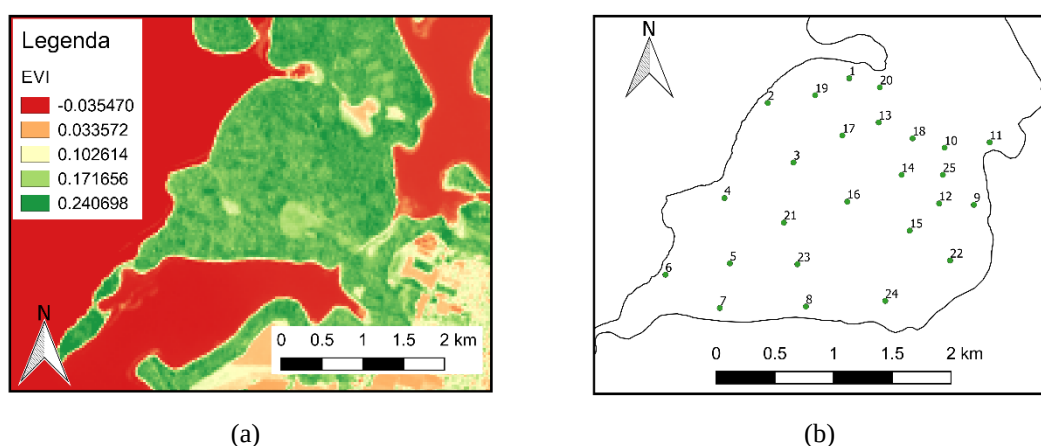


Figura 5: Mapa 1 (a) EVI de uma área de preservação; (b) simulação de pontos aleatórios na mesma área.

4. Resultados

Foi realizada uma simulação de várias situações considerando 10 pontos distribuídos na área de forma aleatória, em que os valores para intervenção humana foram atribuídos sem considerar

a realidade da área. Esta simulação mostrará as implicações do resultado do modelo combinado ao EVI.

Item	EVI	Intervenção humana	Relação homem x natureza
1	8.89	2	7.58
2	8.17	3	6.85
3	8.50	5	5.00
4	7.75	4	5.27
5	9.01	3	6.85
6	2.00	2	4.93
7	5.00	3	6.22
8	3.00	8	2.79
9	1.00	10	0.99
10	5.00	2	6.68

Fonte: A autora (2018)

Tabela 2 – Simulação de valores para as variáveis de entrada

Nas linhas de 1 a 5 da Tabela 2 foram usados os valores do EVI da área mencionada na Figura 5, nos valores das linhas 6 a 10 foi inserido arbitrariamente os valores do EVI para que seja possível observar as implicações do modelo em diferentes situações. Observa-se na Tabela 2 que quanto maior o EVI e menor a ação humana melhor será a relação homem natureza.

Na Figura 6 pode-se observar o item 10 da Tabela 2, com relação a ativação das regras de decisão de acordo com os valores atribuídos as variáveis de entrada EVI e intervenção humana no *software Matrix Laboratory* (MATLAB) versão 8.1.0.604.

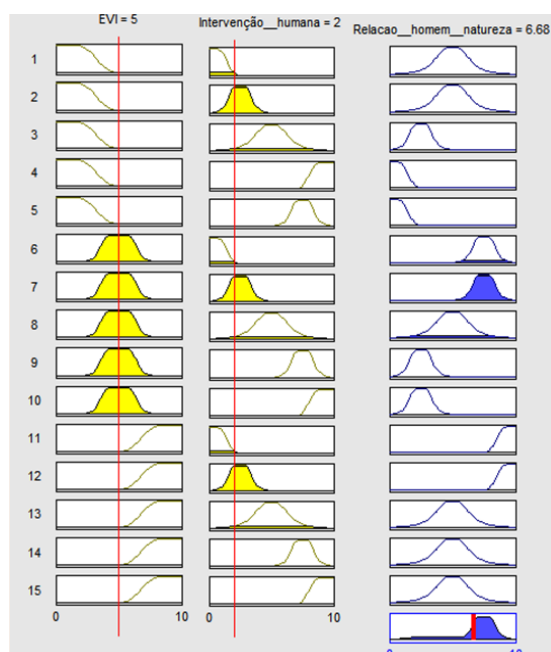


Figura 6 – Funcionamento das regras de acordo com as entradas.

5. Considerações Finais

O resultado do modelo proposto permite qualificar a relação homem-natureza. Além disso, possibilita avaliar as atividades caracterizadas como intervenção humana. A metodologia

aplicada é de fácil manejo, pois utiliza informações de análise de imagens e não se faz necessária a observação detalhada da vegetação em campo. O modelo tem flexibilidade para descrever diversas situações, pois pode ser adaptado, por meio do conjunto de regras. A teoria fuzzy permitiu combinar termos quantitativos provindos do EVI e termos qualitativos oriundos da coleta de dados na área de estudo, tornando possível relacionar de forma prática e rápida a relação homem-natureza.

Referências

- ARROW, K.; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C. S.; JANSSEN, B.-O.; LEVIN, S.; MÄLER, K.-G.; PERRINGS, C.; PIMENTEL, D.** *Economic growth, carrying capacity, and the environment*. Ecological Economics, Vol.15, p. 91-95, 1995.
- ATZBERGER C.** *Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs*. Remote Sens., Vol.5, n. 2, p. 949-981, 2013.
- BRITO, S. H. B.** *O Espectro eletromagnético na Natureza*. LabCisco. 2013. Disponível: <https://goo.gl/pbMrw4> . Acesso em: 18/08/2017.
- CHEN, G., PHAM, T. T.** *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems*. Florida: CRC Press LLC, 2000.
- DARWIN, C.** *A Origem das Espécies, no meio da seleção natural ou a luta pela existência na natureza*. Vol.1, tradução do doutor Mesquita Paul. São Paulo: 1859.
- FLORENZANO, T. G.** *Iniciação em sensoriamento remoto*. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.
- IBRANHIM, A. M.** *Fuzzy Logic for Embedded Systems Applications*. Burlington: Newnes, 2004.
- JENSEN, J. R.** *Sensoriamento Remoto do Ambiente. Uma perspectiva em nrecursos terrestre*. 2. ed. São Jose dos Campos, Brasil: Parêntese, 2009.
- KENNEDY, D.** *Sustainability*. Science, Vol.315 n.5812, p.573-573, fev. 2007.
- KUMAR, L. et al.** *Imaging Spectrometry and Vegetation Science*. In: Imaging spectrometry. p. 111–156.
- LOURENÇO, A.** *Elasticsearch: Consumindo dados real-time com ELK*. São Paulo: Casa do Código, 2016.
- MENESES, P. R. ALMEIDA, T. ; NUNO, A. C. S. R.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B.; BAPTISTA, G. M. M., BRITES, R. S.** *Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto*. Brasília: UnB, 2012.
- PASSINO, K. M.; YURKOVICH, S.** *Fuzzy control*. California: Addison Wesley Longman, 1997.
- PEDRYCS, W. GOMIDE, F.** *Fuzzy Systems Engineering: Toward human-centric computing*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- QGIS Development Team**, *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation, versão 2.14.17 Essen, 2017.
- ROSS, T.J.** *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Chennai: John Wiley & Sons, 2010.
- SCOTFORD, I. M.; MILLER, P. C. H.** *Estimating Tiller Density and Leaf Area Index of Winter Wheat using Spectral Reflectance and Ultrasonic Sensing Techniques*. Biosystems Engineering, Vol. 89, n. 4, p. 395–408, 2004.
- ZADEH, L. A.** *Fuzzy Sets. Information and Control*, Vol. 8, p.338-353, 1965.
- ZIMMERMANN, H.-J.** *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2001.