

Sistema de inferência nebuloso de apoio à seleção de projeção cartográfica equivalente para a representação de uma região da superfície terrestre.

Sergio Orlando Antoun Netto^{1,2}
Flávio Joaquim de Souza²

¹ Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Empresa Municipal de Informática (IPLANRIO/UFO)
Rua Voluntários da Pátria, 169 /6º andar, Botafogo, Rio de Janeiro -RJ- Brasil
santoun@gmail.com

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Engenharia
Rua São Francisco Xavier, 524, 5º andar, - Cep:20550-013- Rio de Janeiro – RJ- Brasil
flavioj@ism.com.br

Abstract: This work aims at demonstrating the use viability of the Computational Intelligence technique called Fuzzy Logic as tool for the election of cartographic projection equal area for the representation of a terrestrial surface region.

Palavras-chave: Fuzzy Logic, Cartographic Projection Equal Area, Lógica Fuzzy, Projeção Cartográfica Equivalente

1. Introdução

A confecção de um mapa exige, antes de tudo, o estabelecimento de um método, segundo o qual, a cada ponto da Terra, corresponda um ponto do mapa e vice-versa. Diversos métodos podem ser empregados para se obter essa correspondência de pontos, constituindo os chamados “sistemas de projeções” [Pearson, Frederick II. 1984].

Os sistemas especialistas compreendem a fusão do trabalho de engenheiros de conhecimento e de especialistas de uma determinada área dos quais se pretende aprender as técnicas, procedimentos, estratégias e raciocínios para codificá-los em um banco de dados [Rosini e Palmisano (2003)]. Os referidos sistemas implementam técnicas de inteligência artificial, tais como redes neurais e lógica nebulosa (ou lógica *fuzzy*).

Este trabalho apresenta uma abordagem alternativa à questão da seleção de projeção cartográfica equivalente para a representação de uma região da superfície terrestre. Nele, é empregado um Sistema de Inferência Nebuloso para tratar uma amostra de Projeções Cartográficas Equivalentes.

O presente trabalho está organizado em 05 (cinco) seções, a saber: Introdução, Sistemas de Projeção Cartográfica, Lógica Nebulosa, Resultados Obtidos e Conclusão. Na Seção 2 serão lançados os fundamentos básicos referentes aos Sistemas de Projeção Cartográfica, no que tange à escolha e às propriedades de um sistema de projeção, objetivando a proporcionar um perfeito entendimento dessa matéria. Na Seção 3 será exposta uma visão geral sobre a técnica de Inteligência Computacional denominada Lógica Nebulosa (ou Lógica Fuzzy). Em seguida, na Seção 4, serão apresentadas as principais características do Sistema Nebuloso Equivalente desenvolvido utilizando-se uma ferramenta computacional e, finalmente, na Seção 5 será apresentada a conclusão do trabalho.

2. Sistemas de Projeção Cartográfica

2.1 Escolha de um Sistema de Projeção:

A construção de um mapa requer a seleção de um sistema de projeção. Este sistema será escolhido de maneira que o mapa venha a possuir as propriedades que satisfaçam às finalidades propostas para sua utilização. O ideal seria construir um mapa que reunisse todas as propriedades, representando uma superfície rigorosamente semelhante à superfície da Terra. A solução será, portanto, construir um mapa que, sem possuir todas as condições ideais, possua aquelas que satisfaçam a um determinado objetivo.

2.2 Classificação dos Sistemas de Projeção quanto às propriedades

As projeções são classificadas [Bakker (1965)] segundo as propriedades que conservam em: equidistantes, equivalentes, conformes e afiláticas.

As projeções equidistantes são as que não apresentam deformações lineares, isto é, os comprimentos são representados em escala uniforme. A condição de equidistância só é obtida em determinada direção e, de acordo com essa direção, as projeções equidistantes se dividem em equidistantes meridianas, equidistantes transversais e equidistantes azimutais.

As projeções equidistantes meridianas são aquelas em que há equidistância segundo os meridianos. As projeções equidistantes transversais são as que apresentam equidistância segundo os paralelos. As projeções equidistantes azimutais ou equidistantes ortodrômicas são as que não apresentam distorções nos círculos máximos que passam pelo ponto de tangência. As projeções equidistantes azimutais são sempre projeções planas.

As projeções equivalentes são as que não deformam as áreas, isto é, as áreas no mapa guardam uma relação constante com as suas correspondentes na superfície da Terra.

As projeções conformes são as que não deformam os ângulos e, decorrente dessa propriedade, não deformam também a forma das pequenas áreas. As projeções azimutais podem ser consideradas um caso particular das projeções conformes, em virtude da propriedade que possuem de não deformarem os ângulos (azimutes) em torno do ponto de tangência. Porém, nem todas as projeções azimutais são conformes em toda extensão.

As projeções afiláticas são aquelas em que os comprimentos, as áreas e os ângulos não são conservados.

3. Lógica Nebulosa:

Lógica nebulosa [Oliveira (1999)] é o conjunto de métodos, baseados no conceito de *conjuntos nebulosos* e *operações nebulosas*, que possibilita a modelagem realista e flexível dos sistemas. Ela é uma técnica que busca capturar conceitos vagos, imprecisos e próprios da experiência humana, como “quente”, “frio”, “alto”, “baixo”, “caro”, “barato” etc, e colocá-los em sistemas computacionais.

Suas principais aplicações encontram-se atualmente em sistemas de controle de processos como controle de tráfego urbano, injeção eletrônica de combustível em veículos automotivos, em sistemas de apoio à decisão como sistemas de análise e liberação de crédito pessoal e de formação de preços de produtos.

A Lógica Nebulosa normalmente é empregada na construção dos chamados Sistemas de Inferência Nebulosos [Mendel (1995)], representados pela **Figura 1**. Nesses sistemas, são fornecidas entradas precisas para um módulo *codificador*, que, por sua vez, fornece os graus de pertinência dos elementos dos conjuntos nebulosos para uma máquina de inferência, o qual processa a aplicação de uma regra do tipo *SE-ENTÃO*, constituída de proposições, envolvendo termos de variáveis lingüísticas. Após o processamento das regras, o valor nebuloso, obtido como resposta da inferência, é *decodificado*, obtendo-se, dessa forma, a saída precisa do sistema.

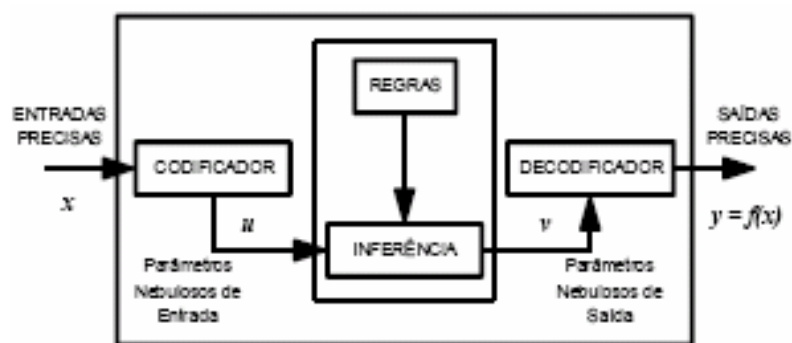


Figura 1 - Sistema de Lógica Nebulosa

4. Resultados Obtidos:

No presente trabalho, foi elaborada uma amostra de Projeções Cartográficas Equivalentes, a partir da base de dados do EPSG Geodetic Parameter Dataset (versão 6.10.1 , de 23/05/06), que pode ser obtida diretamente no endereço da Internet <http://www.epsg.org/> no formato *.zip. No que tange ao desenvolvimento do Sistema Nebuloso Equivalente, utilizou-se a ferramenta fuzzy do software MatLab.

4.1 Base de Dados:

As projeções cartográficas selecionadas, observando-se a propriedade equivalente das mesmas, encontram-se relacionadas na Tabela abaixo:

Tabela 1: Sistemas de Projeções Equivalentes

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Cilíndrica Equivalente de Behrmann com 02 (dois) paralelos padrões (30° N e 30° S)	Regiões situadas em baixas latitudes	Cartas geográficas - uso limitado	3
Cilíndrica Equivalente de Lambert (tangente)	Regiões situadas em baixas latitudes	A acentuada desigualdade entre a escala sobre os paralelos e a escala sobre os meridianos provoca uma grande distorção da forma nas altas latitudes.	3
Cilíndrica Equivalente de Peters com paralelos padrões de 45° ou 47°	Globo terrestre	Enfatiza o exagero das áreas em alta latitude.	1
Cilíndrica Equivalente Ortográfica de Trystan Edwards	Globo terrestre	Escala Verdadeira ao longo dos paralelos de 37°24' N e S.	1
Cônica Equivalente de Albers	Canadá - Estados Unidos (EUA) - Países com extensão este-oeste maior do que norte-sul.	Mapeamento em escala pequena.	2

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Cilíndrica Equivalente de Lambert com 01(um) paralelo padrão	Regiões situadas em baixas latitudes	Pode ser empregada em regiões com pequenas diferenças de latitudes e situadas longe do Equador. Entretanto, em virtude das suas deformações lineares e angulares, bem como das distorções que ela ocasiona nas formas das áreas serem comparativamente maiores que outras projeções equivalentes, ela costuma ser pouco utilizada na representação das regiões supracitadas.	3
Cônica Equivalente de Bonne	Portugal - Bélgica Holanda - Suíça Escócia - Irlanda	Utilizada na construção de cartas topográficas(1:50.000) de vários países europeus. Representação de áreas relativamente pequenas.	4
Cônica Equivalente de Lambert	Regiões com extensão em latitude muito pequena	Representa o pólo por um ponto. Utilizada em regiões de alta latitude	3
Equivalente Assimétrica de Hatano	Globo terrestre	Escala Verdadeira ao longo dos paralelos de 40°42'N e 38°27'S	1
Equivalente Azimutal de Lambert	Europa	Mapeamento estatístico	4
Equivalente de Aitoff	Globo terrestre	Elaboração de mapas-mundi.	1
Equivalente de Eckert IV	Globo terrestre	Elaboração de mapas-mundi.	1
Equivalente de Fournier	Globo terrestre	Elaboração de mapas-mundi.	1
Equivalente de Holzel	Globo terrestre	O contorno elipsoidal faz referência à forma aproximada da Terra que tem um ligeiro achatamento nos pólos.	1
Equivalente de Mollweide	Globo terrestre	Elaboração de mapas-mundi.	1

Sistema de Projeção	Área de utilização	Observações	Tipo ^(*)
Equivalente de Kavraisky V	Globo terrestre	Escala Verdadeira ao longo dos paralelos de 35°	1
Equivalente de Wagner IV	Globo terrestre	Escala Verdadeira ao longo dos paralelos de 42°59'	1
Equivalente Modificada de Hammer	Azimutal Globo terrestre	Utilizada no mundo inteiro para mapeamento astronômico.	1
Sanson- Flamsteed ou Equivalente Senoidal	Regiões com extensão Norte-Sul maior do que Este-Oeste, ou seja, que apresentam considerável dimensão em latitude, como a América do Sul e África.		5

(*): 1 - Globo terrestre 2 - Países com extensão ESTE-OESTE maior do que NORTE-SUL 3 - Regiões com diferenças de latitude muito pequenas 4 - Países com variação de latitude e longitude de pequena a média 5 - Países com extensão NORTE-SUL maior do que ESTE-OESTE

4.2 Sistema Nebuloso Equivalente:

Um modelo fuzzy de Mandami denominado Equivalente foi desenvolvido com decodificação por intermédio do cálculo do centróide, 18 (dezoito) regras com peso 1 (um) e conexão “and”, 02 (duas) variáveis de entrada (VarLat e VarLong) e uma de saída (TipoProjEquiv). O universo de discurso e as funções de pertinência das variáveis supracitadas encontram-se abaixo discriminadas.

A **Figura 2**, bem como algumas definições, obtidas diretamente do Dicionário Cartográfico de Céurio de Oliveira da Fundação IBGE, são apresentadas a seguir para o perfeito entendimento das variáveis utilizadas no sistema nebuloso:

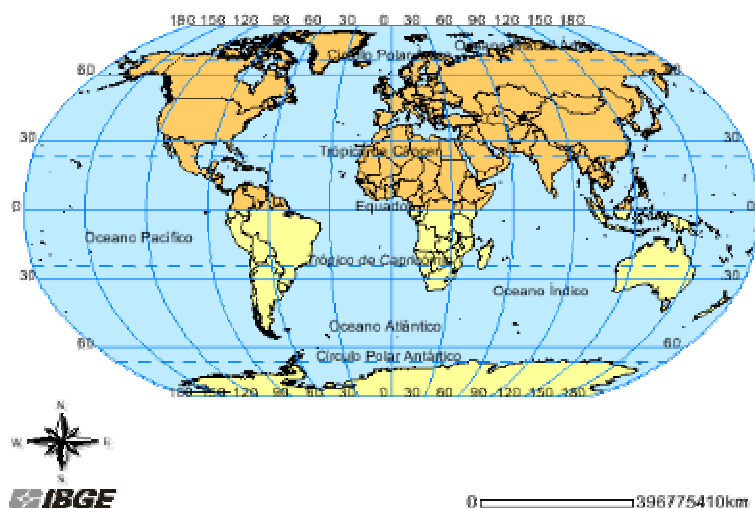


Figura 2 – Mapa do Mundo (Paralelos, Meridianos e Hemisférios) na Projeção de Robinson

- Longitude: Distância Linear ou angular medida a Este ou Oeste, a partir de um meridiano de referência (geralmente Greenwich) numa esfera ou elipsóide.

- Latitude: Distância Linear ou angular medida ao Norte ou ao Sul do Equador, numa esfera ou elipsóide.

✓ Variável lingüística de entrada VarLat (Variação em Latitude da Região a representar):
O universo de discurso desta variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 180. Os termos desta variável lingüística são definidos como: **muito pequena (MP)**, **pequena (PQ)**, **média (MD)**, **grande (GD)** e **muito grande (MG)**. As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na **Figura 3**.

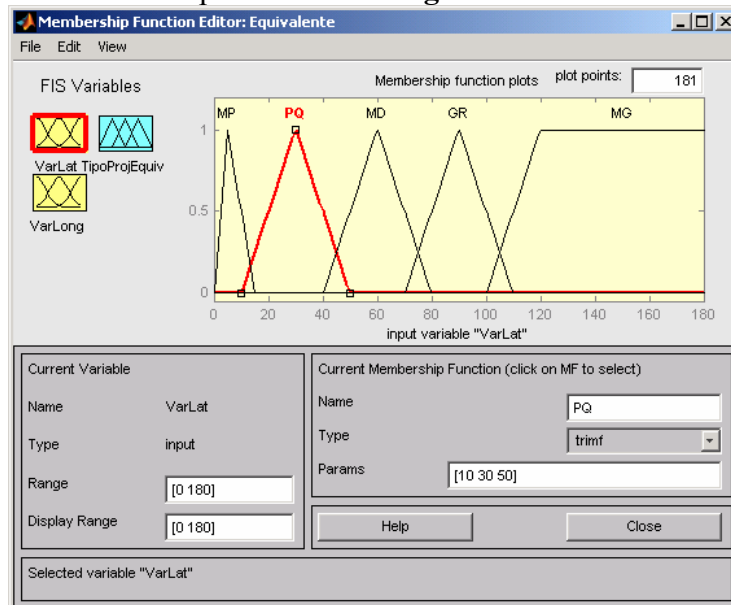


Figura 3 – Variável lingüística de entrada VarLat

✓ Variável lingüística de entrada VarLong (Variação em Longitude da Região a representar):
O universo de discurso desta variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 360. Os termos desta variável lingüística são definidos como: **muito pequena (MP)**, **pequena (PQ)**, **média (MD)**, **grande (GD)** e **muito grande (MG)**. As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na **Figura 4**.

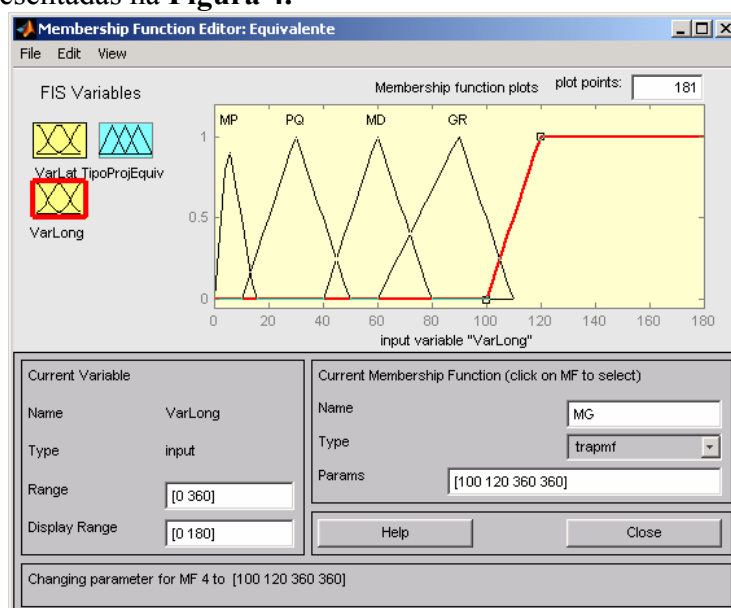


Figura 4 – Variável lingüística de entrada VarLong

✓ Variável lingüística de saída TipoProjEquiv (Tipos de Projeção Cartográfica Equivalente): O universo de discurso desta variável é um conjunto de inteiros positivos com valor máximo em 5. Os termos desta variável lingüística são definidos como: *Tipo1*, *Tipo2*, *Tipo3*, *Tipo4*, *Tipo5*, que possuem a classificação constante da **Tabela 2**.

Tabela 2: Classificação dos Tipos da Projeção Cartográfica Equivalente

Tipo	Aplicação
1	Globo terrestre
2	Países com extensão ESTE-OESTE maior do que NORTE-SUL
3	Regiões com diferenças de latitude muito pequenas
4	Países com variação de latitude e longitude de pequena a média
5	Países com extensão NORTE-SUL maior do que ESTE-OESTE

As funções de pertinência para cada um desses termos são apresentadas na **Figura 5**.

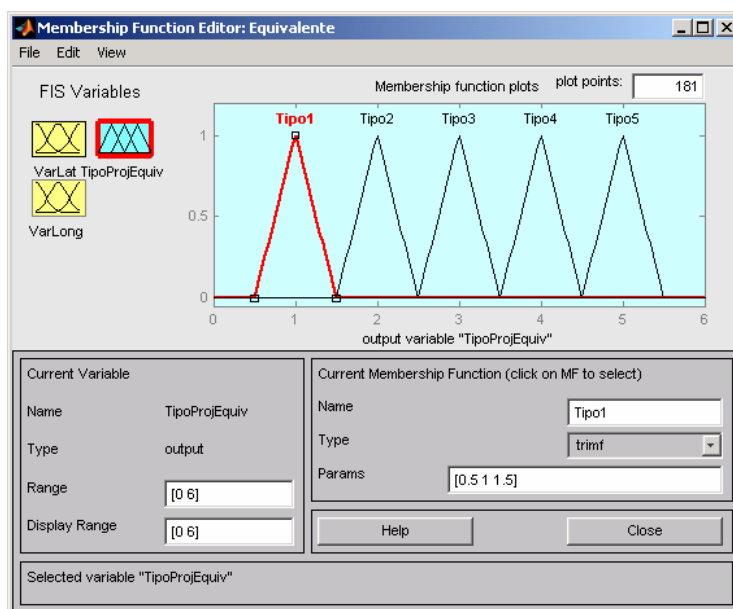


Fig. 5– Variável lingüística de saída TipoProjEquiv

5. Conclusão:

Tendo em vista os resultados constantes da **Tabela 3**, verifica-se que é viável a utilização de um Sistema de Inferência Nebuloso no apoio a seleção de projeção cartográfica equivalente para a representação de uma região da superfície terrestre.

Dentre as principais vantagens do Sistema Nebuloso Equivalente, podemos destacar o assessoramento eficiente na seleção do sistema de projeção que satisfaça às finalidades propostas para sua utilização, a partir das dimensões da região da superfície terrestre que se deseja representar.

Objetivando a ampliar o emprego da Lógica Fuzzy como ferramenta para subsidiar a seleção de projeção cartográfica, sugere-se o estudo da possibilidade do desenvolvimento de sistemas nebulosos para as projeções eqüidistantes, conformes e afiláticas, bem como a utilização da ferramenta “Criterium DecisionPlus” para a determinação das variáveis lingüísticas dos referidos sistemas.

Tabela 3: Relação das projeções disponíveis, a partir de valores de entrada VarLat e VarLong do Sistema Nebuloso Equivalente.

Entrada		Saída	Projeções Equivalentes Disponíveis
VarLat	VarLong	TipoProjEquiv	
180	360	0,99999	Cilíndrica Equivalente de Peters com paralelos padrões de 45° ou 47°, Cilíndrica Equivalente Ortográfica de Trystan Edwards, Equivalente Assimétrica de Hatano, Equivalente de Aitoff, Equivalente de Eckert IV, Equivalente de Fournier, Equivalente de Holzel Equivalente de Mollweide, Equivalente de Kavraisky V, Equivalente de Wagner IV, Equivalente Modificada Azimutal de Hammer
40	100	2	Cônica Equivalente de Albers
5	15	3	Cilíndrica Equivalente de Behrmann com 02 (dois) paralelos padrões (30° N e 30° S), Cilíndrica Equivalente de Lambert (tangente), Cilíndrica Equivalente de Lambert com 01(um) paralelo padrão, Cônica Equivalente de Lambert
40	60	4	Cônica Equivalente de Bonne, Equivalente Azimutal de Lambert
80	60	5	Sanson- Flamsteed ou Equivalente Senoidal

Referências

- BAKKER, Mucio P.R. de, **Cartografia – Noções Básicas**, Marinha do Brasil – Hidrografia e Navegação – 1965
- ESCOBAR, I. P. **Projeções Cartográficas**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro Departamento de Engenharia Cartográfica. Rio de Janeiro, 2006
- KOSKO, Bart **Fuzzy Engineering**. Prentice Hall, 1997
- KOSKO, Bart **Neural Networks and Fuzzy Systems**. Prentice Hall, 1997
- MAILING, D. H. 1992. **Coordinate Systems and Map Projections** (2nd edition). Oxford, England: Pergamon Press. 476 pages
- MENDEL, J. M.; **Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial**, Proceedings of the IEEE, vol. 83, no 3, março, 1995.
- MURGEL FILHO, Wolmar. **Sistema Nebuloso de Apoio à Produção de Plantas De Valores** Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Computação – Área de Concentração Geomática, 2005 - Dissertação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ- Rio de Janeiro.,2005
- OLIVEIRA JUNIOR, Hime Aguiar e. **Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações** Interciência, 1999.
- PEARSON, Frederick II. 1984. **Map Projection Methods**. Blacksburg, Virginia: Sigma Scientific. 292 pages
- ROSINI, A. N., PALMISANO, A.; **Administração de Sistemas de Informação e a Gestão do Conhecimento**, Pioneira Thomson Learning, São Paulo 2003.
- SNYDER, John P. 1987. **Map projections: a working manual**, USGS Professional Paper 1395. Washington, DC: United States Government Printing Office.
- TOOLEY, R. V. 1987. **Maps and Map-Makers** (7th Edition). New York, New York: Dorset Press. 140 pages
- YANG, Qihee, John P. Snyder and Waldo R. Tobler. 2000. **Map Projection Transformation: Principles and Applications**. London, England: Taylor and Francis. 365 pages.
- ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets, Information and Control**, 1965.
- ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy Set Theory - and Its Applications**, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.