

ENFOQUE CIENTÍFICO NA DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS DE UM SISTEMA DE INFERÊNCIA NEBULOSO PARA PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS

Scientific Approach in the Linguistics Variables Determination of Fuzzy Logic System to Map Projections

Sergio Orlando Antoun Netto¹
José Carlos Penna de Vasconcellos²
Flávio Joaquim de Souza²
Orlando Bernardo Filho²

¹ Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro
Empresa Municipal de Informática (IPLANRIO)

Rua Voluntários da Pátria, 169/ 6º andar - CEP 22270-000 – Botafogo - Rio de Janeiro - Brasil
sergio.netto@iplanrio.rio.rj.gov.br

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Faculdade de Engenharia - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Computação / Geomática

Rua São Francisco Xavier, 524, 5º andar - CEP: 20550-013– Maracanã - Rio de Janeiro – RJ- Brasil

jcpvasco@gmail.com

flavioj@ism.com.br

orlandob@gmail.com

RESUMO

A construção 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 as chamadas “projeções cartográficas”. Cada projeção cartográfica tem suas próprias equações, de modo a garantir que cada ponto na superfície real tenha um único correspondente no plano, sendo a recíproca verdadeira, caracterizando uma função bijetora. É impossível proceder à transformação da superfície real no plano, sem qualquer deformação e alteração das características geométricas reais da Terra. Portanto, a escolha da projeção cartográfica adotada na representação de uma região da superfície terrestre é importante e dependerá principalmente dos requisitos do usuário final. O presente trabalho tem por objetivo demonstrar a viabilidade da utilização de uma ferramenta computacional de suporte à decisão na escolha das variáveis linguísticas de um Sistema de Inferência Nebuloso, na seleção da projeção cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre.

Palavras-chave: Variáveis Linguísticas, AHP, Projeção Cartográfica, Lógica Fuzzy.

ABSTRACT

The building of a map demands, first at all, the establishment of a method, according to which, to each point of the Earth, corresponds a point of the map and the other way around. Several methods can be used to get this correspondence of points, constituting the called “Map Projections”. Each Map Projection has its proper equations, in order to guarantee that each point in the real surface has an only correspondent in the plane, being reciprocal the true one, characterizing a bijector function. It is impossible to proceed the transformation of the real surface in the plane, without any deformation and alteration of real the geometric characteristics of the Earth. Therefore, the choice of the map projection in representing a region of the Earth surface is something important and it will depend on the final user requirements. This work aims at demonstrating the viability of the use of a computational tool for decision support in the linguistics variables determination of a Fuzzy Logic System, regarding the choice of a map projection for the representation of a terrestrial surface region.

Keywords: Linguistics Variables, AHP, Map Projection, Fuzzy Logic.

1. INTRODUÇÃO

Em 1920, Young propôs uma regra para a escolha da classe da projeção, considerando-se a forma e as dimensões da região a ser representada, não se limitando a analisar apenas a localização da região de interesse no globo terrestre. A Regra de Young baseia-se na comparação entre a distância radial máxima (z), ou seja, a distância do centro da área ao seu ponto mais extremo, com a largura mínima (δ), dimensão esta que deve passar pelo centro da área a ser representada. Mais tarde, em 1957, Ginzburg e Salmanova ampliaram os estudos de Young, propondo um método para escolha da projeção cartográfica para os intervalos de $0^\circ < z < 25^\circ$ e $0^\circ < \delta < 35^\circ$, conforme discriminado a seguir:

- ✓ $z/\delta = 1,41$ recomenda-se a projeção conforme;
- ✓ $z/\delta = 1,73$ recomenda-se a projeção equidistante;
- ✓ $z/\delta = 2,00$ recomenda-se a projeção equivalente

Segundo Bakker (1965), os fatores ou variáveis que podem influenciar na escolha de uma projeção cartográfica são: localização, forma e dimensões da região a representar e a finalidade a que se destina o mapa.

Em 1990, Pearson apresenta uma proposta que analisa a localização da área a ser representada, porém especificando determinadas projeções, não se limitando a indicar superfícies de projeção. Mailing, em 1992, apresenta uma abordagem geral para seleção da superfície de projeção a ser utilizada, observando-se a localização da área a ser representada.

A abordagem multicritérios se constitui em formas de modelar os processos de decisão, onde entram em jogo: decisões que devam ser tomadas, eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, possíveis cursos de ação e os próprios resultados. Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos tomadores de decisão.

Diante do exposto, será apresentada, a seguir, uma abordagem multicritérios na questão da determinação das variáveis linguísticas de um Sistema de Inferência Nebuloso de Apoio à seleção da projeção cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre, utilizando-se uma ferramenta computacional de suporte à decisão, que irá contribuir para avaliação da tomada de decisão, no que tange à escolha das variáveis linguísticas que podem influenciar na escolha de uma projeção cartográfica.

Cumprido ressaltar que variáveis linguísticas são, a princípio, os elementos simbólicos utilizados para descrever o conhecimento.

O presente trabalho está organizado em 04 (quatro) seções: Introdução, Metodologia de Trabalho, Resultados Obtidos e Conclusão. Na Seção 2 serão lançados os fundamentos básicos da classificação dos sistemas de projeção quanto às propriedades, bem como do AHP – *Analytic Hierarchy Process* que é um dos principais métodos multicritérios de análise de

decisão, objetivando a proporcionar um perfeito entendimento dessas matérias. Na Seção 3 serão expostos os resultados obtidos na determinação dos fatores que influenciam na escolha do Sistema de Projeção, utilizando-se o software “*Criterion Decision Plus*” versão 3.0.4/S (*Student Version*). Em seguida, na Seção 4, será apresentada a conclusão do trabalho.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Base de Dados

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

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 na carta 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 afiláticas são aquelas em que os comprimentos, as áreas e os ângulos não são conservados.

No presente trabalho, foi elaborada uma amostra de projeções cartográficas equidistantes equivalentes e conformes, 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. As projeções selecionadas, observando-se a propriedade das mesmas, encontram-se relacionadas no Quadro 1. Cumpre salientar que as projeções afiláticas não foram consideradas neste trabalho, tendo em vista as particularidades das referidas projeções.

Quadro 1 - Projeções Cartográficas

Propriedade	Sistema de Projeção
Equivalente	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; Cilíndrica Equivalente de Peters com paralelos padrões de 45° ou 47°; Cilíndrica Equivalente Ortográfica de Trystan Edwards; Cônica Equivalente de Albers; Cônica Equivalente de Bonne; Cônica Equivalente de Lambert; Equivalente Assimétrica de Hatano; Equivalente Azimutal de Lambert; Equivalente de Aitoff; Equivalente de Eckert IV; Equivalente de Fournier; Equivalente de Holzel; Equivalente de Kavraisky V; Equivalente de Mollweide; Equivalente de Wagner IV; Equivalente Modificada Azimutal de Hammer; Sanson- Flamsteed ou Equivalente Senoidal
Equidistante	Azimutal Equidistante de Guam; Cilíndrica Equidistante Meridiana; Cilíndrica Equidistante Meridiana com um paralelo padrão; Cilíndrica Transversa Equidistante de Cassini-Soldner; Cônica Equidistante de Euller com paralelo padrão de 45° N; Cônica Equidistante de Murdoch I; Cônica Equidistante Meridiana de I'Isle com 2(dois) paralelos padrões; Cônica Equidistante Meridiana de Ptolomeu com 1(um) paralelo padrão; Equidistante Azimutal Modificada; Equidistante Cilíndrica de Plate Caree; Equidistante Ortográfica Transversal; Plana Polar Equidistante Meridiana; Policônica Equidistante Transversal ou Policônica Ordinária
Conforme	Cilíndrica Conforme Equatorial de Mercator; Conforme Oblíqua de Mercator; Cônica Conforme de Lambert (paralelos padrões: 20° N e 60 ° N); Cônica Conforme de Lambert com 1 (um) paralelo padrão (tangente); Cônica Oblíqua Conforme de Krovak; Hotine Oblíqua de Mercator; LTM (Local Transversa de Mercator); Mercator com 1 paralelo padrão; Oblíqua de Mercator; Oblíqua Estereográfica; PBG (Projeção Brasileira de Gauss); Plana Transversa de Mercator ou Conforme de Gauss ou Gauss-Kruger Conforme Estereográfica Polar; RTM (Regional Transversa de Mercator); Transversa de Mercator ("Zoned Grid System"); Universal Conforme Estereográfica Polar; Universal Transversa de Mercator (UTM)

2.2 Método AHP – Analytic Hierarchy Process

Um dos principais métodos multicritérios de análise de decisão é o AHP – *Analytic Hierarchy Process*. Ele foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970 no intuito de promover a superação das limitações cognitivas dos tomadores de decisão. É aplicado para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos: econômico, político, social e ambiental, devido a sua simplicidade, robustez e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos sejam eles tangíveis ou intangíveis (SHIAU ET AL., 2002).

Existem no mercado alguns programas, como AUTOMAN, *Expert Choice*, HIPRE3+ e NCIC que implementam o AHP. Dentre eles, o mais utilizado é o *Expert Choice*, entretanto o preço da licença comercial é elevado.

Outra opção para implementar o uso do AHP é o *software Criterium*. O referido software é uma versátil ferramenta computacional que ajuda os usuários a tomar complexas decisões entre alternativas envolvendo múltiplos critérios.

Cumpram salientar que o referido *software* possui uma versão gratuita, restrita ao uso acadêmico. Por esta razão, optou-se por utilizá-lo para realizar um estudo de caso dos fatores (variáveis) que podem influenciar na escolha da projeção cartográfica adequada.

2.3 Implementação do AHP no software CDP

Para efeito deste trabalho, a identificação de alternativas e critérios da determinação dos pesos relativos dos critérios, bem como dos pesos relativos das alternativas, foram atribuídos pelos próprios autores. Cumpre ressaltar que todas as informações necessárias para a perfeita manipulação do software CDP foram, também, inseridas pelos próprios autores.

As Projeções Cartográficas foram divididas em 03 (três) grupos (critérios) em função da sua propriedade (equidistante, equivalente e conforme). Para cada grupo (critério), foram considerados os blocos (subcritérios) como entrada no aplicativo utilizado, conforme discriminado no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios e subcritérios utilizados

Critério	Subcritérios
Equivalente	Varição de Latitude e Varição de Longitude
Equidistante	Varição de Latitude, Varição de Longitude e Latitude Média
Conforme	Escala e Latitude Média

Em seguida, foram desenvolvidas as estruturas hierárquicas dos modelos para as Projeções Equivalente, Equidistante e Conforme. Por exemplo, está representada a referida estrutura para a Projeção Equidistante na Figura 1.

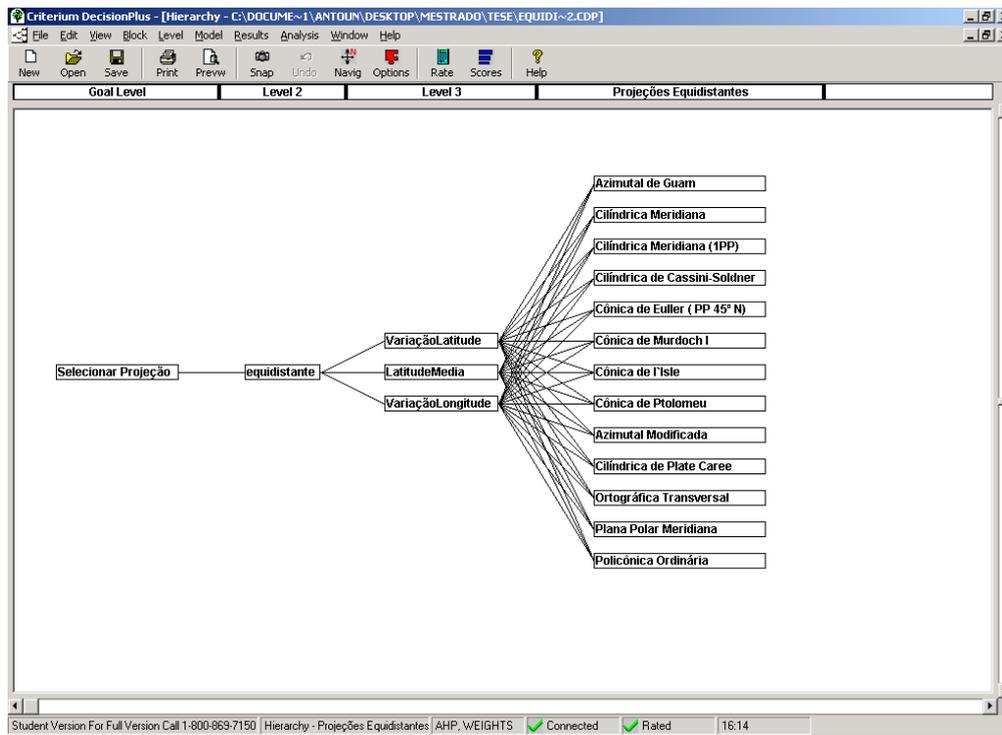


Fig. 1 – Modelo Hierárquico da Projeção Equidistante

Após a estruturação dos modelos, iniciou-se a fase da determinação dos pesos relativos dos critérios. A importância relativa dos critérios para a decisão foi determinada atribuindo-se um peso para cada critério ou subcritério. No programa, este procedimento é chamado de “rating set”. Sua execução exige a seleção de um método para a realização das comparações. Para o estudo de caso, optou-se pelo método “direct”, por exigir somente julgamentos subjetivos ou a intuição para determinar a importância de um critério em relação a outro. Os valores dos pesos das alternativas arbitrados pelos autores — como, por exemplo, para o critério equidistante apresentados no Quadro 3 — foram inseridos no programa no campo denominado “score”, numa escala numérica de 0 a 100, para cada critério (equidistante, equivalente e conforme)

Quadro 3 - Pesos relativos das alternativas para as Projeções Equidistantes

Projeções Cartográficas E quidistantes	Variáveis		
	Varição Latitude	Varição Longitude	Latitude Média
Azimutal de Guam	50	30	50
Cilíndrica Meridiana	30	40	30
Cilíndrica Meridiana (1PP)	30	50	40
Cilíndrica de Cassini-Soldner	50	50	40
Cônica de Euler (PP 45° N)	30	50	40
Cônica de Murdoch I	50	30	30
Cônica de l'Isle	50	30	40
Cônica de Ptolomeu	50	30	30
Azimutal Modificada	50	50	40
Cilíndrica de Plate Carée	50	30	20
Ortográfica Transversal	50	30	20
Plana Polar Meridiana	30	50	30
Policônica Ordinária	50	50	50

Consequentemente, foi necessário verificar a validade dos resultados, examinando se a intuição sobre a determinação dos subcritérios (variáveis linguísticas) estava compatível com o critério (equivalente, equidistante e conforme) selecionado. O aplicativo utilizado também possui algumas opções visando a auxiliar na validação dos resultados. Uma delas é a Análise de Sensibilidade, cujo objetivo principal é melhorar a estrutura do modelo, por intermédio da interpretação dos resultados e reavaliação dos critérios. O referido programa gera um gráfico para cada critério, que indicam como mudanças nos pesos dos critérios afetariam a decisão. Para determinar estas variações, o programa calcula um valor, em termos percentuais, denominado “crossover percentage”. Esta porcentagem representa a proximidade do ponto em que há alteração na ordem de prioridade das alternativas. Baixos valores indicam maior sensibilidade do critério a mudanças nos pesos. Isto implica que pequenas alterações nos pesos dos critérios ocasionam grandes variações nos escores de decisão, fazendo com que outra alternativa passe a ser preferida.

Neste trabalho, a fim de verificar a viabilidade dos resultados obtidos, foi considerado que o modelo é estável quando o “crossover percentage” é superior a 5% (cinco por cento), conforme preconiza o programa utilizado. Assim sendo, se o “crossover percentage” é inferior a 5%, o(s) decisor (es) deve(m) ser avisados que o modelo representa riscos. Em tais casos, é melhor analisar e validar os pesos iniciais antes de tomar uma decisão definitiva.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Para efeito ilustrativo, as representações gráficas da Análise de Sensibilidade do Modelo para as Projeções Equidistantes, encontram-se discriminadas,

respectivamente, nas Figuras 2, 3 e 4, em relação aos seguintes critérios:

- ✓ “Equidistante -Variação deLongitude”,
- ✓ “Equidistante-Variação deLatitude” e
- ✓ “Equidistante-Latitude Média”.

Cumpramos ressaltar que o mesmo procedimento foi realizado para as projeções equivalentes e conformes.

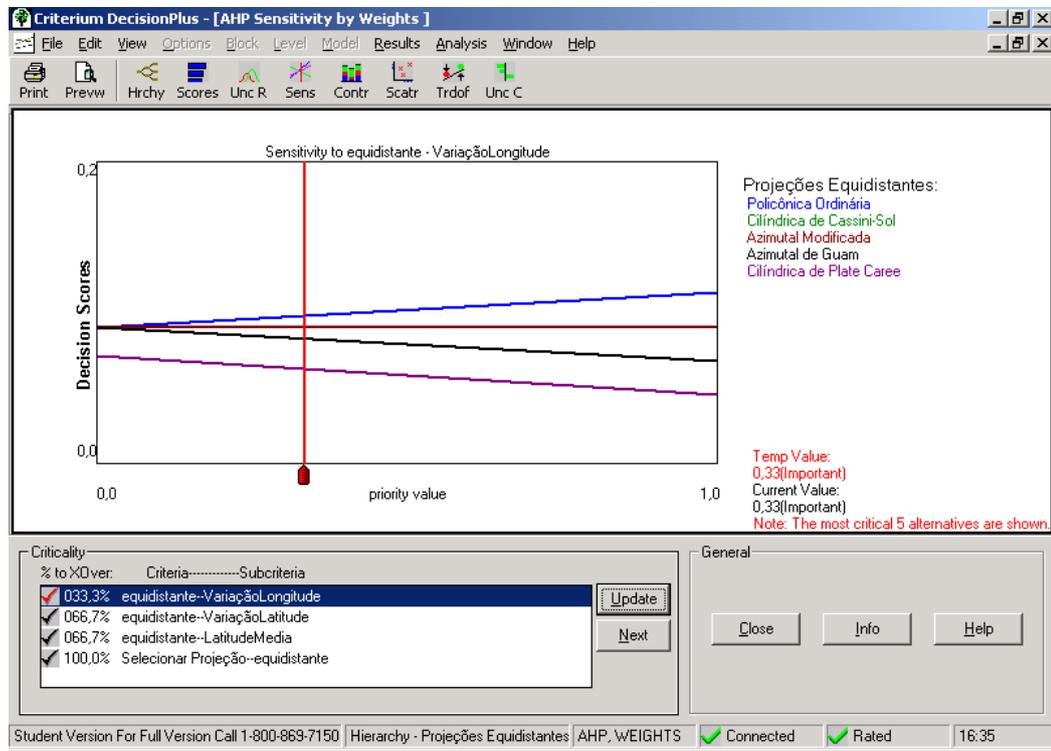


Fig. 2 – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Equidistante-VariaçãoLongitude”

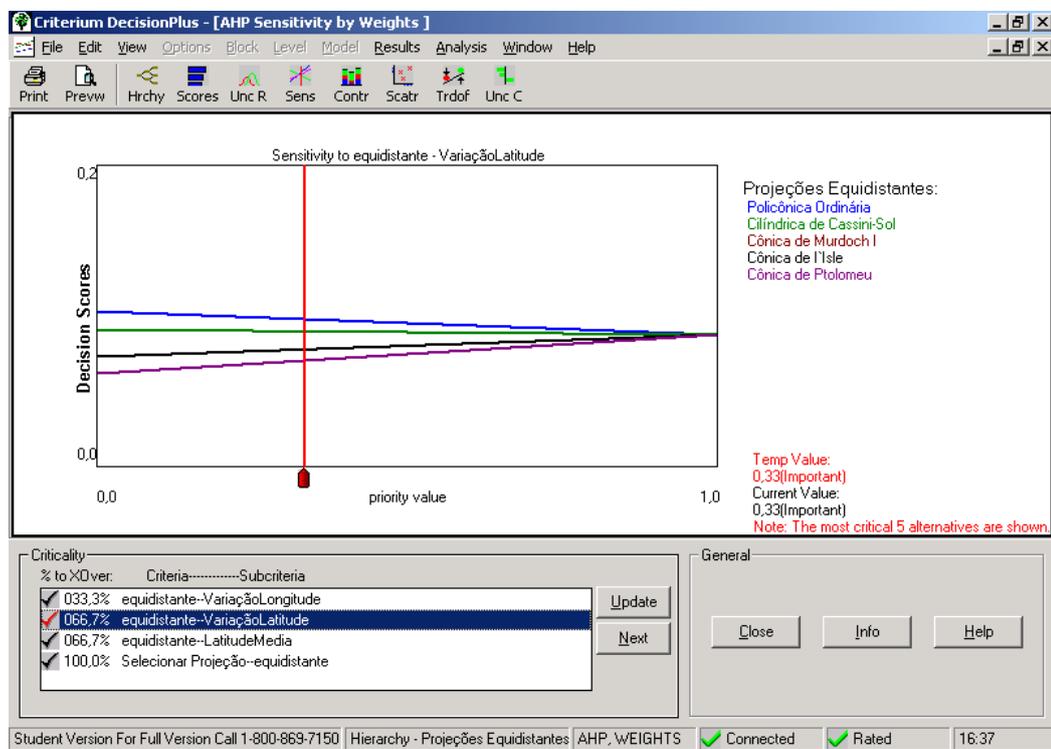


Fig. 3 – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Equidistante-Variação deLatitude”

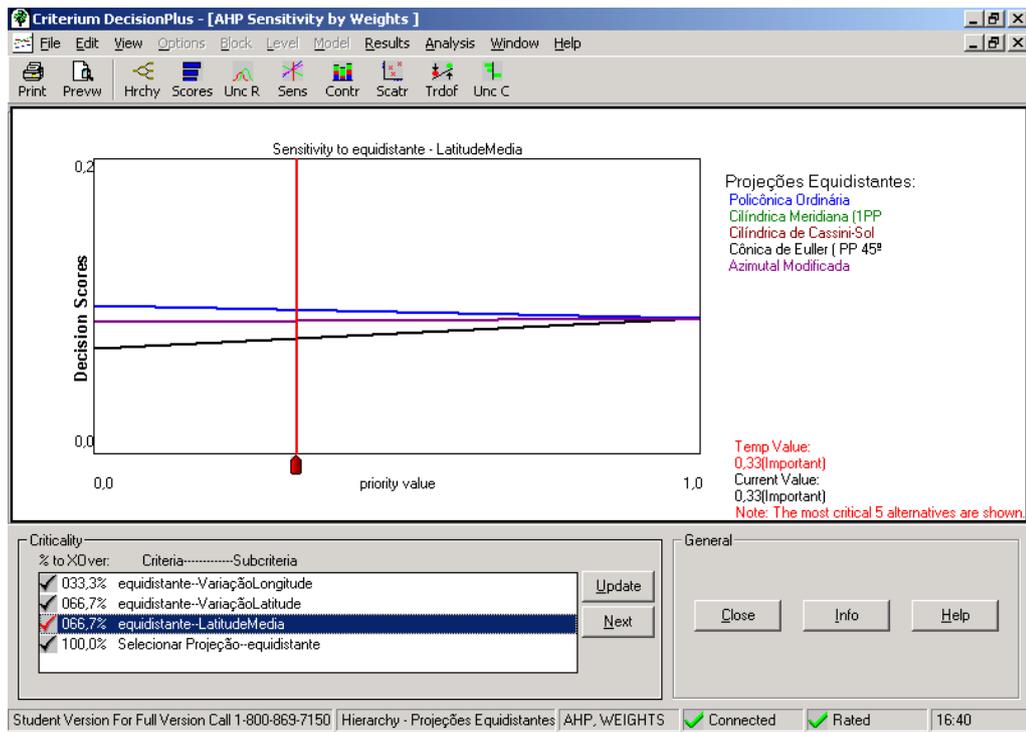


Fig. 4 – Sensibilidade do modelo em relação ao critério “Equidistante- Latitude Média”

O Quadro 4, a seguir, apresenta as porcentagens obtidas com o aplicativo utilizado. Estes resultados demonstram que a variável “variação de longitude” para a propriedade “equidistante” é mais sensível a mudanças em seus pesos, todavia verifica-se que o seu “crossover percentage” (33,3%) comparado ao valor de referência (5%) é muito maior.

Quadro 4 - Quadro Resumo dos resultados obtidos com o software CDP

Propriedade	Variáveis	Crossover Percentage (%)	Referência (%)
Equivalente	Varição de Latitude	57,3	5
	Varição de Longitude	57,3	
Equidistante	Varição de Latitude	66,7	
	Varição de Longitude	33,3	
	Latitude Média	66,7	
Conforme	Escala	73,8	
	Latitude Média	73,8	

4. CONCLUSÃO

Em relação ao método multicritérios *Analytic Hierarchy Process* (AHP), verificou-se que o desenvolvimento dos modelos, utilizando-se o

programa *Criterium Decision Plus*, proporcionou a constatação de uma importante característica: a flexibilidade. Tal característica ajudou sobremaneira na determinação das variáveis linguísticas dos Sistemas de Inferência Nebulosos para as projeções equivalentes, equidistantes e conformes.

Verificou-se, também, a simplicidade em relação à utilização do programa supracitado, na implementação do AHP.

Cumpram ressaltar que os julgamentos realizados para construção dos modelos equidistante, equivalente e conforme, foram contribuições pessoais dos autores, baseadas nas suas percepções, experiências, interesses e conhecimentos dos Sistemas de Projeção Cartográfica. Possivelmente, os resultados poderiam ser melhores na hipótese da participação de pelo menos mais 2 (dois) especialistas na área de Projeções Cartográficas no procedimento de obtenção dos julgamentos de valor.

É necessário ressaltar, ainda, que a tomada de decisão é uma função humana. O papel do modelo é apenas auxiliar os especialistas, garantindo qualidade, organização e documentação do processo de análise de decisão, explicitando valores de julgamentos, analisando objetivos conflitantes, compartilhando o entendimento sobre as questões e, frequentemente, promovendo consenso.

Diante do exposto, concluiu-se que os resultados apresentados no Quadro 4 mostraram-se satisfatórios e deram embasamento à utilização do programa supracitado no que tange à determinação das variáveis linguísticas de um Sistema de Inferência Nebuloso para a escolha da projeção cartográfica para a representação de uma região da superfície terrestre, por intermédio de um enfoque científico.

Intencionalmente, não foram quantificadas todas as variáveis envolvidas na escolha de uma Projeção Cartográfica, visando a otimizar o desempenho dos sistemas nebulosos a serem desenvolvidos, evitando-se uma explosão combinatória da base de regras nebulosa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTOUN NETTO, Sergio Orlando, **Sistema de Inferência Nebuloso de Apoio à Seleção de Projeção Cartográfica para a Representação de uma Região da Superfície Terrestre**, 98 p, Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação – Área de Concentração Geomática. 2008.

BAKKER, MUCIO P.R. DE, **Cartografia – Noções Básicas**, Marinha do Brasil – Hidrografia e Navegação – Rio de Janeiro, 1965

GINZBURG, G. A., SALMANOVA, T. D., **Atlas dlja vybora kartograficheskikh proekcij**. Trudy Central'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta geodezii, aeros'emki i kartografii, Vypusk 110, Geodezizdat, Moskva, 1957.

HAERER, WALT. **Criterion Decision Plus 3.0**. ORMS: 2000. Disponível em: <http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-2-00/swr.html>. Acesso em: 30 Nov. 2007.

KOSKO, BART **Fuzzy Engineering**. Prentice Hall, 1997.

MAILING, D. H.; **Coordinate Systems and Map Projections** (2nd edition). Oxford, England: Pergamon Press. 476 pages, 1992.

PEARSON, II, F, **Map Projections: Theory and Applications**, CRC Press, Virginia. 1990.

SHIAU, YAN-CHYUAN; TSAI, TSUNG-PIN; WANG, WEN-CHIAN; HUANG, MIAO-LING. **Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system**. China: Chung Hua University, 2002. Disponível em: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/PDF/b02143.pdf>> Acesso em: 29 fev. 2008.

YOON, MIN-SUK. **AHP & Compatibility Metrics: Software Process Assessments Proceedings** of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process for Multi-criteria Decision Making The 8th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process. July 8-10, 2005. University of Hawaii Honolulu, Hawaii, USA.

YOUNG, A. E. **Some Investigations in the Theory of Map Projections**. Royal Geographical Society, Technical Series 1, London, 1920.