

O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO E SEU USO NA MODELAGEM DO ESPAÇO GEOGRÁFICO

Jorge Gustavo da Graça Raffo (in memoriam)¹

INTRODUÇÃO

A Revista de Geografia na atual edição pretende apresentar o “Estado da Arte” em diversas áreas de pesquisa geográfica. Sucede que tratar a estado da arte em Geoprocessamento ou inclusive numa área mais específica como Sistemas de Informações Geografias daria lugar a escrever um livro inteiro em função de tão diversas áreas existentes no tema em questão, e da velocidade na evolução dos conhecimentos e das técnicas desenvolvidas, as quais estão muito vinculadas à evolução da infra-estrutura computacional, do avanço tecnológico do Hardware. Por tal motivo dentro dessa grande gama de possibilidades, escolheu um assunto considerado da maior relevância por sua importância prática para o melhoramento da Análise Espacial, atividade tão importante na pesquisa geográfica, este assunto é o Processo Analítico Hierárquico, conhecido como AHP.

Conceituação do “Analytic Hierarchy Process”

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é uma metodologia matemática destinada a ponderar quantitativamente variáveis mediante a interação do pesquisador com o modelo matemático e fazer isso em forma de considerações qualitativas. O AHP foi desenvolvido na década de 1970 (1) por Thomas Saaty (2) e foi pensado para auxiliar na tomada de decisões especialmente na área de Administração. Na atualidade o referido método está sendo utilizado nas áreas mais variadas incluindo administração pública, negócios, planejamento urbano e regional, gerenciamento de recursos hídricos, transporte e logística, gerenciamento de recursos naturais e meio ambiente, alocação de recursos para saúde, planejamento de investimentos empresariais e sociais, Geomarketing etc, e também no apoio ao Análise Espacial. Neste recurso dos sistemas de informações geográficas, o AHP visa atribuir pesos aos diversos mapas a serem cruzados nos SIGs, assim como ponderar às diversas classes temáticas existentes em cada mapa. Cabe observar que cada vez que for

¹ Graduação em Engenharia de Agrimensura - Universidad de La República Oriental Del Uruguay, mestrado em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná e doutorado em Geografia (Geografia Humana) pela Universidade de São Paulo. Professor doutor da Universidade de São Paulo. E-mail: jggraffo@usp.br
(Esse artigo é uma versão preliminar acerca do tema. O Professor Raffo estava trabalhando em uma segunda versão deste artigo, contudo não foi possível concluí-la. Tomamos a liberdade de publicar mesmo não sendo a versão finalizada.)

atribuído um peso a um mapa ou a uma classe temática, está sendo tomada uma decisão, e é por esse motivo que uma metodologia oriunda da Administração acabou participando da pesquisa cartográfica.

No método AHP o problema de decisão é dividido em subproblemas, e estes também podem ser subdivididos até se chegar a problemas onde a obtenção de peso seja de mais fácil atribuição. Os pesos são obtidos por comparação das variáveis que participam do problema tratando elas em pares e segundo sua importância para o problema em questão.

A aplicação do AHP envolve a síntese matemática de vários julgamentos sobre o problema de decisão. Muitas vezes estes julgamentos são efetuados a partir de consultas realizadas a especialistas nas áreas de conhecimento referentes às diversas variáveis tratadas no problema.

Os procedimentos matemáticos da metodologia AHP podem ser implementados usando uma calculadora eletrônica, um software do tipo planilha eletrônica como o Excel da Microsoft, mas nestes casos o usuário deve conhecer bastante dos fundamentos teóricos da metodologia. No entanto, existem programas de computador onde a metodologia já está implementada e o usuário só deve conversar com o sistema, um exemplo disso é o software Web-HIPRE (3). Este software foi desenvolvido na Helsinki University of Technology, na Finlândia. O referido programa funciona através da Internet e seu uso é gratuito, basta efetuar um cadastro no servidor da universidade. Este software de AHP pode ser utilizado nas coisas mais variadas, incluindo auxílio para tomada de decisões racionais de problemas triviais como por exemplo a escolha da compra de um carro entre vários. As figuras 1, 2 e 3 mostram o sitio na Internet do software Web-HIPRE.

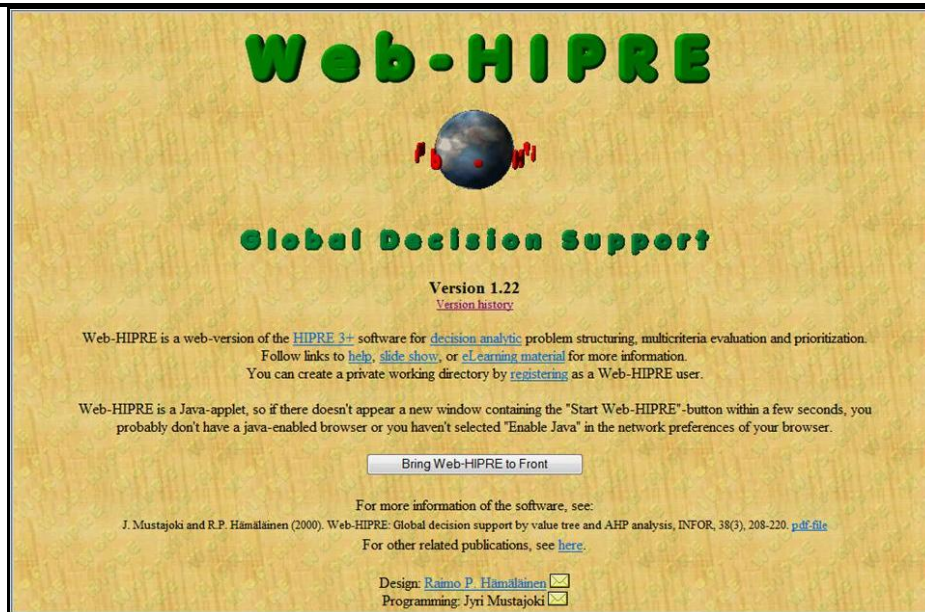


Figura 1: Página de acesso ao software Web-HIPRE na Internet.

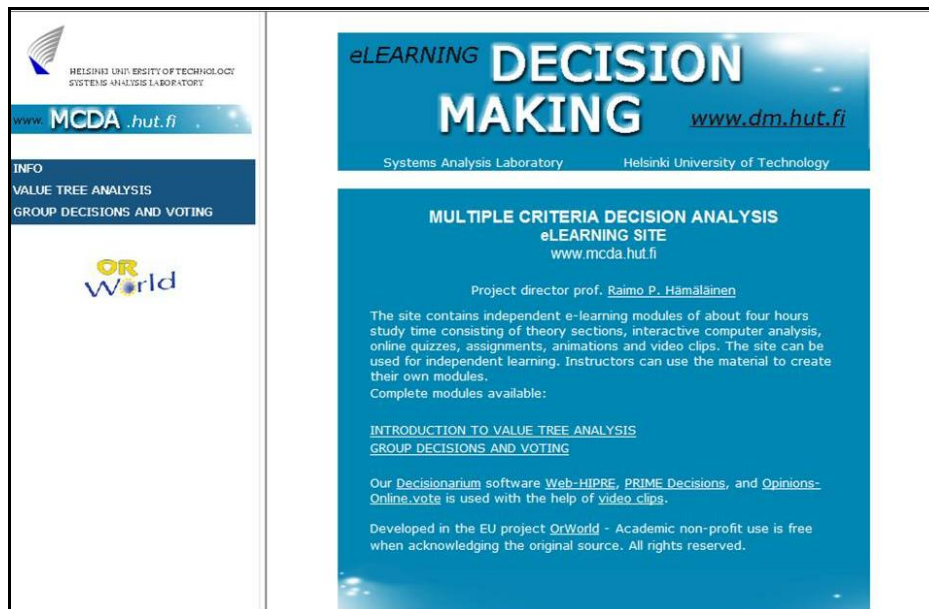


Figura 2: Página de acesso ao curso de uso do Web-HIPRE disponível na Internet.



Fig 3. Página de ajuda no uso do Web-HIPRE disponível na Internet.

Também existem programas de AHP para tratar certos problemas específicos, exemplo disto é o programa Spring, propriedade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (4), o qual contém um recurso para a ponderação de mapas destinados a cruzamento para a produção de mapas de síntese.

AHP e Álgebra de Mapas

Os sistemas de informações geográficas utilizam arquivos de dados estruturados de duas formas diferentes, os chamados arquivos vetoriais e os arquivos Raster ou matriciais. Os arquivos vetoriais são mais leves, de processamento mais rápido, mas de estruturação mais complexa. Os arquivos matriciais são mais pesados, de processamento mais demorado, mas de estruturação mais simples. Dependendo do problema tratado no SIG são utilizados arquivos de um tipo ou do outro. Algumas tarefas como por exemplo processamento de imagens de satélite ou de fotografias aéreas devem ser efetuadas necessariamente com arquivos Raster. Outras tarefas como por exemplo o tratamento de mapas temáticos, pode ser efetuado em forma vetorial ou Raster, no entanto trabalhar em forma matricial permite cruzar mapas temáticos com imagens de satélite ou outros arquivos matriciais, o qual pode

ser muito conveniente em diversas situações. Quando se realiza este cruzamento de mapas, está sendo utilizada uma metodologia chamada a Álgebra de Mapas. A álgebra de mapas começou com o trabalho de Joseph K. Berry em 1987 e nela cada mapa raster é considerado como uma variável da álgebra tradicional. As referidas variáveis (mapas) são seqüenciadas através de operadores matemáticos e lógicos e desta forma os mapas são tratados como o números e letras numa equação da álgebra tradicional. Desta forma os mapas podem ser somados, subtraídos, multiplicados, divididos etc. Mas, o que quer dizer por exemplo somar dois mapas?. Somar dois mapas quer dizer somar os valores atribuídos as células correspondentes ao mesmo local do espaço de ambos os mapas.

Para efetuar a Álgebra de Mapas os sistemas de informações geográficas apresentam uma linguagem de programação de uso simplificado chamada macro linguagem, que no caso do Spring é a linguagem Legal e no caso do ArcGis é a linguagem Avenue.

Na produção de mapas de síntese na resolução de problemas espaciais através da combinação de vários mapas usando a álgebra de mapas é natural se pensar que todos eles não têm a mesma significância, e não podem ter a mesma ponderação. É nesse momento que participa o método AHP atribuindo pesos diferenciados a cada mapa utilizado na álgebra. Mas também dentro de cada mapa, especialmente se são mapas temáticos, todas as classes do mapa não terão a mesma importância e conseqüentemente o mesmo peso nas operações de cruzamento, aqui novamente entra o método AHP para atribuir valor a cada classe dentro do mesmo mapa.

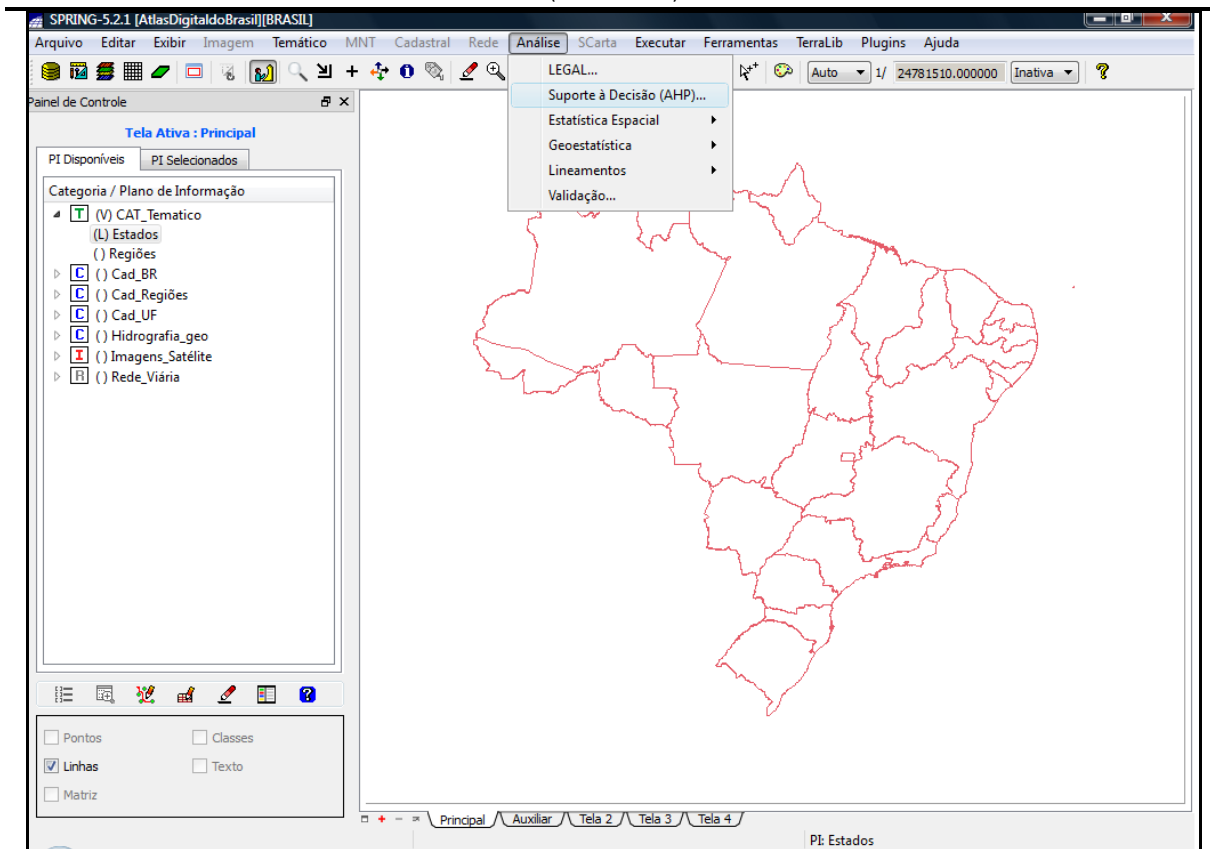


Figura 4: Software Spring apresentando o recurso “Suporte à Decisão- AHP”.

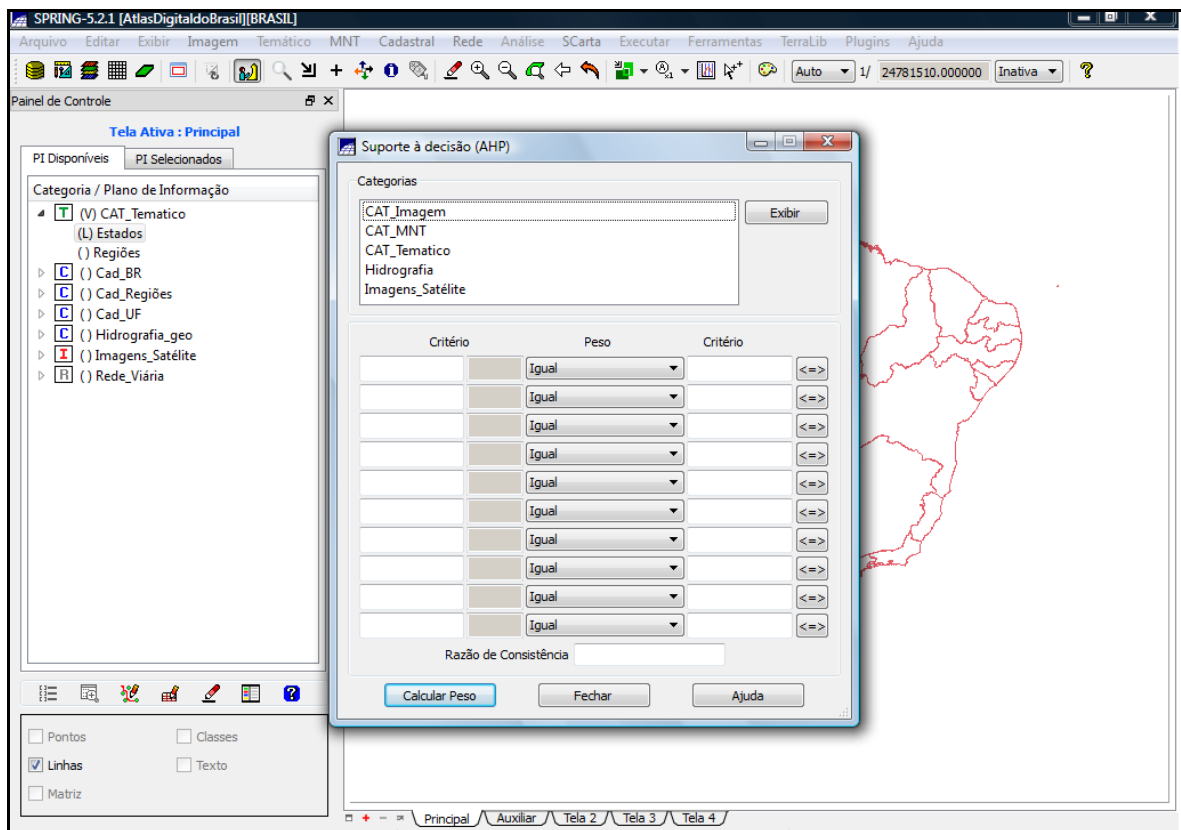


Figura 5: Software Spring apresentando a tabela do AHP para o diálogo entre o usuário e o sistema.

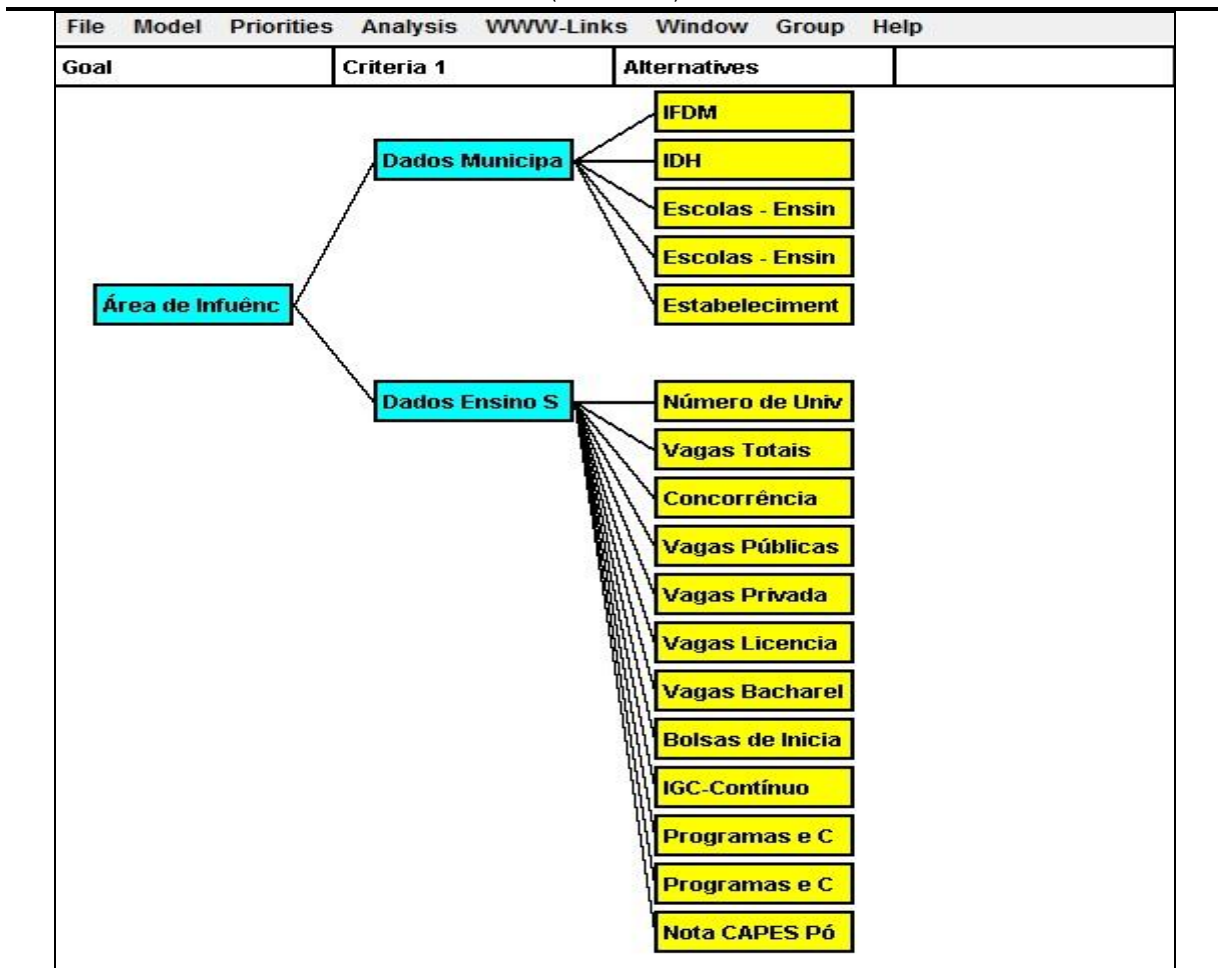


Fig. 6. Modelagem de uma pesquisa para atribuição de pesos no Software Web-HIPRE.

A	B	1 - 9 scale	Weight
A Dados Muni	1.0	0.33	0.250
B Dados Ensin	3.0	1.0	0.750

Figura 7: Atribuição de pesos entre variáveis de primeira ordem no Software Web-HIPRE.

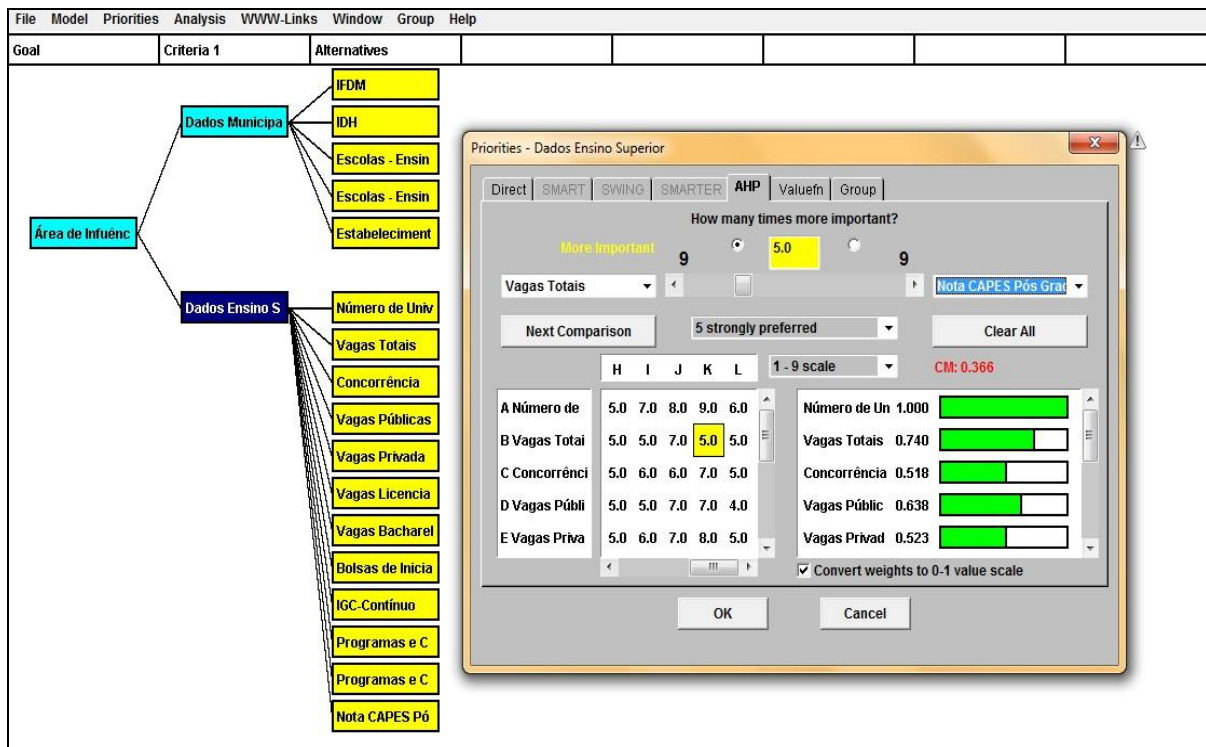


Figura 8: Atribuição de pesos entre variáveis de segunda ordem no Software Web-HIPRE.

Cabe observar também que nos últimos tempos têm aparecido trabalhos combinando o método AHP e a Álgebra Fuzzy (5) também chamada de Álgebra Difusa estendendo ainda mais o potencial do AHP.

Sobre os conceitos da Álgebra Fuzzy podem ser consultados Silva (2003), Miranda (2005), e Meirelles et al (2007) entre outros autores.

AHP e Modelo de Huff

O método AHP é utilizado nos sistemas de informações geográficas não somente como apoio à Álgebra de Mapas, sido também como contribuição à modelagem de fenômenos espaciais. Existem diversos procedimentos destinados a modelar fenômenos que acontecem no espaço, um desses procedimentos é o chamado modelo de integração espacial (6), também conhecido como método de Huff.

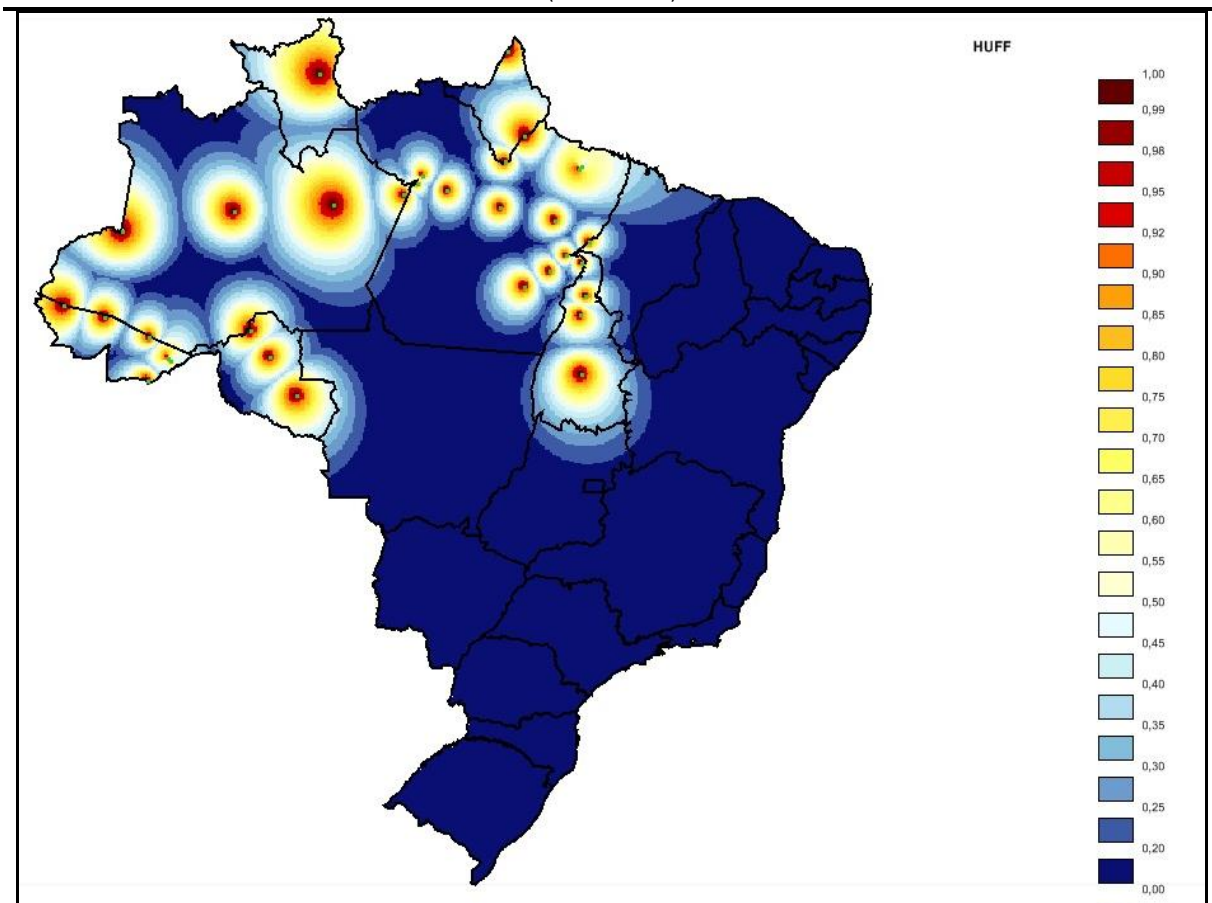


Figura 9: Mapa do modelo de Huff produzido pelo software Philcarto a partir da ponderação do AHP.

Este método está fundamentado no modelo de gravitação de Newton e foi desenvolvido por Huff em 1966. O resultado da aplicação do modelo consiste num mapa com classes de influência de pontos significativos do problema tratado, na sua região circundante. Os referidos pontos significativos exigem uma ponderação no modelo do Huff a qual poderá ser efetuada com o apoio do AHP ou com o uso de outro critério.

O software Philcarto (7) possui implementado o modelo de Huff. Na figura 9 é mostrado o uso do modelo de Huff combinado com o AHP num estudo da potencial influencia espacial na preferência dos alunos sobre os cursos de Geografia nas suas zonas vizinhas, na região Norte do Brasil. Cabe observar que o referido software é gratuito e pode ser efetuado download desde a página de seu autor(7).

AHP e Mapa de Redes

Nos sistemas de informações geográficas conjuntamente com os mapas de superfície existem recursos para tratar mapas de linhas. Estes mapas de linhas são conhecidos como

mapas de redes e os conceitos matemáticos de seu funcionamento estudam-se na rama da Matemática chamada Teoria de Grafos (8) que começou seu desenvolvimento com o matemático Euler no século XVIII.

As ferramentas computacionais sobre mapas de redes podem ser usadas em aplicações para redes hidrográficas, para mapas de estradas e ferrovias, para mapas de fluxos, em redes de distribuição de energia elétrica, em redes de saneamento etc.

Nos problemas das redes muitas vezes é necessário atribuir valores aos diversos tramos da rede, por exemplo numa rede viária atribuir pesos às rodovias federais, às estradas estaduais, às estradas regionais e às estradas rurais. A partir destes pesos o Sistema de Informações Geográficas poderá determinar qual o percurso a percorrer que exigirá o menor tempo de viagem. Para atribuir valores as diferentes estradas pode ser utilizada a metodologia AHP. Nas figuras 10 e 11 é mostrado o uso do AHP numa pesquisa destinada a minimizar o tempo de deslocamento de usuários rurais do sistema público de saúde numa região do estado de São Paulo, Brasil.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2	Revest. Natural (1)	0.211	0.323	0.299	0.12	0.194	0.17	0.196	0.21	0.187	0.198	0.184	2.292	0.208
3	Decliv. Alta (2)	0.106	0.161	0.199	0.24	0.194	0.255	0.196	0.126	0.112	0.142	0.082	1.813	0.165
4	Revest. Composto (3)	0.07	0.081	0.1	0.12	0.097	0.17	0.196	0.126	0.15	0.057	0.102	1.268	0.115
5	Sinuos. Alta (4)	0.211	0.081	0.1	0.12	0.097	0.085	0.147	0.126	0.15	0.142	0.102	1.360	0.124
6	Decliv. Média (5)	0.106	0.081	0.1	0.12	0.097	0.085	0.049	0.126	0.075	0.113	0.102	1.053	0.096
7	Visibil. de Baixa (6)	0.106	0.054	0.05	0.12	0.097	0.085	0.098	0.084	0.112	0.113	0.102	1.021	0.093
8	Sinuos. Média (7)	0.053	0.04	0.025	0.04	0.097	0.042	0.049	0.084	0.112	0.085	0.082	0.71	0.065
9	Decliv. de Baixa (8)	0.042	0.054	0.033	0.04	0.032	0.042	0.024	0.042	0.037	0.057	0.061	0.466	0.042
10	Visibil. Média (9)	0.042	0.054	0.025	0.03	0.049	0.028	0.016	0.042	0.037	0.057	0.102	0.482	0.044
11	Sinuos. Baixa (10)	0.03	0.032	0.05	0.024	0.024	0.021	0.016	0.021	0.019	0.028	0.061	0.327	0.03
12	Revest. Primário (11)	0.023	0.04	0.02	0.024	0.019	0.017	0.012	0.014	0.007	0.009	0.02	0.208	0.019
13		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	11.000	1.000
14														
15														
16														
17														

Figura 10: Tabela de ponderação de variáveis efetuada pelo Processo Analítico Hierárquico usando o software Excel.

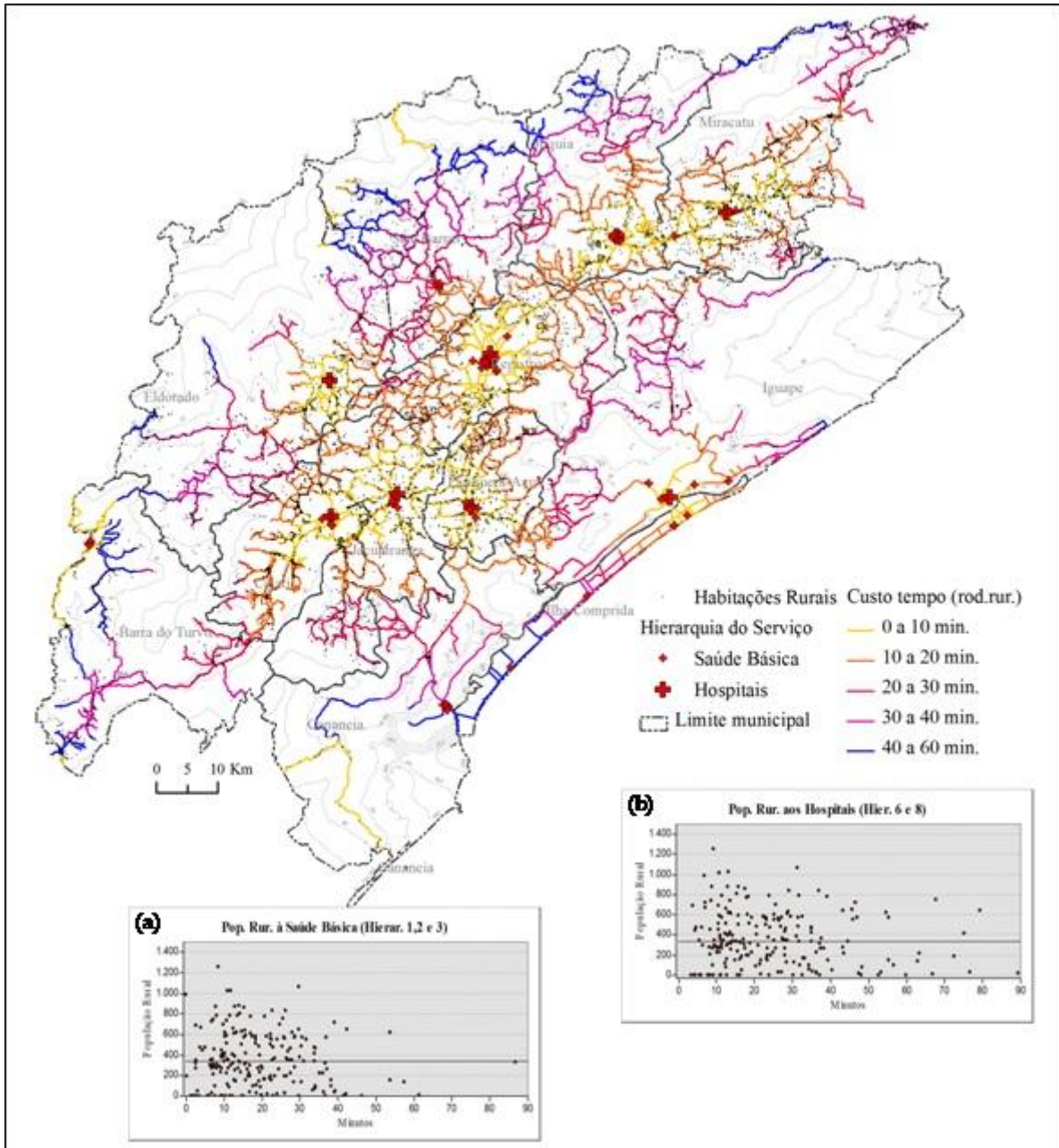


Figura 11: Mapa de Redes com classes temáticas indicativas do tempo de viagem construído a partir das ponderações das estradas geradas pelo método AHP.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Meirelles et al. **Geomática. Modelos e aplicações ambientais**. Ed Embrapa. Brasília 2007.

Miranda, J. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Ed. Embrapa. Brasília 2005.

Silva, A. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas**. Ed Unicamp. Campinas. 2003.

Referencias Internet.

(1) WIKIPEDIA. **Analytic Hierarchy Process**. Acesso em 06/08/2012.

http://en.wikipedia.org/wiki/Analytic_hierarchy_process.

(2) WIKIPEDIA. **Thomas L. Saaty**. Acesso em 06/08/2012.

http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_L._Saaty

(3) Web Hipre. **Servidor do software Web-Hipre**. Acesso em 06/08/2012.

<http://www.hipre.hut.fi/>

(4) -INPE- **Spring**. Acesso em 06/08/2012.

<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>

(5)- Souza, D. **Aplicação do método AHP-FUZZY**. Acesso em 06/08/2012.

<http://www.pucrs.br/edipucrs/erematsul/comunicacoes/10DEBORAFERRODESOUZA.pdf>

(6) - WIKIPEDIA. **Localização de instalações. Modelo de interação espacial**. Acesso em 06/08/2012.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Localiza%C3%A7%C3%A3o_de_instala%C3%A7%C3%B5es

(7) - WIKIPEDIA. **Philcarto**. Acesso em 06/08/2012.

<http://philcarto.free.fr/>

(8) - **Teoria de Grafos**. Acesso em 06/08/2012.

<http://www.mat.uc.pt/~picado/ediscretas/apontamentos/cap2.pdf>