

# INTEGRANDO MÉTODOS QUALITATIVO E QUANTITATIVO DA PESQUISA OPERACIONAL NA AVALIAÇÃO DA RBMC (REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO)

*B. Q. Fortunato<sup>1</sup>, S. O. A. Netto<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

## RESUMO

O objetivo desse trabalho é fazer uma análise qualitativa da eficiência da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System) (RBMC) utilizando o método Complex Holographic Assessment of Paradoxical Problems (CHAP<sup>2</sup>) que tem como premissa a organização da intersubjetividade facilitada pelo uso de representação visual do conhecimento estruturado (Mapa Conceitual), de modo a aumentar o grau de consciência para gerenciar os paradoxos resultantes da complexidade dos sistemas vivos. E, também, fazer uma análise quantitativa utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA) que terá como resultado um ranking em termos de eficiência que será avaliado por um profissional da área.

**Palavras-chave:** Eficiência. Intersubjetividade. Visual. Mapa. DEA.

## ABSTRACT

The proposal of this work is to make a qualitative analysis of the efficiency of the Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System) (RBMC) using the Complex Holographic Assessment of Paradoxical Problems (CHAP<sup>2</sup>) method, whose premise is the organization of intersubjectivity facilitated by the use of visual representation of structured knowledge (Conceptual Map) in order to increase the degree of consciousness to manage the paradoxes resulting from the complexity of living systems. And also make a quantitative analysis using Data Envelopment Analysis (DEA) that will result in a ranking in terms of efficiency that will be evaluated by a professional of the area.

**Keywords:** Efficiency. Intersubjectivity. Visual. Map. DEA.

## 1- INTRODUÇÃO

O GNSS, sigla para o termo Global Navigation Satellite System (Sistema de Navegação Global por Satélite), engloba o Global Positioning System (GPS) dos Estados Unidos, o Sistema Glonass da Rússia, o Galileo da União Europeia e o Beidou ou Compass da China (Monico, 2007).

A utilização da tecnologia GNSS provocou uma verdadeira revolução nas atividades de navegação e posicionamento. Os trabalhos geodésicos e topográficos passaram a ser realizados de forma mais rápida, precisa e econômica. À medida que as técnicas de posicionamento evoluem, diversas aplicações em tempo real e pós-processado têm surgido, tornando o papel da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) cada vez mais amplo.

Em operação desde 1996, a RBMC foi a primeira rede desta natureza implantada na América do Sul. A implantação, manutenção e operação da rede são conduzidas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística), com o apoio de dezenas de instituições públicas de todo o país. A RBMC possui atualmente 123 (cento e vinte e três) estações no território brasileiro.

As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Cada estação possui um receptor e antena geodésica, conexão de Internet e fornecimento constante de energia elétrica que possibilita a operação contínua da estação.

## 2-ANÁLISE QUALITATIVA

CHAP<sup>2</sup> é a sigla para “Complex Holographic Assessment of Paradoxical Problems”. Trata-se de uma metodologia sistêmica de estruturação de problemas, baseada em mapas metacognitivos, que auxiliam na resolução de problemas de alta complexidade e que

envolve interações entre os componentes humanos, tecnológicos, organizacionais e ambientais. Essa metodologia se mostra oportuna para a investigação do problema, à medida que é capaz de representar a complexidade associada, articulando um processo multimetodológico.

A metodologia CHAP<sup>2</sup> requer a articulação de diversos desenvolvimentos recentes, a saber:

- Teoria da Mente como conjunto de conhecimentos importantes para se compreender os diferentes comportamentos humanos, tais como a psicologia das personalidades, a expressão das emoções e as culturas organizacionais.
- O Pensamento Sistêmico, herdeiro da cibernética e da Teoria Geral dos Sistemas, que desvela propriedades e fenômenos imperceptíveis sob a teoria organizacional dominante.
- A Teoria da Complexidade Social, em particular por permitir identificar paradoxos existenciais e polaridades, que precisam ser gerenciados.
- Os Métodos de Estruturação de Problemas, nascidos na Pesquisa Operacional do Reino Unido, e que focam a fase de modelagem dos problemas, e permitem a validação contextual e comprometida com resultados concretos.
- A representação de perspectivas em relação a problemas, que podem ser estruturadas através de mapas conceituais/cognitivos, e permitem integrar aspectos quantitativos com qualitativos.

Teoria sobre multiplicidade e dialogicidade, assim como da metacognição x auto-engano, ambas em consonância com a expressão de paradoxos estruturais (Lins, 2014).

A metodologia proposta para o CHAP<sup>2</sup> abrange duas instâncias: a percepção do problema e a intervenção sobre o problema, tendo em conta a regulação externa localizada e a interna distribuída, buscando integrar as perspectivas dos analistas e dos agentes envolvidos e integrando abordagens qualitativa e quantitativa.

A regulação externa é essencial na tomada de decisão centralizada e legal, requerendo o estabelecimento de indicadores quantitativos. Entretanto, a regulação interna é essencial à percepção dos problemas do mundo real complexo; também se utiliza de indicadores para desenvolver a percepção dos agentes envolvidos com relação aos processos em que se inserem, e assim tomar decisões distribuídas.

A abordagem do modelo CHAP<sup>2</sup> compreende seis etapas:

- I. Caracterização do Sistema Real e agentes relevantes.
- II. Seminários, avaliações e dinâmicas metacognitivas.
- III. Caracterização dos padrões de percepção dos atores.
- IV. Workshops para elaboração dos modelos conceitual e paradoxal.
- V. Articulação com modelos de indicadores.
- VI. Identificação e implementação de ações viáveis.

### 3-ANÁLISE QUANTITATIVA

O Software DEA Frontier usa o Excel Solver como mecanismo para resolver os modelos de Análise Envoltória de Dados (DEA) que foi desenvolvido pelo Professor Joe Zhu do WPI (Worcester Polytechnic Institute). É importante relatar que as restrições de pesos não foram introduzidas nos modelos. Na determinação de metas e indicadores de RBMC, cada estação é representada como uma DMU (Decision Making Unit) dotada de autonomia. Além de escolher variáveis e DMUs, a modelagem de DEA requer a escolha do modelo, seja em relação à orientação ou retorno à escala. Neste estudo de caso, utilizamos o modelo DEA VRS com saída orientada.

Enquanto os modelos clássicos de DEA assumem que os inputs (entrada) devem ser minimizados e os outputs (saída) maximizados, o processo de produção pode gerar resultados indesejáveis (outputs) que devem ser minimizados. Uma das abordagens mais comumente usadas para lidar com esse problema é a Transformação Inversa Multiplicativa (MLT) (Golany e Roll, 1989) que consiste em calcular o valor inverso de cada output indesejado, transformando-o em output desejado. Foi adotada uma outra abordagem, que considera o output indesejado como entrada no modelo DEA.

A Análise Envoltória de Dados otimiza cada observação individual com o objetivo de calcular uma fronteira de eficiência, determinada pelas unidades que são Pareto eficientes. O conceito de Pareto eficiência busca um conjunto de unidades não comparáveis entre si, que são eficientes ou melhores que as outras, em ao menos um aspecto ou dimensão. Isto é, dedicam-se a caracterizar as faces eficientes do espaço de solução dos problemas (Stewart, 1996).

Depois de devidamente identificadas as variáveis, um relatório que contém o ranking em termos de eficiência e os benchmarks (referências) é gerado. Basta fazer a avaliação correta do relatório e terá a análise quantitativa do problema.

#### 4- VARIÁVEIS DO PROBLEMA E ESTUDO DE CASO

Como é possível observar na tabela, uma das variáveis identificadas para esse problema foi: dias de funcionamento que equivale a quantidade de dias no ano que a estação esteve funcionando perfeitamente.

Outra variável identificada foi o efeito do multicaminhamento que é o erro que resulta no sinal GPS que chega ao receptor através de mais de um caminho (como quando sua localização fica perto de edifícios ou outras elevações, estruturas metálicas ou superfícies de água). Este efeito aparece porque o sinal de satélite não viaja diretamente para a antena, mas atinge primeiro algum objeto e é refletido na antena criando uma medição falsa. Os efeitos podem ser estimados usando uma combinação de frequência  $f_1$  e  $f_2$ , código e portadora. Normalmente pode ser computado em L1 (MP1) e L2 (MP2).

A última variável identificada foi a quantidade de elétrons livres, causados pelas explosões solares, presentes na ionosfera que causam um atraso no sinal GNSS. É feita uma correção para o efeito da ionosfera nesse sinal captado e por isso essa variável não aparece nos relatórios das estações e não foi considerada para a análise quantitativa desse trabalho.

TABELA 1 – VARIÁVEIS IDENTIFICADAS

Dias de Funcionamento
MP1 em fase portadora L1
MP2 em fase portadora L2
Presença de elétrons livres

O banco de dados utilizado no modelo DEA foi o sistema de informação da RBMC, referente ao ano de 2016. As variáveis utilizadas foram dias de funcionamento, multicaminhamento1 (MP1) e multicaminhamento 2 (MP2). Todas entraram como

outputs no Software utilizado. As variáveis MP1 e MP2 entraram como outputs indesejáveis e por isso foram utilizados os valores  $1/MP1$  e  $1/MP2$ .

No relatório gerado, algumas DMUs, apesar da eficiência calculada ter sido 1 estão na Região Pareto Ineficiente. Pois elas somente seriam eficientes se o benchmark (referência) fosse ela mesma (foi o caso de COAM, MTVB, SPS1 e UFPR). Desta maneira, foi preciso recalcular as eficiências usando a medida de Russell orientada a output. Onde os novos valores ocuparam o lugar desses “falsos resultados 1”.

Uma das primeiras medidas de eficiência não-radiais (Färe e Lovell, 1978) minimiza a média aritmética não ponderada da redução proporcional de todos os inputs individuais mantendo constante o nível de outputs. Esta medida foi mais tarde generalizada para o caso não orientado em que os inputs e outputs poderiam mudar a fronteira de produtividade. O gráfico da eficiência de Russell (Färe et al., 1985) com referência a uma tecnologia geral  $T$  é

$$R_o = \min \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m \theta_i + \sum_{r=1}^s \frac{1}{\beta_r}}{m+s} \mid (\theta_i, x_i, \beta_r, y_r) \in T, \theta_i \leq 1, \beta_r \geq 1 \right\} \quad (1)$$

Onde  $\theta_i$  e  $\beta_r$  são, respectivamente, os valores de input e output.

Quando  $\beta_r$  não é considerado, a função acima se reduz para  $\sum \theta_i / m$ , que é o input para a medida de eficiência de Russell que pode, portanto, ser definida com uma orientação de entrada (input) ou saída (output) ou sem orientação (como acima). Em qualquer caso, o resultado da medida de eficiência reflete todas as fontes de ineficiência.

Depois de feito tudo isso, bastou calcular o inverso das eficiências e colocá-las em ordem decrescente para obter o ranking final como pode ser visto na figura abaixo.

Tabela Final de Eficiência					
Ranking	Estação	Eficiência	Ranking	Estação	Eficiência
1	Coam, Mtvb, Sps1, Ufpr	1,0000000000000000	54	Mgin	0,954063016463290
2	Pitn	0,997267759562847	55	Rsal	0,954018330664571
3	Mgrp, Smar	0,997267759562846	56	Recf	0,953551912568312
4	Gour, Mki, Pasm, Rjcg	0,997267759562843	57	Pisr	0,953551912568309
5	Riod	0,997267759562840	58	Mabb	0,951961611267439
6	Ppte, Spfr	0,997267759562839	59	Prov	0,951038229126461
7	Ceeu	0,997153928040599	60	Amha	0,945355191256836
8	Mgv1	0,996273526461274	61	Imbt	0,945355191256833
9	Pbcg, Peaf	0,994535519125687	62	Mtsr	0,942622950819677
10	Batf, Mabs	0,994535519125681	63	Saga	0,940057727184487
11	Bele	0,991803278688531	64	Maba	0,939890710382520
12	Amua, Mtoo, Rnmo	0,991803278688525	65	Bavc	0,937474197734523
13	Scaq, Spli	0,991803278688524	66	Rood	0,932357241501557
14	Pove	0,991654818312153	67	Ube1	0,930875800475189
15	Pbjp	0,989071038251373	68	Mtsf	0,920148528902688
16	Spbo	0,989071038251372	69	Mapa	0,919170120613705
17	Sjss	0,989071038251365	70	Rnna	0,909077921223175
18	Mscg	0,986890355069374	71	Prma	0,907683564733996
19	Bait	0,986338797814215	72	Roji	0,907103825136617
20	Amco, Mton, Rnfp, Rogm, Rscf, Savo	0,986338797814208	73	Aps1	0,904371584699455
21	Poli	0,986338797814207	74	Gogy	0,901603466616128
22	Cuib	0,985844122840349	75	Paat	0,893442622950820
23	Cruz	0,985812750426231	76	Aplj	0,890710382513662
24	Bair	0,985193680533221	77	Ambc	0,885245901639344
25	Ssa1	0,984044684108509	78	Ilha	0,879781420765032
26	Amte	0,983964511009560	79	Babj	0,871584699453554
27	Ifsc, Naus	0,983606557377048	80	Pait	0,860655737704921
28	Seaj	0,983540003966176	81	Jamg	0,857923497267763
29	Riob	0,982579049512467	82	Mtnx	0,857923497267760
30	Poal	0,981241671896773	83	Crat	0,856247199593916
31	Mgub, Spdr	0,980874316939889	84	Vico	0,855537355743361
32	Cefe	0,980874316939888	85	Spar	0,852947214011529
33	Goja, Neia, Sptu, Togu	0,978142076502730	86	Mc11	0,850107218379487
34	Gval	0,977531462583223	87	Spc1	0,836601848177016
35	Bail	0,977525052132871	88	Rosa	0,833333333333336
36	Mgmc	0,977193149193180	89	Msdv	0,827971593754359
37	Impz, Mgbh	0,975409836065571	90	Spja	0,792349726775960
38	Dnrj	0,974694323451272	91	Babr	0,790236648012461
39	Rspe	0,973871374358955	92	Uba1	0,788135451840352
40	Picr	0,972677595628422	93	Prgu	0,779771083566509
41	Topl	0,968837032394756	94	Chpi	0,745901639344267
42	Braz	0,968207692222143	95	Seff	0,727375921203386
43	Cesb	0,967523486025889	96	Salu	0,726775956284153
44	Boav	0,967213114754096	97	Sjrp	0,699453551912572
45	Pifl, Sppl	0,964480874316949	98	Ampr	0,655737704918033
46	Ceft	0,961748633879785	99	Msaq	0,612021857923497
47	Pepe	0,960533095120773	100	Mtba	0,590163934426228
48	Soch	0,959501337789284	101	Bepa	0,554644808743168
49	Itam	0,959016393442625	102	Amta	0,530054644808744
50	Alar	0,956284153007379	103	Spbp	0,524590163934429
51	Quri	0,956284153005469	104	Ammu	0,521857923497267
52	Eesc	0,956284153005465	105	Spfe	0,500000000000002
53	Sola	0,955176386353123	106	Mscv	0,418032786885246

Fig. 1 – Ranking FINAL de eficiência das Estações RBMC

## 5- CONCLUSÃO

Com a ajuda da Gerência de Geodésia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi feita uma avaliação das dez primeiras estações e das dez últimas do ranking para saber quais podem ser as possíveis condições para que a ordem apresentada tenha sido essa.

Talvez algumas estações tenham ficado com um resultado ruim porque estiveram inoperantes durante um período, mas isso não significa que os dados ou a conexão da internet com essas estações sejam ruins.

A estação RIOD está na relação das 10 melhores e, talvez, isso se dê dessa maneira porque fica no quintal

do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A maioria das estações relacionadas como melhores ficam em Universidades como por exemplo: UFPR, PPTTE MGRP, SMAR, GOUR, SPFR, RJCG. E isso é um ponto a favor para as Universidades que cooperam bastante com a operação das estações.

As 10 piores estações estão localizadas na sua maioria na região Amazônica e Centro-Oeste onde temos os maiores problemas de Internet, descarga elétrica e queda de energia. A MSCO, por exemplo, foi uma estação desativada em 2016, e, provavelmente, esse é o motivo dela estar com uma avaliação tão baixa.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPERJ pelo apoio à presente pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C.A.K., 1985, The Measurement of Efficiency of Production. Boston, Kluwer-Nijhoff Publishing.

Färe, R., Lovell, C.A.K., 1978, “Measuring the Technical Efficiency of Production”, Journal of Economic Theory, v. 19, n. 1, pp. 150-162.

Golany, B. and Roll, Y. (1989) An application procedure for DEA, OMEGA International Journal of Management Science, 17 (3), 237-250.

Monico, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS – Descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: EditoraUnesp, 2007.

Stewart, T. J., 1996, “Relationships between data envelopment analysis and multicriteria decision analysis”, Journal of the Operations Research Society, v. 47, pp. 654-665.

Notas de aula da disciplina “Tópicos Especiais em Estruturação de Problemas” ministrada na PEP/COPPE-UFRJ.

Site do IBGE - <http://www.ibge.gov.br/home/> - visualizado em janeiro de 2017.