

WEB PROA, SOFTWARE LIVRE PARA OS MÉTODOS MULTICRITÉRIOS À DECISÃO BORDA, CONDORCET E COPELAND

Mirley Bittencourt

Dep. de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Av. dos Trabalhadores, 420, 27255-125, Volta Redonda, RJ
bitencourt.mirley@gmail.com

Lidia Angulo Meza

Dep. de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Av. dos Trabalhadores, 420, 27255-125, Volta Redonda, RJ
lidia_a_meza@pq.cnpq.br

RESUMO

Este artigo apresenta uma implementação computacional, chamada de Web PROA (Preferências Ordinais Agregadas), de três Métodos Multicritério de Apoio à Decisão, o método de Borda, de Condorcet e de Copeland. Os três métodos são bastante simples de entender, no entanto, eles podem ser computacionalmente intensos, especialmente os métodos de Condorcet e Copeland, pois requerem um número de comparações muito grande para um número médio de alternativas. Assim, serão apresentados os algoritmos para estes três métodos. Também será explicada a implementação realizada, será apresentado o Web PROA, as suas condições de uso (plataforma e requerimentos do sistema) e os resultados que fornece. Destaque-se que trata-se de um software livre, disponível a todos pela internet.

PALAVRAS CHAVE. Borda, Condorcet, Copeland, Software Livre.

Área principal: ADM - Apoio à Decisão Multicritério

ABSTRACT

This paper presents a computational implementation, called Web PROA (Aggregated Ordinal Preferences – in Portuguese), of three Multicriteria Methods for Decision Aid, the Borda, Condorcet and Copeland Methods. These three methods are fairly simple to understand, however, they may be computationally intensive, especially the Condorcet and Copeland methods and therefore require a very large number of comparisons for a medium number of alternatives. Therefore, we will present the algorithms for these three methods. Then, we will explained the computational implementation, the Web PROA, their conditions of use (platform and system requirements) and the results it provides. It is noteworthy that this is free software, available to everyone over the Internet.

KEYWORDS. Borda, Condorcet, Copeland, Free Software.

Main area (inform by priority the área of the article because JEMS system makes the classification alfabeticaly) : MCDA - Multicriteria Decision Aid

1. Introdução

Os métodos multicritério de apoio à decisão são um conjunto de métodos para ordenação, classificação e escolha de alternativas que um decisor dispõe para um determinado estudo de caso. Na literatura existem vários métodos que auxiliam o decisor no processo. Neste trabalho destacam-se três destes métodos: o método de Borda, o de Condorcet e o de Coppeland (Barba-Romero e Pomerol, 1997). Estes três métodos trabalham com ideias básicas simples, no entanto, dependendo do número de alternativas e de critérios, a quantidades de cálculos a serem realizados podem ser muito grandes, mesmo com um volume de alternativas de porte médio. Ao não se dispor de ferramentas computacionais para estes algoritmos, grande parte do tempo disponível para a análise de um determinado estudo de caso é utilizado na execução dos métodos, e por muitas vezes são substituídos por outros métodos mais sofisticados, mas computacionalmente menos intensos para o usuário.

Sendo assim este trabalho tem como objetivo realizar uma implementação computacional dos métodos de Borda, Condorcet e Copeland de forma tal que o software seja amigável ao usuário na entrada e na saída de dados e que seja capaz de ser utilizado em qualquer plataforma, Linux e Windows, através de uma interface Web. O software será disponibilizado de forma gratuita à comunidade.

Entende-se que a interface web melhorará o acesso a estes métodos, a forma em que eles trabalham (seus algoritmos), reduzindo também a possibilidade de erro no processamento das informações. Além disso, reduzirá o tempo de processamento do algoritmo, fazendo que um tempo maior seja utilizado na análise de critérios e na validação dos resultados, e também promoverá um maior uso destes métodos que muitas vezes não são utilizados devido a que outros métodos já possuem implementações computacionais.

2. Metodologia

O primeiro passo para a implementação computacional foi um estudo dos algoritmos dos métodos a serem implementados. O livro de Barba-Romero e Pomerol (1997) apresenta estes algoritmos que são explicados brevemente a seguir. Também podem ser encontrados em Dias et al (1996), Gomes et al (2004) e Gomes et al (2006). Uma

O método de Borda ordena as alternativas através de uma pontuação atribuída a cada uma delas. Essa pontuação é dada da seguinte forma: as alternativas são ordenadas da melhor para a pior segundo cada critério. A cada posição da alternativa é atribuída uma pontuação correspondente (1º lugar = 1 ponto; 2º lugar = 2 pontos; e assim sucessivamente; em caso de empate é realizada uma média dos pontos e atribuída para cada alternativa). A ordenação final é obtida fazendo-se a soma de todos os pontos ganhos por cada alternativa. Aquela alternativa que tiver menor pontuação é a primeira a ser classificada, sendo assim, esta é uma classificação crescente.

O contemporâneo de Borda, Caritat de Condorcet (1743-1794), conhecia os trabalhos do seu colega e desenvolveu um método sobre agregação de preferências sob uma visão de votação que ficou conhecido como método de Condorcet. Neste método, dada uma matriz de alternativas (par a par) e critérios seus elementos são comparados entre si e de acordo com o tipo do critério (maximizar ou minimizar) é dado uma preferência para um ou para outra alternativa. Assim, a matriz C conhecida como Matriz de Preferências é definida por Barba-Romero e Pomerol (1997) tal como em (1), em que P expressa a preferência de uma alternativa sobre outra.

$$\text{Se } A_i \succ A_k, \text{ então, } c_{ik} = 1; \text{ se } A_i = A_k, \text{ então, } c_{ik} = 0; \text{ senão } c_{ik} = -1 \quad (1)$$

Ainda para determinar a preferência entre duas alternativas, A_i e A_k , elas devem ser comparadas em cada critério. Assim, que o número de comparações entre um dado par de alternativas é igual ao número de critérios. Além disso, esta comparação deve ser feita entre cada par de alternativas, isto é, para um total de n alternativas devem-se ser feitas $C_{n,2} = n!/2!(n-2)!$ comparações.

Uma vez obtida a matriz, a ordenação é feita utilizando técnica de classificação

descendente (Dias *et al.*, 1996; Barba-Romero e Pomerol, 1997), de melhor para pior, sendo o primeiro colocado aquele que foi preferido sobre todas as outras alternativas, ou seja, a linha da matriz com valores $c_{ik} = 1$ em todas as colunas (menos na diagonal). A segunda colocada será aquela alternativa preferida sobre todas as outras (excluimos a alternativa já ordenada). A destilação descendente também é utilizada para ordenar as alternativas, ela funciona de forma análoga à anterior, mas a ordenação das alternativas é feita de pior para a melhor.

Em muitos casos, tanto na destilação ascendente quanto na destilação descende, não é possível fazer a ordenação total das alternativas. Isto se deve a existência de ciclos de intransitividade, em que nenhuma alternativa é preferível a outra. Esta ocorrência é conhecida como Paradoxo de Condorcet. Na Figura 1 apresenta-se um exemplo deste ciclo para três alternativas A B e C formam um ciclo. Assim, observa-se que A é preferível a B, B é preferível a C e C é preferível A, sendo que não é possível estabelecer uma preferência entre as três.

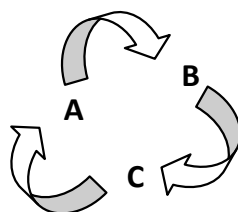


Figura 1. Ciclo de Intransitividade

Pode-se destacar que este método é ordinal que satisfaz o axioma de Arrow de independência, mas não o axioma da transitividade. Além disso, leva-se muito tempo para tratar todas as combinações de comparações binárias entre as alternativas (uma discussão sobre as diferenças entre escalas ordinais e cardinais por ser encontrado em Bana e Costa *et al.*, 2013).

O método de Copeland é utilizado quando acontecem ciclos de intransitividade. Este método utiliza a mesma matriz de preferências do método de Condorcet para fazer a ordenação das alternativas. Porém, é criada uma coluna a mais onde é calculada a diferença entre as vitórias, representadas pelo número 1, e as derrotas, representadas pelo número -1. A ordenação das alternativas é dada pela ordenação decrescente dessa coluna. É interessante observar que quando não há ciclos de intransitividade no método de Condorcet, os resultados das ordenações são iguais em ambos os métodos.

Após a pesquisa dos algoritmos, procedeu-se à implementação computacional dos métodos de forma a facilitar a interface com o usuário. Assim, decidiu-se utilizar uma página web para a entrada de dados no programa, o programa é chamado de Web PROA (Preferências Ordinais Agregadas).

O Web PROA foi desenvolvido em Java, JSP, JavaScript e HTML através da plataforma de desenvolvimento NetBeans. Java é uma linguagem de programação orientada a objetos criada na década de 90 pela empresa Sun Microsystems e uma de suas principais características é ser multiplataforma. Esta característica é possível por conta da Máquina Virtual Java (do inglês Java Virtual Machine – JVM) que é um programa que executa os aplicativos Java, pois, converte os bytecodes em um código executável. Outro benefício dessa linguagem é ser código aberto, assim, não temos nenhum custo para desenvolver nesta linguagem.

Java Server Pages (JSP) é uma tecnologia Java empregada para desenvolver aplicativos na web baseada na linguagem Java e também é multiplataforma e de código aberto. Através desta ferramenta é possível capturar informações presentes em um formulário, manipular arquivos, fazer conexões a banco de dados, obter informações sobre o usuário, entre outros. Essa tecnologia permite a interação de marcações dinâmicas por meio do código Java com marcações estáticas que são compiladas num servidor gerando páginas HTML. Os servidores compatíveis com esta tecnologia são Tomcat e Glassfish. Neste presente trabalho foi utilizado o Glassfish tendo a vantagem por também ser uma aplicação de código livre escrita em Java e que suporta a tecnologia JSP e diversas outras de serviços web. Este servidor está embutido na plataforma de desenvolvimento (do inglês *Integrated Development Environment* – IDE) Netbeans. Esta

plataforma é gratuita e fornece suporte para desenvolvimento de softwares em Java, PHP, JavaScript, etc. Também oferece aos desenvolvedores diversas ferramentas como escrever, *debugar* e compilar que facilitam a criação de programas e sistemas que podem ser executados em computadores, em dispositivos móveis e empresariais. Seus principais recursos são: editor de código fonte que reconhece comandos da linguagem que se destacam das demais partes do código, visualizador de classes Java (neste caso), ajuda *off-line* e *on-line*, auto-completa comandos. As linguagens de programação Java e JSP e as ferramentas Netbeans e Glassfish são disponibilizadas, atualmente, pela empresa Oracle.

JavaScript é uma linguagem de programação de script, mas não é baseada na linguagem Java. Um código script não necessita ser processado (ou compilado) antes de ser executado. No contexto web, o JavaScript é executado quando a página é carregada ou quando é acionado um evento pelo usuário. Esta linguagem torna a página web dinâmica permitindo que mesmo sem ser recarregada o seu conteúdo pode ser modificado. E por fim o HTML que é uma abreviação para a expressão do inglês *HyperText Markup Language*, que no português é Linguagem de Marcação de Hipertexto é uma linguagem de marcação utilizada para publicar páginas Web estáticas que são interpretadas nos navegadores. Essas duas últimas linguagens (JavaScript e HTML) são padrões da W3C. A W3C, abreviação do inglês *World Wide Web Consortium*, é um consórcio internacional que estabelece padrões para desenvolvimento de páginas web.

3. Resultados

A implementação teve duas fases. Na primeira, o foco foi a implementação dos algoritmos dos métodos Borda, Condorcet, Copeland de forma funcional. Aqui foram implementados algoritmos computacionais na linguagem JAVA que recebe como parâmetros os critérios e as alternativas com suas respectivas pontuações através da entrada de dados de um arquivo no formato CSV e o resultado apresentado em páginas HTML. Na segunda fase foi desenvolvido um programa Web com o objetivo de aumentar a usabilidade do usuário. Na Tabela 1 apresenta-se um estudo de caso de um gerente do departamento de Recursos Humanos que precisa escolher um candidato vaga de analista, exemplo adaptado de Dias et al (1996).

Tabela 1 - Candidatos e critérios

Candidato	Experiência	Salário	Qualif. Acadêm.	Teste	Motivação
Função	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX
A1	40	310	15	60	3
A2	22	340	14	91	3
A3	14	260	17	79	3
A4	50	400	8	87	3
A5	26	250	13	40	3
A6	20	370	15	72	1

Para executar o programa web é requerido um sistema operacional com interface gráfica como Windows XP, Windows 7, Windows Vista, Mac OS, Linux Ubuntu e etc. Além disso, é necessário que neste sistema operacional esteja instalado um navegador como Mozilla, Chrome, Internet Explorer, Safari dentre outros. Para acessar o software basta informar, no navegador, o endereço da página de internet no qual estará disponibilizado.

A entrada de dados é através de uma matriz inicial com duas colunas (dois critérios) e duas linhas (duas linhas), apresentada na Figura 2.



Figura 1 - Tela inicial do Web PROA

Para inserir as alternativas mais alternativas basta clicar no botão “Adicionar Alternativa” (Figura 3) e então a linha da alternativa (i) será criada abaixo da última alternativa. Se desejar editar o nome da alternativa basta clicar em cima do nome que deseja alterar e digite o nome adequado.



Figura 2 - Criação e remoção de alternativas

Para inserir os critérios basta clicar no botão “Adicionar Critério” e uma nova coluna será inserida a direita da última existente. Para editar a coluna do critério (j) basta clicar sobre o critério desejado e alterar o nome, e depois escolha se o critério será de maximizar (MAX) ou de minimizar (MIN). Para finalizar clique em “Salvar” (Figura 4)

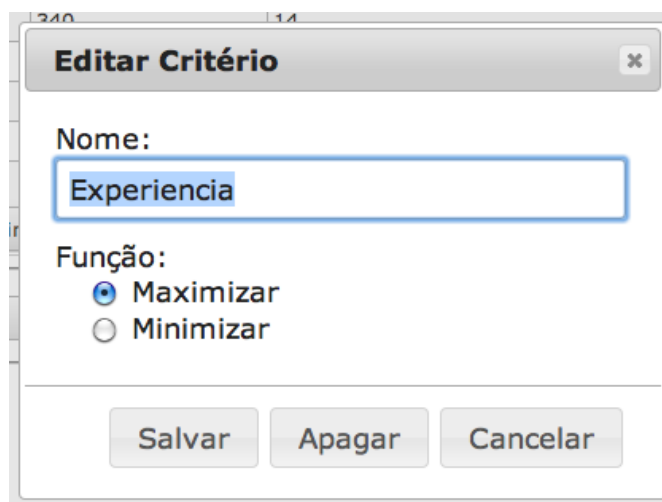


Figura 3 - Edição de critérios

Para a entrada de dados das alternativas e critérios é necessário preencher os campos da matriz tal como é mostrado na Figura 5 usando os dados da Tabela 1.

+ Adicionar Critério

	Experiencia (Max)	Salario (Min)	Qual. Academica (Max)	Teste (Max)	Motivacao (Max)
Alternativa 1	40	310	15	60	3
Alternativa 2	22	340	14	91	3
Alternativa 3	14	260	17	79	3
Alternativa 4	50	400	8	87	3
Alternativa 5	26	250	13	40	3
Alternativa 7	20	370	15	72	1

+ Adicionar Alternativa ✖ Remover Alternativa 🧼 Limpar Formulário

Classificar:

Borda Condorcet Copeland

Figura 4 - Matriz exemplo

Para gerar os resultados basta clicar no botão do método desejado e o programa abrirá uma nova página HTML com o resultado da classificação. A ordenação gerada pelo método de Borda, para o exemplo da Tabela 1 é apresentada na Figura 6.

Método de Borda

Alternativas	Critérios				
	Experiencia <i>MAXIMIZAR</i>	Salario <i>MINIMIZAR</i>	Qual. Academica <i>MAXIMIZAR</i>	Teste <i>MAXIMIZAR</i>	Motivacao <i>MAXIMIZAR</i>
Alternativa 1	40	310	15	60	3
Alternativa 2	22	340	14	91	3
Alternativa 3	14	260	17	79	3
Alternativa 4	50	400	8	87	3
Alternativa 5	26	250	13	40	3
Alternativa 7	20	370	15	72	1

Posições:

Alternativas	Critérios					Pontuação Total
	Experiencia <i>MAXIMIZAR</i>	Salario <i>MINIMIZAR</i>	Qual. Academica <i>MAXIMIZAR</i>	Teste <i>MAXIMIZAR</i>	Motivacao <i>MAXIMIZAR</i>	
Alternativa 1	2	3	2.5	5	3	15.5
Alternativa 2	4	4	4	1	3	16
Alternativa 3	6	2	1	3	3	15
Alternativa 4	1	6	6	2	3	18
Alternativa 5	3	1	5	6	3	18
Alternativa 7	5	5	2.5	4	6	22.5

Classificação:

- Alternativa 3
- Alternativa 1
- Alternativa 2
- Alternativa 4 e Alternativa 5
- Alternativa 7

Figura 5 - Resultado Borda

Na Figura 6 pode-se observar que o programa não só faz a ordenação das alternativas

mas fornece uma tabela com as pontuações obtidas por cada alternativas em cada critério. Nessa tabela observa-se que no critério “Qual. Acadêmica” houve empate entre as alternativas 1 e 7, na segunda posição, e no critério “Motivação” houve empates entre as cinco primeiras alternativas no primeiro lugar. Verifica-se que o Web PROAC detecta esses empates e dá as pontuações corretas às alternativas em cada critério.

Quando se escolhe o método de Condorcet é gerada uma tabela com os resultados das comparações entre cada par de alternativas, tal como descrito na equação (1). Também são realizadas as destilação descendente e ascendente. A Figura 7 mostra o resultado usando o Método de Condorcet, usando o exemplo da Tabela 1.

Método de Condorcet

Alternativas	Critérios				
	Experiencia <i>MAXIMIZAR</i>	Salario <i>MINIMIZAR</i>	Qual. Acadêmica <i>MAXIMIZAR</i>	Teste <i>MAXIMIZAR</i>	Motivacao <i>MAXIMIZAR</i>
Alternativa 1	40	310	15	60	3
Alternativa 2	22	340	14	91	3
Alternativa 3	14	260	17	79	3
Alternativa 4	50	400	8	87	3
Alternativa 5	26	250	13	40	3
Alternativa 7	20	370	15	72	1

Posições:

Alternativas	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 7	Classificação
Alternativa 1	0	1	-1	0	1	1	-
Alternativa 2	-1	0	0	1	0	1	-
Alternativa 3	1	0	0	0	0	1	-
Alternativa 4	0	-1	0	0	0	1	-
Alternativa 5	-1	0	0	0	0	1	-
Alternativa 7	-1	-1	-1	-1	-1	0	6º

Classificação:

- 6º - Alternativa 7

Não foi possível classificar todas as alternativas, pois ocorreu um ciclo de intransitividade.

Figura 6 - Resultado Condorcet

Na Figura 7 pode-se observar que, para o exemplo, houve um ciclo de intransitividade, pois, executando a destilação ascendente podemos verificar que não há um ganhador de Condorcet, ou seja, aquele que ganhou de todas as outras alternativas. Quando isso acontece, o programa irá executar a destilação descendente, ou seja, irá buscar aquela alternativa que perdeu de todas as outras. Assim, só foi possível determinar que a “Alternativa 7” se encontra em último lugar. Como não é possível encontrar a alternativa localizada na sexta posição, o programa apresenta a mensagem “Não foi possível classificar todas as alternativas, pois ocorreu um ciclo de intransitividade”. Caso não ocorresse o ciclo descrito acima o programa iria apresentar a ordenação de todas as alternativas.

A Figura 8 apresenta o resultado, para o mesmo exemplo, utilizando o Método de Copeland. Pode-se escolher esta opção após não encontrar uma ordenação com o Método de Condorcet, ou diretamente tal como mostrado na Figura 2. Tal como mencionado na seção

anterior, a matriz utilizada pelo Método de Copeland é a mesma do método de Condorcet, com uma coluna adicional, chamada de “Pontuação Total” que é dada pela soma da linha de cada alternativa. Desta forma, é obtida uma ordenação total das alternativas.

Método de Copeland

Alternativas	Critérios				
	Experiencia MAXIMIZAR	Salario MINIMIZAR	Qual. Academica MAXIMIZAR	Teste MAXIMIZAR	Motivacao MAXIMIZAR
Alternativa 1	40	310	15	60	3
Alternativa 2	22	340	14	91	3
Alternativa 3	14	260	17	79	3
Alternativa 4	50	400	8	87	3
Alternativa 5	26	250	13	40	3
Alternativa 7	20	370	15	72	1

Posições:

Alternativas	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 7	Pontuação Total
Alternativa 1	0	1	-1	0	1	1	2
Alternativa 2	-1	0	0	1	0	1	1
Alternativa 3	1	0	0	0	0	1	2
Alternativa 4	0	-1	0	0	0	1	0
Alternativa 5	-1	0	0	0	0	1	0
Alternativa 7	-1	-1	-1	-1	-1	0	-5

Classificação:

- Alternativa 3 e Alternativa 1
- Alternativa 2
- Alternativa 5 e Alternativa 4
- Alternativa 7

Figura 7 - Resultado Copeland

Com estas ordenações o usuário pode analisar as alternativas, tomar as decisões, incluir mais alternativas e outros critérios, sem a dificuldade de refazer todos os cálculos, que no caso do Condorcet, e também do Copeland, podem ser computacionalmente intensos para um número relativamente reduzido de alternativas. Assim para o exemplo da Tabela 1 foram necessárias 15 comparações, além das 5 comparações (dos cinco critérios) em para cada uma.

4. Conclusões

Este trabalho apresenta um programa, o Web PROA, que implementa três métodos Multicritério de Apoio à Decisão: o Método de Borda, de Condorcet e de Copeland. O programa foi desenvolvido de forma que possa ser utilizado por qualquer usuário em qualquer plataforma com o uso de qualquer programa Web, basta saber o link do programa. A ideia da implementação surgiu de uma observação dos autores das dificuldades encontradas por diversos pesquisadores quando usados os mencionados métodos, por exemplo, Soares de Mello et al (2005), usaram os métodos para ordenador pilotos de Formula 1. O trabalho foi exaustivo na fase de ordenação, e pequenos erros nos cálculos acarretaram resultados que quando identificados como errados levaram tempo para serem corrigidos. Outros autores também encontraram dificuldades semelhantes, tais como Caillaux *et al.* (2011), Gomes Junior *et al.* (2011), Gomes *et al.* (2013) entre outros.

O programa tem sido testado com diferentes estudos de caso da literatura e ele tem

fornecido os resultados certos em um tempo computacional mínimo. Assim, o tempo maior pode ser dedicado as análises dos resultados e não mais nas execuções dos algoritmos manualmente.

Conclui-se que este trabalho trouxe uma melhor usabilidade do programa através da interface gráfica na web, onde o usuário pode facilmente criar sua matriz de alternativas e critérios de maneira rápida e bem visual.

Encontra-se em andamento uma melhora do programa no sentido de poder trabalhar com arquivos salvos em outros formatos e para salvar os resultados em arquivos, assim como a implementação de outros métodos, tais como o método Lexicográfico e o Método de Bowman e Colantoni.

5. Referências

- Bana e Costa, C. A., Angulo-Meza, L. e Oliveira, M. D.** (2013), O método MACBETH e aplicação no Brasil, *Engevista*, 15(1), 3-27.
- Barba-Romero, S. e Pomerol, J. C.**, *Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos e Utilización Práctica*, Universidad de Alcalá, 1997.
- Caillaux, M. A., Sant'anna, A. P., Angulo-Meza, L. e Soares de Mello, J. C. C. B.** (2011), Container Logistics in Mercosur: Choice of a Transshipment Port Using Ordinal Copeland Method, Data Envelopment Analysis and Probabilistic Composition, *Maritime Economics and Logistics*, 13(4), 355-370.
- Dias, L. M. C., Almeida, L. M. A. T. e Climaco, J. C. N.**, *Apoio Multicritério à Decisão*, Universidade de Coimbra, Coimbra, 1996.
- Gomes, C. F. S., Gomes, L. F. A. M. e Almeida, A. T.**, *Tomada de Decisão Gerencial: O Enfoque Multicritério*, Editora Atlas, São Paulo, 2006.
- Gomes, E. G., Soares de Mello, J. C. C. B., Abreu, U. G., Carvalho, T. B. d. e Zen, S. d.** (2013), Análise de Tipologias de Sistemas de Produção Modais de Pecuária de Cria pelo uso do Método Ordinal de Copeland, *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 5(1), 43-57.
- Gomes Junior, S. F., Chaves, M. C. d. C., Pereira, E. R. e Soares de Mello, J. C. C. B.** (2011), Utilização de métodos ordinais multicritério na comparação dos sistemas de pontuação da Fórmula 1, *XLIII SBPO*.
- Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G. e Carignano, C.**, *Tomada de Decisões em Cenários Complexos*, Pioneira Thompson Learning, São Paulo, 2004.
- Soares de Mello, J. C. C. B., Gomes, L. F. A. M., Gomes, E. G. e Soares de Mello, M. H. C.** (2005), Use of ordinal multi-criteria methods in the analysis of the Formula 1 World Championship, *Cadernos Ebape.BR*, 3(2).