LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
João Pessoa-PB, 3 a 5 de novembro de 2020

TOPANP - Um método híbrido multi-camada e multicritério para auxílio a tomada de decisão

Filipe Cattoni Elias, Adriano Fiorese
Departamento de Ciência da Computação
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – Joinville – SC – Brazil
filipecattoni@gmail.com, adriano.fiorese@udesc.br

RESUMO

Esse trabalho analisa ao menos dois métodos multicritério estabelecidos e utilizados atualmente para auxílio a tomada de decisões, explorando os seus funcionamentos e seus pontos positivos e negativos. Particularmente, o trabalho propõe uma nova modelagem híbrida, em duas camadas, para a solução do problema de tomada de decisão multicritério, resultando em um novo método chamado TOPANP. Para tanto, o novo método utiliza os resultados da execução do método TOPSIS-M, associados em uma rede de relações entre as alternativas e critérios, modelada pelo método ANP. Com os resultados obtidos pelos experimentos executados é realizada comparação entre a modelagem em duas camadas desenvolvida, e os métodos individuais nela utilizados, mostrando que a proposta apresenta robustez e congruência com os métodos estabelecidos na literatura.

PALAVRAS CHAVE. TOPSIS, ANP, Métodos para Tomada de Decisão Multicritério.

Tópicos: ADM - Apoio a Decisão Multicritério

ABSTRACT

This work analyzes at least two multi-criteria methods established and currently used for decision making support, exploring their functionalities and their positive and negative points. In particular, it proposes a new hybrid modeling, in two layers, for the solution of the multi-criteria decision-making problem, resulting in a new method called TOPANP. To accomplisht that, the new method uses the results of the TOPSIS-M method, associated in a network of relationships between alternatives and criteria, modeled by the ANP method. With the results obtained by the experiments carried out, a comparison is made between the two-layer modeling developed, and the individual methods used in it, showing that the proposal is robust and congruent with the methods established in the literature.

KEYWORDS. TOPSIS, ANP, Multicriteria Decision Making Methods. Paper Topics:

ADM – Multicriteria Decision Support

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

Problemas de tomada de decisão são uma classificação de problemas onde é necessário escolher uma de diversas possíveis alternativas para atender a uma necessidade específica. Geralmente, essas alternativas são avaliadas por meio de critérios relevantes à necessidade a ser atendida. Um exemplo de um problema de tomada de decisão pode ser uma empresa que necessita de serviços de nuvem e para tal deve escolher um dentre diversos possíveis provedores, onde os critérios levados em consideração para a decisão podem ser velocidade de transmissão, espaço de armazenamento disponibilizado, custo, etc., a depender do serviço específico necessitado.

A teoria geral de Análise para Tomada de Decisão Multicritério - do inglês *Multi-criteria Decision Analysis* - (MCDA) [Ishizaka and Nemery 2013] apresenta a caracterização e classificação na definição de problemas de tomada de decisão multicritério, bem como abrange o grande conjunto de Métodos para Tomada de Decisão Multicritério - do inglês *Multi-criteria Decision Methods* - (MCDM), no qual esta proposta se encaixa.

É importante notar que o problema de tomada de decisão é prevalente não só na vida profissional, como também na vida pessoal, e vem sendo estudado desde muito tempo. Tendo em vista que problemas complexos requerem a análise de mais do que apenas um critério, e frequentemente é impossível encontrar uma solução ideal em todos os critérios necessários, foram desenvolvidos métodos ao longo do tempo para ajudar nessa análise e encontrar as soluções mais adequadas para determinados problemas [Ishizaka and Nemery 2013].

Com o avanço do tempo, a complexidade de problemas de seleção aumenta [Shi et al. 2011]. O crescimento de bens e serviços bem como de seus provedores e toda a classe de alternativas possível, bem como das relações e peculiaridades existentes entre elas, torna a tomada de decisão apoiada por métodos de avaliação de critérios, que não levam em consideração as diferentes facetas envolvidas, insuficientes para soluções adequadas e satisfatórias. Sendo assim, este trabalho propõe uma nova modelagem multicamada híbrida, resultante no método TOPANP, para solução de problemas de seleção utilizando dois diferentes métodos. Tal proposta leva em consideração as pequenas diferenças entre alternativas de mesma classe (i.e., que fornecem o mesmo serviço, por exemplo) bem como as relações existentes entre todas as alternativas, visando construir um método robusto e flexível, tendo utilidade para qualquer área caracterizada como problema de seleção envolvendo múltiplos critérios para sua resolução.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta a descrição dos métodos que foram usados para construir a nova modelagem proposta. A Seção 4 apresenta e descreve em detalhes o funcionamento da nova modelagem em duas camadas, proposta pelo trabalho. A Seção 5 apresenta os experimentos realizados para avaliação da proposta e discute os resultados. Finalmente, a Seção 6 apresenta as considerações finais.

2. Trabalhos relacionados

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos para lidar com a crescente complexidade de problemas de decisão. O trabalho de [Cables et al. 2016] apresenta um novo método

de decisão baseado nos métodos (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) (TOPSIS) e *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR) [Tzeng and Huang 2011], denominado *Reference Ideal Method* (RIM), onde os critérios de decisão, associados às alternativas que podem apresentar solução ao problema em questão, são avaliados relativamente a certos valores ideais de referência. Essa abordagem se diferencia do trabalho dos autores por ser uma abordagem em camada única, uma vez que a modelagem proposta pelos autores utiliza uma abordagem híbrida em dois níveis, incorporando dois métodos com o intuito de que um suporte o outro.

Similarmente, o artigo de [de Moraes. et al. 2017] propõe um método utilizando conceitos de *matching*, que pontua alternativas baseado no atendimento das requisições do usuário utilizando valores para os critérios considerados pelo método. Esses conceitos de *matching* também foram utilizados no trabalho dos autores por meio do método TOPSIS-M, que é um dos dois métodos incorporados na abordagem apresentada. Por outro lado, o método *Best-Worst Method* (BWM), proposto por [Rezaei 2015], se destaca por ser um método que utiliza o conceito de comparações pareadas. Comparações pareadas são similarmente utilizadas pelos métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Analytic Network Process* (ANP) [Saaty 2001] estudados e utilizados no trabalho.

Por sua vez, o trabalho de [Wątróbski et al. 2019], ao invés de propor um novo método para resolver problemas de decisão multicritério, utiliza da grande diversidade de métodos propostos já existentes para a solução desses problemas. Ele propõe um *framework* que permite a seleção de um desses métodos baseados em características específicas identificadas em cada um deles, analisando quais são as características mais relevantes para a solução do problema do usuário.

O trabalho de [Fei et al. 2019] utiliza um modelo híbrido, similarmente à proposta does autores, onde é utilizado o método VIKOR juntamente com a teoria matemática de evidências Dempster-Shafer. O trabalho argumenta que métodos existentes de tomada de decisão não são o suficiente para lidar com a incerteza causada pelo julgamento subjetivo das pessoas envolvidas no processo de decisão. Portanto, é introduzida e aplicada a teoria de evidências de Dempster-Shafer, utilizada para lidar com a modelagem de informações incertas.

Em [Ishizaka and Siraj 2018], é feita uma análise da utilidade da aplicação de métodos de tomada de decisão multicritérios em problemas da vida real. Uma informação levantada pelo trabalho que é relevante de nota, apesar de não inteiramente relacionada com o objeto da aplicação dos métodos, é que na área de informação e tecnologia, apenas 33% das empresas utilizam alguma forma de métodos de tomada de decisão, apesar de suas utilidades. Nesse sentido o trabalho dos autores vem a disponibilizar um método cuja aplicação é fácil e direta com viés intuitivo na modelagem das informações que servem de indicadores para a tomada de decisão, bem como da modelagem das relações entre tais informações e alternativas de solução e suas combinações.

3. Fundamentação teórica

Nessa seção serão descritos os métodos de tomada de decisão multicritérios que foram estudados durante o percurso do trabalho, e que foram usados como base teórica para criar a modelagem proposta. É importante destacar a utilização de taxonomia relacionada

com o comportamento da função de utilidade dos critérios quantificados, no desenvolvimento do método, bem como pelos métodos MCDM utilizados. Ou seja, o quão bom (útil, benéfico) se torna o critério/indicador quando seu valor numérico varia (aumenta ou diminui), levando-se em consideração que é sempre desejável a maximização da utilidade dos critérios.Assim, de acordo com [Jain 1991], existem três possíveis tipos de função de utilidade: maior é melhor *(Higher is Better - HB)*, menor é melhor *(Lower is Better - LB)* e nominal é melhor *(Nominal is Best - NB)*. Onde, **a) *Higher is Better (HB)*:** Usuários, gerentes (avaliadores em geral) preferem os mais elevados valores possíveis para o critéro/indicador. Exemplo: *throughput* do sistema. **b) *Lower is Better (LB)*:** Indica como melhor adequação os mais baixos valores possíveis para o indicador. Exemplos: tempo de resposta (atraso ou*delay*),custos, etc., **c) *Nominal is Best (NB)*:** Indica preferência por valores específicos. Valores mais altos e mais baixos são indesejáveis. Um valor particular é considerado o melhor. Exemplo: formas de autenticação de acesso ao sistema.

Essa noção acerca dos critérios utilizáveis para a realização de avaliações utilizando métodos MCDM, e em particular ao método proposto, é aplicada conforme os mesmos vão sendo explicados. Para o desenvolvimento do TOPANP, ao menos 2 desses MCDM não necessários, o TOPSIS, cuja base é utilizada no método TOPSIS-M desenvolvido pelos autores, e o método ANP.

3.1. TOPSIS

O método TOPSIS é um método altamente utilizado por sua simplicidade e objetividade. Ele requer uma quantidade mínima de entradas do usuário, não usa algoritmos complexos para sua execução e tem uma saída simples e de fácil compreensão [Ishizaka and Nemery 2013]. A ideia do método se baseia em construir uma solução ideal e uma solução anti-ideal baseadas nas alternativas disponíveis e então medir as distâncias de cada alternativa com as soluções, escolhendo a alternativa com menor distância da solução ideal e maior distância da solução anti-ideal [Hwang and Yoon 1981].

Basicamente, o método TOPSIS consiste em construir uma matriz de julgamento D, com as colunas representando os critérios para a tomada de decisão e as linhas representando as possíveis alternativas de solução do problema, onde x_{ij} representa o valor do critério j para a alternativa i. Essa matriz é convertida em uma matriz normalizada V, e com pesos, onde w_n é o peso para cada critério de acordo com o usuário, e r_{ij} é o valor normalizado de x_{ij}, acordo com a Equação 3.1.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \qquad V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} x_{kj}^2}} \tag{1}$$

Para cada coluna (critério) é calculado o valor ideal e o anti-ideal. Para critérios HB (*higher is better*), i.e., cujo valor disponibilizado pela alternativa em função do que é

desejado pelo usuário apresenta um comportamento de quanto maior melhor, o valor ideal é o maior valor do conjunto e o anti-ideal é o menor, e vice versa para critérios LB (*lower is better*). Para critérios NB (*nominal is better*), o valor ideal é o mais próximo do nominal e o anti-ideal é o mais distante.

Com esses valores, é possível então calcular a pontuação baseada no valor de proximidade do ideal para cada alternativa. Assim, para cada alternativa, são calculadas as medidas, de separação S_{i*} que medem a separação da solução ideal, e S_{i-}, que medem a separação da solução anti-ideal, usando as seguintes Equações 2 e 3, respectivamente:

$$S_{i*} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_{j*})^2}, \ \forall\, i = 1, 2, 3, ..., m, \tag{2}$$

$$S_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_{j-})^2}, \ \forall\, i = 1, 2, 3, ..., m, \tag{3}$$

onde v_{ij} é o valor do critério j da alternativa i, e v_{j*} e v_{j-} são respectivamente os valores ideais e anti-ideais para cada critério j. Assim, com esses valores, resta calcular a proximidade relativa da solução ideal, para cada alternativa, com a Equação 4:

$$C_{i*} = \frac{S_{i-}}{S_{i*} + S_{i-}} \tag{4}$$

Assim, observando a Equação 4 pode-se perceber que quanto menor a distância (separação ideal (S_{i*}), entre o apresentado pela altertiva e o ideal verificado no conjunto das alternativas, e quanto maior a separação anti-ideal (S_{i-}), maior a proximidade relativa C_{i*}. Uma vez com os valores de proximidade relativa da solução ideal, pode-se então proceder ao ranqueamento das alternativas.

3.1.1. TOPSIS-M

O método TOPSIS-M é uma proposta de extensão para o método TOPSIS. Basicamente, a extensão adiciona um valor de *matching* ao método, determinado pelo número de critérios de uma alternativa que atende ao requerimento do usuário, e pesa os valores finais de proximidade relativa com os valores de *matching*. Portanto, a principal inovação quanto ao TOPSIS trata de levar em consideração a necessidade do usuário em relação às alternativas de solução, modelada por meio de uma requisição contendo valores para os critérios desejados. Essa inovação visa diminuir o efeito das discrepâncias entre valores requisitados pelo usuário e os valores ideais, sem comprometer os pontos positivos do método, incluindo a simplicidade que o permite ser acessível a um grande público.

No TOPSIS-M o conceito de atendimento ao valor de um critério desejado pelo usuário, por parte da alternativa é essencial. Nesse sentido também é essencial a compreensão da taxonomia acerca da função de utilidade associada a um tipo de critério quantitativo. Ou seja, nesse caso, para um critério do tipo HB, caso o valor disponível na alternativa para o critério seja maior ou igual ao valor requisitado pelo usuário, então para essa alternativa esse critério é atendido. A Equação 5 apresenta a modelagem de atendimento que

é utilizada no método TOPSIS-M. Nela o valor x_{ij} representa o valor do critério j para a alternativa i, e o valor X_j, representa o valor do critério j, solicitado pelo usuário.

$$Attend(x_{ij}, X_j) = xm_{ij} = \begin{cases} 1, \text{se } x_{ij} \geq (X_j) \text{ e } tipo(x_{ij}) \in HB \\ 1, \text{se } x_{ij} \leq (X_j) \text{ e } tipo(x_{ij}) \in LB \\ 1, \text{se } x_{ij} \geq (X_j) \text{ e } x_{ij} \leq (X_j) \text{ e } tipo(x_{ij}) \in NB \\ 0, \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (5)$$

O valor de atendimento de cada critério é utilizado na produção de um valor intermediário, chamado *matching* M_i, cujo objetivo é pontuar para uma determinada alternativa o número total de atendimentos aos critérios do usuário. Assim, com o valor n, representando a quantidade de critérios, a Equação 6 apresenta o valor de *matching* de uma alternativa i.

O processo de execução do TOPSIS-M considera a execução do método TOPSIS inicialmente, ao ponto de obterem-se para cada alternativa seus valores de separação da solução ideal e anti-ideal. Em seguida obtém-se o valor de *matching* para cada altenativa. Finalmente obtém-se o valor final de pontuação de cada alternativa, (Equação 7), passando-se a considerar nesse caso o valor de *matching* em determinada proporção, da mesma forma que o valor de proximidade relativa original. Particularmente, a proporção originalmente proposta compreende 30% para o valor de proximidade relativa e 70% para o atendimento ao usuário. Tais proporções são, naturalmente alteráveis. A Equação 7 apresenta o cálculo para a proximidade ideal de cada alternativa no TOPSIS-M.

$$M_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{xm_{ij}}{n} \quad (6) \qquad C_{i*} = 0,3 * (\frac{S_{i-}}{S_{i*} + S_{i-}}) + 0,7 * M_i \quad (7)$$

Da mesma forma que no método original TOPSIS, de posse dos valores C_{i*} pode-se proceder ao ranqueamento das alternativas.

3.2. ANP

O método *Analytic Network Process* (ANP) [Saaty 1987] é uma generalização do método AHP desenvolvida para lidar com a modelagem da dependência entre elementos da tomada de decisão. Diferentemente do método AHP, que usa uma modelagem hierárquica para a relação entre critérios e alternativas, o ANP utiliza uma modelagem de rede, onde os elementos são organizados em *clusters* interconectados [Saaty and Vargas 2006].

Uma classe de problemas de decisão é a que possui múltiplos critérios correlacionados. Por exemplo, dois critérios a serem avaliados na decisão da compra de um carro podem ser ”velocidade”e ”potência do motor”. Na modelagem pelo método ANP, esses dois critérios podem ser modelados como um único *cluster*, conectando esse cluster como se fosse um único elemento, assim normalizando o impacto dos critérios [Ishizaka and Nemery 2013].

Segundo Saaty [Saaty 2004], o ANP compreende seis fases principais: **1.** Representação do problema de decisão como uma rede onde tanto os critérios, quanto as alternativas são classificadas em *clusters*, estabelecendo relações (ou dependências) não

apenas entre *clusters*, mas também *intra-clusters*. **2.** Comparação entre pares de elementos e autovetores. Para a comparação, por exemplo, um grupo de especialistas pode responder sobre quão importante um determinado elemento é comparado a outro, quando se pretende chegar a uma alternativa **3.** Comparação entre pares. Essa comparação é feita entre *clusters*, com o principal objetivo de identificar as principais relações de causa e efeito entre eles (semelhante à fase 2, com elementos). **4.** Obtenção da Supermatriz Ponderada. A supermatriz ponderada é uma matriz estocástica quanto as suas colunas. Esta matriz possui uma matriz limite, ou seja, elevando os valores a uma potência, a matriz convergirá para uma matriz estocástica com todas colunas iguais entre si, **5.** Composição da Supermatriz Limite, como resultado de elevar a Supermatriz Ponderada à potência de n até que esta fique estabilizada. A estabilização ocorre quando os valores da matriz não se alteram quando elevada ao próximo valor sequencial de n, deste modo, n pode assumir assumir os valores $n = 1, 2...X$, onde x representa o valor de n quando a matriz está estabilizada. Ao final do processo, a matriz conterá as prioridades globais de todos os elementos considerados.

Após ter atingido a Supermatriz Limite, é possível realizar análises gráficas dos resultados obtidos, o que simplifica a interpretação dos resultados analíticos e facilita a escolha das alternativas por parte dos tomadores de decisão, dando a eles uma visão global do problema e permitindo fazer escolhas que acarretam no menor risco para alcançar seu objetivo.

Por causa da modelagem em rede ser utilizada, ao invés da modelagem hierárquica utilizada no método AHP, a construção da supermatriz de decisão ponderada é feita de forma a incluir também clusters de elementos. A Figura 1 mostra a forma geral da supermatriz de decisão. Nela, C_m denota o m-ésimo *cluster* da rede, e_{mn} denota o n-ésimo elemento do cluster m, e W_{ij} denota o valor do peso da comparação pareada do elemento i com o elemento j [Tzeng and Huang 2011].

Por ser uma modelagem relativamente complexa, existem várias ferramentas criadas para facilitar a sua utilização. Uma dessas ferramentas é um software chamado SuperDecisions, que foi utilizado nesse trabalho. A Figura- 2 apresenta a janela principal do SuperDecisions, modelando um problema de decisão onde é necessário escolher uma dentre duas pontes: a "Ponte Bonita"(*Beautiful Bridge*) e a "Ponte Segura"(*Safe Bridge*). O modelo mostra 4 elementos divididos em 2 *clusters*, um denominado Objetivos com dois critérios, estética e segurança; e outro denominado Alternativas com as duas pontes. Cada elemento de cada *cluster* está conectado com ambos os elementos do outro *cluster*. Com o problema modelado, o software permite a realização das comparações pareadas e do ranqueamento final.

4. Modelagem proposta

O método TOPSIS-M foi criado com o intuito de ser um método simples e objetivo que leva em consideração as requisições do usuário. Porém, ele sofre por não ser um método robusto em comparação a métodos como o AHP ou ANP. Por isso, foi pensado em uma possível modelagem que combina aspectos de ambos os métodos TOPSIS-M e ANP, visando usar dos pontos fortes de ambos os métodos.

Para a modelagem proposta do método TOPANP, ambos os métodos ANP e TOPSIS-M são utilizados de forma a harmonizá-los gerando resultados congruentes com

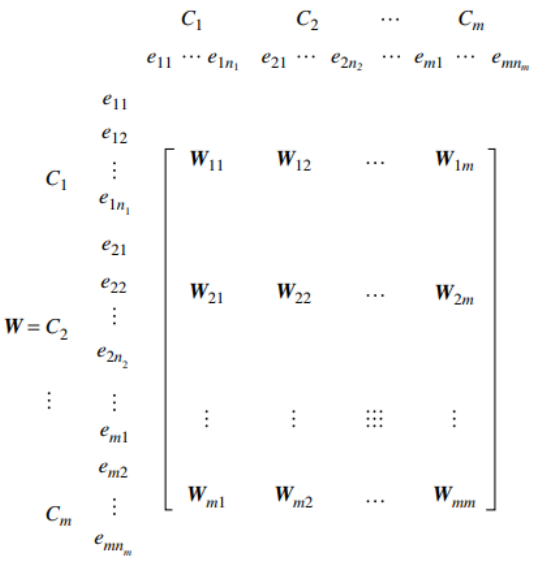


Figura 1: Forma geral da supermatriz de decisão do método ANP.

os resultados de ambos. Assim, foi proposta uma modelagem em duas camadas, onde a primeira camada compõe-se do método TOPSIS-M, e a segunda camada de uma modelagem de rede ANP, que utiliza os resultados do método TOPSIS-M executado na primeira camada.

A Figura 3 disponibiliza a arquitetura do método TOPANP. Nela, em sua camada 1, o método TOPSIS-M recebe os valores de critérios de cada alternativa e os requerimentos do usuário, como normal. O TOPSIS-M então realiza o seu ranqueamento baseado em distância euclidiana, gerando os valores de proximidade para cada alternativa. Esses valores são então inseridos na modelagem de rede ANP proposta, que também recebe os dados dos valores de critérios, porém não recebe os valores dos requerimentos do usuário. Como os resultados dos valores de proximidade são utilizados na modelagem ANP, o método TOPSIS-M realiza a função de avaliar os requerimentos do usuário na modelagem.

A Figura 4 apresenta a modelagem de rede ANP proposta para o TOPANP. Existem quatro *clusters*: Objetivos, Alternativas, Proximidade e Objetivo TOPSIS-M. O *cluster* Objetivos contém um elemento para cada critério de seleção utilizado no problema. O *cluster* Alternativas contém um elemento para cada alternativa sendo analisada para a solução do problema. O *cluster* Proximidade também contém um elemento para cada alternativa. Esses elementos são utilizados para modelar o valor de proximidade de cada alternativa, calculado anteriormente pelo método TOPSIS-M. Por fim, o *cluster* Objetivo TOPSIS-M contém um único elemento, Critério TOPSIS-M, utilizado juntamente com o *cluster* proximidade para modelar os valores de proximidade.

Nos *clusters* Objetivos e Alternativas, existe uma conexão entre todos os critérios e todas as alternativas. Essas conexões são utilizadas para realizar, utilizando as comparações pareadas de peso, o valor relativo de cada alternativa em relação a cada critério, da mesma

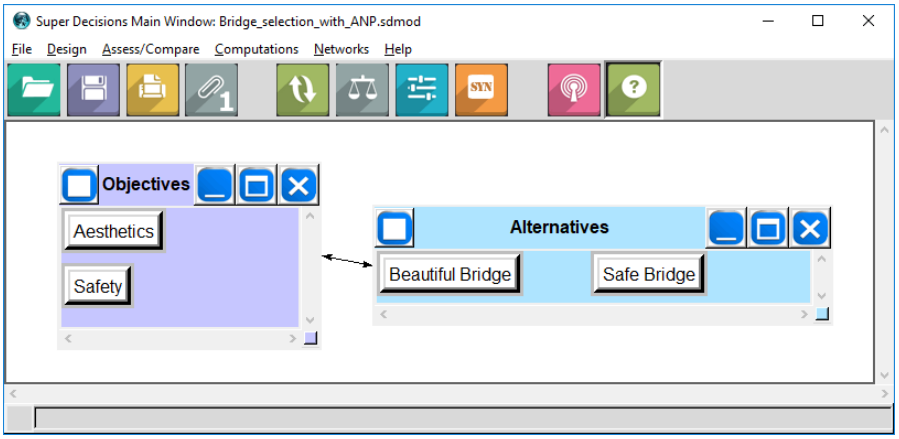


Figura 2: Janela principal do SuperDecisions

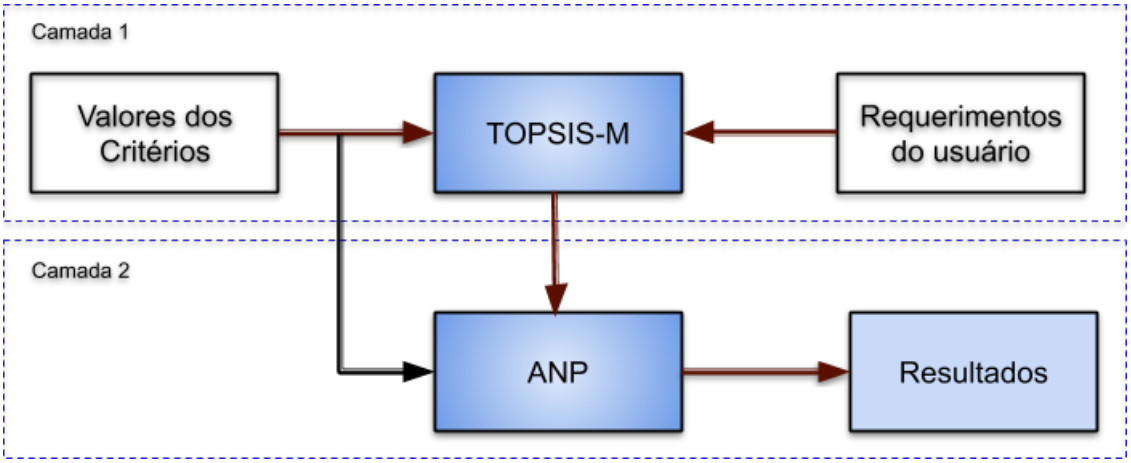


Figura 3: Arquitetura do Método TOPANP

forma como é feito o ranqueamento utilizando o método AHP ou ANP isolado. Nos *clusters* Proximidade e Objetivo TOPSIS-M, todos os elementos de proximidade tem uma conexão com o elemento único de critério TOPSIS-M, utilizando as comparações pareadas de peso para modelar os valores de proximidade resultantes da execução prévia do método TOPSIS-M. Por fim, existe uma conexão entre cada elemento do *cluster* Alternativas com o seu correspondente elemento do *cluster* Proximidade.

5. Experimentos e Resultados

Para a realização dos experimentos e validação do método proposto, foi utilizado um problema de decisão cujo objetivo é selecionar o mais adequado provedor de serviço de nuvem, ranqueando os candidatos. Assim, para o usuário, existem quatro critérios relevantes para a decisão: RAM, Núcleos de CPU, Disco e Custo. O usuário deseja escolher uma dentre cinco possíveis alternativas. A Tabela 1 apresenta os valores hipotéticos, de acordo com seus tipos (HB, LB e NB), utilizados nos experimentos. É importante notar também que a segunda linha da Tabela 1 apresenta os valores requeridos pelo usuário para cada critério utilizado para o processo de seleção.

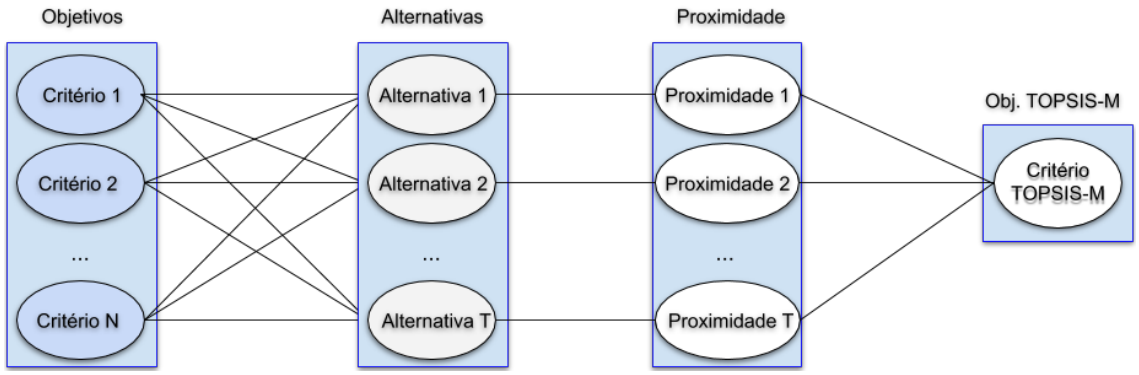


Figura 4: Modelagem ANP proposta

Critérios	RAM (HB)	Núcleos (NB)	Disco (HB)	Custo (LB)
Requisitado	2 GB	2	40 GB	2 R$/Dia
Peso	1	1	9	3
Alt. 1	1 GB	1	50 GB	1 R$/Dia
Alt. 2	2 GB	2	10 GB	2 R$/Dia
Alt. 3	4 GB	2	10 GB	3 R$/Dia
Alt. 4	4 GB	4	5 GB	3 R$/Dia
Alt. 5	8 GB	4	20 GB	4 R$/Dia

Tabela 1: Valores de critérios utilizados nos experimentos

A Tabela 2 exibe os resultados fornecidos pela execução do método TOPSIS-M, o método ANP e por fim a modelagem híbrida proposta pelos autores envolvendo-os, respectivamente. As colunas Rk representam o ranqueamento das alternativas de acordo com o método executado.

Alt.	Método TOPSIS-M	Rk	Método ANP	Rk	TOPANP	Rk
Alt.1	0.6236126271367082	(#1)	0.32415	(#1)	0.33233	(#1)
Alt.2	0.5749525443880922	(#2)	0.19658	(#3)	0.21502	(#2)
Alt.3	0.39098473020272073	(#3)	0.18659	(#4)	0.18659	(#4)
Alt.4	0.19650115563047932	(#5)	0.08956	(#5)	0.08956	(#5)
Alt.5	0.27469311689571213	(#4)	0.20312	(#2)	0.18727	(#3)

Tabela 2: Resultados dos experimentos

Como se pode notar, a Alternativa 1, decidida como a melhor alternativa por ambos os métodos TOPSIS-M e ANP, continua sendo a alternativa mais adequada pelo TOPANP. Da mesma forma, a Alternativa 4 continua sendo a menos adequada. Contudo, pode se notar algumas diferenças no ranqueamento das outras alternativas. A Alternativa 2, ranqueada em terceiro lugar pelo método ANP, sobe para segundo lugar no ranqueamento tanto do TOPSIS-M quanto do TOPANP. Porém, a Alternativa 3 continua ranqueada em quarto como no ANP, mesmo sendo ranqueada em terceiro pelo TOPSIS-M. Dessa forma,

é possível perceber como a modelagem proposta no TOPANP, em dois níveis, que utiliza certos aspectos de cada método demonstra coerência quanto ao melhor classificado, relativamente aos métodos ANP e TOPSIS estabelecidos na literatura.

6. Considerações finais

Esse trabalho propõe uma modelagem multicritério em duas camadas que resulta em um método híbrido, chamado TOPANP, para auxílio à tomada de decisão em problemas que envolvam a seleção ou ranqueamento de alternativas para sua solução. Particularmente, o método proposto é mais adequado para problemas dessa classe cujos critérios para a solução possuam dependência com relação as alternativas, e que possam ser agrupados em um *cluster*.

Tal método leva em consideração a possibilidade de utilização de múlltiplos critérios organizados na forma de base de dados contendo seus valores, bem como da necessidade do usuário em termos das características (critérios) que definem as alternativas. Tal necessidade é modelada como uma requisição envolvendo critérios específicos e seus valores. Esses dois elementos são utilizados na primeira camada do método TOPANP onde são processados inicialmente pelo MCDM TOPSIS-M (que é uma vesão modificada do TOPSIS que leva em consideração a entrada do usuário). Esse processamento atribui um valor de proximidade da solução ideal, utilizado como pontuação, para as alternativas. Esses valores, por sua vez, juntamente com os critérios envolvidos na solução do problema, por meio de uma modelagem em rede proposta, são utilizados na execução do método ANP, pertencente a segunda camada do TOPANP.

Resultados preliminares apontam assertividade coerente com os métodos que o compõe. Entretanto, planeja-se envidar esforços no sentido de agregar indicadores qualitativos e a possibilidade de inclusão de múltiplos *clusters* envolvendo interdependência entre os critérios. Além disso, como futura pesquisa lista-se ainda a agregação ao método proposto de outras técnicas, além de métodos MCDM, para o tratamento de incertezas no relacionamento entre critérios das alternativas e àqueles desejados pelo usuário. Ainda, a comparação do TOPANP com outros métodos para auxílio a tomada de decisão multicritério, é planejada.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Programa de Bolsas de Iniciação Científica da UDESC (PROBIC/UDESC) no desenvolvimento desse trabalho, por meio da concessão de bolsa de iniciação científica.

Referências

[Cables et al. 2016] Cables, E., Lamata, M. T., and Verdegay, J. L. (2016). RIM-reference ideal method in multicriteria decision making. *Information Sciences*, 337-338:1–10.

[de Moraes. et al. 2017] de Moraes., L. B., Fiorese., A., and Matos., F. (2017). A multicriteria scoring method based on performance indicators for cloud computing provider selection. In *Proceedings of the 19th International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 2: ICEIS,*, pages 588–599. INSTICC, SciTePress.

[Fei et al. 2019] Fei, L., Deng, Y., and Hu, Y. (2019). DS-VIKOR: A New Multi-criteria Decision-Making Method for Supplier Selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(1):157–175.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

[Hwang and Yoon 1981] Hwang, C.-L. and Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

[Ishizaka and Nemery 2013] Ishizaka, A. and Nemery, P. (2013). *Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software*. John Wiley & Sons, Ltd.

[Ishizaka and Siraj 2018] Ishizaka, A. and Siraj, S. (2018). Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. *European Journal of Operational Research*, 264(2):462–471.

[Jain 1991] Jain, R. (1991). *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*. John Wiley & Sons, Littleton, Massachusetts.

[Rezaei 2015] Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53:49–57.

[Saaty 1987] Saaty, T. L. (1987). How to handle dependence with the analytic hierarchy process. *Mathematical Modelling*, 9:369–376.

[Saaty 2001] Saaty, T. L. (2001). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process : the Organization and Prioritization of Complexity*, volume 9 of *Analytic hierarchy process series*. Rws Publications, 2 edition.

[Saaty 2004] Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the analytic network process—dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems science and Systems Engineering*, 13(2):129–157.

[Saaty and Vargas 2006] Saaty, T. L. and Vargas, L. G. (2006). *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. International Series in Operations Research & Management Science. Springer US.

[Shi et al. 2011] Shi, Y., Wang, S., Kou, G., and Wallenius, J. (2011). *New State of MCDM in the 21st Century: Selected Papers of the 20th International Conference on Multiple Criteria Decision Making 2009*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

[Tzeng and Huang 2011] Tzeng, G.-H. and Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. CRC Press.

[Wątróbski et al. 2019] Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemba, P., Karczmarczyk, A., and Zioło, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega*, 86:107–124.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings