

Implementação do método multicritério MABAC na linguagem R: uma ferramenta para tomada de decisão

Adam Roger Slabadack^{1*}; Marcos dos Santos²

¹ Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Rua Fauri de Lima, 880 – Campo da Água Verde; 89466-242 Canoinhas, Santa Catarina, Brasil

² Doutor em Pesquisa Operacional. Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro 22290-270, Brasil

*Adam Roger Slabadack: arslabadack@gmail.com

Implementação do método multicritério MABAC na linguagem R: uma ferramenta para tomada de decisão

Resumo

A ciência da tomada de decisão multicritério encontra-se cada vez mais pautada em modelos matemáticos complexos. É de suma importância obter resultados respaldados de maneira exata e científica para que os tomadores de decisão possam minimizar vieses e encontrar a considerada “solução ótima”. Os dados utilizados nestas ações são, geralmente, vastos e heterogêneos, o que demanda um grande esforço na hora de aplicar tais modelos, além claro, de exigir um conhecimento matemático suficiente para aplicar estes dados às fórmulas complexas. Neste interim, delineou-se como objetivo deste trabalho de conclusão de curso, um aplicativo web, acessível, gratuito e intuitivo que realize os cálculos para os usuários rapidamente e de maneira assertiva, recebendo como input inicial uma planilha padrão pré-preenchida pelo usuário com os itens e critérios que deseja serem avaliados. O método selecionado para estudo foi o Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison ou MABAC. Este método, apesar de recente, mostra-se extremamente eficaz em encontrar a melhor alternativa comparando estas a proximidade da área de fronteira dos critérios, como foi atestado na literatura consultada e apresenta-se como uma solução promissora para tomadas de decisão. Utilizou-se a linguagem de programação R, juntamente com a biblioteca gráfica Shiny para a elaboração do aplicativo. A versão web foi hospedada no cliente shinyapps.io. O aplicativo demonstrou robustez e assertividade quando submetidos a dados de trabalhos externos, publicados na literatura científica, obtendo os mesmos resultados que os autores dos outros trabalhos.

Palavras-chave: Shiny; Pesquisa Operacional; Ferramentas de Decisão; Aplicativo.

Implementation of the MABAC multicriteria method in the R language: a tool for decision-making

Abstract

The science of multicriteria decision-making is increasingly based on complex mathematical models. It is of utmost importance to obtain results supported in an exact and scientific manner so that decision-makers can minimize biases and find the so-called "optimal solution." The data used in these actions are generally vast and heterogeneous, which requires a significant effort when applying such models, as well as requiring sufficient mathematical knowledge to apply these data to complex formulas. The objective of this thesis work was outlined as a web application, accessible, free, and intuitive, that performs calculations for users quickly and accurately, receiving as initial input a standard spreadsheet pre-filled by the user with the items and criteria they wish to be evaluated. The selected method for study was the Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC). This method, although recent, has proven to be extremely effective in finding the best alternative by comparing the proximity of the criteria's border area, as confirmed in the consulted literature, and presents itself as a promising solution for decision-making. The R programming language was used, along with the Shiny graphics library, to develop the application. The web version was hosted on shinyapps.io. The application demonstrated robustness and accuracy when subjected to data from external studies published in scientific literature, obtaining the same results as the authors of other studies.

Keywords: Shiny; Operations Research; Decision Tools; Application.

Introdução

A necessidade de aprimorar recursos, muitas vezes escassos e finitos, contribui para que as sociedades humanas realizem movimentos de desenvolver ferramentas que auxiliem e respaldem de maneira técnica, metódica e eficaz as etapas de tomada de decisão em um projeto. Assim surgiram ciências como a pesquisa operacional (PO), que se caracteriza no emprego de um método científico, seja matemático, estatístico ou através de algoritmos computacionais, para auxiliar a tomada de decisão, posicionando a PO em um âmbito multidisciplinar de atuação em áreas exatas (Fávero e Belfiore, 2013). Destaca-se uma característica crucial da PO no sentido de, frequentemente, tentar encontrar uma melhor solução (solução ótima) para um problema, levando em conta que podem existir várias soluções interessantes, ou seja, ela auxilia na determinação da melhor decisão a se tomar (Hillier e Lieberman, 2010). Santos, Simonetto e Ferreira (2017) defendem que a PO vem sendo utilizada como suporte científico à tomada de decisão na administração de maneira eficaz desde a Segunda Guerra Mundial. Segundo Fávero e Belfiore (2013), o movimento assertivo de tomada de decisão está intrinsecamente relacionado aos objetivos das empresas, que buscam, de maneira prioritária, minimizar incertezas e concretizar a melhor escolha dentre as disponíveis, tornando essencial o valor e a qualidade da informação. Estas estratégias são implementadas baseando-se em uma quantidade, muitas vezes, expressiva e multidimensional de dados e, para tanto, faz-se necessário métodos de otimização que respaldem os resultados. Os métodos de decisão multicritério (Multi-Criteria Decision Making ou MCDM, na sigla em inglês) são instrumentos analíticos utilizados para avaliar a escolha mais apropriada dentre diversas opções e que podem ser facilmente ajustados para atender a diversos critérios. A análise de métodos MCDM envolve a comparação de diversos elementos com base em suas características individuais a fim de determinar a melhor alternativa (Villacreses, 2022).

O foco deste trabalho de conclusão de curso (TCC) será na contextualização e aplicação do modelo de Comparação Multi-Atributiva da Área Aproximada da Fronteira (Multi-Attributive Border Approximation area Comparison ou MABAC, na sigla em inglês) que, segundo Soares e Santos (2021), pode ser descrito como um processo que recebe uma matriz de decisão que possui como valores determinantes os pesos dos critérios definidos pelo usuário que serão submetidos às etapas do modelo para classificar as alternativas de maneira decrescente, sendo a melhor recomendada, figurando na primeira posição. Chakraborty et al. (2023) utilizaram o método, combinado com outros modelos matemáticos, para a análise de fornecedores de suprimentos médicos e concluíram que os métodos MABAC difusos são bastante efetivos em resolver problemas com a seleção de

fornecedores da saúde, enquanto são consideradas a subjetividade e variações de opinião de diferentes especialistas em ambientes de tomada de decisão incertas em grupo. O trabalho de Liu et al. (2023) mostra que o método MABAC se posiciona de maneira eficaz quando aplicado na seleção de empresas de serviços de recursos humanos na era pós-pandêmica por possuir uma lógica forte, processo de cálculo simples e resultados estáveis. Para Soares e Santos (2021), o método MABAC pode ser utilizado em diversos cenários onde exista a necessidade de tomada de decisões eficientes e objetivas. Seu trabalho, intitulado “Aplicação do método multicritério Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC) para a seleção de um helicóptero leve para o Projeto TH-X do Ministério da Defesa”, utilizou o modelo como norteador para os tomadores de decisão do Ministério da Defesa do Brasil na compra do referido equipamento de defesa, objetivando a eliminação de escolhas subjetivas com o uso de um método matemático eficaz. O método escolhido apresenta-se como um potencial MCDM, sendo utilizado amplamente na literatura, porém, carece de ferramentas de aplicação versáteis e intuitivas, tornando seu uso complexo e restrito à profissionais familiarizados com a implementação de modelos matemáticos complexos. Assim sendo, tendo como base os conhecimentos adquiridos, dentre outras, na disciplina de Pesquisa Operacional, ministrada no curso de Data Science e Analytics da USP/Esalq e utilizando como validador, os dados apresentados no trabalho supramencionado de Soares e Santos (2021), o presente trabalho propõe uma solução para este percalço e se dispõe a apresentar uma ferramenta web, de acesso fácil e intuitivo, criada utilizando a linguagem de programação R, que realize a execução do método MABAC em dados provenientes de uma planilha padrão, pré-preenchida pelo usuário, gerando resultados robustos que poderão ser determinantes para tomadores de decisão.

Material e Métodos

Este tópico aborda, de maneira detalhada, o processo de construção do aplicativo, delineando, inicialmente, o funcionamento do método MABAC e apresentando a estrutura utilizada (softwares e plataformas). Para fluidez no processo de explanação, na sessão onde o método é esmiuçado, as referências atribuídas estarão em um âmbito geral, englobando toda a estrutura apresentada, salvo quando utilizadas citações pontuais para explanar determinados conceitos. O desenho das fórmulas e suas explicações serão amplamente baseadas no trabalho que introduziu o método e a atribuição de crédito se dará prontamente no início do tópico.

O Método MABAC

Desenvolvido no centro de pesquisa da University of Defence em Belgrado na Sérvia, este método apresenta a premissa básica de definir a distância das alternativas da fronteira da área de aproximação, sendo que cada alternativa é avaliada e classificada com base na diferença entre as distâncias. Pode-se caracterizar o método como compensatório, onde os atributos são independentes entre si e estes, quando qualitativos, são convertidos em quantitativos (Alinezhad e Khalili, 2020).

Foi introduzido por Dragan Pamučar e Goran Ćirović no trabalho intitulado: “The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation área Comparison (MABAC)” (trabalho no qual serão baseadas as explicações subsequentes), este método segue seis passos específicos para a obtenção do resultado ótimo:

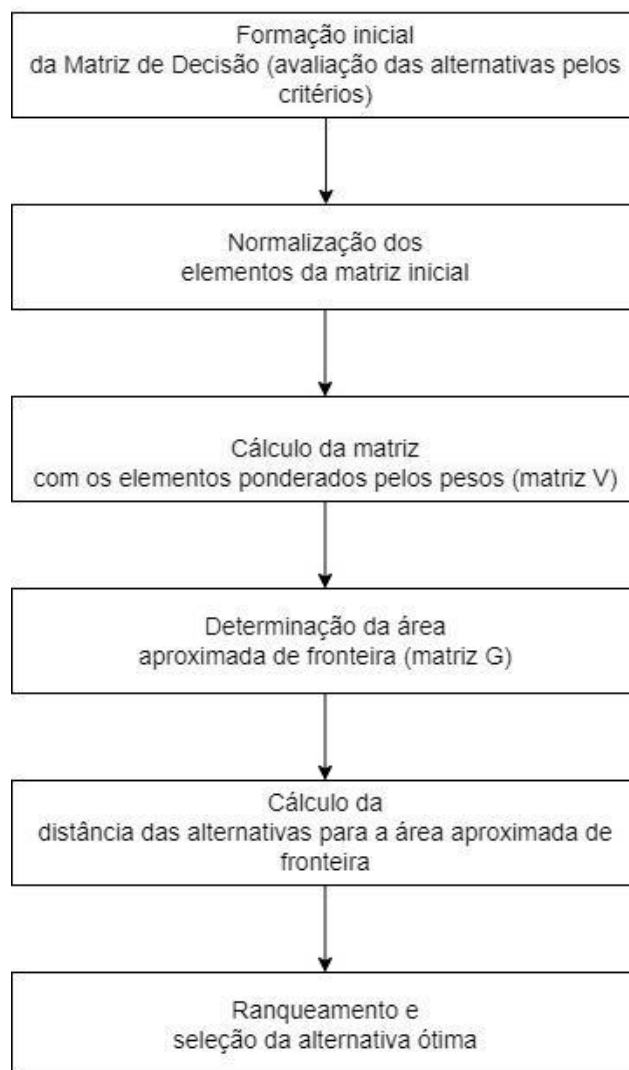


Figura 1. Passos sequenciais de aplicação do método MABAC
Fonte: Autor (2023)

Passo 1. Formação inicial da matriz de decisão (X): O primeiro passo é a inserção de m alternativas de acordo com n critérios. As alternativas são apresentadas na forma de vetores $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$, onde x_{ij} é o valor da i-ésima alternativa de acordo com o j-ésimo critério ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$), conforme eq. (1).

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & A_2 & \dots & A_m & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

onde, m: indica o número de alternativas; e n: indica o número total de critérios.

Passo 2. Normalização dos elementos da matriz inicial (X):

$$N = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & A_2 & \dots & A_m & \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1n} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

(a) Para normalizar elementos com o tipo de critério estabelecido como **benefício/lucro** (maximização do valor), utiliza-se a eq. (3).

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (3)$$

(b) Para normalizar elementos com o tipo de critério estabelecido como **custo** (minimização do valor), utiliza-se a eq. (4).

$$n_{ij} = \frac{x_i^+ - x_{ij}}{x_i^+ - x_i^-} \quad (4)$$

onde, x_{ij} , x_i^+ e x_i^- : são os elementos da matriz de decisão inicial (X), para o qual x_i^+ e x_i^- são definidos como: $x_i^+ = \max(x_1, x_2, \dots, x_m)$ sendo o valor máximo do critério observado de acordo com as alternativas e $x_i^- = \min(x_1, x_2, \dots, x_m)$ sendo o valor mínimo do critério observado de acordo com as alternativas.

Passo 3. Cálculo da matriz dos elementos ponderados pelos pesos (matriz V): Os elementos da matriz V são calculados baseando-se na eq. (5).

$$V_{ij} = w_i * (n_{ij} + 1) \quad (5)$$

onde, n_{ij} : elementos da matriz normalizada (N); w_{ij} : coeficiente de peso dos critérios.

A matriz resultante é a apresentada na eq. (6).

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} & v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} & \dots & \dots & \dots & v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 * (n_{11} + 1) & \dots & w_1 * (n_{1n} + 1) & \dots & w_2 * (n_{21} + 1) & \dots & w_2 * (n_{2n} + 1) & \dots & \dots & \dots & \dots & w_m * (n_{m1} + 1) & \dots & w_m * (n_{mn} + 1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

onde, n: número total de critérios; m: número total de alternativas.

Passo 4. Determinação da área aproximada de fronteira (matriz G): A área aproximada de fronteira é calculada de acordo com a eq. (7).

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m} \quad (7)$$

onde, v_{ij} : elementos da matriz ponderada pelos pesos (V); m: número total de alternativas.

Após calculado o valor g_i para cada critério é formada a matriz G (eq. [8]) com o formato n x 1 (n sendo o número total de critérios de acordo com quais as seleções são feitas pelas alternativas oferecidas).

$$C_1 \ C_2 \ \dots \ C_n \ G = \begin{bmatrix} g_1 & g_2 & \dots & g_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

Passo 5. Cálculo das distâncias das alternativas para a área aproximada de fronteira da matriz dos elementos (matriz Q):

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} & q_{21} & q_{22} & \dots \end{bmatrix} \quad (9)$$

A distância das alternativas para a área aproximada de fronteira (q_{ij}) é determinada como a diferença entre os elementos da matriz V dos elementos da matriz G, apresentadas nas eq. (10) e eq. (11).

$$Q = V - G = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} & v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} & \dots & \dots & \dots & v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{m} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$Q = \begin{bmatrix} v_{11} - g_1 & v_{12} - g_2 & \dots & v_{1n-g_n} & v_{21} - g_1 & v_{22} - g_2 & \dots & v_{2n-g_n} & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (11)$$

onde, g_i : é o valor de aproximação de fronteira para o critério C_i ; v_{ij} : é a matriz ponderada pelos pesos (V); n: é o número de critérios; m: é o número de alternativas.

A alternativa A_i pode pertencer a área de aproximação de fronteira (G), área de aproximação superior (G^+) ou área de aproximação inferior (G^-). A área de aproximação superior (G^+) é a qual contém as alternativas ideais (A^+), enquanto a área de aproximação inferior (G^-) é a que contém as alternativas consideradas não ideais. O pertencimento da alternativa A_i as áreas de aproximação (G, G^+ ou G^-) é determinada com base na eq. (12).

$$A_i \in \{G^+ \text{ if } q_{ij} > 0 \text{ } G \text{ if } q_{ij} = 0 \text{ } G^- \text{ if } q_{ij} < 0\} \quad (12)$$

Para que a alternativa A_i seja selecionada como a escolha ideal, ela deve estar, o máximo de vezes possível para cada critério, no campo da área superior de aproximação (G^+). Se, por exemplo, em uma análise de 8 critérios, a alternativa A_i estiver no campo da área superior de aproximação (G^+) em 7 critérios e estiver no campo da área inferior de

aproximação (G^1) em apenas um critério, isto significa que, devido ao número de vezes elevado que esta figurou em G^+ , a alternativa está próxima ou é a ideal. A Figura 2 ilustra esta classificação de maneira mais eloquente.

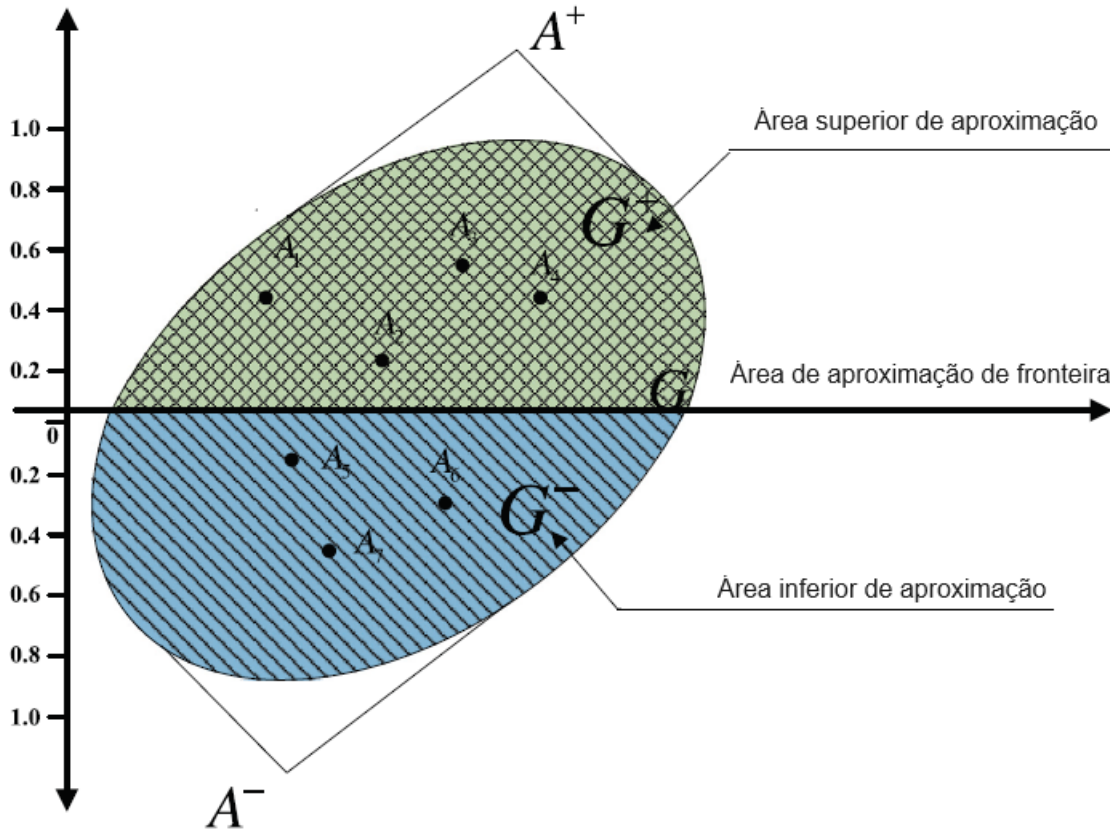


Figura 2. Apresentação das áreas de aproximação de fronteira
Fonte: Modificado de Pamučar e Čirović (2015)

Passo 6. Ranqueamento das alternativas: O cálculo dos valores das funções de critérios para as alternativas é obtido através da soma das distâncias das áreas de aproximação de fronteira (q_i). Calculando a soma dos elementos da matriz Q, por linha, obtém-se os valores finais das alternativas das funções de critério, como ilustrado na eq. (13).

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij}, j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

onde, n: número de critérios; m: número de alternativas.

Infraestrutura utilizada para elaboração do aplicativo

Um ambiente de desenvolvimento ideal para a concepção de um aplicativo, necessita de ferramentas tecnológicas atuais e que proporcionem ao desenvolvedor uma vasta gama de possibilidades aplicáveis ao seu projeto. A Tabela 1 traz a infraestrutura de software utilizada na criação deste aplicativo.

Tabela 1. Infraestrutura de software utilizada

Ferramenta	Descrição
Sistema operacional Ubuntu 23.04	Sistema operacional de código aberto, construído a partir do núcleo Linux, baseado no Debian.
R (versão 4.2.3)	R é uma linguagem de programação multi-paradigma orientada a objetos, programação funcional, dinâmica, fracamente tipada, voltada à manipulação, análise e visualização de dados.
RStudio IDE (versão 2023.06.1 Build 524)	RStudio é um software livre de ambiente de desenvolvimento integrado para R.
Posit Shiny (versão 1.7.5)	Shiny é uma estrutura para criação de aplicações web usando código R. Projetado principalmente para cientistas de dados possibilitando a criação de aplicativos complexos sem nenhum conhecimento de HTML, CSS ou JavaScript
Posit shinyapps.io	Plataforma web para hospedagem de aplicativos Shiny
Git (versão 2.39.2)	Sistema de controle de versionamento gratuito e de código aberto.
Github	plataforma e serviço baseado em nuvem para desenvolvimento de software e controle de versão usando Git, permitindo que os desenvolvedores armazenem e gerenciem seu código.

Fonte: Autor (2023)

A linguagem de programação escolhida para desenvolver o aplicativo foi a linguagem R, uma linguagem de programação multi-paradigma orientada a objetos, funcional, dinâmica, fracamente tipada, voltada à manipulação, análise e visualização de dados. Encontra-se disponibilizado de forma gratuita em seu código-fonte, seguindo os termos da Licença Pública Geral GNU da Free Software Foundation. Sua principal aplicação é a condução de análises estatísticas de dados e é compatível com diversas plataformas, incluindo Linux, Windows e Mac OS. O conjunto completo do software R compreende o sistema base R e uma extensa biblioteca de pacotes colaborativos, totalizando aproximadamente 1000 pacotes disponíveis. Qualquer indivíduo tem a capacidade de contribuir com um novo pacote para a equipe de desenvolvimento principal do R por meio da página oficial do R (<http://www.r-project.org>), que também serve como recurso central para encontrar documentação relacionada ao R (Reimann *et al.*, 2008).

Inicialmente escrita por Ross Ihaka e Robert Gentleman (Universidade de Auckland) por volta de 1996, a linguagem R pode ser definida como uma combinação dos pontos fortes das linguagens S e da linguagem Scheme, que resultou em uma linguagem muito similar ao S, mas com implementação subjacente e semântica derivadas da linguagem Scheme (Ihaka e Gentleman, 1996).

A IDE (traduzido como ambiente de desenvolvimento integrado) utilizada para a interpretação do código R foi o RStudio, que é uma IDE gratuita que inclui, console, editor de sintaxe que suporta a execução do código e ferramentas para plotagem, histórico, depuração e gerenciamento de espaço de trabalho (<<https://posit.co/products/open-source/rstudio/>>).

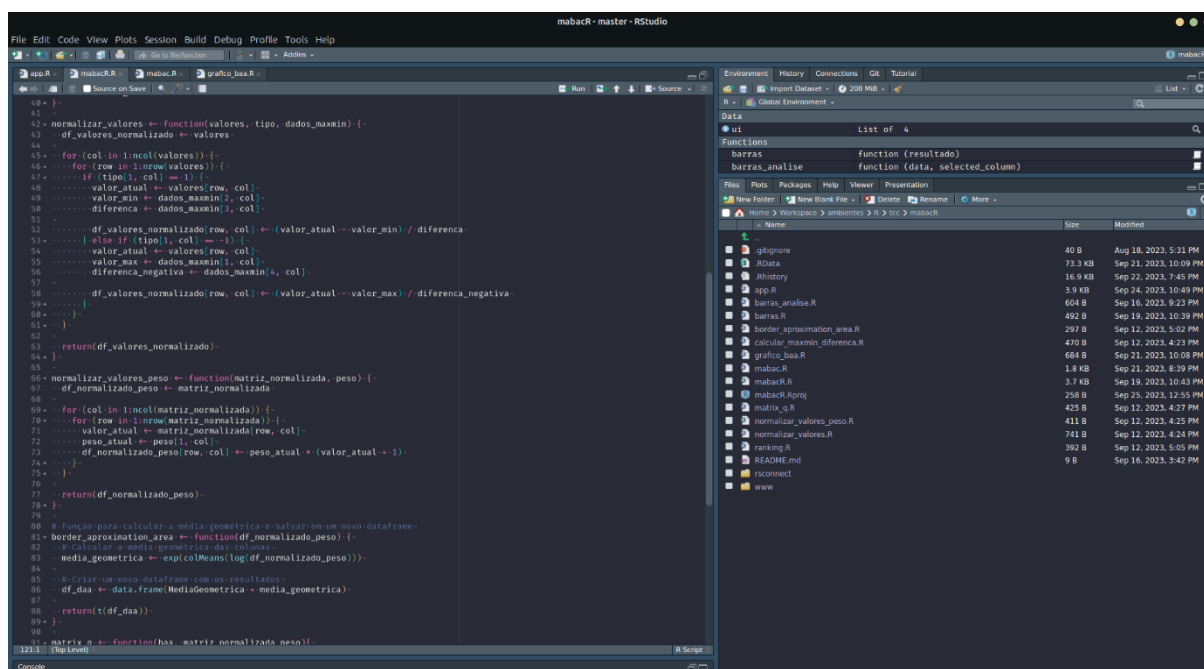


Figura 3. Código de uma das funções do aplicativo escrito em R na IDE RStudio
Fonte: Autor (2023)

Para satisfazer o intuito deste trabalho de disponibilizar uma aplicação web para a realização dos cálculos do modelo MABAC, viu-se a necessidade da utilização de uma plataforma de desenvolvimento web que fosse facilmente integrada ao R. Para tanto, utilizou-se a biblioteca shiny que, segundo McGuinness e Higgins (2020), facilita o processo de produzir aplicativos web interativos e proporciona uma interface gráfica para o usuário (GUI, na sigla em inglês), que permite a visualização e controle das funções programadas. O acesso público fez-se possível utilizando o serviço de hospedagem shinyapps (www.shinyapps.io), fornecido pela mesma empresa detentora do Shiny.

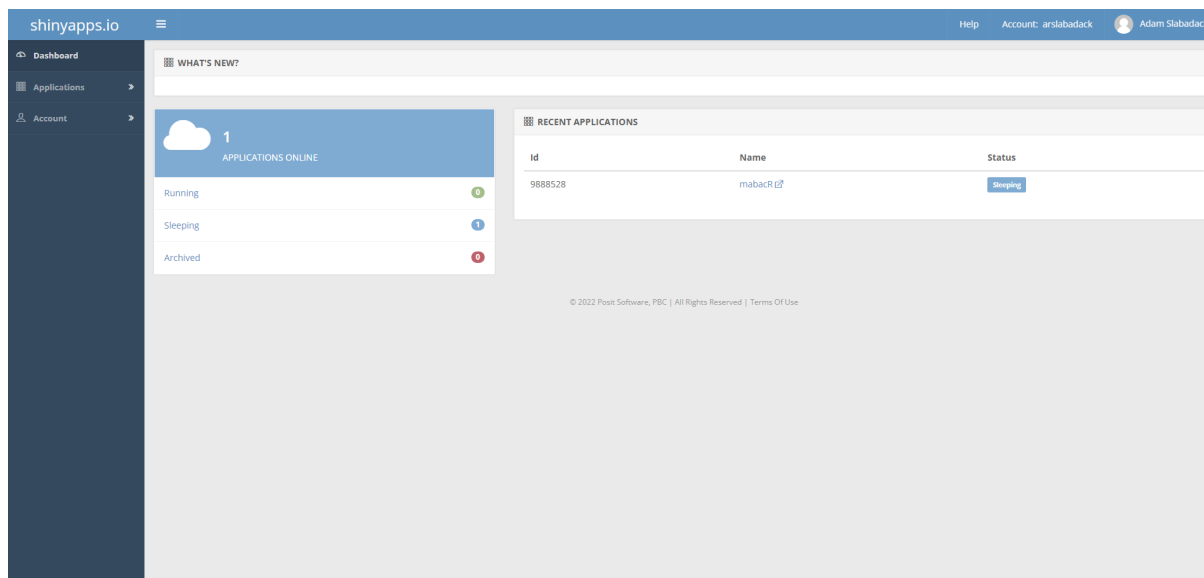


Figura 4. Dashboard do serviço de hospedagem baseado em nuvem shinyapps.io
Fonte: Autor (2023)

Para controle de versionamento, se optou pelo uso das ferramentas Git e, como forma de armazenamento do código e disponibilização online (intuito de manter como código aberto, convidando desenvolvedores a adicionarem melhorias) utilizou-se o Github.

Segundo Strien (2016), embora comumente empregados como termos intercambiáveis, é imperativo destacar que Git e GitHub representam entidades distintas no contexto do controle de versão de código-fonte. O Git constitui-se como uma implementação concreta do sistema de controle de versão, concebida por Linus Torvalds com o propósito de realizar a gestão do código-fonte do sistema operacional Linux. O GitHub figura como uma entidade empresarial que opera na área do gerenciamento de repositórios Git e disponibiliza recursos de software voltados à sua utilização. Esta empresa oferece uma plataforma de hospedagem que possibilita o armazenamento e compartilhamento de repositórios Git, em adição ao fornecimento de uma série de ferramentas concebidas para aprimorar a colaboração e o controle de versão colaborativo no desenvolvimento de software.

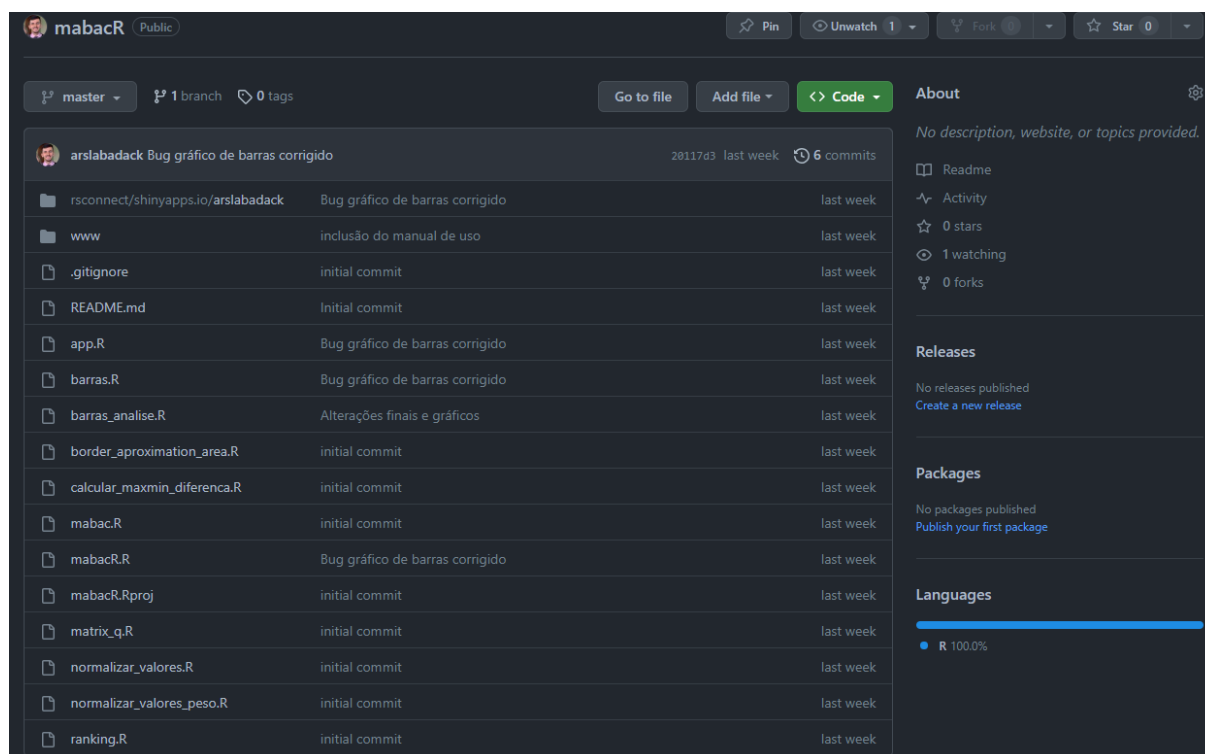


Figura 5. Código fonte do aplicativo hospedado no GitHub
Fonte: Autor (2023)

Metodologia de elaboração e organização do código fonte

O aplicativo foi desenvolvido utilizando alguns preceitos do desenvolvimento incremental de software, tendo suas funções revisitadas para que fosse possível reestruturá-las, a fim de atender aos requisitos.

Inicialmente compreendeu-se o problema em questão, a falta de um aplicativo que pudesse realizar os cálculos do método MABAC de maneira fácil e intuitiva. Após o entendimento de como o método funciona, deu-se o levantamento dos requisitos funcionais e não funcionais que serviriam de elemento alvo para o desenvolvimento. São os funcionais:

- O aplicativo deve carregar uma planilha em formato .xlsx, pré-preenchida pelo usuário, e extrair desta os dados necessários;
- Estes dados devem ser aplicados em funções, escritas na linguagem de programação R, que executam os passos do método MABAC;
- Ao serem carregados, os dados devem aparecer para o usuário para sua validação;
- O cálculo deve ser feito automaticamente, gerando os resultados na aba “Resultados”;
- O usuário poderá, na aba “Análise dos resultados”, visualizar de forma gráfica (gráfico de dispersão), a comportamento dos itens avaliados comparados com as áreas de aproximação de fronteira (vide figura 2);

- (f) Uma versão padrão da planilha estará disponível para download pelo usuário no aplicativo.

Para os não funcionais, temos:

- (a) A planilha deve ser em formato .xlsx, pois pode ser editada em qualquer editor de planilhas;
- (b) O software deve ser, preferencialmente, modelado para uso em ambiente desktop;
- (c) Erros não devem impossibilitar a sequência de uso do software.

Para cada passo do modelo MABAC, programou-se uma função que realizasse a etapa referida. A tabela 2 apresenta esta estrutura.

Tabela 2. Estrutura organizacional de funções do aplicativo

Passo MABAC	Função desenvolvida no R e seus parâmetros
Passo 1. Formação inicial da matriz de decisão (X)	<code>processar_dados(mabac_df)</code>
Passo 2. Normalização dos elementos da matriz inicial (X)	<code>calcular_maxmin_diferenca(valores)</code> e <code>normalizar_valores(valores, tipo, dados_maxmin)</code>
Passo 3. Cálculo da matriz dos elementos ponderados pelos pesos (matriz V)	<code>normalizar_valores_peso(matriz_normalizada, peso)</code>
Passo 4. Determinação da área aproximada de fronteira (matriz G)	<code>border_aproximation_area(matriz_normalizada_peso)</code>
Passo 5. Cálculo das distâncias das alternativas para a área aproximada de fronteira da matriz dos elementos (matriz Q)	<code>matrix_q(baa, matriz_normalizada_peso)</code>
Passo 6. Ranqueamento das alternativas	<code>ranking(itens_avalidados, matriz_q)</code>

Fonte: Autor (2023)

A tabela 3 traz as funções complementares e de agregação, não baseadas em passos do modelo MABAC.

Tabela 3. Estrutura organizacional de funções complementares e de agregação do aplicativo

Tarefa	Função
Gerar os gráficos de análise por critério	<code>barras_analise(data, selected_column)</code>
Gerar os gráficos da área de aproximação de fronteira	<code>grafico_baa(dataframe, coluna)</code>
Agregar todas as funções e iniciar os cálculos	<code>mabac(mabac_df)</code>

Fonte: Autor (2023)

A função de entrada do aplicativo (main function) foi denominada de maneira padrão: app.R. Nesta, estão contidas as bibliotecas necessárias para o funcionamento do aplicativo, as funções Shiny de criação da parte gráfica (ui) e a função de formação do servidor (server), a qual contém as chamadas de início das funções do aplicativo.

Assim como o método MABAC, o aplicativo executa funções sequencialmente, utilizando os retornos das funções como parâmetros de execução para as próximas funções. A figura 6 exemplifica o fluxograma de execução.

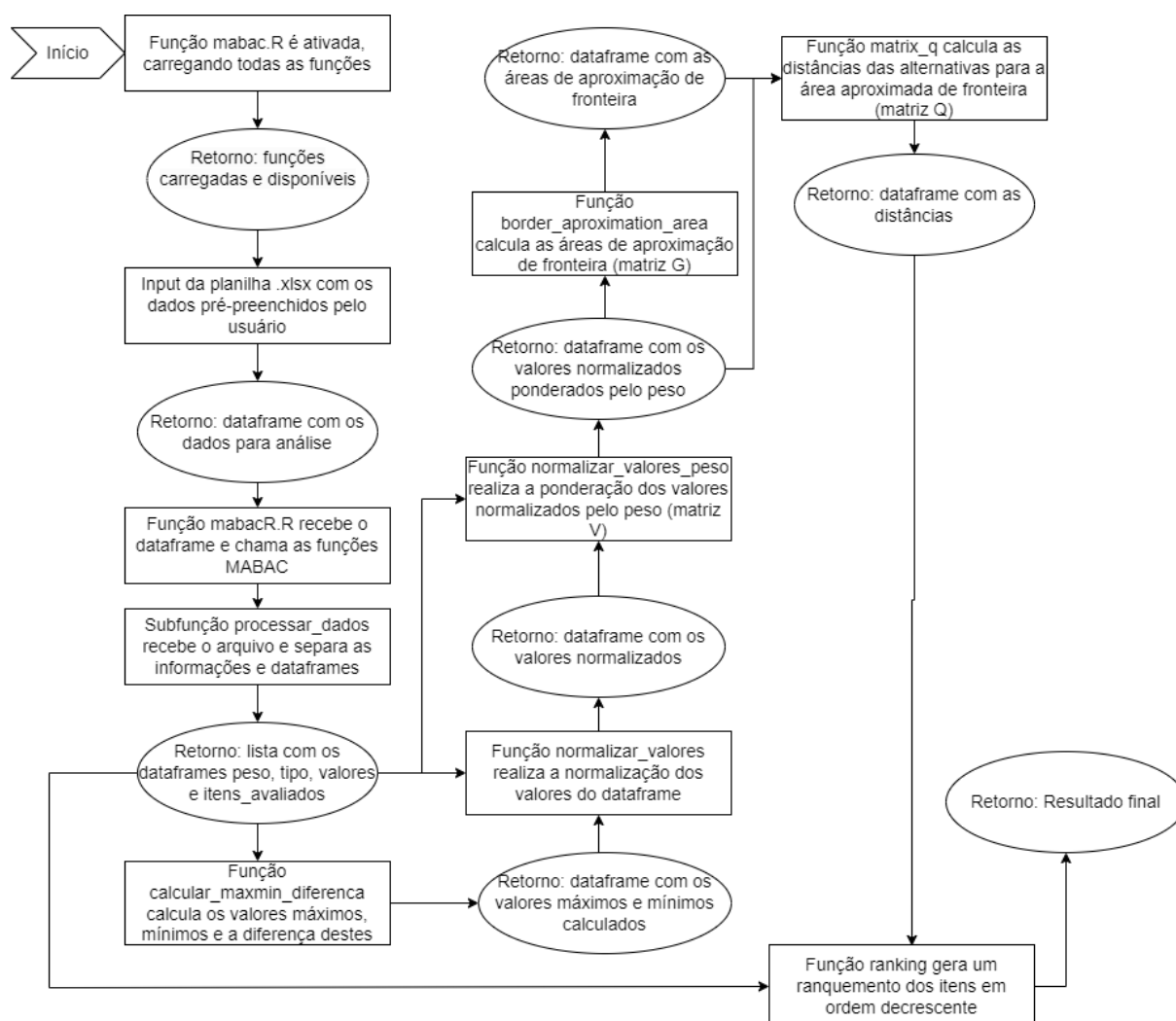


Figura 6. Fluxograma de funcionamento do aplicativo MABAC
Fonte: Autor (2023)

Resultados e Discussão

A entrega final deste trabalho de conclusão de curso deu-se na forma de um aplicativo web, de fácil entendimento, objetivo e prático, como demanda o objetivo principal, apresentado ao início. Não há limites para os usos práticos deste aplicativo, sendo

recomendado em qualquer circunstância onde seja necessária a tomada de decisão multicritério através de um modelo matemático confiável, como demonstrou ser o método MABAC. Para atestar a acurácia do aplicativo, foram submetidos para análise os dados do trabalho “Aplicação do método multicritério Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC) para a seleção de um helicóptero leve para o Projeto TH-X do Ministério da Defesa” de Soares e Santos (2021). Para isto, preencheu-se uma tabela inicial com os dados apresentados no trabalho, que consistem em 5 itens (helicópteros) avaliados e 7 critérios. Todos os critérios eram de maximização e o peso era o mesmo para cada critério. O resultado gerado pelo aplicativo foi exatamente o mesmo obtido pelos pesquisadores em seu trabalho, respaldando a eficiência do aplicativo. Conclui-se assim que os resultados foram atingidos conforme os objetivos estabelecidos e pode-se ser observado acessando o link: <<https://arslabadack.shinyapps.io/mabacR/>>

Considerações Finais

O autor pretende incrementar o aplicativo, acoplando métodos que trabalhem juntamente com o método MABAC no sentido de auxiliar na definição dos pesos. Há também a intenção de disponibilizar o pacote no CRAN (Comprehensive R Archive Network), repositório central de pacotes para desenvolvimento de sistemas na linguagem R, para que assim possa ser mais bem difundido o uso das funções que compõem este aplicativo.

Agradecimento

A todos os professores e profissionais da USP/Esalq que atuam neste MBA, são vocês que fazem o espetáculo acontecer, especialmente ao Professor Marcos pela inestimável contribuição. Dedico este trabalho a Ângela, o farol que me guia nas marés turbulentas.

Referências

ALINEZHAD, Alireza; KHALILI, Javad. (2020). New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM). 1. ed. Cham, Switzerland: Springer Nature.

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. (2013). Pesquisa operacional para cursos de engenharia. Elsevier, Brasil.

CHAKRABORTY, Santonab; RAUT, Rakesh D.; ROFIN, T. M.; CHATTERJEE, Srinjoy; CHAKRABORTY, Shankar. (2023). A comparative analysis of Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC) model for healthcare supplier selection in fuzzy environments. *Decision Analytics Journal*, [S. l.], v. 8, n. 100290, p. 100290.

Download RStudio. Disponível em: <<https://posit.co/products/open-source/rstudio/>>. Acesso em: 25 set. 2023.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. (2013) *Introdução à pesquisa operacional*. McGraw Hill, Brasil.

IHAKA, Ross; GENTLEMAN, Robert. (1996). R: A language for data analysis and graphics. *Journal of computational and graphical statistics: a joint publication of American Statistical Association, Institute of Mathematical Statistics, Interface Foundation of North America*, v. 5, n. 3, p. 299–314.

LIU, Peide; PAN, Qian; ZHU, Baoying; WU, Xiaoming. (2023) Multi-attribute decision-making model based on regret theory and its application in selecting human resource service companies in the post-epidemic era. *Information sciences*, [S. l.], v. 649, n. 119676, p. 119676.

MCGUINNESS, Luke; HIGGINS, Julian. (2021) Risk-of-bias VISualization (robvis): An R package and Shiny web app for visualizing risk-of-bias assessments. *Research synthesis methods*, v. 12, n. 1, p. 55–61.

PAMUČAR, Dragan; ĆIROVIĆ, Goran. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert systems with applications*, [S. l.], v. 42, n. 6, p. 3016–3028.

REIMANN, Clemens; FILZMOSER, Peter; GARRET, Robert; DUTTER, Rudolf. (2008). *Statistical data analysis explained: Applied environmental statistics with R*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell.

SANTOS, Wellington Furtado; SIMONETTO, Eugenio de Oliveira; FERREIRA, David Luiz Silva. (2017). *Pesquisa Operacional aplicada à Administração: um estudo sobre os artigos*

internacionais publicados entre 1993 e 2013. Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria, v. 10, n. 5.

SOARES, Leandro de Mattos Bento; SANTOS, Marcos dos. (2021). Aplicação do método multicritério Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC) para a seleção de um helicóptero leve para o Projeto TH-X do Ministério da Defesa. Anais do Simpósio de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP.

STRIEN, Daniel van. (2016) "An Introduction to Version Control Using GitHub Desktop," Programming Historian 5.

VILLACRESES, Geovanna; MARTÍNEZ-GÓMEZ, Javier; JIJÓN, Diego; CORDOVEZ, Martin. (2022). Geolocation of photovoltaic farms using Geographic Information Systems (GIS) with Multiple-criteria decision-making (MCDM) methods: Case of the Ecuadorian energy regulation. Energy reports, [S. l.], v. 8, p. 3526–3548.

Apêndice

Manual De Uso Do Aplicativo MABAC

Introdução

Esta é uma implementação do Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC), um método multicritério para tomada de decisão. Neste manual, você aprenderá a preencher a planilha padrão (que se encontra para download no aplicativo, na sessão “Planilha padrão: mabacr.xlsx”) bem como todos os passos necessários para obter os resultados que irão nortear sua tomada de decisão. Recomenda-se, como complemento, assistir o vídeo que se encontra na sessão “YouTube: Como preencher a planilha mabacr.xlsx?” do aplicativo. Neste, é apresentado um tutorial de preenchimento da planilha.

Para eventuais dúvidas, esteja à vontade em enviar um e-mail para arslabadack@gmail.com, será um prazer lhe ajudar.

Etapas De Uso Do Aplicativo

Download E Preenchimento Da Planilha Padrão

O primeiro passo é a realização do download da Planilha Padrão. No aplicativo, na barra de opções que se encontra à esquerda, basta clicar no link apresentado na Figura 1 e o download começará automaticamente. O arquivo “mabacr.xlsx” (Figura 2) baixado está em formato .xlsx e pode ser lido em qualquer software de edição de planilhas (recomenda-se o software desktop Excel ou, on-line, Google Planilhas).



Figura 1. Link para download da planilha padrão
Fonte: Autor (2023)

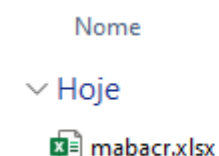


Figura 2. Planilha padrão
Fonte: Autor (2023)

Após a realização do download, abra o arquivo dando dois cliques sobre este (caso a edição seja feita diretamente de seu desktop) ou realize o upload do arquivo no aplicativo on-line de edição de planilhas para iniciar a edição. A planilha baixada virá pré-preenchida (Figura 3) com um exemplo de aplicação, basta alterar os valores de acordo com a necessidade da análise do usuário.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Critérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
2	Pesos	0,146	0,144	0,119	0,121	0,115	0,101	0,088	0,068	0,05	0,048
3	Tipo	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
4	A1	22600	3800	2	5	1,06	3	3,5	2,8	24,5	6,5
5	A2	19500	4200	3	2	0,95	3	3,4	2,2	24	7
6	A3	21700	4000	1	3	1,25	3,2	3,3	2,5	24,5	7,3
7	A4	20600	3800	2	5	1,05	3,25	3,2	2	22,5	11
8	A5	22500	3800	4	3	1,35	3,2	3,7	2,1	23	6,3
9	A6	23250	4210	3	5	1,45	3,6	3,5	2,8	23,5	7
10	A7	20300	3850	2	5	0,9	3,25	3	2,6	21,5	6
11											
12											

Figura 3. Planilha padrão com valores de exemplo
Fonte: Autor (2023)

IMPORTANTE: Não altere a ordem dos fatores na planilha pois isso ocasionará um erro na hora de realizar os cálculos. A linha 1 **SEMPRE** deverá conter os Critérios, a linha 2 os pesos, a linha 3 o tipo e a partir da quarta linha insere-se os valores de cada critério. As partes que poderão ser alteradas encontram-se desbloqueadas e serão apresentadas a seguir.

As configurações iniciais trazem 10 critérios (linha 1, cor azul), identificados pelo rótulo “C”, acompanhados de um número sequencial (C1, C2, ..., C10) e sete itens avaliados (coluna A, cor lilás), identificados pelo rótulo “A”, acompanhados de um número sequencial (A1, A2, ..., A10). Estes rótulos devem ser alterados de acordo com a análise do usuário, onde os itens (A1, A2, ..., A10) serão os diferentes produtos que serão avaliados para compra (ex.: veículos, computadores, máquinas agrícolas etc.) e os critérios serão as características que serão cruciais na tomada de decisão do item a ser adquirido (ex.: autonomia, preço, capacidade etc.). O usuário pode substituir estes rótulos como desejar, utilizando o nome que desejar, tanto para itens quanto para critérios.

IMPORTANTE: A utilização dos caracteres especiais “/”, “\”, “(” e “)” irá ocasionar um erro nos gráficos, recomenda-se utilizar outro caractere para substituição (ex.: ao invés de usar “Km/l” para representar quilômetros por litro, substituir por “Km_l”).

Pode-se ainda incluir (basta preencher mais linhas e colunas com os dados desejados) ou excluir (apagando as linhas e/ou colunas para que fique com a quantidade de itens e critérios desejada) itens e critérios. A Figura 4 mostra a localização dos critérios e dos itens.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Critérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
2	Pesos	0,146	0,144	0,119	0,121	0,115	0,101	0,088	0,068	0,05	0,048
3	Tipo	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
4	A1	22600	3800	2	5	1,06	3	3,5	2,8	24,5	6,5
5	A2	19500	4200	3	2	0,95	3	3,4	2,2	24	7
6	A3	21700	4000	1	3	1,25	3,2	3,3	2,5	24,5	7,3
7	A4	20600	3800	2	5	1,05	3,25	3,2	2	22,5	11
8	A5	22500	3800	4	3	1,35	3,2	3,7	2,1	23	6,3
9	A6	23250	4210	3	5	1,45	3,6	3,5	2,8	23,5	7
10	A7	20300	3850	2	5	0,9	3,25	3	2,6	21,5	6
11											
12											

Figura 4. Critérios e itens

Fonte: Autor (2023)

Após a etapa de inclusão dos itens e critérios, deve-se atentar para a atribuição dos pesos de cada critério, na linha 2 da planilha. Os pesos definem o impacto de importância de

cada critério específico na tomada de decisão. Quanto mais próximo a zero, menor a importância do critério na decisão final, quanto mais próximo a um, maior a importância do referido critério. A atribuição dos pesos deve ser decidida pelo usuário de acordo com as métricas pré-estabelecidas por este.

IMPORTANTE: Independentemente da quantidade de critérios estipulada, a soma dos pesos deve **SEMPRE** resultar em 1 (um). Caso esta soma seja maior que 1 ou menor que 1, o aplicativo retornará um erro.

A linha que contém os pesos encontra-se na Figura 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Crítérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
2	Pesos	0,146	0,144	0,119	0,121	0,115	0,101	0,088	0,068	0,05	0,048
3	Tipo	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
4	A1	22600	3800	2	5	1,06	3	3,5	2,8	24,5	6,5
5	A2	19500	4200	3	2	0,95	3	3,4	2,2	24	7
6	A3	21700	4000	1	3	1,25	3,2	3,3	2,5	24,5	7,3
7	A4	20600	3800	2	5	1,05	3,25	3,2	2	22,5	11
8	A5	22500	3800	4	3	1,35	3,2	3,7	2,1	23	6,3
9	A6	23250	4210	3	5	1,45	3,6	3,5	2,8	23,5	7
10	A7	20300	3850	2	5	0,9	3,25	3	2,6	21,5	6
11											
12											

Figura 5. Pesos
Fonte: Autor (2023)

Os tipos, presentes na linha 3, são representativos, ou de custo (apresentados com o valor -1) ou lucro/benefício (apresentados com o valor 1). São os tipos que determinam qual critério, preferencialmente, deve ser minimizado (custo) ou maximizado (benefício/lucro). Podemos tomar como exemplo a aquisição de um automóvel, o critério “preço” é um critério de custo, quanto menor, mais interessante ao comprador. Atribui-se então o valor -1, pois deseja-se minimizar este critério (ao realizar o cálculo, priorizar-se-á o item de menor valor quando o tipo deste for -1). Já na mesma aquisição, o critério “autonomia” é um critério de lucro/benefício, quanto maior, mais interessante ao comprador. Atribui-se então o valor 1, pois deseja-se maximizar este critério (ao realizar o cálculo, priorizar-se-á o item de maior valor quando o tipo deste for 1). Importante lembrar que o aplicativo apenas reconhece os valores -1 e 1 nesta linha, qualquer outro valor resultará em erro. A Figura 6 ilustra a linha mencionada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Crítérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
2	Pesos	0,146	0,144	0,119	0,121	0,115	0,101	0,088	0,068	0,05	0,048
3	Tipo	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
4	A1	22600	3800	2	5	1,06	3	3,5	2,8	24,5	6,5
5	A2	19500	4200	3	2	0,95	3	3,4	2,2	24	7
6	A3	21700	4000	1	3	1,25	3,2	3,3	2,5	24,5	7,3
7	A4	20600	3800	2	5	1,05	3,25	3,2	2	22,5	11
8	A5	22500	3800	4	3	1,35	3,2	3,7	2,1	23	6,3
9	A6	23250	4210	3	5	1,45	3,6	3,5	2,8	23,5	7
10	A7	20300	3850	2	5	0,9	3,25	3	2,6	21,5	6
11											
12											

Figura 6. Tipos

Fonte: Autor (2023)

Para finalizar a etapa de preenchimento da planilha, deve-se atribuir os valores dos itens para cada critério. Estes valores podem ser em qualquer unidade de medida, desde que sejam **valores numéricos** e que **usem vírgula como separador de casas**. Estes campos são apresentados na Figura 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Crítérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
2	Pesos	0,146	0,144	0,119	0,121	0,115	0,101	0,088	0,068	0,05	0,048
3	Tipo	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
4	A1	22600	3800	2	5	1,06	3	3,5	2,8	24,5	6,5
5	A2	19500	4200	3	2	0,95	3	3,4	2,2	24	7
6	A3	21700	4000	1	3	1,25	3,2	3,3	2,5	24,5	7,3
7	A4	20600	3800	2	5	1,05	3,25	3,2	2	22,5	11
8	A5	22500	3800	4	3	1,35	3,2	3,7	2,1	23	6,3
9	A6	23250	4210	3	5	1,45	3,6	3,5	2,8	23,5	7
10	A7	20300	3850	2	5	0,9	3,25	3	2,6	21,5	6
11											
12											

Figura 7. Valores de cada critério para cada item

Fonte: Autor (2023)

Após realizadas estas etapas, salve a planilha (se estiver usando a versão desktop) ou realize o download dela (caso esteja usando a versão web) em um local de fácil localização.

Upload Da Planilha

Com o aplicativo aberto, localize o botão “Browse...” e clique neste. Uma janela irá se abrir para que seja possível localizar a planilha salva anteriormente. Ao localizar a planilha, selecione-a clicando sobre ela e apertando “Abrir” ou com um duplo clique.

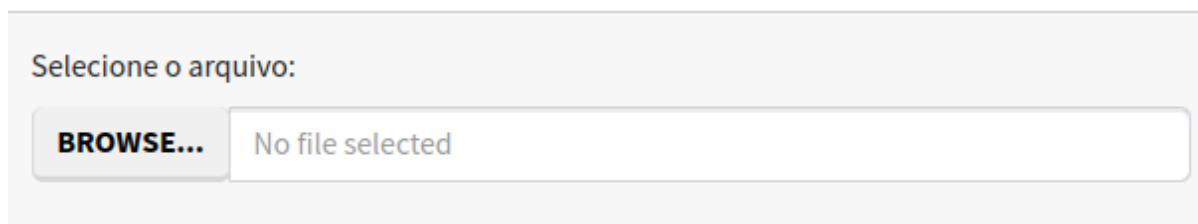


Figura 8. Botão que iniciará o carregamento da planilha

Fonte: Autor (2023)

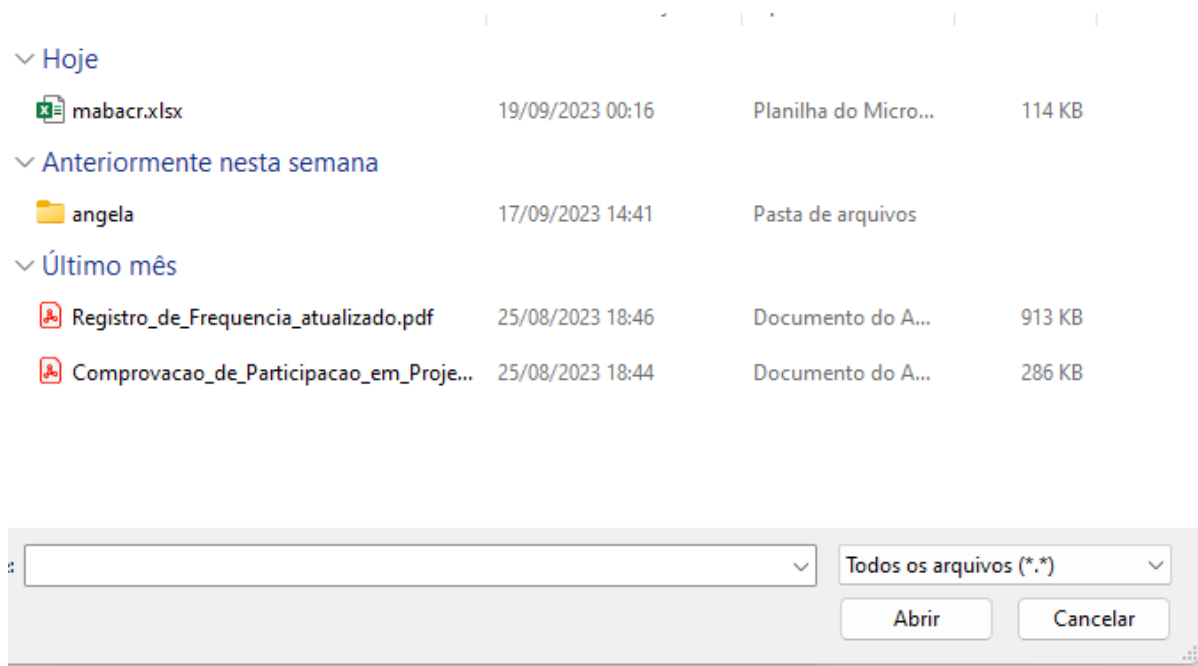


Figura 9. Seleção da planilha

Fonte: Autor (2023)

Ocorrendo tudo como esperado, sem erros, a mensagem “Upload Complete” aparecerá escrita em uma barra azul abaixo do botão “Browse...”, como demonstra a Figura 10.

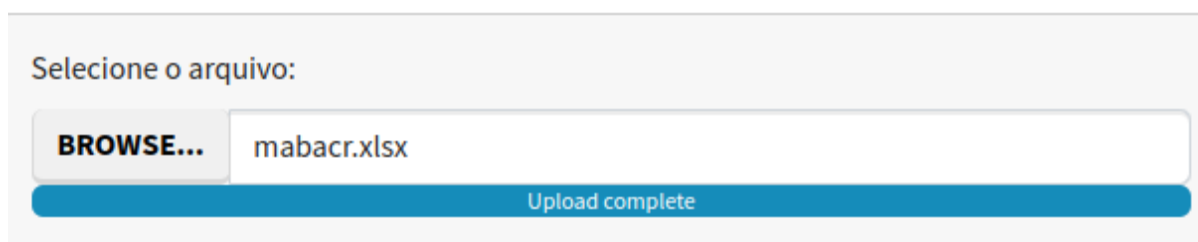


Figura 10. Mensagem de Upload complete

Fonte: Autor (2023)

Visualização Dos Dados E Análise Dos Resultados

Concluído o upload da planilha, na aba “Dados” aparecerá uma planilha com os dados que o usuário inseriu (Figura 11). Esta é uma importante visualização, pois permite analisar se os dados carregados no aplicativo estão corretos, caso contrário, o usuário deverá reiniciar os passos, alterando novamente a planilha.

Dados Resultados Gráficos

Dados da Planilha Padrão

Show 10 entries Search:

	Crítérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
1	Pesos	0.146	0.144	0.119	0.121	0.115	0.101	0.088	0.068	0.05	0.048
2	Tipo	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
3	A1	22600	3800	2	5	1.06	3	3.5	2.8	24.5	6.5
4	A2	19500	4200	3	2	0.95	3	3.4	2.2	24	7
5	A3	21700	4000	1	3	1.25	3.2	3.3	2.5	24.5	7.3
6	A4	20600	3800	2	5	1.05	3.25	3.2	2	22.5	11
7	A5	22500	3800	4	3	1.35	3.2	3.7	2.1	23	6.3
8	A6	23250	4210	3	5	1.45	3.6	3.5	2.8	23.5	7
9	A7	20300	3850	2	5	0.9	3.25	3	2.6	21.5	6

Showing 1 to 9 of 9 entries

PREVIOUS 1 NEXT

Figura 11. Dados da planilha mostrados na aba “Dados”
Fonte: Autor (2023)

Automaticamente, o aplicativo já irá realizar os cálculos aplicando o modelo MABAC e os resultados serão exibidos na aba “Resultados” como apresentado na Figura 12.



Comportamento dos Resultados em Relação a Área de Aproximação de Fronteira (BAA)

Escolha um critério:

C1

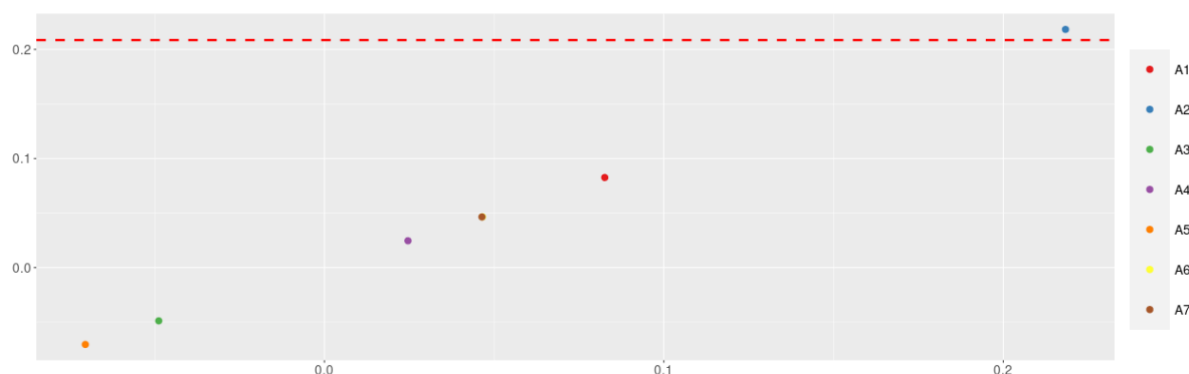


Figura 12. Resultados mostrados na aba “Resultados”

Fonte: Autor (2023)

Esta aba apresenta a escolha ótima em formato de tabela (Figura 13). Na porção direita da tela, encontram-se os valores da área de aproximação de fronteira (BAA) calculados (Figura 14).

Escolha Ótima

Item	Soma
2 A2	0.21833375
1 A1	0.08259070
6 A6	0.04653858
7 A7	0.04641242
4 A4	0.02461733
3 A3	-0.04881552
5 A5	-0.07042947

Figura 13. Tabela de resultados

Fonte: Autor (2023)

A leitura da tabela deve ser feita de maneira a conceber que o primeiro item, é o item avaliado pelo modelo como o que melhor se adequa aos requisitos que o usuário determinou. Ela é apresentada em ordem decrescente, ou seja, vai do mais bem colocado para o mais mal colocado, sendo o último item da tabela, o que menos se adequou às necessidades determinadas pelo usuário.

Valores da Área de Aproximação de Fronteira (BAA)

MediaGeometrica	
C1	0.20855467
C2	0.18853777
C3	0.17198152
C4	0.19520876
C5	0.17401557
C6	0.16245608
C7	0.13186541
C8	0.10104409
C9	0.07893715
C10	0.05898421

Figura 14. Valores da área de aproximação de fronteira (BAA)

Fonte: Autor (2023)

O gráfico gerado logo abaixo apresenta o comportamento dos resultados em relação à área de aproximação de fronteira (BAA) (Figura 15). Quanto mais vezes o item se apresentar acima da linha pontilhada (BAA), para cada critério, mais bem avaliado este será, se posicionando, possivelmente, como a melhor escolha. Ao clicar em "Escolha um critério" o usuário terá acesso aos critérios inseridos inicialmente na planilha padrão e poderá escolher o que desejar para realizar a análise. Cada critério selecionado apresentará valores de BAA diferentes, estes podem ser conferidos na tabela "Valores da Área de Aproximação de Fronteira (BAA)" (Figura 14).

Comportamento dos Resultados em Relação a Área de Aproximação de Fronteira (BAA)

Escolha um critério:

C1

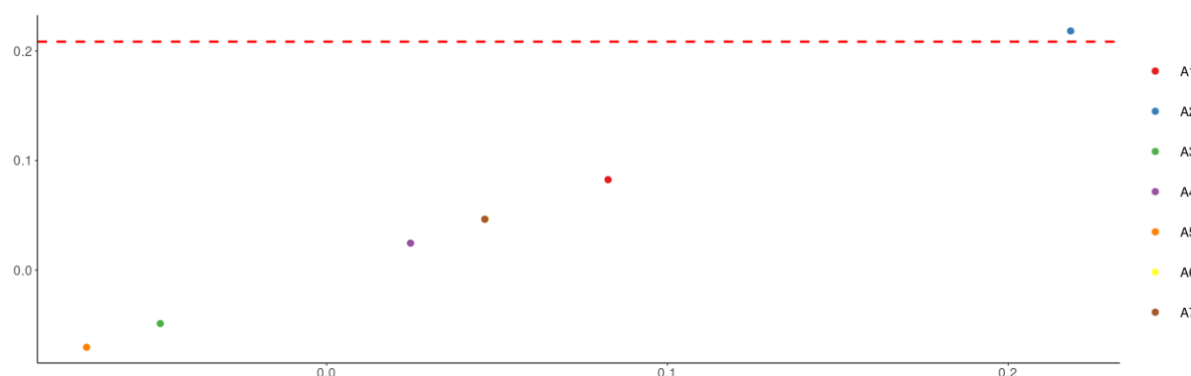


Figura 15. Gráfico do comportamento dos resultados em relação ao BAA

Fonte: Autor (2023)

Na aba “Gráficos”, o usuário poderá realizar análises da classificação do desempenho das alternativas por critério. Basta selecionar o critério na caixa de seleção (Figura 16) para obter um panorama de comportamento dos itens para aquele critério.

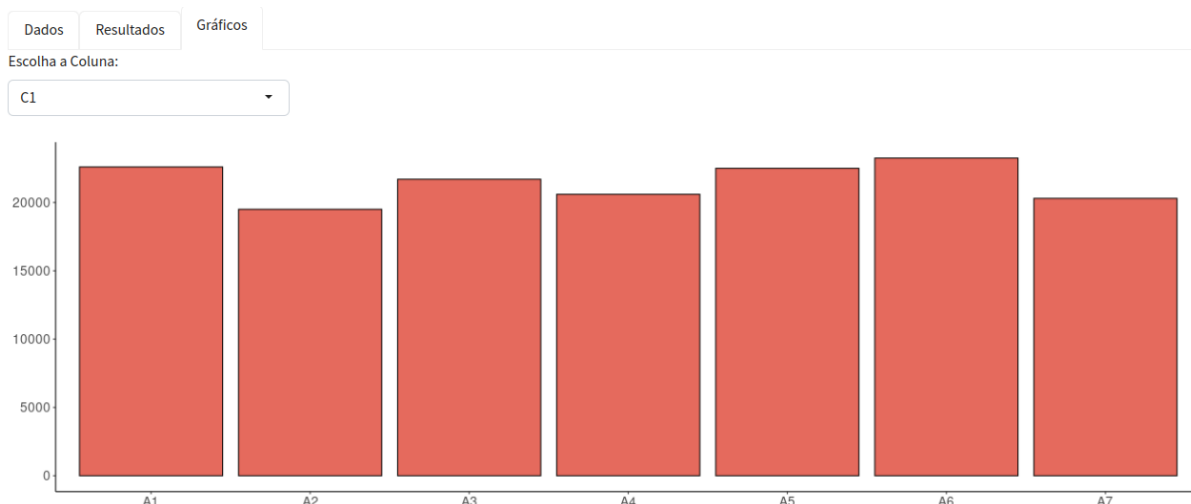


Figura 16. Aba “Gráficos” para análises por critério

Fonte: Autor (2023)

Conclusão

Assim concluímos o manual de utilização do aplicativo MABAC. Ficamos imensamente felizes que você escolheu nosso aplicativo para auxiliar na sua tomada de decisão. Sinta-se à vontade para utilizá-lo e, se quiser conhecer mais a fundo, o código fonte está no item “Repositório no GitHub: GitHub” do aplicativo. Ficamos gratos se você nos citar

em seus resultados. Caso deseje conferir o trabalho resultante deste aplicativo, ele encontra-se no item “Implementação do Método Multicritério MABAC na Linguagem R: Uma Ferramenta para Tomada de Decisão” no aplicativo.

Fonte para citação: Slabadack, Adam; SANTOS, Marcos dos. Aplicativo MABAC em R (v.1), 2023.