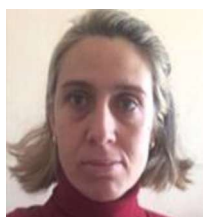




## MODELO DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS

*MULTI-CRITERIA SUPPORT DECISION MODEL FOR REHABILITATION INTERVENTIONS SELECTION IN PUBLIC BUILDINGS*



**Maria João Falcão Silva** <sup>(1)</sup>, **Paula Couto** <sup>(2)</sup>, **Fernando Pinho** <sup>(3)</sup>

*(1) LNEC, Portugal, mjoaofalcao@lnec.pt*

*(2) LNEC, Portugal, pcouto@lnec.pt*

*(3) CERIS, FCT-UNL, Portugal, ffp@fct.unl.pt*

### RESUMO

A reabilitação de edifícios surge como uma oportunidade do setor da construção se readaptar, apostando na requalificação do património existente e, se possível, melhorando a sua qualidade com base em princípios de sustentabilidade. De forma a ultrapassar a complexidade de uma tomada de decisão nesta área, por vezes é necessário recorrer a metodologias de apoio como, por exemplo, os modelos baseados em Análise Multicritério. A estruturação deste tipo de modelos ajuda na tomada de decisão em problemas com pouco nível de definição e, geralmente, envolvendo múltiplos pontos de vista. Este processo permite auxiliar os agentes decisores na definição de quais as intervenções prioritárias a executar, minimizando o seu impacto, enquanto se procura reduzir a despesa e maximizar o investimento efetuado por fundos públicos.

O trabalho desenvolvido compreende a descrição do edifício a reabilitar objeto do estudo, a apresentação de soluções de intervenção específicas e o desenvolvimento de um modelo de apoio à decisão sobre que intervenção realizar. O modelo é baseado numa análise multicritério, tendo sido definidos os objetivos e os critérios orientadores da decisão. Esta análise multicritério utilizará a metodologia MACBETH, devidamente apoiada por uma ferramenta informática, que permite auxiliar o agente decisor na definição das soluções de intervenção prioritárias. Os resultados obtidos, e devidamente justificados, têm como objetivo demonstrar a utilidade desta metodologia, que é bastante promissora no apoio à tomada de decisão, relativa a eventuais intervenções de reabilitação em edifícios públicos de interesse patrimonial.

**Palavras-chave:** Análise Multicritério / Apoio à Decisão / Reabilitação de Edifícios

## 1. INTRODUÇÃO

A reabilitação de edifícios públicos e a sua adaptação à atualidade pode ser considerada uma temática sensível, já que representa um estímulo da maior importância para a arquitetura e a engenharia, categorizando-se como uma oportunidade de reintegrar e preservar os testemunhos do passado na vida contemporânea. Na verdade, intervir em edifícios públicos, com o peso cultural e histórico que estes normalmente têm, pode ser um grande desafio, tanto pela responsabilidade de preservar o seu valor, como também porque o objeto intervencionado é um bem comum da Nação. Por esses motivos, a tomada de decisão de intervir e como o fazer pode tornar-se uma tarefa com alguma complexidade associada (Morettin, 2012). De forma a minimizar a complexidade da tomada de decisão, torna-se necessário recorrer a metodologias e / ou ferramentas de apoio à decisão, como sejam os modelos baseados em Análise Multicritério (AM). A estruturação deste tipo de modelos permite o apoio à decisão pública em problemas complexos, com pouco nível de definição, que geralmente envolvem pontos de vista múltiplos, sendo possível estabelecer uma linguagem comum de argumentação e discussão das perspetivas e pontos de vista defendidos pelos diversos atores e/ou intervenientes, facilitando a geração de novas oportunidades de decisão e alternativas de escolha, tendentes a ultrapassar as eventuais divergências de pontos de vista. Este processo permite auxiliar o agente decisor na definição de quais as intervenções prioritárias a executar, minimizando o impacto das mesmas, ao mesmo tempo que se reduz o custo e se maximiza o investimento público (Barcelos, 2019).

O presente artigo compreende um enquadramento conceptual com particular enfoque no processo de tomada de decisão, na Análise Multicritério e na metodologia MACBETH. Posteriormente apresenta-se o caso de estudo, um edifício público pertencente a um Monumento de Interesse Público (MIP), sobre o qual se implementa uma análise multicritério para apoio à decisão de intervir na reabilitação do mesmo. A análise referida utiliza as funcionalidades de escolha contidas no software de apoio à decisão da metodologia MACBETH, que permite apoiar o agente decisor na definição de quais as intervenções prioritárias a implementar. Os resultados obtidos permitem demonstrar a utilidade desta metodologia, bastante promissora no apoio à tomada de decisão sobre eventuais intervenções de reabilitação em edifícios públicos.

## 2. ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL

### 2.1. Processo de tomada de decisão

Uma tomada de decisão pode ser descrita como uma “escolha entre diferentes alternativas”. Esta definição é, de certa forma, demasiado simplista, porque não se trata de um ato isolado, em que o decisor decide por uma de entre várias opções, mas sim de todo um processo (Estrela, 2014). Em cada decisão que tem de ser tomada surgem dificuldades, nomeadamente: i) complexidade; ii) incerteza; iii) diferentes pontos de vista (isto é, diferentes atores); e iv) objetivos múltiplos. Uma boa decisão não é aquela que origina necessariamente o melhor resultado, mas sim a que é tomada a partir da compreensão do problema como um todo e de uma cuidadosa análise dos pontos importantes que fazem parte dele. Os resultados podem ser positivos ou negativos, independentes da qualidade da decisão (Clemen, 1991; Clemen e Reilly, 2001), e maximizar a previsão das suas consequências é um ponto muito importante no processo de tomada de decisão (Bana e Costa, 1993).

De facto, o processo de tomada de decisão é complexo e engloba diversos fatores e condicionantes que aumentam a sua incerteza, o que faz com que os decisores procurem minimizar os seus riscos mediante a adoção de diversos mecanismos e técnicas. Estes fatores têm maior influência no processo quanto mais complexa for a decisão e, por consequência, nas repercussões que podem surgir a partir do momento em que se decide (Barcelos, 2019). De forma a atenuar a complexidade do problema é necessário recorrer a metodologias efetivas

que permitem organizar os problemas complexos numa estrutura, para que o processo de análise decorra da maneira mais eficaz (Bana e Costa e Beinart, 2010).

## 2.2. Análise Multicritério

Uma AM pode ser definida como um conjunto de procedimentos, cujo objetivo é analisar um grupo de alternativas, sobre múltiplos critérios, para resolver um determinado problema (Gomes, 1999). Esta é uma abordagem quantitativa que permite apoiar o processo de tomada de decisão a vários níveis, de modo a potenciar nos decisores uma visão abrangente e estruturada do problema. O uso da AM pode ser visto como uma forma de refletir o raciocínio e as diferentes convicções dos variados intervenientes no processo de decisão, sobre cada um dos temas levantados de forma individual. Esta ferramenta é usualmente utilizada como forma de definir prioridades e / ou recomendações, de analisar situações em que existe conflito ou para originar orientações de natureza operacional (Clemen e Reilly, 2001; Salvado, Falcão Silva e Couto, 2017). Durante o processo de desenvolvimento de uma AM, torna-se possível encontrar soluções que sejam viáveis para um grupo de critérios diferentes que podem ter objetivos opostos (ex.: maximizar a qualidade vs minimizar os custos) (Barcelos, 2019). A implementação de uma AM é um procedimento recorrente não-linear composto por diferentes etapas, podendo o número de etapas variar de acordo com o tipo de AM que se utiliza, uma vez que cada uma delas tem as suas próprias características específicas. No entanto, podem ser identificadas cinco etapas críticas (Figura 1) (Salvado, Falcão Silva, Couto; 2017), que concretizam três fases: estruturação, avaliação e recomendações.

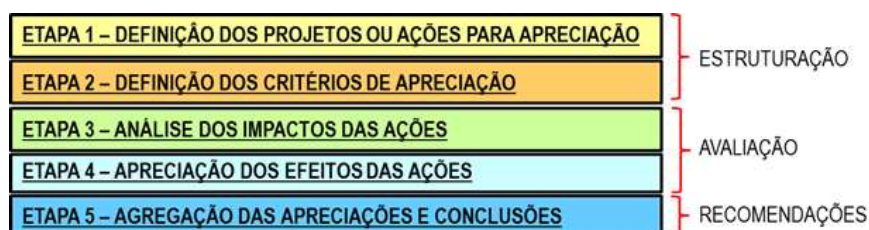


Figura 1 – Sistematização de Análise Multicritério, adaptado de (Salvado, Falcão Silva e Couto, 2017)

Na ETAPA 1 procede-se ao levantamento do inventário dos elementos destinados à comparação, em fase de programação ou depois de implementados. A ETAPA 2 compreende a definição dos objetivos e respetivos critérios de apreciação, refletindo as preferências dos intervenientes e os diferentes pontos de vista. Na ETAPA 3 efetua-se uma estimativa quantitativa ou uma descrição qualitativa do impacto, com a construção da matriz de avaliação do impacto (critérios vs ações), e a possibilidade de combinar critérios qualitativos e quantitativos através de escalas de classificação calibradas. A ETAPA 4 compreende a avaliação dos impactos, em que são combinados elementos factuais e objetivos relativos aos impactos. Nesta mesma etapa, um grupo de especialistas deve atribuir uma ponderação a cada um dos critérios, para que se possam considerar todos num modelo final global. Por último, na ETAPA 5 calcula-se a pontuação global de cada ação através da soma das multiplicações de cada pontuação elementar do critério pela sua ponderação, sendo possível considerar três abordagens diferenciadas (pessoal, coligação ou compromisso) à agregação das apreciações (Salvado, Falcão Silva, Couto, 2017).

## 2.3. Metodologia MACBETH

O acrónimo MACBETH resulta de “Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique”, o que pode ser traduzido como: medição da atratividade por uma técnica de avaliação baseada em categorias (Bana e Costa, De Corte e Vansnick, 2003; Bana e Costa, Angulo-Meza e Oliveira, 2013). O MACBETH apoia-se na análise de juízos qualitativos para a construção dum modelo de avaliação quantitativo de valores, permitindo quantificar o grau de preferência que o decisor tem sobre um conjunto de alternativas possíveis e facilitar o caminho da

ordenação ordinal para a modelação de preferência cardinal, sendo uma mais-valia para o decisor quantificar o interesse das opções possíveis (Costa e Vansnick, 1995; Bana e Costa, Oliveira e Oliveira, 2012). A abordagem MACBETH assenta num modelo de agregação de valor aditivo simples, que se caracteriza pela sua simplicidade, isto é, pela precisão no processamento da importância relativa entre critérios, por evitar complicações no processo das agregações ordinais e ainda por abranger parâmetros técnicos de fácil interpretação e explicação (Bana e Costa, De Corte e Vansnick, 2003). A aplicação do MACBETH considera uma avaliação parcial, seguida de uma avaliação global. A primeira é obtida com a definição de funções de valor ou escalas de preferências para avaliar o desempenho das opções em cada um dos critérios, enquanto a segunda surge com o somatório da aplicação de coeficientes de ponderação (pesos) a essas mesmas avaliações parciais (Equação 1) (Caetano, 2018):

$$V(a) = \sum_{i=1}^n \lambda_i V_i(a) \quad (1)$$

em que:  $V(a)$  representa a avaliação global da opção “a”;  $\lambda_i$  representa o peso do critério “i”; e  $V_i(a)$  representa a avaliação parcial da opção “a” no critério “i” (Bana e Costa, Oliveira e Oliveira, 2012).

A metodologia MACBETH compreende uma sequência de Fases (subdivididas em etapas), mais ou menos aplicáveis e ajustáveis a diferentes tipos de tomadas de decisão (Direção Geral de Política Regional da Comissão Europeia, 2003; Dodgson, Packman, Pearman *et al.*, 2009; Macharis *et al.*, 2009; Comissão Europeia e Observatório QREN, 2013b): i) Estruturação (enquadramento; identificação de alternativas; identificação de objetivos e critérios); ii) Avaliação (avaliação de cada alternativa relativamente a cada um dos critérios; obtenção dos pesos dos critérios; obtenção dos pesos finais de cada alternativa); e iii) Recomendações (análise dos resultados; análises de sensibilidade, nos pesos, e de robustez).

Para além das principais diretrizes da utilização desta metodologia, todos os intervenientes envolvidos beneficiam do carácter construtivo e participativo que a abordagem MACBETH proporciona. Seja ao nível do setor público, seja no domínio das organizações privadas, as decisões não são, senão excecionalmente, da responsabilidade de apenas um indivíduo (Barcelos, 2019).

#### 2.4. Software M-MACBETH

Para a análise da informação recolhida ao longo de todo o processo da tomada de decisão é usual utilizarem-se *softwares* informáticos que, para além de facilitarem o trabalho dos decisores, permitem que se conclua o estudo de uma forma rápida, consistente e credível (Bana e Costa *et al.*, 2012). A metodologia MACBETH possui um *software* de apoio designado M-MACBETH que permite verificar a consistência dos juízos atribuídos, alertar quando são detetadas inconsistências e, caso necessário, sugerir recomendações com vista a tornar todos os julgamentos consistentes (o conjunto de julgamentos é inconsistente quando não existe solução possível para o problema). Após a definição de todas as matrizes de julgamentos, e não existindo inconsistências, são criadas as funções de valor e as escalas de preferência (Caetano, 2018). Cabe ao decisor organizar os critérios por ordem decrescente de atratividade, para que seja possível o processo de atribuição dos coeficientes de ponderação, sendo que o *software* verifica também a consistência dos dados introduzidos e sugere correções caso seja necessário. De seguida, é feita a análise e validação por parte do decisor e são obtidas as pontuações globais. Uma das maiores vantagens do uso do *software* M-MACBETH é que permite analisar quanto cada opção é fraca ou forte em cada critério. Por fim, destaca-se a capacidade do *software* realizar análises de sensibilidade e robustez (Bana e Costa, De Corte e Vansnick, 2003; Ishizaka e Nemery, 2013; Karande e Chakraborty, 2014).

### 3. APLICAÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO A UM EDIFÍCIO PÚBLICO

Para que se possa definir, de forma fundamentada, a prioridade nas intervenções de reabilitação em edifícios públicos, dada a complexidade da tomada de decisão e o financiamento com recurso a fundos públicos,

considera-se a aplicação da metodologia de AM recorrendo ao MACBETH, com utilização do *software* M-MACBETH.

### 3.1. Descrição do caso de estudo

Com projeto de Januário Godinho de Almeida (1910-1990) e de João Henrique de Mello Breyner Andresen (1920-1967), o edifício estudado foi inaugurado a 19 de dezembro de 1966, e está integrado numa instituição pública de investigação, classificada como Monumento de Interesse Público (MIP) em 2012 (Figura 2a). Desde a sua génese destinou-se a acolher os serviços de apoio social dos trabalhadores da referida instituição pública, bem como alojar investigadores visitantes estrangeiros. Trata-se de um edifício composto por 3 blocos, ligados interiormente, com entradas externas independentes (Figura 2b).

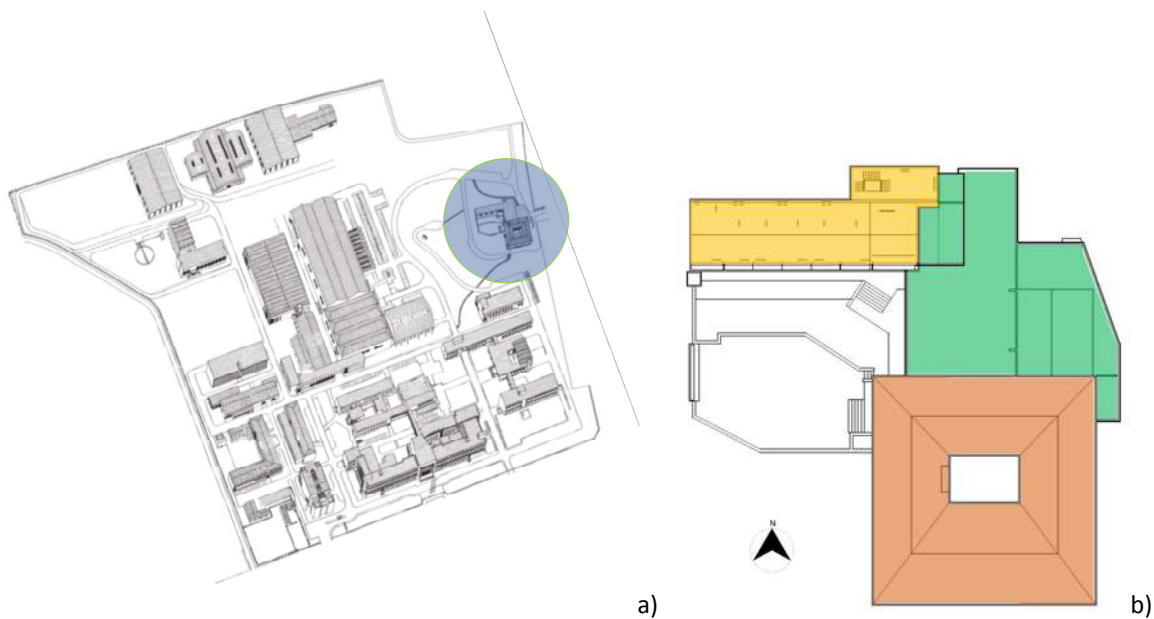


Figura 2 – Caso de estudo: a) Localização do edifício no Monumento de Interesse Público (MIP) (Barcelos, 2019); b) Planta do edifício em estudo (Barcelos, 2019)

No bloco a Norte, encontra-se a ala do edifício destinada a servir de Centro de Acolhimento a Visitantes (amarelo). O bloco central foi projetado com vista à instalação de um serviço de refeições destinado aos funcionários (verde). O bloco a Sul (laranja) alberga, no R/C, o posto médico e os serviços administrativos (Figura 3a) e, no 1.º piso, as zonas destinadas ao convívio dos trabalhadores (Figura 3b). O edifício combina betão armado, alvenaria de tijolo e betão ciclópico e quanto aos revestimentos incluem peças de cerâmica e madeiras exóticas (Barcelos, 2019).

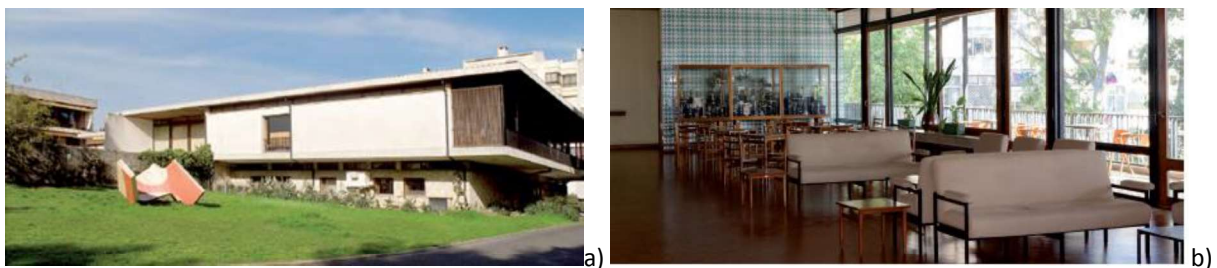


Figura 3 – Caso de estudo: a) Perspetiva do exterior (bloco Sul) (Freire, Machado, Mimoso *et al.*, 2017); b) Zona de convívio para trabalhadores (Freire, Machado, Mimoso *et al.*, 2017)

### 3.2. Propostas de intervenção

Após serem identificadas as situações mais problemáticas do edifício e decididas quais as propostas de intervenção que farão cumprir os objetivos para a sua reabilitação, torna-se necessário analisar qual a prioridade que deve ser dada às alternativas das intervenções que se verifiquem ser necessárias. As intervenções de reabilitação (IR) consideradas englobam, de forma geral, ações de reparação e/ou de melhoria das condições observadas em determinados elementos ou zonas do edifício. O grau de intervenção varia consoante o nível de melhoramento das exigências funcionais e/ou estruturais. Os níveis de intervenção englobam também a complexidade e extensão das operações necessárias para atingir os objetivos propostos aquando da decisão a tomar.

Atendendo ao estado atual do edifício estudado propõem-se, para análise e possível tomada de decisão, cinco alternativas acumulativas, correspondentes a diferentes níveis de intervenção, designadamente: i) Intervenção de Reabilitação muito ligeira (IR1), apenas ao nível da reposição de revestimentos de paredes interiores, onde se observa destacamento do mesmo, conforme identificado na zona de armazém no piso 1; ii) Intervenção de Reabilitação ligeira (IR2), onde também se intervirá ao nível do melhoramento das condições de ventilação, nas situações em que se observam, por exemplo, manchas provenientes de condensação interior, conforme identificado maioritariamente na zona destinada à copa do refeitório; iii) Intervenção de Reabilitação média (IR3), onde também se efetuará a reparação da impermeabilização observada, por exemplo, em zonas junto de tubos de queda; iv) Intervenção de Reabilitação profunda (IR4), onde também se efetuará a reparação de juntas de dilatação, nas situações em que se observam, por exemplo, infiltrações pelas juntas de dilatação, conforme identificado em algumas zonas do edifício (teto, paramento exterior na zona da junta de dilatação; caleira periférica); v) Intervenção de Reabilitação muito profunda (IR5), onde também se efetuará a reparação de viga e correção de impermeabilização, nas situações em que se observam, por exemplo, anomalias resultantes de impermeabilização insuficiente, conforme identificado em algumas zonas (floreira, floreira com claraboia, zona de viga no piso térreo).

### 3.3. Estruturação do modelo

Dado que o MACBETH requer julgamentos com base em diferentes categorias no que se refere ao nível da atratividade, a diferença de atratividade poderá variar entre: i) muito fraca, ii) fraca, iii) mediana, iv) forte, v) muito forte e vi) extrema (Marujo-Silva, 2017). A intervenção prioritária é obtida por meio de um procedimento onde são envolvidos diferentes critérios qualitativos e quantitativos, comparados entre si em termos de atratividade (Barcelos, 2019). O momento inicial da análise é a identificação do problema, que neste caso é a *Necessidade de reabilitação de um edifício público integrado no conjunto de infraestruturas de apoio a um Laboratório de Estado*. Depois, na primeira etapa são identificadas as alternativas, que traduzem as opções de escolha IR1 a IR5 já apresentadas; e na segunda etapa é criada a Árvore de Valor, que traduz o diagrama onde são descritos os aspetos importantes para a tomada de decisão. No que se refere à criação da árvore de valor consideram-se: i) objetivos e critérios (independentes entre si) obtidos a partir de uma análise mais profunda do problema; ii) níveis de desempenho, associados a cada um dos critérios (qualitativos ou quantitativos); e iii) níveis de referência nas escalas de desempenho dos critérios. Assim, estabeleceu-se o Objetivo Principal (*Priorização das intervenções no edifício público em estudo*), definiram-se os objetivos de carácter intermédio (O1 a O4), considerados na busca pelo cumprimento do objetivo principal, e associaram-se os diferentes critérios (C1 a C11) a cada um dos objetivos intermédios (Figura 4).

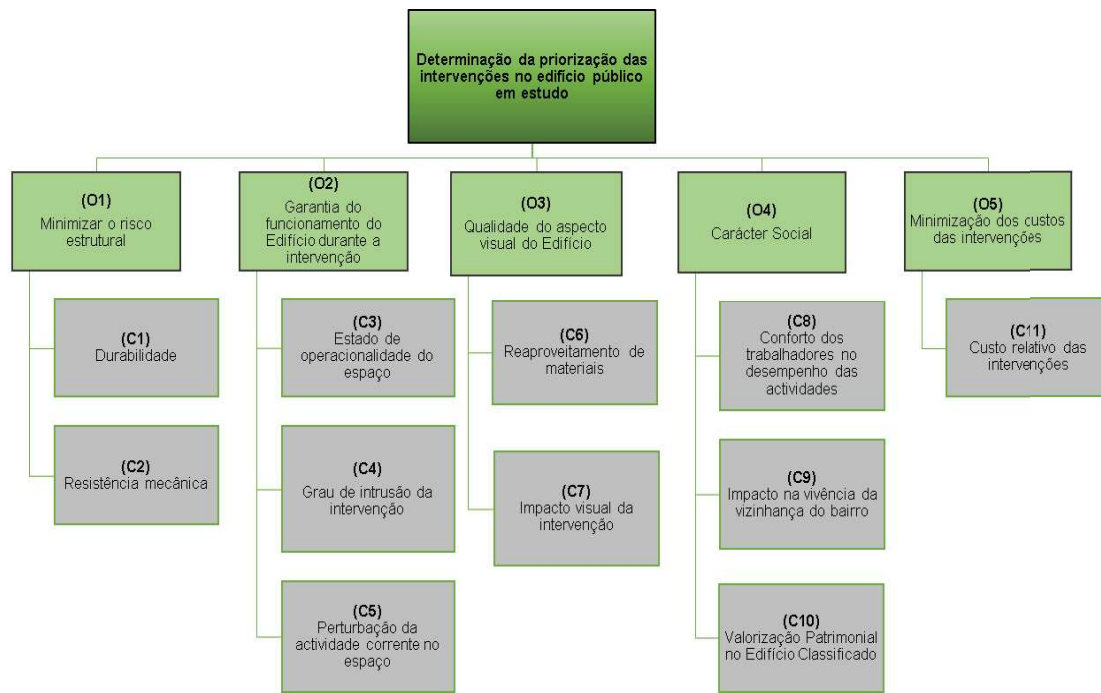


Figura 4 – Árvore de valor para seleção de intervenções de reabilitação no edifício em estudo (Estruturação do Modelo), adaptado de (Barcelos, 2019)

De seguida classificou-se cada umas das alternativas (IR1 a IR5) relativamente a cada um dos critérios (C1 a C11), com os níveis de desempenho já definidos. No decorrer da estruturação do modelo, o critério C9 foi excluído, ficando sem classificação, visto o edifício não se encontrar localizado numa zona perto da via pública, portanto sem impacto na vivência do bairro mais próximo (Barcelos, 2019). Em relação ao critério C11, dado que não é obrigatória a introdução dos valores dos custos reais para a análise segundo a metodologia MACBETH, considerou-se o custo relativo de cada alternativa. Para tal, atribui-se à menos dispendiosa (IR1) o valor unitário, sendo os restantes valores obtidos com essa referência (Quadro 1).

Quadro 1 – Custo relativo das alternativas (Barcelos, 2019)

	IR1	IR2	IR3	IR4	IR5
Custo relativo [IR1]	1.0	2.0	3.5	4.0	5.5

A tomada de decisão é suportada pelo envolvimento de especialistas e outros intervenientes no processo. Nesse sentido, na etapa seguinte recorreu-se a ferramentas (inquéritos) que permitem a consideração da opinião dos mesmos e devem refletir os seus ideais em relação ao tema. Desta forma é obtido o registo das avaliações dos impactos, através das funções de valor, e das ponderações dos critérios.

Na análise do problema, considerou-se importante integrar 4 pontos de vista distintos, correspondentes a intervenientes diferentes. A escolha dos especialistas e outros intervenientes recaiu naqueles cujas opiniões pudessem contribuir diretamente para a resolução do problema. Nesse sentido, recolheu-se a opinião do Gestor da Infraestruturas (GI), de um Projetista de Estruturas (PE), de um Técnico de Manutenção (TM) e de um Utente do Edifício (UE). Solicitou-se a cada um dos intervenientes que registasse a sua opinião através do preenchimento individual de um inquérito desenvolvido para o efeito. Junto de cada especialista obteve-se o seu ponto de vista relativamente ao grau de importância e relevância de cada critério, tendo sido definido o peso que a opinião de cada um dos especialistas teria para a análise global do problema. A maior percentagem foi atribuída ao GI (35%) por ser aquele que na Instituição ocupa uma posição de maior responsabilidade na tomada de decisão. Em seguida, e por se tratar de um técnico com formação na área da engenharia, encontra-se o PE (30%). A opinião

do TM tem um peso (20%), que reflete o conhecimento empírico e o peso da experiência prática proveniente das intervenções previamente empreendidas no edifício. Finalmente, encontra-se o EU (15%) que, apesar de não ter um conhecimento técnico profundo sobre o problema, tem uma opinião importante na medida que será este, por usufruir do espaço diariamente, que será diretamente mais influenciado pela tomada de decisão. As respostas de especialistas e outros intervenientes, materializadas em matrizes de avaliação, resumem aquela que é a visão geral dos inquiridos sobre cada critério, através do cálculo da média dos valores atribuídos por cada especialista na avaliação par a par.

### 3.4. Implementação no M-MACBETH

Para desenvolver a AM, apoiada pelo *software* M-MACBETH, inseriu-se na aplicação a informação obtida na fase de estruturação do modelo de avaliação, isto é, a árvore de valor apresentada na Figura 4. De seguida, foram inseridos na aplicação os níveis de desempenho de cada critério, neste caso com escalas qualitativas, tendo-se obtido uma base de comparação, com a definição dos níveis de referência superior (verde) e inferior (azul) para cada critério (Figura 5).

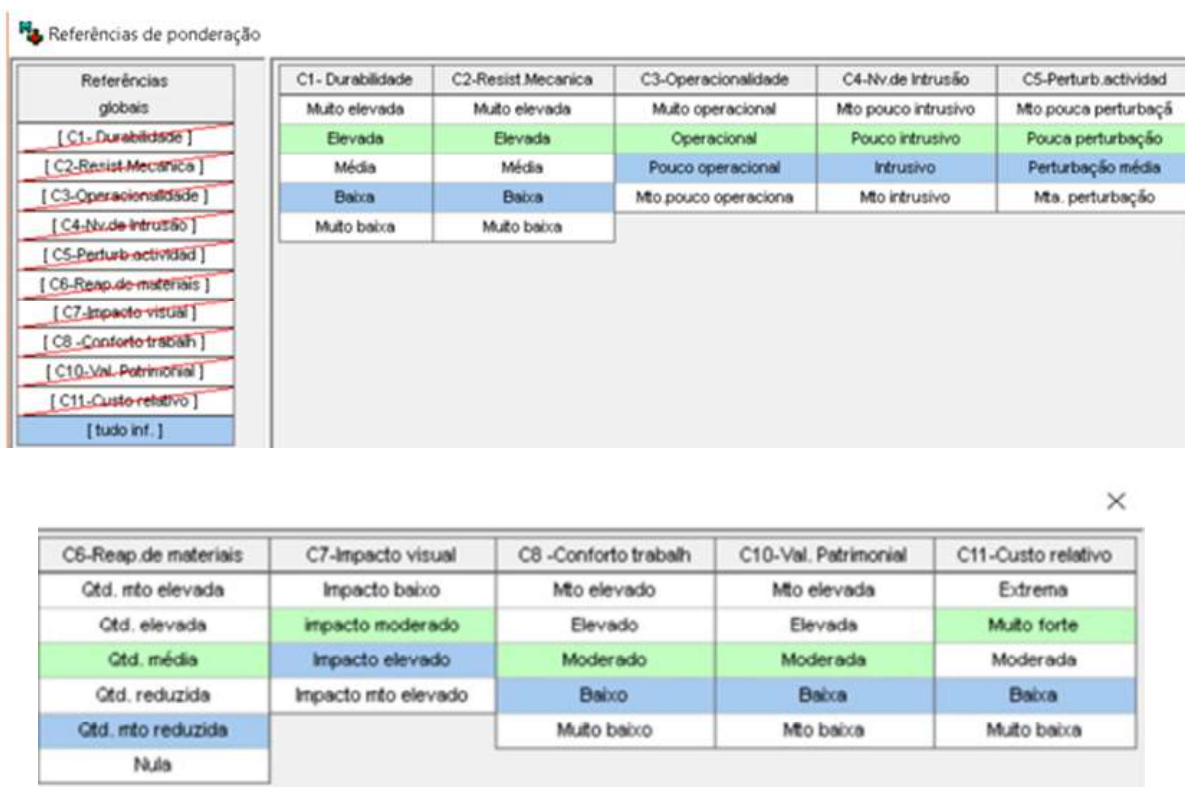


Figura 5 – Níveis de desempenho dos critérios, adaptado de (Barcelos, 2019)

Depois, incorporou-se na aplicação a classificação de cada uma das Intervenções de Reabilitação (IR), relativamente a cada um dos critérios, sob a forma dos respetivos desempenhos (Figura 6).

**Tabela de performances**

Opções	C1	C2	C3	C4	C5
IR1	Muito baixa	Muito baixa	Operacional	Pouco intrusivo	Pouca perturbação
IR2	Baixa	Baixa	Pouco operacional	Pouco intrusivo	Perturbação média
IR3	Média	Baixa	Muito operacional	Intrusivo	Pouca perturbação
IR4	Elevada	Média	Muito operacional	Intrusivo	Pouca perturbação
IR5	Muito elevada	Elevada	Pouco operacional	Mto intrusivo	Mta. perturbação



C6	C7	C8	C10	C11
Nula	Impacto baixo	Moderado	Baixa	Muito baixa
Qtd. média	Impacto muito Baixo	Mto elevado	Moderada	Moderada
Qtd. mto reduzida	impacto moderado	Moderado	Elevada	Moderada
Qtd. mto reduzida	impacto moderado	Moderado	Elevada	Moderada
Qtd. mto reduzida	Impacto muito Baixo	Elevado	Mto elevada	Muito forte

Figura 6 – Níveis de desempenho das IR, adaptado de (Barcelos, 2019)

Finalmente, após análise, tratamento e ponderação das respostas ao inquérito dadas pelos diferentes intervenientes, foram introduzidos na aplicação os julgamentos MACBETH de diferença de atratividade entre níveis de desempenho, para cada um dos critérios, acedendo à área destinada à matriz de julgamentos de determinado critério. Preenchidas as matrizes referidas utilizou-se a funcionalidade do programa que permite converter os níveis de desempenho qualitativos em valores numéricos pertencentes a uma escala. Esta escala é criada automaticamente pelo *software* M-MACBETH tendo por base as referências, superior e inferior, definidas para cada critério. Foram considerados os valores de pontuação de referência definidos pelo programa, isto é 0 (zero) para o nível de referência inferior e 100 (cem) para o nível de referência superior.

Considerando o *ranking* proposto para a ordenação dos critérios (1.º-C1; 2.º-C2; 3.º-C4; 4.º-C5; 5.º-C3; 6.º-C11; 7.º-C7; 8.º-C6; 9.º-C10; e 10.º-C8) e os pesos considerados para cada interveniente (GI = 35%, PE = 30%, TM = 20%, UE = 15%) obteve-se uma matriz de julgamentos entre os vários critérios, isto é, ordenaram-se os critérios por ordem decrescente de atratividade global. Após o preenchimento da matriz, gerou-se uma escala de pesos MACBETH. Neste sentido, à medida que se vai criando o modelo, o *software* vai verificando e consequentemente validando a consistência dos julgamentos nas matrizes, confirmando a inexistência de julgamentos incompatíveis.

### 3.5. Resultados obtidos

O *software* M-MACBETH gera tabelas onde é possível observar os pesos associados a cada critério e as pontuações parciais e globais das alternativas. A organização da lista de IR da tabela é feita por ordem decrescente de atratividade global, ou seja, com base na pontuação global daquela que é mais atrativa para a que menos atratividade apresenta (Figura 7). Observa-se que: i) quando a IR apresenta pontuação parcial nula, esta é considerada como tendo um desempenho “neutro”; ii) quando determinada IR apresenta pontuação parcial negativa, o seu desempenho é inferior ao “neutro”; iii) quando os valores de pontuação parcial da IR se situam entre 0 e 100, estamos perante um desempenho entre o “neutro” e o “bom”; iv) as IR com pontuações parciais de valor igual a 100 são consideradas como tendo um desempenho “bom”; e v) se a IR obteve pontuação parcial superior a 100, o seu desempenho é superior ao “bom”. Refere-se que no caso estudado nenhuma das alternativas obteve valor de pontuação global próximo de 100, o que reflete que a exigência proveniente dos intervenientes é alta e que a resposta dada pelo conjunto de critérios escolhido para a análise deste problema é satisfatória (Barcelos, 2019).

Opções	Global	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C10	C11
[ tudo sup. ]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
IR4	78.16	100.00	71.43	150.00	0.00	100.00	0.00	100.00	100.00	166.67	44.44
IR3	60.41	66.67	0.00	150.00	0.00	100.00	0.00	100.00	100.00	166.67	44.44
IR5	50.29	133.33	100.00	0.00	-75.00	-133.33	0.00	233.33	166.67	233.33	100.00
IR2	48.89	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00	233.33	233.33	100.00	44.44
IR1	27.56	-50.00	-28.57	100.00	100.00	100.00	-50.00	166.67	100.00	0.00	-88.89
[ tudo inf. ]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.1818	0.1636	0.1091	0.1455	0.1273	0.0545	0.0727	0.0182	0.0364	0.0909

Figura 7 – Pontuações globais do M-MACBETH, adaptado de (Barcelos, 2019)

Com o objetivo de aprofundar a análise dos resultados, bem como de efetuar as comparações necessárias, foram obtidas representações gráficas custo-benefício, considerando no eixo XX o custo relativo da IR e no eixo YY os objetivos, definidos na árvore de valor, sob a forma dos benefícios identificados e considerados. Para que a análise fosse conclusiva tornou-se necessário, para além das relações custo-benefício parciais associadas a cada critério individualmente, avaliar o problema considerando todos os critérios e objetivos em simultâneo, razão pela qual foi gerada a relação custo-benefício global (Figura 8).

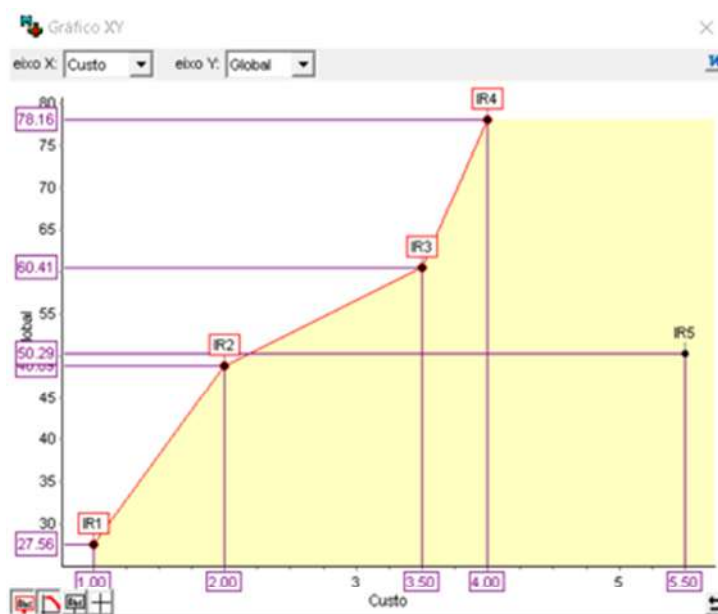


Figura 8 – Relação custo-benefício global do M-MACBETH, adaptado de (Barcelos, 2019)

### 3.6. Análise e discussão

A análise dos resultados apresentados no gráfico permite perceber que, das alternativas consideradas para o problema da “Determinação da priorização das intervenções no edifício público em estudo”, a IR5 foi excluída como hipótese pelo modelo, já que a sua pontuação global é inferior à de outras alternativas (IR3 e IR4) com custo relativo inferior, isto é, apresenta um custo demasiado elevado para o benefício que trará tendo em conta os critérios utilizados.

O software M-MACBETH permite definir como elegíveis, para a tomada de decisão, as restantes alternativas (IR1, IR2, IR3 e IR4). No entanto, considera-se que a IR1 deve ser excluída como opção, dada a pontuação global (benefício) ser muito baixa, comparativamente com as das restantes alternativas. Procedendo à análise entre as restantes alternativas (IR2, IR3 e IR4), de um ponto de vista mais detalhado em cada um dos objetivos, observou-se que a IR2 apresenta uma prestação eficiente em todos eles, com exceção do objetivo O2. Relativamente à IR3, esta apresenta um desempenho individual em cada objetivo razoavelmente eficiente, o que resulta numa

elevada pontuação global. A alternativa IR4 apresenta um desempenho bastante relevante em termos globais, obtendo a maior pontuação, e um custo relativo pouco superior ao da alternativa IR3. Desta forma, dados o custo relativo e o benefício em termos globais, considera-se que a alternativa IR4 deve ser a proposta para a tomada de decisão sobre a intervenção de reabilitação prioritária no edifício em estudo.

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização da AM para apoio à decisão permite a aplicação das melhores práticas na elaboração dos modelos de avaliação, bem como a adoção de uma solução tecnológica evoluída (construção de escalas de pontuação e ponderação de critérios), e também um conjunto de análises que possibilita aos intervenientes no processo uma tomada de decisão estruturada, eficaz e objetiva. Como tantas outras abordagens quantitativas, pode ser um recurso útil para os gestores públicos. Para o efeito é necessário que se entenda a metodologia como recurso para reflexão das práticas e apoio à tomada de decisão, garantindo a transparência e a possibilidade de incorporação de juízos de valor subjetivos. O campo de aplicações práticas é muito abrangente, sendo necessário continuar a explorá-lo e aprofundá-lo.

A metodologia MACBETH exige uma preparação com elevado grau de rigor: i) na definição de objetivos; ii) na definição dos critérios associados a cada objetivo; e iii) nas ferramentas utilizadas para obter a opinião de cada interveniente (inquéritos). Deve ser na fase de estruturação que são envidados os maiores esforços e dedicação, pois tem de se partir de uma base devidamente fundamentada e robusta, para que o modelo possibilite a obtenção de recomendações fiáveis, com idêntica robustez e solidez.

O trabalho desenvolvido demonstra a utilidade da AM, na generalidade, e da metodologia MACBETH, em particular, bem como a forma como podem apoiar os agentes envolvidos na tomada de decisões complexas. Este tipo de análises apresenta grande aplicabilidade a diferentes projetos, podendo neste caso em particular ser extensível a qualquer outro tipo de edifícios públicos.

Para o caso de estudo analisado foi possível concluir que o modelo desenvolvido em MACBETH, e materializado no *software* M-MACBETH, é válido e robusto para fundamentar tomadas de decisão em caso de intervenções objeto de financiamento público. Os resultados obtidos e analisados permitem aos agentes decisores tornar a tomada de decisão mais eficiente, na medida em que esta pode ser fundamentada em diferentes aspetos e variadas opiniões que imprimem, na generalidade, uma grande robustez e fiabilidade ao processo.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os elementos disponibilizados pelo Eng.º João Barcelos para a elaboração do presente artigo.

#### REFERÊNCIAS

- BANA e COSTA, C., 1993 – **Processo de apoio à decisão: problemáticas, actores e acções**. <http://web.ist.utl.pt/carlosbana/bin/Processosdeapoioadecisao.pdf> .
- BANA e COSTA, C.; ANGULO-MEZA, L.; OLIVEIRA, M., 2013 – **O método MACBETH e aplicação no Brasil**. *ENGEVISTA*. 15(1), pp. 3-27.
- BANA e COSTA, C.; BEINAT, E., 2010 – **Estruturação de modelos de análise multicritério de problemas de decisão pública**. Lisboa: Centro de Estudos de Gestão. Instituto Superior Técnico.
- BANA e COSTA, C.; DE CORTE, J.; VANSNICK, J., 2003 – **MACBETH: overview of MACBETH multicriteria decision analysis approach**. *International Journal of Information Technology and Decision Making*. 11(2):359-387.

- BANA e COSTA, C.; OLIVEIRA, D.; OLIVEIRA, M., 2012 – **A multicriteria decision analysis model for faculty evaluation**. *Omega*. 40(4), pp. 424-436. doi: 10.1016/j.omega.2011.08.006.
- BANA e COSTA, C.; SILVA, M., 2008 – **Modelo multicritério de avaliação de capacidade empreendedora em empresas de base tecnológica**. *ENGEVISTA*. 10(1), pp. 4-14.
- BARCELOS, J., 2019 – **Análise multicritério na reabilitação de edifícios – Apoio à decisão na intervenção num edifício de interesse público**. Dissertação de Mestrado. Lisboa: FCT-UNL.
- CAETANO, V., 2018 – **Análise multicritério aplicada na reabilitação de infraestruturas ferroviárias**, Dissertação de Mestrado. Lisboa: FCT-UNL.
- CLEMEN, R., 1991 – **Making hard decisions: an introduction to decision analysis**. Pws Pub Co. ISBN: 978-0534923365
- CLEMEN, R. T.; REILLY, T., 2001 – **Making hard decisions with Decision Tools**. Cengage Learning. 1st edition, ISBN: 978-0495015086.
- COMISSÃO EUROPEIA E OBSERVATÓRIO QREN, 2013 – **A avaliação do desenvolvimento socioeconómico, EVALSED, MANUAL TÉCNICO II: Métodos e Técnicas**. Instrumentos de Enquadramento das Conclusões da Avaliação: Análise Multicritério.
- COSTA, C.; VANSNICK, J., 1995 – **General overview of the Macbeth approach**. *Advances in Multicriteria Analysis, Nonconvex Optimization and Its Applications*. Boston, MA: Springer. pp. 93-100. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2383-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2383-0_6).
- DIREÇÃO GERAL DE POLÍTICA REGIONAL DA COMISSÃO EUROPEIA, 2003 – **Manual de análise de custos e benefícios dos projetos de investimento**.
- DODGSON, J.; SPACKMAN, M.; PEARMAN, A., PHILLIPS, L., 2009 – **Multi-criteria analysis: a manual**. Dep. Communities Local Gov. Lond. doi: 10.1002/mcda.399.
- ESTRELA, S., 2014 – **A gestão da informação na tomada de decisão das PME da região centro: um estudo exploratório e de multicasos no âmbito da Ciência da Informação**. Tese de doutoramento. Disponível na <http://hdl.handle.net/10316/25956>.
- FREIRE, P.; MACHADO, J.; MIMOSO, J.; PAIVA, J.; ROCHA, M.; CAMPOS COSTA, A., 2017 – **O campus do Laboratório Nacional de Engenharia Civil: monumento de interesse público**. Lisboa: Edições LNEC. e-book, 44 p.
- GOMES, E., 1999 – **Integração entre sistemas de informação geográfica e métodos multicritério no apoio à decisão espacial**. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- MACHARIS, C., DE WITTE, A., AMPE, J., 2009 – **The multi-actor, multi-criteria analysis methodology (MAMCA) for the evaluation of transport projects: Theory and practice**. *Journal of Advanced Transportation*. 43, 183-202. <https://doi.org/10.1002/atr.5670430206>.
- MARUJO DA SILVA, N., 2017 – **Análise multicritério na priorização de intervenções em quebra-mares de talude**. 9as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, LNEC.
- MORETTINI, R., 2012 – **Tecnologias construtivas para a reabilitação de edifícios: tomada de decisão para uma reabilitação sustentável**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo.
- SALVADO, F.; FALCÃO SILVA, M. J.; COUTO, P., 2017 – **Otimização de intervenções de reabilitação baseada em análises multicritério**. CREPAT2017. pp. 197-204.