

Repositório ISCTE-IUL

Deposited in *Repositório ISCTE-IUL*:

2018-06-05

Deposited version:

Publisher Version

Peer-review status of attached file:

Peer-reviewed

Citation for published item:

Stellacci, S. & Rato, V. (2017). Análise multicritério das técnicas de reforço locais: aplicação ao frontal de edifícios Pombalinos. In Vasco Rato, Paulo Tormenta Pinto (Ed.), *Territórios Metropolitanos Contemporâneos*. (pp. 142-158). Lisboa: DINÂMIA'CET-IUL.

Further information on publisher's website:

--

Publisher's copyright statement:

This is the peer reviewed version of the following article: Stellacci, S. & Rato, V. (2017). Análise multicritério das técnicas de reforço locais: aplicação ao frontal de edifícios Pombalinos. In Vasco Rato, Paulo Tormenta Pinto (Ed.), *Territórios Metropolitanos Contemporâneos*. (pp. 142-158). Lisboa: DINÂMIA'CET-IUL.. This article may be used for non-commercial purposes in accordance with the Publisher's Terms and Conditions for self-archiving.

Use policy

Creative Commons CC BY 4.0

The full-text may be used and/or reproduced, and given to third parties in any format or medium, without prior permission or charge, for personal research or study, educational, or not-for-profit purposes provided that:

- a full bibliographic reference is made to the original source
- a link is made to the metadata record in the Repository
- the full-text is not changed in any way

The full-text must not be sold in any format or medium without the formal permission of the copyright holders.



TERRITÓRIOS METROPOLITANOS CONTEMPORÂNEOS

SEMINÁRIOS TEMÁTICOS
PROGRAMA DE DOUTORAMENTO
ARQUITETURA DOS TERRITÓRIOS
METROPOLITANOS CONTEMPORÂNEOS

2016

ANÁLISE MULTICRITÉRIO DAS TÉCNICAS DE REFORÇO LOCAIS: APLICAÇÃO AO FRONTAL DE EDIFÍCIOS POMBALINOS

Stefania Stellacci

Vasco Rato

RESUMO

As dinâmicas da reabilitação do património Pombalino em Lisboa (1755-1880) envolvem três macro-fatores interdependentes: i) o artefacto histórico; ii) os proprietários e utilizadores; iii) os agentes especializados.

A dicotomia entre a integração e a integralidade do Património cultural (PC) deriva das diferentes atribuições de valor (cultural, histórico, funcional, económico) ao edifício histórico e da coexistência de objetivos contraditórios.

De facto, o domínio da reutilização e da reabilitação dos imóveis históricos (na qual se pode incluir o reforço estrutural) é marcado pela complexidade na seleção das soluções de intervenção, de projeto e técnicas.

Este artigo aborda o estudo comparativo in itinere das técnicas de reforço da parede mista (frontal) através de métodos de análise de decisão multicritério (MCDA).

O estudo visa propor um modelo de seleção das atuais técnicas de reforço utilizando como critérios a compatibilidade material, a autenticidade arquitectónica e estrutural e a perda de material original.

Os critérios de avaliação das práticas de reforço estrutural e as combinações das variantes de reforço são brevemente discutidos.

Salienta-se que a reflexão sobre o impacto das intervenções no património histórico e a necessidade de introduzir transparência no processo decisório representam prioridades no cenário contemporâneo lisboeta, bem como no contexto internacional.

Palavras-Chave: *Análise multicritério, M-MACBETH, técnicas de reforço estrutural, Património Pombalino, reabilitação, frontal.*

1. INTRODUÇÃO

O valor do património construído está relacionado com a permanência da materialidade associada ao processo de construção e com as soluções arquitetónicas, bem como com a atribuição, ao longo dos séculos, do valor simbólico e do significado funcional.

A dicotomia entre integração e integralidade exemplifica o paradigma contemporâneo da intervenção no património cultural [Bonelli, 1963]. Além da atribuição de um valor estático aos bens patrimoniais, seria admissível a conservação ativa, na condição de que seja contemplada a compreensão da estrutura histórica e das potencialidades mecânicas do edifício, para alcançar melhorias do comportamento sísmico [Giuffrè, 1995].

Trata-se de uma questão delicada, principalmente onde o imperativo das políticas públicas é a monetização, como no caso do património

Pombalino lisboeta (1755-1880). De facto, vários fatores têm atualmente levado a um crescente interesse pela renovação dos prédios da Baixa Pombalina (e.g. a localização central, a reforma do sistema de propriedade, a forte procura turística e a estratégia pública do desenvolvimento urbano).

Os prédios pombalinos representam 27% da Área do Concelho de Lisboa, com 15.711 imóveis e uma área de construção de 7.368.383 metros quadrados [Sequeira, 1999]. Análogo sistema construtivo e léxico formal será utilizado noutros tecidos urbanos em Portugal (e.g. Vila Real de S. António, Manique do Intendente, Porto Côvo, Porto dos Almadas) [Correia, 1997; Mascarenhas; 1996] (Fig.1).

Devido às notáveis características arquitetónicas e estruturais, bem como à importância histórica e cultural deste património, a literatura científica abrange extensivamente vários tópicos [Lopes, 1994; Mascarenhas, 1996; Lopes et al., 2013]. Em Lisboa, por cada bloco predial foram definidos a época de construção, o grau de autenticidade, o volume, o uso, os proprietários e a densidade

populacional [CML, 2004; AA.VV., 2005; CML, 2010].

Salienta-se que o requisito de segurança deveria representar um objetivo essencial, devido à crescente densidade populacional e à elevada vulnerabilidade sísmica da área [CML, 2004; CML, 2006; Meireles, 2012; Woessner et al., 2015]. De facto, Lisboa pertence à maior zona de risco sísmico em Portugal, como mostrado na Figura 1 [NP EN 1998-1, 2010].

Enquanto legado cultural, o edificado Pombalino representa um recurso multi-dimensional, multi-atributo e dotado de multi-valor económico [Mazzanti, 2002].

A eficácia dos métodos de análise de decisão multicritério (MCDA) tem sido demonstrada no âmbito de outros domínios. Nomeadamente no contexto do planeamento ambiental, das estratégias e da gestão do ecossistema urbano, existem exemplos nos quais as autoridades públicas adotaram modelos MCDA para a seriação das reais alternativas ao longo de um procedimento transparente [Bana e Costa, 1988; Ferretti et al., 2014]. Na sua aplicação ao património arquitetónico, os métodos MCDA podem constituir-se como uma importante ferramenta para analisar diferentes abordagens de projeto e técnicas de reforço alternativas. De facto, o processo de decisão associado a este tipo de intervenções considera sempre um conjunto de critérios que assumem objetivos contraditórios, tornando muito complexa a tomada de decisão.

A maioria dos proprietários do parque Pombalino é constituída por privados e bancos /seguradoras, como mostrado na Figura 2 [CML, 2010]. Uma abordagem comparativa poderia ser justificável para a importância dos imóveis e a complexidade do processo, bem como a coexistência dos objetivos conflituantes, mais que pela exigência de instituir um procedimento transparente.

2. TRÊS MACRO-ASPETOS NA REABILITAÇÃO DO PATRIMÓNIO POMBALINO

A reabilitação e o reforço no contexto do património arquitetónico representam processos complexos na coexistência de diferentes finalidades dos grupos de interesse [Ferretti et al., 2014].

Aspectos relacionados com a reutilização e a prática do reforço estrutural (e.g. análise de cargas, a compatibilidade dos componentes, materiais e tipos de reforços) deveriam ser discutidos numa abordagem multidisciplinar considerando três macro-questões: i) o artefacto histórico (isolado e como parte do quarteirão) dependente das características da construção e do seu estado de conservação; ii) o proprietário e os utilizadores (agentes decisores) influenciados pelos custos/benefícios, a situação cadastral, o uso e o sistema de acesso; iii) os agentes especializados (e.g. engenheiros, arquitetos, construtores locais), cujas decisões dependem dos regulamentos municipais, bem como das práticas de conservação (know-how e viabilidade) [Fig. 3].

2.1 ARTEFACTO HISTÓRICO (SUBJECT)

O comportamento estrutural dos edifícios é influenciado pelo estado de conservação e pelo modelo construtivo, que por sua vez depende da época de construção [AA.VV., 2005]. Nomeadamente, a primeira fase da reconstrução pós-terramoto foi caracterizada pela regularidade e precisão nos detalhes, assim como o recurso aos materiais com qualidades superiores.

Os edifícios incorporam uma estrutura tridimensional em madeira paralela e ortogonal à fachada principal. Ao longo de uma segunda fase, as paredes estruturais com cruces de Santo André foram executadas apenas paralelamente à fachada principal [Mascarenhas, 1996]. Após cem anos, o sistema Pombalino evoluiu para o tipo Gaioleiro, com uma substancial perda da estabilidade geral, devido à flexibilidade introduzida na distribuição funcional dos pisos e à ausência da estrutura interna em madeira [Mascarenhas, 1996].

2.2 O PROPRIETÁRIO E OS UTILIZADORES (DECISION-MAKER)

Rapidez de execução e binómio custo-eficácia são os imperativos estabelecidos pelos proprietários, tornando-se os fatores principais de influência ao longo do processo atual de reabilitação.

Outro fator é o provável retorno do investimento, relacionado com a rapidez de execução e consequentemente com soluções que requerem economias de tempo e trabalhadores não especializados [Appleton, 2003].

Além dos fatores económicos, o processo de reabilitação de edifícios Pombalinos depende também do estado do imóvel que afeta a coerência e a eficiência do reforço estrutural. Devido às características específicas do sistema construtivo (e.g. a continuidade estrutural dos elementos de madeira, o alinhamento das aberturas nas paredes interiores e exteriores, o block-effect) [Cóias, 2007], bem como à estrutura de propriedade (com frequência os edifícios são detidos por diversas pessoas e/ou entidades), é essencial para um projeto integrador e eficaz. A impossibilidade de avaliar e reforçar as unidades contíguas de construção aumenta o grau de incerteza na relação custo-eficácia.

A maioria das intervenções em curso visa a conversão, nos pisos superiores, dos apartamentos para alojamentos turísticos ou habitações particulares, que poderiam ser compatíveis com a distribuição e o estado de carga originais.

Se a estrutura original não for profundamente alterada e os projetos forem sensíveis e detalhados, a reabilitação pode ser muito pouco invasiva [Appleton e Domingos, 2009].

O sistema de acesso depende da tipologia específica (e.g. com simetria biaxial, “esquerda-direita” (54%) ou uma “planta singular” (34%) [Mascarenhas, 1996], com dificuldades em relação à instalação de elevador, devido à falta de espaço interno e ao impacto no comportamento global.

2.3 AGENTES ESPECIALIZADOS (ADVISER & EXECUTORS)

O decision-maker envolve os agentes especializados

na atribuição ao imóvel de uma função, que implica o respeito pelas inúmeras normas nacionais, das quais se podem destacar a segurança estrutural, o conforto acústico, o desempenho energético e a acessibilidade [Appleton, 2003; Appleton e Domingos, 2009].

De facto, diferentes abordagens são implementadas para salvaguardar o valor do património cultural, nomeadamente no âmbito da relação entre a configuração volumétrica (a morfologia arquitetónica) e a estrutura interior.

Várias alterações à configuração exterior (e.g. ampliação das aberturas, acrescento dos pisos) comprometeram a uniformidade e o decoro urbano, além da distribuição original de cargas, mas pertencem a uma atitude passada [Mascarenhas, 1996].

O plano de salvaguarda municipal (2011) proíbe a execução de níveis subterrâneos e as alterações à fachada principal. No caso de ausência de artefactos com relevante valor histórico-artístico, é possível a alteração da estrutura interna e da fachada tardoz, também em condições satisfatórias de conservação [Diário da República, 2ª série, nº 55 18/03/2011].

3. AS ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO DE REFORÇO ESTRUTURAL: PRINCÍPIOS ORIENTADORES

O reforço estrutural implica o respeito por princípios orientadores que se podem priorizar da forma seguinte: i) intervenção mínima; ii) compatibilidade da intervenção com o edifício original; iii) melhoria da segurança, nomeadamente do comportamento sísmico.

Em primeiro lugar, uma abordagem “cirúrgica” é preferível: a incerteza quanto à eficácia das práticas de reforço deveria representar um obstáculo para soluções invasivas [ICOMOS-ISCARSAH, 2004].

Em segundo lugar, o conceito de compatibilidade introduzido na Carta de Veneza [AA.VV., 1964; Balen et al., 2005; Teutónico et al., 2007] é substituído pela reversibilidade em termos de recursos materiais e

estruturais. De facto, a compatibilidade, concebida como “reconhecimento da falibilidade do nosso trabalho” [Cattanach et al., 2008] e a facilidade para voltar ao seu estado original, é um requisito virtual ao longo do processo de reforço estrutural.

Como manifestação da cultura sísmica local (LSC), o edificado Pombalino deve ser salvaguardado nas características estruturais, arquitectónicas e ambientais. A autenticidade é um valor fundamental, e a compatibilidade de intervenções deve ser a premissa para a sua eficácia, tal como é sublinhado pelas diretrizes internacionais de conservação [ICOMOS, 2003; ICOMOS-ISCARSAH, 2004].

Em terceiro lugar, o nível de segurança não deve ser necessariamente igual à exigida para as novas construções, de acordo com as diretivas emitidas pelo código italiano [Ministério do Património Cultural e Atividades, 2007]. No entanto, o sistema Pombalino cumpre a maioria dos critérios estabelecidos pelo Eurocódigo 8 (i.e. mínima secção horizontal das paredes sismo-resistentes e maior número de pisos), se a autenticidade e o ciclo de manutenção forem respeitados [Cóias, 2007; NP EN1998-1, 2010].

As práticas de reforço resultam de razões de segurança, de melhoria funcional e de preferências estéticas. Como resultado do compromisso destes requisitos, a estratégia de intervenção inclui também o cumprimento de exigências económicas. Em particular, dois tipos de custo podem ser mencionados: os custos económicos e os custos culturais. Estes últimos são traduzidos pela perda de material original e dependem do grau de intromissão da técnica de reforço.

Por outro lado, os benefícios poderiam ser avaliados como consequência da intervenção (terapia) e a adequação do conhecimento no futuro próximo. No entanto, o reforço destinado a reduzir o risco sísmico implica resultados incertos, especialmente no âmbito da comparação entre o tempo de vida nominal do edifício histórico antes e depois da terapia [ICOMOS-ISCARSAH, 2004].

4. PRÁTICAS DE REFORÇO DO FRONTAL (FW)

As técnicas de reforço, cujos detalhes, mecanismos de colapso e pontos de força derivam das práticas correntes [Cruz et al., 2001; Appleton, 2003; Campanella e Mateus, 2003; Coias, 2007; Appleton e Domingos, 2009; Tsakanika e Mouzakis, 2010; Gonçalves et al. 2012; Lopes et al, 2013] e das campanhas experimentais [Poletti e Vasconcelos, 2015], podem ser divididas por âmbito de aplicação: i) fachada; ii) parede lateral; iii) frontal; iv) tabique.

Este artigo foca-se na terceira categoria, o frontal. Os frontais são executados com uma estrutura interna (o esqueleto) de madeira com cruces de Santo André, preenchido com material heterogéneo (pedra miúda, tijolo e argamassa de cal).

Como se mostra na Tabela 1, as alternativas das técnicas de reforço são listadas de acordo com os três componentes construtivos e os objectivos a concretizar: A) esqueleto; B) conexões; C) revestimento da superfície (Figura 4).

Trinta e seis combinações, coerentes em tipo de material e mão de obra, são listadas (Tabela 2). As alternativas serão comparadas segundo os critérios descritos adiante.

5. CRITÉRIOS E JULGAMENTOS QUALITATIVOS

A fim de lidar com a complexidade inerente a uma análise que inclui múltiplos critérios, por vezes contraditórios, fez-se recurso a um método específico de análise de decisão multicritério: o MACBETH [Bana e Costa, 1988]. A principal vantagem deste método é o facto de permitir julgamentos qualitativos, o que se considera particularmente relevante no contexto de decisões associadas ao património cultural. A construção do modelo de análise inclui a definição dos critérios e dos respetivos níveis de caracterização. O conjunto das opções que estão em confronto no processo decisório é constituído pelas 36 combinações de técnicas aplicáveis aos três componentes construtivos (esqueleto, conexões e revestimento). Cada opção é caracterizada em função dos níveis definidos para cada critério.

A análise inclui ainda dois tipos de ponderação: o primeiro diz respeito à diferença de atratividade entre os níveis caracterizadores de cada critério; o segundo, à diferença de atratividade entre critérios. Estas ponderações representam, deste modo, a importância relativa que se atribui a cada nível e a cada critério.

Os níveis de caracterização podem ser qualitativos ou quantitativos. As diferenças de atratividade são definidas qualitativamente em função da percepção do decisor. De forma a permitir uma análise precisa, o método propõe ponderadores numéricos em função da caracterização de cada opção e das diferenças de atratividade definidas.

No âmbito do trabalho que aqui se apresenta, as opções das práticas de reforço são avaliadas de acordo com quatro critérios interdependentes, a seguir discriminados.

i) grau de compatibilidade material

Um tratamento poderia ser considerado compatível se não implicar um dano técnico e estético para os materiais históricos [Van Hees et al., n.d.]. Este parâmetro, associado à durabilidade, é definido por quatro subcritérios: a) compatibilidade física (PA) (e.g. transporte da água, a absorção, secagem e comportamento higroscópico); b) compatibilidade química (CC) (e.g. reações químicas nocivas); c) compatibilidade mecânica (MC) (e.g. resistência e variações dimensionais de origem térmica); d) compatibilidade estética (BC) (e.g. cor, brilho e estrutura).

ii) grau de autenticidade arquitetónica

Este critério pertence à distribuição interna, as relações espaciais e visuais dos componentes dos elementos comparados com os originais. Este parâmetro depende das necessidades do cliente e da abordagem arquitetónica (prioridades, intenções subjacentes ao projeto, adoção de soluções específicas para cada unidade de construção e precisão em cada fase). Subdivide-se em: a) autenticidade tipológica; b) organização espacial; c) aberturas; d) escada; e) detalhes arquitetónicos.

iii) grau de autenticidade estrutural

A autenticidade estrutural pretende representar o nível de alterações ao modelo estrutural original do edifício, estando subdividido em: a) modelo

estrutural; b) conexões.

iv) perda de material original

Este parâmetro indica a quantidade da perda dos componentes originais (e.g. seção da parede de madeira e vigas de madeira, enchimento de tijolos, pedras e argamassa), representando o grau de intrusão da intervenção.

Aos três primeiros critérios foram atribuídos níveis qualitativos: elevada (H), intermédia (M), reduzida (L) e muito reduzida (VL). No que diz respeito à perda de material original, as opções são caracterizadas em função da percentagem de material substituído. As diferenças de atratividade entre os níveis de cada critério estão representados nas Figuras 5 a 8.

O desempenho atribuído a cada uma das 36 opções, em cada um dos quatro critérios, está indicado na Tabela 3 de acordo com os níveis acima explicitados.

Na fase atual de desenvolvimento do trabalho foram considerados três cenários no que diz respeito à diferença de atratividade entre critérios (Figuras 9 a 11). O cenário 1 corresponde a uma preferência pela compatibilidade material e pela autenticidade arquitetónica, seguidas da autenticidade estrutural e manutenção de material original; o cenário 2 constitui uma variante do primeiro cenário, na qual se atribui igual importância à compatibilidade material e à autenticidade arquitetónica; o cenário 3 atribui o mesmo nível de importância a todos os critérios.

6. RESULTADOS PRELIMINARES

Os resultados preliminares estão representados nas Figuras 12 a 14, na forma da pontuação, de 0 a 100, que resulta das ponderações atribuídas a cada nível de cada critério e a cada critério, no contexto do desempenho atribuído a cada opção.

No cenário 1, pode verificar-se que existem duas opções com uma pontuação muito elevada, de 98 e 96, para as combinações FW2.14 e FW2.13 respetivamente. Importa, antes de mais, verificar que estas opções apenas diferem na solução de intervenção para as conexões. No primeiro caso, considera-se uma cunha em madeira e um rebite em aço inoxidável, enquanto que, no segundo caso,

foi considerada a reparação ou substituição dos elementos metálicos por outros idênticos. Nestas duas opções a que o cenário 1 atribui preferência clara, as soluções para o reforço são constituídas pela substituição dos elementos em madeira degradados por novos componentes em madeira e, quando necessário, a substituição do material de enchimento por elementos cerâmicos e argamassa de cal hidráulica. Para o revestimento superficial, estas duas opções incluem uma argamassa tradicional de cal hidráulica.

Ainda no cenário 1, uma terceira opção parece assumir-se como uma boa escolha, a combinação FW1.01 com um valor de 85. Esta opção é composta pela substituição completa dos elementos em madeira do esqueleto do frontal, a substituição do material de enchimento por elementos cerâmicos e argamassa de cal hidráulica, o recurso a conexões tradicionais em madeira e uma argamassa tradicional de cal hidráulica como revestimento superficial. Face às duas opções anteriores, esta última implica uma intervenção mais aprofundada no que diz respeito ao esqueleto do frontal e uma solução de conexões que garante maior compatibilidade material.

No âmbito do cenário 1, a opção que assume a ordenação seguinte tem um resultado ponderado de 72, o que se considera pouco satisfatório. As demais opções assumem valores inferiores o que parece indicar que, tendo por base o desempenho considerado e os julgamentos realizados, a maior parte das opções não obtém um bom resultado no cenário 1. Pode aliás confirmar-se esta observação através da média e da mediana das classificações ponderadas do 1º quartil que assumem os valores de 69,5 e de 63,6, respetivamente.

Os resultados do cenário 2 são similares aos do primeiro cenário de avaliação. A ordenação do 1º quartil mantém-se, enquanto que os valores da média e da mediana deste intervalo sobem ligeiramente para 71,5 e 66,4, respetivamente. Esta observação indica que o aumento da importância atribuída à autenticidade arquitetónica, em detrimento da compatibilidade material, tem pouca influência na preferência a atribuir a este conjunto de opções no contexto do modelo em causa.

Enquanto que os cenários de avaliação 1 e 2 atribuem maior importância à compatibilidade material e à autenticidade arquitetónica como

critérios de decisão, o cenário 3 tem como objetivo avaliar este conjunto de opções de reforço atribuindo idêntica importância a todos os critérios de decisão. Neste caso, podem observar-se algumas alterações que merecem destaque. A ordenação no conjunto do 1º quartil é alterada, verificando-se também a substituição, neste intervalo, de três opções por outras que não estavam incluídas nos cenários 1 e 2. Por outro lado, os valores da média e da mediana no 1º quartil – 66,4 e 59,3, respetivamente – são os mais reduzidos dos três cenários. Este facto indica que a atribuição de maior importância à autenticidade estrutural e à perda de material original, em detrimento da compatibilidade material e da autenticidade arquitetónica, implica uma menor valorização das opções consideradas. Parece portanto poder concluir-se que, no âmbito do desempenho atribuído e das diferenças de atratividade consideradas, o conjunto de soluções de reforço considerado implica alterações estruturais face ao modelo Pombalino original e uma perda de material com algum significado.

Por outro lado, deve notar-se que as opções FW2.14 e FW2.13 mantém a ordenação no cenário 3, sendo as duas com maior grau de preferência. Embora os resultados que se apresentam sejam ainda preliminares, este padrão pode eventualmente indicar que estas duas combinações podem merecer atenção especial num processo de seleção de soluções de reforço para frontais pombalinos.

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O reforço estrutural origina um forte impacto na autenticidade do património histórico. A análise de decisão multicritério parece constituir-se como uma ferramenta útil para avaliar as alternativas das soluções construtivas a executar. O recurso a um método que permita julgamentos qualitativos (MACBETH) revelou-se particularmente útil no âmbito da avaliação de valores culturais e, neste caso em particular, na avaliação do grau de intrusão das práticas de reforço correntes.

O objetivo final da aplicação de métodos de análise de decisão multicritério será o apoio aos agentes envolvidos na reabilitação no processo de seleção da solução de intervenção mais atrativa, em cada caso, através de um método que permite considerar

de forma eficaz a complexidade inerente a esta escolha.

O desenvolvimento do trabalho que aqui se apresenta de forma preliminar, incluirá novos critérios que se consideram também determinantes: a eficácia estrutural da opção face às exigências de segurança e a vertente económica das opções através do seu custo. Por outro lado, está também previsto o alargamento do estudo aos outros elementos construtivos pombalinos: a fachada, as paredes laterais, os tabiques, os pavimentos e as coberturas.

No que diz respeito ao método de investigação, considera-se ainda pertinente a evolução do estudo no sentido de incluir um painel de especialistas

que permita uma validação mais abrangente do desempenho atribuído a cada solução de reforço bem como dos julgamentos associados às diferenças de atratividade.

Agradecimentos

Este estudo é financiado pela FCT- Fundação para a Ciência e a Tecnologia (SFRH/BD/94980/2013). A análise de decisão multicritério foi elaborada com a versão DEMO 2.4.0 do software M-MACBETH (www.M-MACBETH.com).

BIBLIOGRAFIA

Análise multicritério das técnicas de reforço locais: aplicação no frontal do prédio Pombalino (pág. 124-140).

- AA. VV. (1964). The Venice Charter. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites.
- AA.VV. (2005). *Baixa Pombalina: bases para uma intervenção de salvaguarda, Pelouro do Licenciamento Urbanístico e Reabilitação Urbana*. Lisbon: Câmara Municipal de Lisboa.
- Appleton, J. (2003). *Rehabilitation of old buildings: pathologies and intervention technologies* (In Portuguese). Lisbon: Orion.
- Appleton, J.G., & Domingos, I. (2009). *Biography of Pombalino. A rehabilitation case in Downtown Lisbon* (In Portuguese). Lisbon: Orion.
- Bana e Costa, C. (1988). A methodology for sensitivity analysis in three-criteria problems: A case study in municipal management. *European Journal of Operational Research* 33(2),159-173.
- Bonelli, R. (1963). Architectural restoration (In Italian). In C. Brandi et alii, voce *Restauro*. In *Enciclopedia Universale dell'Arte*, vol. XI, 344-351. Firenze: Istituto Per La Collaborazione Culturale Venezia-Roma.
- Câmara Municipal de Lisboa. (2004). *Monumentos 21, Dossier Baixa Pombalina*. (In Portuguese). Lisbon: Câmara Municipal de Lisboa.
- Câmara Municipal de Lisboa. (2010). *Detailed Zoning Plan of Safeguarding of Baixa*. (In Portuguese). Lisbon: Câmara Municipal de Lisboa.
- Cattanach, A.G., Alley, G.W., & Thornton, A.W. (2008). *Appropriateness of Seismic Strengthening Interventions in Heritage Buildings: A Framework for Appraisal*. NZSEE Conference.
- Cóias, V. (2007). *Structural rehabilitation of ancient buildings. Low Intrusive Techniques* (In Portuguese). Lisbon: Argumentum.
- Correia, J. E. H. (1997). *Vila Real de Santo António: Urbanism and Influence in Pombalino Politic* (In Portuguese). Porto: FAUP.
- Croatto, G., & Turrini, U. (2014). *Restoration of historical timber structures – Criteria, innovative solutions and case studies, 119-136*. Restoration of timber structures, 119-136. Guimarães.
- Cruz, H., Moura, J.P., & Machado, J.S. (2001). The use of FRP in the strengthening of timber reinforced masonry load-bearing walls. *Proceedings of Historical Constructions, possibilities of Experimental and Numerical Techniques*, Guimarães.
- FEMA. (1997). *Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*.
- Ferretti, V., Bottero, M., & Mondini, G. (2014). Decision making and cultural heritage: An application of the Multi-Attribute Value Theory for the reuse of historical buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 644–655.
- Giuffrè, A. (1995). Structural intervention as final action of multidisciplinary approach. *Quaderni ARCo – Restauro, Storia e Tecnica*, 5-16. Roma: Gangemi editore.
- Gonçalves, A., Ferreira, J., Guerreiro, L., & Branco, F. (2012). Seismic retrofitting of Pombalino “frontal” walls. *Proceeding of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon.
- ICOMOS (2003). *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*.
- ICOMOS–ISCARSAH. 2004. *International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage. Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*. Translation in Portuguese by Paulo B. Lourenço e Daniel V. Oliveira. University of Minho, Departamento de Engenharia Civil.
- Lopes, M., Meireles, H., Cattari, S., Bento R., & Lagomarsino, S. (2013). *Pombalino Constructions: Description and Seismic Assessment*. In V.P. de Freitas, A. Costa, J. Delgado (eds). *Building Pathology and Rehabilitation*, 187-233.
- Lopes dos Santos, V. (1994). *The Pombalino Construction System in Lisbon: in Urban Grouped Buildings Collective Housing – Study of a Humanist legacy of the Second Half of the XVIII century* (In Portuguese). PhD Thesis, University of Lisbon.
- Lopes dos Santos, V. (2005). *Project of colours for Baixa area and mortars for the conservation of the facades*. In *Urban Rehabilitation. Baixa Pombalina: basis for safeguarding intervention*. João Mascarenhas Mateus (ed.) CML: Lisbon.
- Mascarenhas, J.(1996). *A study of the Design and*

Construction of buildings in the Pombalino Quarter of Lisbon. PhD Thesis, University of Glamorgan.

Mazzanti, M. (2002). Cultural heritage as multidimensional, multi-value and multi-attribute economic good: toward a new framework for economic analysis and valuation. *Journal of Socio-economics* 31, 529-558.

Meireles, H.A. (2012). Seismic vulnerability of pombalino buildings. PhD Thesis, IST Instituto Superior Técnico, Lisbon.

NP EN1998-1. (2010). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (In Portuguese).

Poletti, E. & Vasconcelos, G. (2015). Seismic behaviour of traditional timber frame walls: experimental results on unreinforced walls. *Bulletin of Earthquake Engineering* 13, 885-916.

Reichtel, A., Hochberg, A., & Köpke, C. (2004). Plaster, Render, Paint and Coatings. Detail, Products, Case studies. Munich:

Sequeira A. (1999). Characterization and assessment of the market related to maintenance and conservation of the architectural heritage. (In Portuguese). Lisbon: GEcORPA—Grémio do Património.

Takeda, T., Sozen, M. A., & Nielsen N. (1970). Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquake. *Journal of the Structural Division*, 96(12), 2557-2573.

Teutonico, J. M., Charola, A. E., De Witte, E. Grassegger, G., Koestler, R. J., Laurenzi Tabasso, M. Sasse, H. R. & Snethlage, R. (1997). Group report: How can we ensure the responsible and effective use of treatments (cleaning, consolidation, protection)? In Baer N.S. and Snethlage R. (eds), *Saving our architectural heritage, the conservation of historic stone structures*, 293-314. Chichester: John Wiley & Sons.

Tsakanika-Theohari, E., & Mouzakis, H. (2010). A post-Byzantine mansion in Athens. Restoration project of the timber structural elements. *Proceedings of WCTE World Conference on Timber Engineering*. Riva Del Garda (Trento), Italy.

Van Balen, K., Papayianni, I., Van Hees, R.P.J., Binda, L., & Waldum, A. (2005) RILEM TC 167-COM: Characterization of old mortars with respect to their repair, Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars. *Materials & Structures*, 781-786.

Woessner, J., Laurentiu, D., Giardini, D., Crowley, H., Cotton, F., Grünthal, G., Valensise, G., Arvidsson, R., Basili, R., Demircioglu, M.B., Hiemer, S., Meletti, C., Musson, R.W., Rovida, Sesetyan, K., & Stucchi, M. (2015). The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3553-3596.

FIGURA 1
Cenários de vulnerabilidade sísmica [NP EN1998-1, 2010].

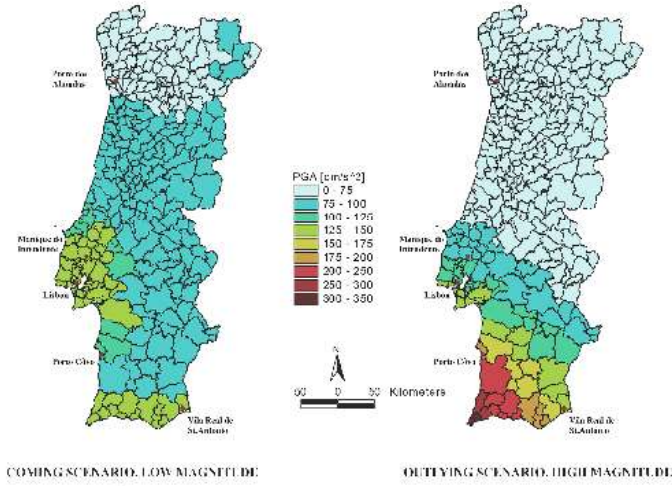
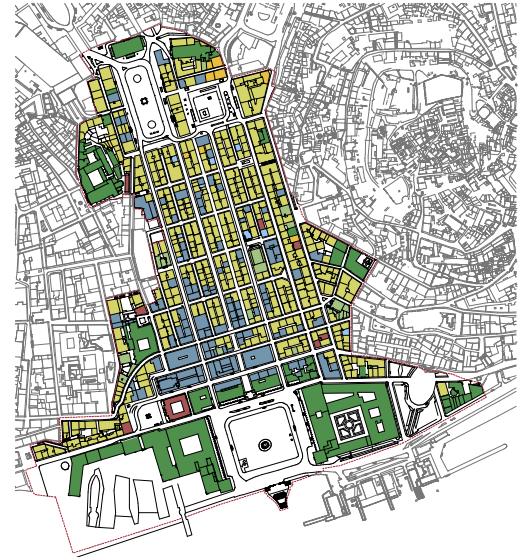


FIGURA 2
Planta de estrutura cadastral (credits S. Stellacci) [CML, 2010].



- CADASTRAL PLAN**
- Baixa Pombalina Perimeter
 - Bank/Insurers
 - Catholic organization
 - Religious Entities
 - State
 - Another/Private
 - Foundations
 - Lisbon Municipality

FIGURA 3
Diagrama dos macro-factores na reabilitação do Património Pombalino (credits S. Stellacci).

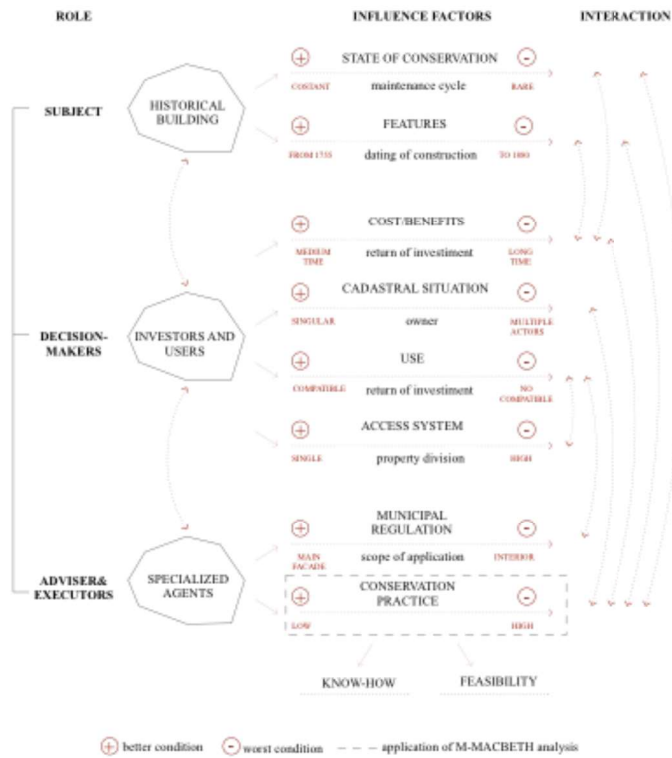


FIGURA 4

Componentes da parede do frontal (credits S. Stellacci).

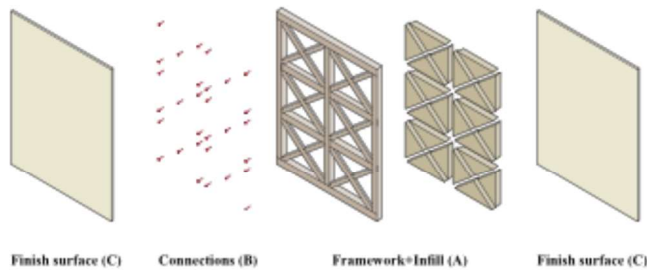


Tabela 1

Alternativas das intervenções locais de reforço aplicado ao frontal (FW).

SCOPE	PROPOSAL AIM	LOCAL INTERVENTION	REFERENCE	
STRUCTURE WALL (FRAMEWORK + INFILL)	A) Removal of cause of degradation (e.g. corrosion of iron elements and wood's decay) and reconstitution of the structural continuity of the wall	FRAMEWORK	A1f) Complete replacement of decayed timber elements by chemically treated bars (e.g. Maritime Pine, Chestnut or Nordic Pine, C18, E2, with 12% water content).	[4]
			A2f) Removal of decayed timber components with wood chisel, careful and selective replacement (or patching) by chemically treated bars (e.g. Maritime Pine, Chestnut or Nordic Pine, C18, E2, with 12% water content).	[3,4]
		A3f) Replacement of deteriorated wood bars by prosthesis.	[13,29]	
		A4f) Replacement of deteriorated wood bars by epoxy resin mortar, and by stainless rods.	[12,13]	
		A5f) Replacement of deteriorated wood bars by prosthesis with embedded steel rods.	[34]	
		A6f) Replacement of deteriorated wood bars by prosthesis of fiber reinforced polymer rods. And carbon fiber bars?	[29,34]	
		A7f) Partial repair of timber framework (or replacement, see A1f) and onset of steel beams/columns progressively placed under load.	[4,10]	
		A8f) Application of stainless mesh and concrete foil.	[4,34]	
		INFILL	A1i) Replacement of infill with lay bricks and hydraulic mortar.	[29]
			A2i) Replacement of infill with hollow brick and cement mortar.	
A3i) Replacement of infill with mineral wool.	[4]			
A4i) Partial removal of infill and repair the masonry block by a natural hydraulic binder.				
A5i) No infill.	CP			
CONNECTIONS	B) Local strengthening	B1) Traditional carpentry joints (unreinforced type: half-lap joints nailed in the center of the connection; hot-dipped galvanized or stainless steel nails, and the nails set).	[29]	
		B2) Steel bolts.		
		B3) Steel plates with bolts.	[29]	
		B4) Substitution or repair of rusting (or pull out) nails.		
		B5) Steel flat bars (NSM).	[29]	
		B6) FRP sheets.	[10, 13]	
		B7) GFRP sheets (uni-directional fibre glass fabric and epoxy resin).	[10, 29]	
		B8) Self-tapping screws or S-shape and steel screws.	[29]	
		B9) Gluing (e.g. laminated wood and structural timber glue, Mapei Mapewood Paste 140).	[13]	
		B10) Timber wedge and stainless steel screws (with a part of shanked threaded and with a shank fully treated).	[34]	
FINISH SURFACE	C) Protecting the surface wall	C1) Mortar made of hydraulic lime (lime and sand, 1:2 or 1:3) and	[3, 23]	
		C2) Cement based mortar with silicon-based materials and textured paints.	[22]	
		C3) Waterproof plasterboard on both of sides	[3]	
		C4) Galvanised steel fixed by steel rods and mortar with low retraction additive (cement based with mortar and sand, 1:1:6 or 1:2:9) and stucco.	[3,4]	
		C5) Scumbling coating.	[30]	
		C6) Water-thinned coating or solvent-thinned lacquers with an alkyl resin base or scumble glaze with a suitable fungicide.	[30]	
		C7) Strips of plywood.	[34]	

CP- current practice

Tabela 2
Combinações de alternativas de reforço aplicadas ao frontal (FW)

STRUCTURE WALL	TYPE OF LOCAL RETROFITTING			Short
	CONNECTIONS	FINISH SURFACE		
A1f+A1i	B1	C1		FW1.01
A1f+A2i	B1	C2		FW 1.02
A1f+A2i	B1	C3		FW 1.03
A1f+A2i	B1	C4		FW 1.04
A1f+A2i	B2	C2		FW1.05
A1f+A2i	B2	C3		FW 1.06
A1f+A2i	B2	C4		FW 1.07
A1f+A2i	B5	C2		FW 1.08
A1f+A3i	B3	C4		FW 1.09
A1f+A3i	B2	C2		FW 1.10
A1f+A3i	B2	C4		FW 1.11
A1f+A3i	B3	C2		FW 1.12
A2f+A1i	B4	C1		FW2.13
A2f+A1i	B10	C1		FW 2.14
A2f+A1i	B10	C7		FW2.15
A2f+A4i	B4	C5		FW2.16
A2f+A4i	B4	C6		FW2.17
A2f+A5i	B4	C5		FW2.18
A2f+A5i	B4	C6		FW2.19
A3f+A1i	B9	C1		FW3.20
A3f+A2i	B9	C2		FW3.21
A3f+A4i	B9	C1		FW3.22
A4f+A1i	B9	C1		FW4.23
A4f+A2i	B9	C2		FW4.24
A4f+A4i	B9	C1		FW4.25
A5f+A1i	B9	C1		FW5.26
A5f+A2i	B9	C2		FW5.27
A5f+A4i	B9	C1		FW5.28
A6f+A1i	B9	C1		FW6.29
A6f+A2i	B9	C2		FW6.30
A6f+A4i	B9	C1		FW6.31
A7f+A2i	B4	C2		FW7.32
A7f+A2i	B4	C4		FW7.33
A7f+A4i	B4	C1		FW7.34
A8f+A2i	B4	C2		FW8.35
A8f+A2i	B4	C3		FW8.36

FIGURA 5
Diferenças de atratividade entre os níveis da compatibilidade material (MACBETH v2.4.0).

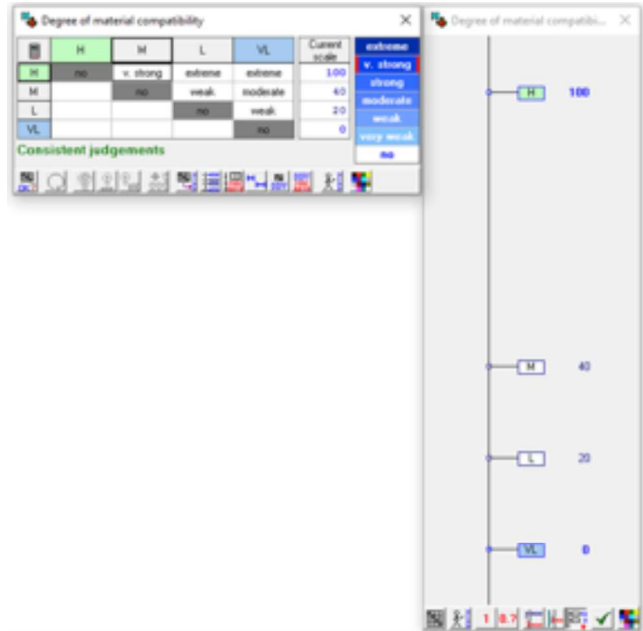


FIGURA 6
Diferenças de atratividade entre os níveis da autenticidade arquitetónica (MACBETH v2.4.0).

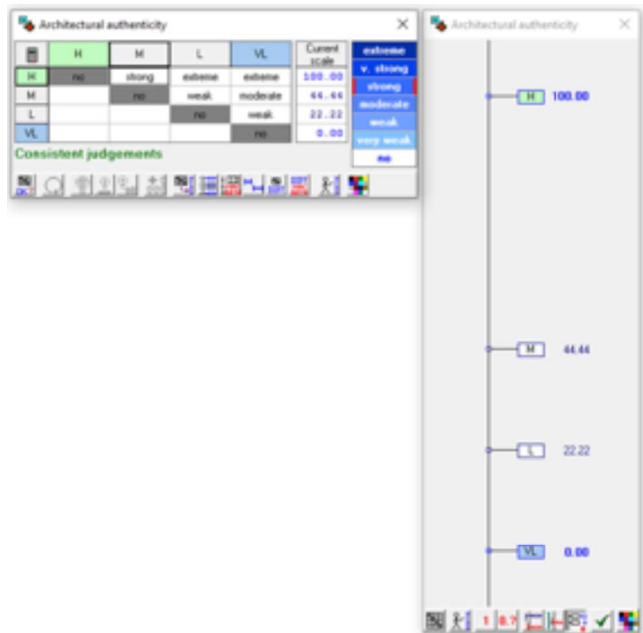


FIGURA 7
Diferenças de atratividade entre os níveis da autenticidade estrutural (MACBETH v2.4.0).



Tabela 3
Desempenho atribuído a cada opção em cada critério

Options	MC	AA	SA	LM
Fw1.01	H	H	M	80
Fw1.02	L	H	M	80
Fw1.03	VL	L	L	80
Fw1.04	VL	H	VL	80
Fw1.05	M	H	L	80
Fw1.06	VL	VL	L	80
Fw1.07	L	VL	VL	80
Fw1.08	L	M	L	80
Fw1.09	L	VL	L	± 80
Fw1.10	L	L	L	± 80
Fw1.11	VL	L	L	± 80
Fw1.12	VL	L	L	± 80
Fw2.13	H	H	H	± 60
Fw2.14	H	H	H	± 40
Fw2.15	M	M	M	± 40
Fw2.16	M	L	H	40
Fw2.17	H	L	H	40
Fw2.18	L	VL	L	80
Fw2.19	M	VL	L	80
Fw3.20	L	H	VL	± 20
Fw3.21	VL	H	VL	± 20
Fw3.22	L	H	L	40
Fw4.23	L	H	L	80
Fw4.24	VL	H	L	80
Fw4.25	L	H	VL	± 80
Fw5.26	VL	H	L	80
Fw5.27	VL	H	L	80
Fw5.28	VL	H	M	60
Fw6.29	M	H	L	80
Fw6.30	L	H	L	80
Fw6.31	M	H	M	60
Fw7.32	M	L	VL	40
Fw7.33	M	L	VL	40
Fw7.34	M	L	M	± 40
Fw8.35	VL	H	VL	40
Fw8.36	VL	M	VL	40

FIGURA 8
Diferenças de atratividade entre os níveis da perda de material original (MACBETH v2.4.0).

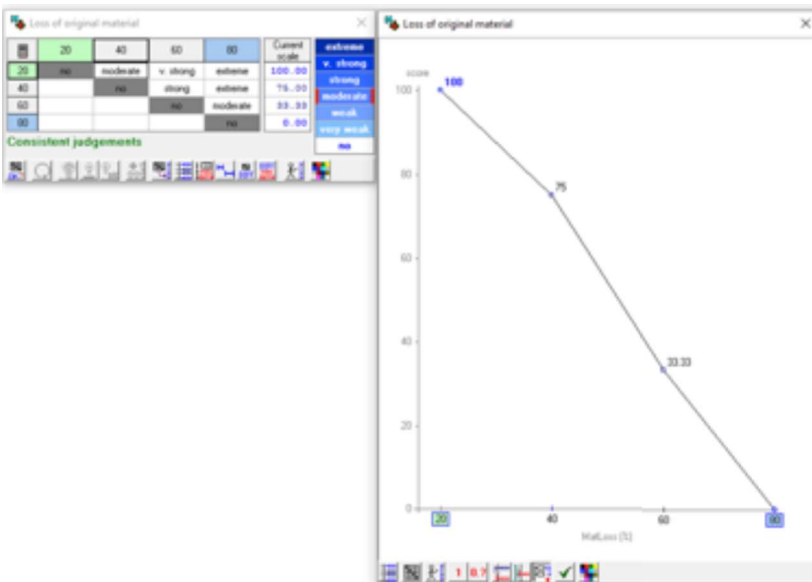


FIGURA 9

Diferenças de atratividade entre os critérios – cenário 1 (MACBETH v2.4.0).

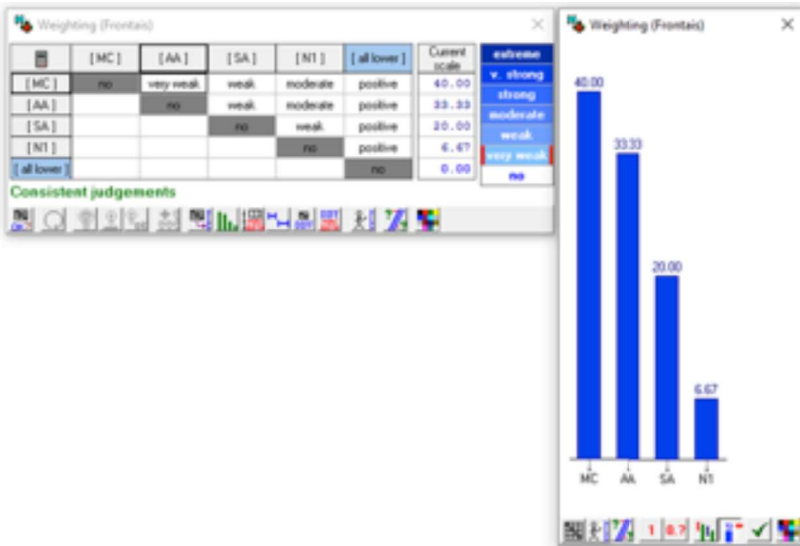


FIGURA 10

Diferenças de atratividade entre os critérios – cenário 2 (MACBETH v2.4.0).

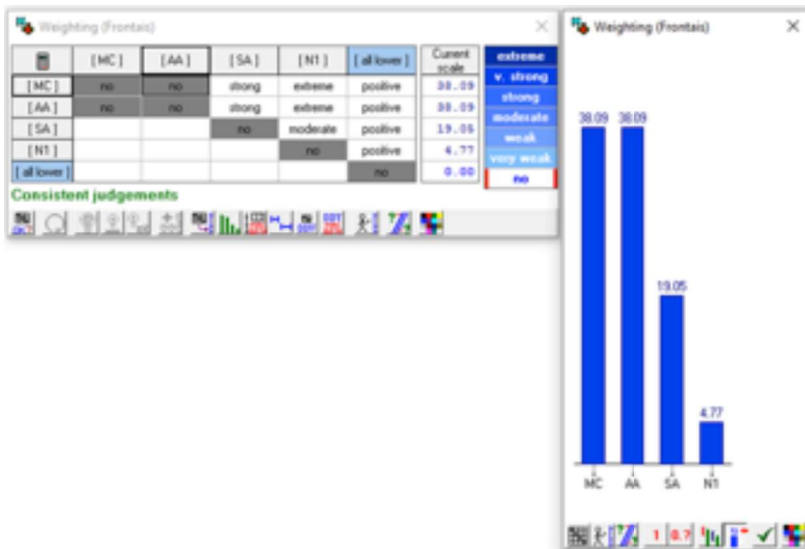


FIGURA 11
Diferenças de atratividade entre os critérios – cenário 3 (MACBETH v2.4.0).

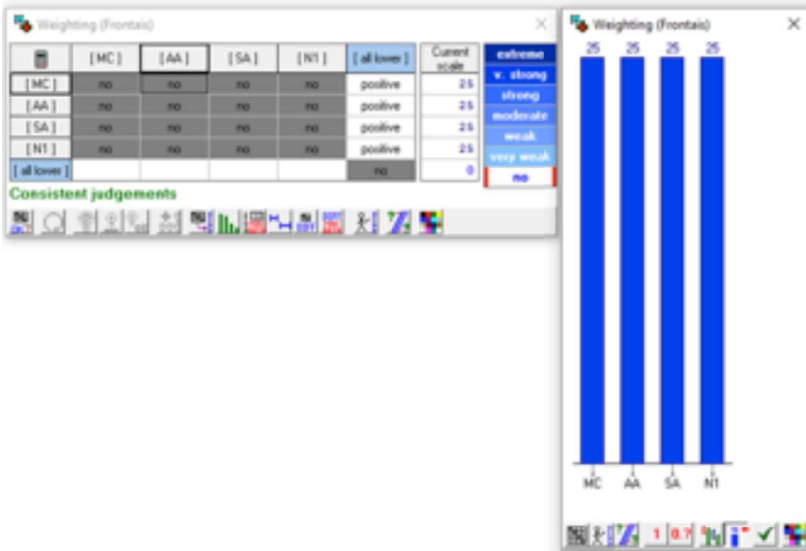


FIGURA 12
Resultados da aplicação do cenário 1 (MACBETH v2.4.0).

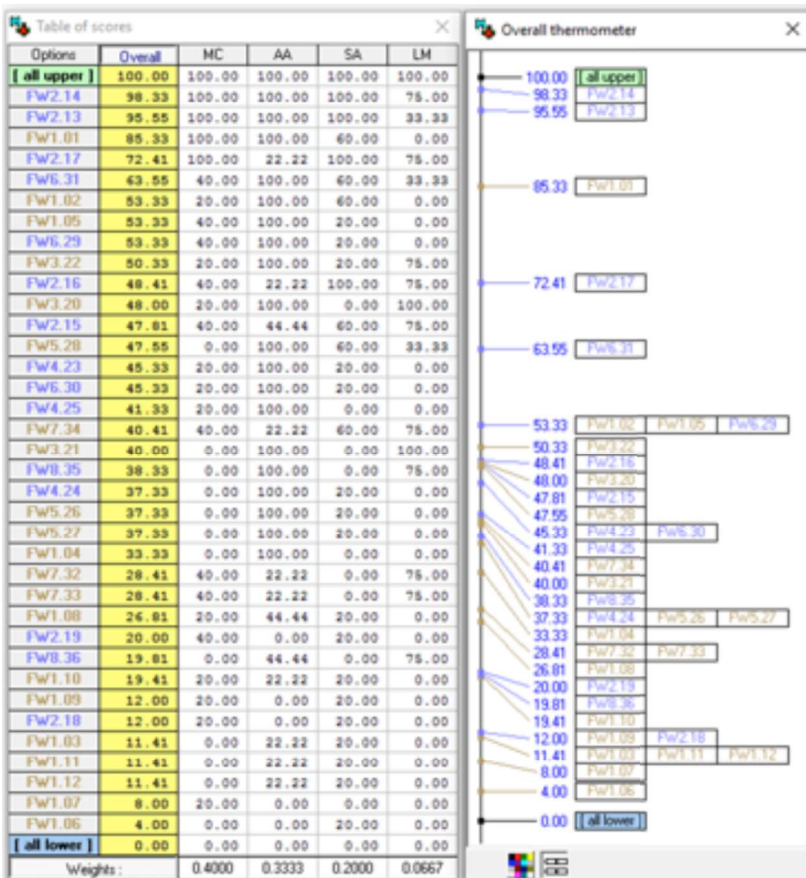


FIGURA 13
Resultados da aplicação do cenário 2 (MACBETH v2.4.0).

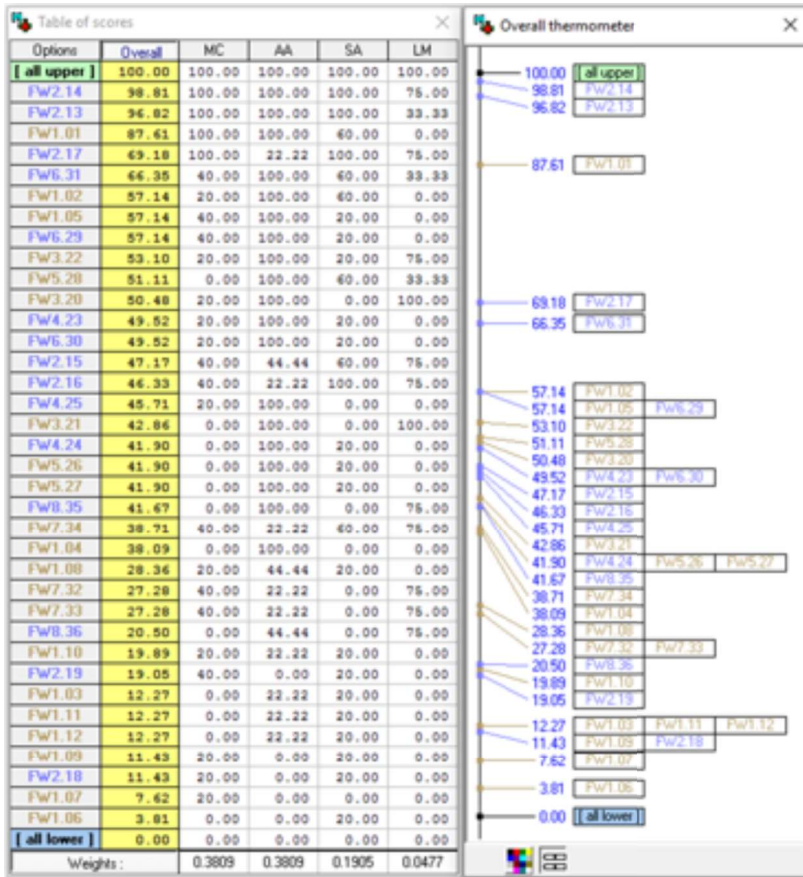


FIGURA 14
Resultados da aplicação do cenário 3 (MACBETH v2.4.0).

