XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela - Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise hierárquica aplicada ao desempenho mais sustentável em argamassas de assentamento para reabilitação de azulejaria portuguesa em patrimônios históricos

Analytic hierarchy process applied to the most sustainable performance in settlement mortars for the rehabilitation of portuguese tiles in historical heritage

Mayara Di Castro Silva
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | maydicastro@gmail.com
Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | mariennecosta@ufpr.br
Marcelo Henrique Farias de Medeiros
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | medeiros.ufpr@gmail.com
André Nagalli
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | nagalli@utfpr.edu.br

Resumo

As práticas sustentáveis de reabilitação em patrimônios históricos devem ser fomentadas mediante escolha, a exemplo, de materiais com incorporação de resíduos industriais. O cerne da questão está em selecionar opções que atendam aos requisitos e restrições técnicas geralmente impostas em intervenções de restauro. O objetivo da pesquisa é evidenciar a aplicabilidade do método de análise hierárquica ao se analisar diferentes traços de argamassas de cal para reabilitação em fachadas azulejares de origem portuguesa. O resultado apontou que a incorporação de resíduos industriais pode ser uma alternativa mais sustentável e viável para argamassas de reabilitação. A argamassa composta por cal em pasta, fragmentos de tijolo e areia de rio, apresentou, dentre as demais, o melhor índice com 78,27% de satisfação.

Palavras-chave: Técnicas de restauro. Resíduos cerâmicos. Ferramenta de tomada de decisão.

Como citar:
SILVA, M.C.; COSTA, M.R.M.M.; MEDEIROS, M.H.F.; NAGALLI, A. ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADA AO DESEMPENHO MAIS SUSTENTÁVEL EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO PARA REABILITAÇÃO DE AZULEJARIA PORTUGUESA EM PATRIMÔNIOS HISTÓRICOS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-17.

Abstract

Sustainable practices of rehabilitation in historic heritage should be encouraged by choosing, for example, materials incorporating industrial waste. The crux of the matter lies in selecting options that meet the technical requirements and constraints generally imposed on restoration interventions. The objective of the research is to evidence the applicability of the method of hierarchical analysis when analyzing different traces of lime mortars for rehabilitation in tile facades of portuguese origin. The result showed that the incorporation of industrial waste can be a more sustainable and viable alternative for rehabilitation mortars. The mortar composed of lime paste, brick fragments and river sand, presented, among the others, the best rate with 78.27% of satisfaction.

Keywords: Restoration techniques. Ceramic waste. Decision making tools.

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista das práticas de reabilitação sustentável, Baracho [1] revela que a manutenção e conservação de edifícios históricos diminuem a geração dos resíduos oriundos de demolição e de novas construções. A autora explica também que um edifício existente já possui energia incorporada, considerada uma das principais métricas para o impacto ambiental de construções analisado pela Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Ainda, corroborando a importância fundamental da valorização histórica por meio dos registros materiais presentes nos bens imóveis, o *Green Building Council* [2] revela que as edificações históricas são a maior expressão da civilização. Assim, faz-se necessário priorizar intervenções históricas em patrimônios que minimizem os impactos associados à extração, processamento, transporte, manutenção e descarte de materiais, bem como a energia incorporada na reabilitação.

Conforme Alçada et al. [3] as argamassas com base em cal aérea são ecológicas porque absorvem o dióxido de carbono para a carbonatação da cal. Segundo o Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à base de Cal proposto por Kanan [4], a sustentabilidade associada a este material também se deve à sua característica de manejo, pois é atóxico, não poluente e mais ecológico na produção, por usar temperaturas mais baixas de consumo que o cimento. Em adição a estes benefícios, a incorporação de pozolanas na mistura permite reduzir a quantidade de produção de ligante necessária para as argamassas. Esta redução terá um impacto positivo em termos ambientais, já que tem como consequência direta a redução da extração de matéria-prima, a redução das emissões de CO_2, e a redução do consumo energético [5].

Dessa forma, o intuito da pesquisa foi identificar, por meio da metodologia de análise hierárquica (AHP), argamassas de cal mais sustentáveis que apresentem desempenho compatível com as restrições impostas em reabilitação de fachadas azulejares em patrimônios históricos de influência portuguesa. A importância de se trabalhar a questão com a utilização de AHP advém da necessidade de se fomentar um pensamento sistêmico, analisando múltiplas variáveis sob o prisma ambiental, sociocultural, econômico e tecnológico.

MÉTODO DA ANÁLISE HIERÁRQUICA

A técnica de *Analytic Hierarchy Process* (AHP), proposta por Saaty [6], permitiu a realização de uma análise multicritério para a escolha do traço de argamassa sustentável de melhor desempenho na reabilitação de fachadas azulejares históricas. Mattana et al. [7], explicam que os resultados são apresentados com o formato de prioridades (níveis hierárquicos), possibilitando a determinação do quanto uma alternativa é superior a outra, ou seu grau de importância quanto a outras variáveis.

A metodologia AHP utilizada consistiu, primeiramente, em selecionar os critérios de primeiro e segundo nível que foram considerados para efeito de comparação de desempenho de argamassas sustentáveis de cal. Na sequência, definiu-se a Árvore Hierárquica do processo decisório que é a estruturante da Matriz de Critérios. A escala de importância dos critérios (Tabela 1) foi estipulada pela norma ASTM E 1765-16 [8] que trata da metodologia de aplicação da AHP e estima os pesos relativos que foram considerados. Com base na aplicação dos pesos relativos a cada critério e comparação por pares (linha x coluna) das matrizes nível 1 e 2, estes foram, finalmente, correlacionados aos resultados das amostras ensaiadas por Velosa [9].

Tabela 1: Escala de importância de critérios conforme ASTM E 1765-16

Escalas de comparação	
A igual importância que B	1
A pouco mais importante que B	3
A mais importante que B	5
A muito mais importante que B	7
A extremamente mais importante que B	9

Fonte: MATTANA et al. [7].

MATRIZ DE CRITÉRIOS CONSIDERADA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO

Os produtos ou materiais ditos sustentáveis devem obedecer a um conjunto de critérios [10]:

a) emissão de poluentes em seu processo de produção;
b) utilização de materiais naturais de origem local;
c) utilização de materiais reciclados ou recicláveis;
d) contribuição para a durabilidade do edifício;
e) custos de manutenção;
f) energia incorporada;
g) desperdício de material (geração de resíduos).

Já no que tange ao desempenho de utilização das argamassas de cal para reabilitação, os critérios de seleção em segundo nível foram estabelecidos por Velosa [9]:

h) força de retração;
i) resistência à compressão;
j) coeficiente de capilaridade;
k) absorção às 24h;
l) módulo de elasticidade;
m) resistência à tração;

n) permeabilidade ao vapor de água;
o) energia de ruptura.

A matriz genérica de primeiro nível, portanto, foi definida em 7x7 e a matriz de segundo nível em 8x8, conforme indicado na equação abaixo:

$$M_{1\ 7X7} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & ab & ac & ad & ae & af & ag \\ ba & \mathbf{1} & bc & bd & be & bf & bg \\ ca & cb & \mathbf{1} & cd & ce & cf & cg \\ da & db & dc & \mathbf{1} & de & df & dg \\ ea & eb & ec & ed & \mathbf{1} & ef & eg \\ fa & fb & fc & fd & fe & \mathbf{1} & fg \\ ga & gb & gc & gd & ge & gf & \mathbf{1} \end{bmatrix} \qquad M_{2\ 8X8} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & hi & hj & hk & hl & hm & hn & ho \\ ih & \mathbf{1} & ij & ik & il & im & in & io \\ jh & ji & \mathbf{1} & jk & jl & jm & jn & jo \\ kh & ki & kj & \mathbf{1} & kl & km & kn & ko \\ lh & li & lj & lk & \mathbf{1} & lm & ln & lo \\ mh & mi & mj & mk & ml & \mathbf{1} & mn & mo \\ nh & ni & nj & nk & nl & nm & \mathbf{1} & no \\ oh & oi & oj & ok & ol & om & on & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

A adoção das escalas de importância em comparação por pares nas matrizes, respeitou as diretrizes do Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal – IPHAN [4], e do Manual de Materiais e Técnicas Tradicionais de Assentamento de Azulejos Fachadas [11], proposto pela Câmara Municipal de Ovar (Quadro 1).

Quadro 1: Parâmetros necessários para argamassas de reabilitação

Propriedade da argamassa	Parâmetro
Retração	Reduzida
Módulo de elasticidade	Reduzido
Resistência à compressão e tração na flexão	Similar às argamassas antigas
Aderência	Suficiente, mas sem impedir reversibilidade
Coeficiente de capilaridade	Reduzido
Permeabilidade ao vapor de água	Elevado
Conteúdo em sais solúveis e higroscópicos	Nulo

Fonte: Adaptado de CÂMARA MUNICIPAL DE OVAR [11].

As propriedades das argamassas de reabilitação estudadas por Velosa [9] seguiram requisitos físicos, químicos e mecânicos que permitiram a adequada compatibilização entre substrato antigo e reconstituinte (Tabela 2).

Tabela 2: Requisitos para características mecânicas das argamassas

Uso	Características Mecânicas (MPa)			Comportamento à retração restringida			
	Rt	Rc	E	Fmáx (N)	G (N.mm)	CSAF	CREF
Reboco exterior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000	<70	>40	>1,5	>0,7
Preenchimento de juntas	0,4-0,8	0,6-3,0	3000-6000	<70	>40	>1,5	>0,7

Fonte: VEIGA [12] apud VELOSA [9].

Em relação aos critérios adotados em segundo nível, a resistência à tração e à compressão, de acordo com Kanan [4], não devem ser muito maiores que as obtidas nas argamassas antigas para não originar tensões excessivas no substrato. Ambos os parâmetros foram considerados como relevantes para efeito de desempenho de utilização. Segundo Mattana et al. [7], quanto maiores os valores de resistência à tração e compressão, melhor a argamassa será para uso. Não obstante, os valores

máximos de resistência considerados como relevantes para categorização respeitaram os limites estipulados na Tabela 2.

A porosidade, medida por meio do coeficiente de absorção por capilaridade é um importante critério a considerar, já que conforme Kanan [4], incide no comportamento higroscópico, nos mecanismos de desgaste, na resistência e durabilidade das argamassas. De acordo com Velosa [9] é desejável que a absorção de água das argamassas não seja elevada, mas é igualmente importante que tenham uma rápida capacidade de secagem. Portanto, quanto menor melhor, respeitando os limites estipulados na Tabela 3.

Tabela 3: Requisitos para características de comportamento ao meio

Uso	Comportamento à água (ensaios clássicos)		Comportamento à água (ensaio com humidímetro)			Envelheci-mento
	S_0 (m)	C (kg/m².$h^{1/2}$)	M (h)	S (h)	H (mv.h)	Artificial acelerado
Reboco exterior	<0,08	<12; >8	>0,1	<120	<16000	Médio: degradação nos ciclos gelo/degelo
Preenchimento de juntas	<0,10	<12; >8	>0,1	<120	<16000	Médio: degradação nos ciclos gelo/degelo

Fonte: VEIGA [12] apud VELOSA [9].

A qualidade e a durabilidade de um revestimento de argamassa estão diretamente ligadas à capacidade de absorver deformações, que são representadas pelo módulo de elasticidade [7]. O módulo de elasticidade das argamassas ensaiadas por Velosa [9] foi medido pelo método dinâmico, que é inversamente proporcional à capacidade de deformação. Dessa forma, quanto menor for o valor, melhor para o desempenho das argamassas de reabilitação. Salienta-se que o intervalo considerado para esta propriedade é o estipulado na Tabela 2 e deve ser similar ao módulo de elasticidade da argamassa antiga para não produzir fissuras.

Em relação ao fendilhamento, quanto mais baixo for o valor da força máxima induzida por retração restringida (Fr), melhor. Isto significa uma aplicação menor de forças associadas à retração e consequentemente menos transmissão de forças para o suporte [13]. Assim, os valores considerados do ensaio de suscetibilidade ao fendilhamento realizado por Velosa [9] foram os que atendiam ao requisito de Fr menor que 70N.

Em se tratando de argamassas para assentamento em patrimônios históricos, estas devem garantir o princípio da reversibilidade do revestimento. Conforme Kanan [4], a aderência quando excessiva pode causar danos aos materiais existentes mais porosos dos sistemas construtivos, bem como dificuldades para que sejam retirados ou conservados posteriormente sem causar mais lesões às estruturas antigas. Santos e

Veiga [14] indicam a resistência de aderência no limite compreendido entre 0,1 e 0,3 MPa.

A permeabilidade ao vapor de água é uma propriedade importante a ser considerada em argamassas para uso em exteriores, uma vez que o revestimento deve ser estanque à água, impedindo sua percolação, mas deve ser permeável ao vapor para propiciar a secagem da umidade de infiltração por água da chuva [15]. Desta maneira, um revestimento exterior considerado ideal é aquele que consegue a melhor relação entre a impermeabilização à água e a permeabilidade ao vapor de água [16].

O comportamento das argamassas frente à água também é observado por meio da absorção às 24h. Para esta propriedade considerou-se que quanto menor o valor obtido, melhor para o desempenho ao uso. Por se tratar da escolha de melhor argamassa para assentamento de azulejaria, esta propriedade, juntamente com as demais que definem a exposição da argamassa frente à umidade, não são consideradas com peso máximo. Entende-se que, em situações de aplicação para assentamento, as argamassas estarão menos expostas às umidades do ambiente comparativamente às argamassas de revestimento (reboco, estuque, entre outras), visto que o material de sacrifício da fachada é o revestimento cerâmico.

Os critérios principais de impacto ambiental com maiores pesos na Matriz 1 foram a energia incorporada, a durabilidade e a emissão de poluentes. Segundo ICE et al. [17], a energia incorporada é definida como a energia total primária consumida direta ou indiretamente no processo associado a um material com o limite do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*). Entende-se que, quanto menor for esta energia incorporada nos componentes do traço das argamassas, menor impacto ambiental haverá com sua aplicação.

Quanto aos custos dos materiais empregados nas argamassas, o ideal seria considerar o custo de todo o ciclo de vida. Entende-se que, por se tratar de uma reabilitação geralmente pontual na edificação e realizada decenalmente, para efeito de simplificação, considerou-se apenas o custo para a manutenção das argamassas. Além disso, este critério é abordado como relativamente menos importante que os demais para efeito de definição do impacto ambiental gerado. Sendo assim, quanto menor o custo de manutenção com a utilização de determinada argamassa, melhor para efeito de tomada de decisão.

Outra categoria considerada para a análise hierárquica foi a utilização de materiais naturais de origem local. Quanto mais locais e menos processados forem os materiais, menor será o transporte, a energia de fabricação e a poluição, menor será o impacto negativo e melhor será para o mercado de trabalho local [18]. Sendo assim, quanto mais material com esta característica for empregado no traço da argamassa, melhor.

Os traços de argamassas de Velosa [9] que incorporaram a utilização de materiais reciclados, recicláveis ou resíduos trabalham em favor da reabilitação sustentável. A seleção dos materiais deve priorizar seu potencial de reutilização, antes que o da reciclagem, já que a reutilização consome menos energia e esforço [19]. Portanto, quanto mais material com esta característica for empregado no traço da argamassa, melhor.

Quanto à emissão de poluentes gerada pelos materiais, considerou-se apenas o seu processo de produção, visto que para o caso de argamassas de reabilitação, tanto o transporte quanto o descarte apresentam menores impactos. Segundo Oliveira [20], um material é melhor se, durante todo seu ciclo de vida, tiver baixa emissão de CO_2 (seja na produção, transporte ou no seu descarte).

A geração de resídos de argamassa de reabilitação pode ser amenizada com a escolha de um traço mais otimizado e com a incorporação de resíduos oriundos de outra cadeia produtiva, propiciando um balanço global positivo. Sendo assim, quanto menor for o desperdício de material gerado pela reabilitação, tanto mais sustentável ela será.

Finalmente, o critério durabilidade também foi relacionado com o segundo nível. Para que se tenha uma argamassa que apresente vida útil satisfatória, esta deverá resistir o máximo possível aos esforços mecânicos, térmicos e desgastes químicos gerados pelo meio no qual está exposta. Segundo Oliveira [20], quanto maior for a durabilidade desses materiais, maior será a vida útil do edifício, pois os materiais com baixa durabilidade implicam frequentes e complicadas operações de reabilitação, ou até mesmo de substituição integral, o que envolve um maior consumo de materiais e energia e aumentam os impactos ambientais negativos associados.

BASE DE DADOS DAS ARGAMASSAS

A base de dados utilizada para aplicação da técnica de análise hierárquica em segundo nível foi retirada da tese de doutorado de Velosa [9]. A autora ensaiou doze traços distintos de argamassas de cal para reabilitação de patrimônios históricos, conforme Tabela 4. Vale ressaltar que os componentes utilizados em suma foram materiais regionais portugueses e que a análise de resultados não poderá ser tomada como absoluta em todos os casos brasileiros de reabilitação.

Tabela 4: Caracterização das argamassas

Nomenclatura das argamassas	Proporções de materiais secos (cal : pozolana : agregado)	
	Traço em volume	Materiais
C	1 : 3	cal em pó : areia de rio
CPCV	1 : 1 : 4	cal em pó : pozolana de Cabo Verde : areia de rio
CPA	1 : 1 : 4	cal em pó : pozolana dos Açores : areia de rio
CMCA10	1 : 3 com 10% de MCA	cal em pó : areia de rio com 10% de metacaulim de Alvarães sobre o peso da cal
CMCA20	1 : 3 com 20% de MCA	cal em pó : areia de rio com 20% de metacaulim de Alvarães sobre o peso da cal
CMCI10	1 : 3 com 10% de MCI	cal em pó : areia de rio com 10% de metacaulim industrial sobre o peso da cal
CMCI20	1 : 3 com 20% de MCI	cal em pó : areia de rio com 20% de metacaulim industrial sobre o peso da cal
CPT	1 : 1 : 4	cal em pó : pó de tijolo : areia de rio
CPTCON	1 : 1 : 2,5	cal em pó : fragmentos de tijolo : areia de rio
CpPTCON	1 : 1 : 1	cal em pasta : fragmentos de tijolo : areia de rio
CCV	1 : 1 : 4	cal em pó : cinzas volantes : areia de rio
CRAE	1 : 1 : 4	cal em pó : resíduos de argila expandida : areia de rio

Fonte: VELOSA [9].

Já para AHP em desempenho sustentável foi utilizada a base de dados de materiais disponível no *Inventory of Carbon and Energy* da Universidade de Bath do Reino Unido [17]. Esta base foi aplicada apenas nos critérios de emissão de poluentes e energia embutida, conforme Tabela 5. Os valores para cada composição foram estimados de acordo com a proporcionalidade de traço definida por Velosa [9].

Tabela 5: Database para emissão de poluentes e energia embutida

Material	Energia Embutida (MJ/kg)	Emissão de poluentes ($kgCO_2/kg$)
cal	5,3	0,78
areia	0,0081	0,0051
pozolana	1,5	0,090
metacaulim	3,48	0,40
tijolo	3,0	0,24
cinza volante	0,09	0,104
argila expandida	6,91	0,22

Fonte: Adaptado de ICE et al. [17].

No critério material natural de origem local, foi considerado somente a parcela do traço que correspondesse a esta característica, a exemplo areia de rio e pozolana dos Açores. O mesmo ocorreu para o critério material reciclado ou reciclável, sendo considerado somente a parcela do traço que fosse oriunda de resíduos de outra cadeia produtiva, a exemplo cinza volante, argila expandida e tijolo. Portanto, os traços que não apresentavam materiais com esta característica levaram o valor 0,0.

Para os critérios durabilidade (em primeiro nível) e desperdício de material foram utilizados como valores referência a database do *software Cypecad* [21] para argamassas de cal em reabilitações de Portugal, conforme Tabela 6. Vale ressaltar que a proporcionalidade de traço também foi levada em consideração para definição final dos valores de resíduos gerados. Já no quesito durabilidade, considerou-se a recomendação da database de manutenção decenal para todas as argamassas de reabilitação.

Tabela 6: Database para durabilidade e resíduos

RUC020 m² **Revestimento de argamassa de cal.** 10,78€

Revestimento contínuo de argamassa técnica de cal hidráulica natural, cor branco, de 2 mm de espessura, para a restauração de um revestimento existente ou como acabamento de um reboco previamente reparado, em muros de pedra, obras de alvenaria de pedra e paredes de tijolo ou de bloco. O preço não inclui a preparação do suporte.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt08aaa010a	m³	Água.	0,020	1,50	0,03
mt28mrr050a	kg	Argamassa técnica de cal hidráulica natural cor branco, composta por cal hidráulica natural NHL 3,5, segundo NP EN 459-1, inertes siliciosos e inertes seleccionados, permeável ao vapor de água, para aplicar em rebocos e revestimentos de gesso, para reparação de paramentos com humidades ou manchas salinas.	2,500	2,63	6,58
mo039	h	Oficial de 1ª rebocador.	0,141	18,85	2,66
mo111	h	Operário especializado rebocador.	0,070	18,59	1,30
	%	Custos directos complementares	2,000	10,57	0,21
Custo de manutenção decenal: 1,83€ nos primeiros 10 anos.				Total:	10,78

Referência e título da norma	Aplicabilidade(a)	Obrigatoriedade(b)	Sistema(c)
EN 459-1:2010 Cal de construção — Parte 1: Definições, especificações e critér ios de confor midade	1.6.2011	1.6.2012	2

Resíduos gerados

Código LER	Tipo	Peso (kg)
17 09 04	Mistura de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03.	0,146
	Resíduos gerados:	**0,146**
17 02 03	Plástico.	0,008
	Embalagens:	**0,008**
	Total resíduos:	**0,154**

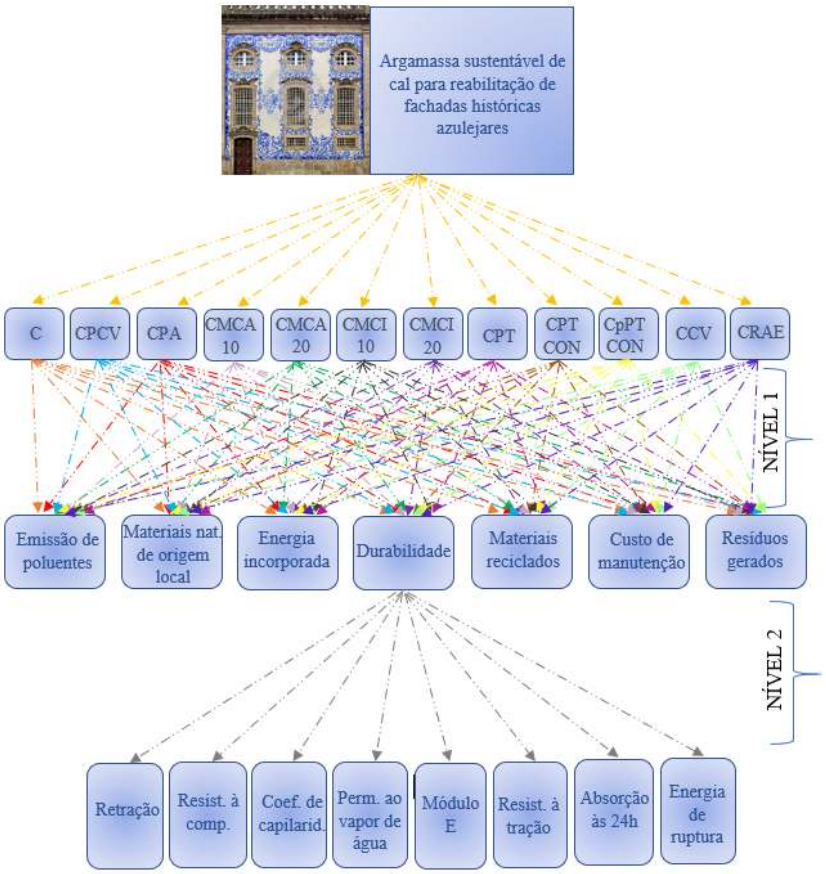
Fonte: CYPECAD [21].

Finalmente, no critério custo de manutenção, utilizou-se a base de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil [22] para a cidade de Curitiba e o mês de agosto do presente ano, levando em consideração a proporcionalidade de traços dos materiais. Para efeito de simplificação, as proporções de resíduos de reutilização incorporados não foram consideradas no cômputo do preço.

RESULTADOS DA ANÁLISE HIERÁRQUICA

A estruturação da árvore hierárquica foi definida conforme os critérios de primeiro e segundo níveis, limitantes para a escolha de melhor desempenho em sustentabilidade e uso, respectivamente conforme Figura 1.

Figura 1: Árvore hierárquica estruturante



Fonte: Os autores (2022).

Na Tabela 7 encontram-se os resultados dos ensaios realizados por Velosa [9]. Já na Tabela 8, apresentam-se os resultados de sustentabilidade manipulados mediante databases e proporcionados segundo os traços de cada argamassa.

Tabela 7: Resultados dos ensaios realizados nas argamassas de cal

ENSAIO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Resistência à tração 28 dias (MPa)	0,27	0,37	0,2	0,24	0,2	0,19	0,27	0,22	0,45	0,54	0,5	0,65
Resistência à comp. 28 dias (MPa)	0,5	1,29	0,57	0,42	0,62	0,48	0,76	0,6	0,96	1,46	1,06	2,41
Módulo de elastic.din. 28 dias (Mpa)	2040	4767	2741	1254	910	1362	1199	1363	1868	1503	3779	4535
Coef. de capilar. 28 dias ($kg/m^2.h^{1/2}$)	10,81	13,85	16,62	22,89	20,09	19,82	22,53	15,72	16,38	15,07	17,85	14,27
Absorção às 24h 28 dias (kg/m^2)	31,85	33,56	35,9	37,31	39,54	35,06	40,75	34,04	46,39	42,8	33,49	36,03
Permeab. ao vapor de água ($kg/m^2.s.Pa$)	1207,97	1309,42	1390,57	1591,9	1587,22	491,96	1495,14	1460,81	1067,5	1328,15	978,55	1326,59
Força de retração (N)	50	47	51	57	49	50	29	57	64	52	66	53
Energia de ruptura (N.mm)	82	85	69	65	98	34	108	90	121	214	104	48

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 8: Resultados de sustentabilidade mediante databases

REQUISITO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Emissão de poluentes (kg CO2 por proporção de traço)	0,7953	0,8904	0,8904	0,8353	0,8753	0,8353	0,8753	1,0404	1,0327	1,0251	0,9044	1,0204
Material natural de origem local (proporção de traço)	3,0	4,0	5,0	3,1	3,2	3,0	3,0	4,0	2,5	1,0	4,0	4,0
Material reciclado ou reciclável (proporção de traço)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Durabilidade (manutenção decenal)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Custo de manutenção (R$ por proporção de traço)	1,18	1,66	1,66	2,13	3,08	2,13	3,08	1,46	1,04	0,62	1,46	1,46
Energia incorporada (MJ por proporção de traço)	5,3243	6,8324	6,8324	5,6723	6,0203	5,6723	6,0203	8,3243	8,3202	8,3081	5,4143	12,2343
Desperdício de material (kg de resíduo gerado por proporção de traço)	0,2464	0,3696	0,3696	0,2525	0,2587	0,2525	0,2587	0,308	0,2156	0,1232	0,308	0,308

Fonte: Os autores (2022).

Para elaborar a AHP foram utilizados, então, sete critérios de primeiro nível e oito critérios de segundo nível. A partir da seleção dos critérios, atribuíram-se pesos de importância a cada um deles de acordo com a norma ASTM E 1765-16 [8], conforme Tabela 9 e Tabela 10. Vale ressaltar que os pesos foram comparados por pareamento e, quando o critério 'A' foi menos importante que o critério 'B', seus valores ficaram invertidos.

Tabela 9: Pesos de importância considerados no nível 1

REQUISITO	Emissão de poluentes	Material natural de origem local	Material reciclado ou reciclável	Durabilidade	Custo de manutenção	Energia incorporada	Desperdício de material	SOMA	%
Emissão de poluentes	1	7	3	1/3	9	1/3	1/3	21,00	16,82%
Material natural de origem local	1/7	1	1/5	1/9	3	1/9	1/5	4,77	3,82%
Material reciclado ou reciclável	1/3	5	1	1/3	9	1/3	3	19,00	15,21%
Durabilidade	3	9	3	1	9	1/3	3	28,33	22,69%
Custo de manutenção	1/9	1/3	1/9	1/9	1	1/9	1/7	1,92	1,54%
Energia incorporada	3	9	3	3	9	1	5	33,00	26,42%
Desperdício de material	3	5	1/3	1/3	7	1/5	1	16,87	13,51%
TOTAL								124,89	100,00%

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 10: Pesos de importância considerados no nível 2

ENSAIO	Resistência à tração 28 dias (MPa)	Resistência à comp. 28 dias (MPa)	Módulo de elastic.din. 28 dias (MPa)	Coef. de capilar. 28 dias ($kg/m^2.h^{1/2}$)	Absorção às 24h 28 dias (kg/m^2)	Permeab. ao vapor de água ($kg/m^2.s.Pa$)	Força de retração (N)	Energia de ruptura no ensaio de tração (N.mm)	SOMA	%
Resistência à tração 28 dias (MPa)	1	3	1/5	3	9	3	1/5	1/7	19,54	12,98%
Resistência à comp. 28 dias (MPa)	1/3	1	1/5	1/3	5	3	1/3	1/5	10,40	6,91%
Módulo de elastic.din. 28 dias (MPa)	5	5	1	3	7	5	1/3	1/5	26,53	17,62%
Coef. de capilar. 28 dias ($kg/m^2.h^{1/2}$)	1/3	3	1/3	1	5	3	1/5	1/7	13,01	8,64%
Absorção às 24h 28 dias (kg/m^2)	1/9	1/5	1/7	1/5	1	1/3	1/7	1/9	2,24	1,49%
Permeab. ao vapor de água ($kg/m^2.s.Pa$)	1/3	1/3	1/5	1/3	3	1	1/5	1/7	5,54	3,68%
Força de retração (N)	5	3	3	5	7	5	1	1/3	29,33	19,48%
Energia de ruptura no ensaio de tração (N.mm)	7	5	5	7	9	7	3	1	44,00	29,22%
TOTAL									150,60	100,00%

Fonte: Os autores (2022).

Após o referido pareamento, estruturou-se a matriz de decisão com o cálculo do peso relativo de cada critério. Considerou-se a soma individual dos itens, dividindo-os pela soma total dos critérios e multiplicando-se por cem. Desta maneira, os critérios passaram a ser representados por percentual de importância dentro dos níveis 1 e 2 que foram analisados.

É importante enfatizar que alguns critérios apresentam melhor desempenho quanto menor seu valor. Isso acontece com os seguintes parâmetros para o primeiro nível:

a) emissão de poluentes;
b) custo de manutenção;
c) energia incorporada;
d) desperdício de material.

Já para o segundo nível, os parâmetros que apresentam melhor desempenho de utilização quanto menor seu valor, são os seguintes:

a) módulo de elasticidade dinâmico;
b) coeficiente de capilaridade;
c) absorção às 24h;
d) força de retração.

Para executar o tratamento desses dados por análise hierárquica, é necessário utilizar o inverso desses valores, pois a matriz de decisão caracteriza o material com maior nota como sendo o melhor [7]. Sendo assim, a Tabela 11 e a Tabela 12 expressam a etapa de inversão dos valores respectivos da Tabela 9 e da Tabela 10.

Tabela 11: Inversão de valores do nível 1

REQUISITO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Emissão de poluentes (kg CO2 por proporção de traço)	1,257387	1,123091	1,1230907	1,19717467	1,14246544	1,1971747	1,1424654	0,9611688	0,9683354	0,97551458	1,10570544	0,98000784
Material natural de origem local (proporção de traço)	3,0	4,0	5,0	3,1	3,2	3,0	3,0	4,0	2,5	1,0	4,0	4,0
Material reciclado ou reciclável (proporção de traço)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Durabilidade (manutenção decenal)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Custo de manutenção (R$ por proporção de traço)	0,847458	0,60241	0,6024096	0,46948357	0,32467532	0,4694836	0,3246753	0,6849315	0,9615385	1,61290323	0,68493151	0,68493151
Energia incorporada (MJ por proporção de traço)	0,187818	0,146361	0,1463615	0,17629533	0,16610468	0,1762953	0,1661047	0,1201302	0,1201894	0,12036446	0,18469608	0,08173741
Desperdício de material (kg de resíduo gerado por proporção de traço)	4,058442	2,705628	2,7056277	3,96039604	3,86548125	3,960396	3,8654813	3,2467532	4,6382189	8,11688312	3,24675325	3,24675325

Fonte: Os autores (2022).

Após a inversão dos valores nas matrizes de critérios, os resultados de cada ensaio (linha) foram divididos pelo maior valor do ensaio (de cada linha), conforme Tabela 13 e a Tabela 14. Essa prática chama-se normalização dos dados, e seu objetivo é obter os resultados na escala de 0 a 1 para todos os ensaios considerados [7].

Tabela 12: Inversão de valores do nível 2

ENSAIO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Resistência à tração 28 dias (MPa)	0,27	0,37	0,2	0,24	0,2	0,19	0,27	0,22	0,45	0,54	0,5	0,65
Resistência à comp. 28 dias (MPa)	0,5	1,29	0,57	0,42	0,62	0,48	0,76	0,6	0,96	1,46	1,06	2,41
Módulo de elastic.din. 28 dias (MPa)	0,000490196	0,000209776	0,00036483	0,000797448	0,001098901	0,000734214	0,00083403	0,00073368	0,00053533	0,00066534	0,00026462	0,00022051
Coef. de capilar. 28 dias ($kg/m^2.h^{1/2}$)	0,092506938	0,072202166	0,060168472	0,0436872	0,049776008	0,050454087	0,04438526	0,06361323	0,06105006	0,066357	0,05602241	0,07007708
Absorção às 24h 28 dias (kg/m^2)	0,031397174	0,029797378	0,027855153	0,026802466	0,025290845	0,028522533	0,02453988	0,0293772	0,02155637	0,02336449	0,02985966	0,02775465
Permeab. ao vapor de água ($kg/m^2.s.Pa$)	1207,97	1309,42	1390,57	1591,9	1587,22	491,96	1495,14	1460,81	1067,5	1328,15	978,55	1326,59
Força de retração (N)	0,02	0,021276596	0,019607843	0,01754386	0,020408163	0,02	0,03448276	0,01754386	0,015625	0,01923077	0,01515152	0,01886792
Energia de ruptura no ensaio de tração (N.mm)	82	85	69	65	98	34	108	90	121	214	104	48

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 13: Normalização de valores do nível 1

REQUISITO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Emissão de poluentes (kg CO_2 por proporção de traço)	1	0,893194	0,8931942	0,95211313	0,90860287	0,9521131	0,9086029	0,7644176	0,7701173	0,77582684	0,87936764	0,77940033
Material natural de origem local (proporção de traço)	0,60	0,80	1	0,62	0,64	0,60	0,60	0,80	0,50	0,20	0,80	0,80
Material reciclado ou reciclável (proporção de traço)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1	1	1	1	1
Durabilidade (manutenção decenal)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Custo de manutenção (R$ por proporção de traço)	0,525424	0,373494	0,373494	0,29107981	0,2012987	0,2910798	0,2012987	0,4246575	0,5961538	1	0,42465753	0,42465753
Energia incorporada (MJ por proporção de traço)	1	0,779272	0,7792723	0,93864923	0,88439114	0,9386492	0,8843911	0,6396093	0,6399245	0,64085651	0,98337735	0,43519449
Desperdício de material (kg de resíduo gerado por proporção de traço)	0,5	0,333333	0,3333333	0,48792079	0,47622729	0,4879208	0,4762273	0,4	0,5714286	1	0,4	0,4

Fonte: Os autores (2022).

Finalmente, após normalização dos dados, estes foram multiplicados pelo peso percentual de importância (Tabela 9 e Tabela 10) arbitrado para cada critério. A Tabela 15 e a Tabela 16 expressam o somatório de cada argamassa e a nota final por formulação em cada nível.

Tabela 14: Normalização de valores do nível 2

ENSAIO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Resistência à tração 28 dias (MPa)	0,415384615	0,569230769	0,307692308	0,369230769	0,307692308	0,292307692	0,41538462	0,33846154	0,69230769	0,83076923	0,76923077	1
Resistência à comp. 28 dias (MPa)	0,20746888	0,53526971	0,236514523	0,174273859	0,257261411	0,199170124	0,3153527	0,24896266	0,39834025	0,60580913	0,43983402	1
Módulo de elastic.din. 28 dias (MPa)	0,446078431	0,190895742	0,331995622	0,725677831	1	0,668135095	0,7589658	0,6676449	0,48715203	0,60545576	0,24080445	0,20066152
Coef. de capilar. 28 dias ($kg/m^2.h^{1/2}$)	1	0,780505415	0,650421179	0,472258628	0,538078646	0,545408678	0,4798047	0,68765903	0,65995116	0,71731918	0,60560224	0,75753329
Absorção às 24h 28 dias (kg/m^2)	1	0,949046484	0,88718663	0,853658537	0,805513404	0,90844267	0,78159509	0,93566392	0,68657038	0,74415888	0,95103016	0,88398557
Permeab. ao vapor de água ($kg/m^2.s.Pa$)	0,75882279	0,822551668	0,873528488	1	0,997060117	0,309039513	0,93921729	0,91765186	0,67058232	0,83431748	0,6147057	0,83333752
Força de retração (N)	0,58	0,617021277	0,568627451	0,50877193	0,591836735	0,58	1	0,50877193	0,453125	0,55769231	0,43939394	0,54716981
Energia de ruptura no ensaio de tração (N.mm)	0,38317757	0,397196262	0,322429907	0,303738318	0,457943925	0,158878505	0,5046729	0,42056075	0,56542056	1	0,48598131	0,22429907

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 15: Nota final em nível 1 das argamassas de cal por formulação

REQUISITO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Emissão de poluentes (kg CO2 por proporção de traço)	16,82%	15,02%	15,02%	16,01%	15,28%	16,01%	15,28%	12,86%	12,95%	13,05%	14,79%	13,11%
Material natural de origem local (proporção de traço)	2,29%	3,06%	3,82%	2,37%	2,44%	2,29%	2,29%	3,06%	1,91%	0,76%	3,06%	3,06%
Material reciclado ou reciclável (proporção de traço)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	15,21%	15,21%	15,21%	15,21%	15,21%
Durabilidade (manutenção decenal)	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%	22,69%
Custo de manutenção (R$ por proporção de traço)	0,81%	0,58%	0,58%	0,45%	0,31%	0,45%	0,31%	0,65%	0,92%	1,54%	0,65%	0,65%
Energia incorporada (MJ por proporção de traço)	26,42%	20,59%	20,59%	24,80%	23,37%	24,80%	23,37%	16,90%	16,91%	16,93%	25,98%	11,50%
Desperdício de material (kg de resíduo gerado por proporção de traço)	6,76%	4,50%	4,50%	6,59%	6,43%	6,59%	6,43%	5,40%	7,72%	13,51%	5,40%	5,40%
SOMA	**75,79%**	**66,44%**	**67,20%**	**72,91%**	**70,53%**	**72,84%**	**70,37%**	**76,77%**	**78,31%**	**83,69%**	**87,79%**	**71,62%**

Fonte: Os autores (2022).

Faz-se necessário ainda a correlação entre o percentual do critério durabilidade do nível 1 (Tabela 15) com as notas finais das argamassas analisadas em nível 2 (Tabela 16). Desse modo, tem-se o reajuste das notas finais em nível 1, possibilitando a escolha da melhor argamassa de cal para reabilitação, tanto considerando o desempenho sustentável quanto considerando o desempenho de utilização. A Tabela 17 explicita o reajuste das notas finais em nível 1.

Os resultados para o desempenho sustentável (nível 1) mostram que as argamassas de cal que apresentaram menores impactos ambientais foram a CCV com 87,79% de satisfação e a CpPTCON com 83,69% de satisfação. Isso se deve, entre outros fatores, por apresentarem em sua constituição a incorporação de resíduos industriais. Em

adição a isto, o CpPTCON, formulado com cal em pasta, favorece as reações de hidratação dos óxidos não hidratados contidos na cal, potencializando o seu poder aglomerante e consequentemente o desempenho na argamassa.

Tabela 16: Nota final em nível 2 das argamassas de cal por formulação

ENSAIO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Resistência à tração 28 dias (MPa)	0,053916923	0,073886154	0,039938462	0,047926154	0,039938462	0,037941538	0,05391692	0,04393231	0,08986154	0,10783385	0,09984615	0,1298
Resistência à comp. 28 dias (MPa)	0,0143361	0,036987137	0,016343154	0,012042324	0,017776763	0,013762656	0,02179087	0,01720332	0,02752531	0,04186141	0,03039253	0,0691
Módulo de elastic.din. 28 dias (MPa)	0,07859902	0,03363583	0,058497629	0,127864434	0,1762	0,117725404	0,13372977	0,11763903	0,08583619	0,1066813	0,04242974	0,03535656
Coef. de capilar. 28 dias ($kg/m^2.h^{1/2}$)	0,0864	0,067435668	0,05619639	0,040803145	0,046489995	0,04712331	0,04145513	0,05941374	0,05701978	0,06197638	0,05232403	0,06545088
Absorção às 24h 28 dias (kg/m^2)	0,0149	0,014140793	0,013219081	0,012719512	0,01200215	0,013535796	0,01164577	0,01394139	0,0102299	0,01108797	0,01417035	0,01317138
Permeab. ao vapor de água ($kg/m^2.s.Pa$)	0,027924679	0,030269901	0,032145848	0,0368	0,036691812	0,011372654	0,0345632	0,03376959	0,02467743	0,03070288	0,02262117	0,03066682
Força de retração (N)	0,112984	0,120195745	0,110768627	0,099108772	0,115289796	0,112984	0,1948	0,09910877	0,08826875	0,10863846	0,08559394	0,10658868
Energia de ruptura no ensaio de tração (N.mm)	0,111964486	0,116060748	0,094214019	0,088752336	0,133811215	0,046424299	0,14746542	0,12288785	0,16521589	0,2922	0,14200374	0,06554019
SOMA	50,10%	49,26%	42,13%	46,60%	57,82%	40,09%	63,94%	50,79%	54,86%	76,10%	48,94%	51,57%

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 17: Reajuste das notas finais em nível 1 das argamassas de cal por formulação

REQUISITO	C	CPCV	CPA	CMCA10	CMCA20	CMCI10	CMCI20	CPT	CPTCON	CpPTCON	CCV	CRAE
Emissão de poluentes (kg CO_2 por proporção de traço)	16,82%	15,02%	15,02%	16,01%	15,28%	16,01%	15,28%	12,86%	12,95%	13,05%	14,79%	13,11%
Material natural de origem local (proporção de traço)	2,29%	3,06%	3,82%	2,37%	2,44%	2,29%	2,29%	3,06%	1,91%	0,76%	3,06%	3,06%
Material reciclado ou reciclável (proporção de traço)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	15,21%	15,21%	15,21%	15,21%	15,21%
Durabilidade (manutenção decenal)	11,37%	11,18%	9,56%	10,57%	13,12%	9,10%	14,51%	11,52%	12,45%	17,27%	11,10%	11,70%
Custo de manutenção (R$ por proporção de traço)	0,81%	0,58%	0,58%	0,45%	0,31%	0,45%	0,31%	0,65%	0,92%	1,54%	0,65%	0,65%
Energia incorporada (MJ por proporção de traço)	26,42%	20,59%	20,59%	24,80%	23,37%	24,80%	23,37%	16,90%	16,91%	16,93%	25,98%	11,50%
Desperdício de material (kg de resíduo gerado por proporção de traço)	6,76%	4,50%	4,50%	6,59%	6,43%	6,59%	6,43%	5,40%	7,72%	13,51%	5,40%	5,40%
SOMA	64,46%	54,92%	54,07%	60,80%	60,96%	59,24%	62,19%	65,60%	68,07%	78,27%	76,20%	60,63%

Fonte: Os autores (2022).

Já as argamassas que apresentaram maiores impactos ambientais foram a CPCV com 66,44% de satisfação e a CPA com 67,20% de satisfação. Apesar de ambas terem em sua constituição pozolanas comumente empregadas na região de Portugal, estas impactam por sua extração em meio natural. Em adição a isto, os traços empregam quantidade elevada de areia de rio (1: 1: 4 - cal, pozolana e areia, respectivamente).

Os resultados para o desempenho de utilização (nível 2) mostram que as argamassas de cal que apresentaram melhores respostas foram a CpPTCON com 76,10% de satisfação e a CMCI20 com 63,94% de satisfação. Isso se deve, entre outros fatores, pela presença em sua constituição de materiais controlados industrialmente, como a cal em pasta e o metacaulim.

Já as argamassas que apresentaram desempenhos inferiores de utilização foram a CPA com 42,13% de satisfação e a CMCI10 com 40,09% de satisfação. Apesar de ambas apresentarem propriedades pozolânicas em sua formulação, possivelmente estas não se encontram dosadas em proporções adequadas para que resista aos esforços solicitantes. Um exemplo claro disto é o fato de que a CMCI20 apresentou o segundo melhor resultado em utilização, em contrapartida a CMCI10 apresentou o resultado mais insatisfatório, demonstrando que a quantidade de metacaulim na mistura pode influenciar significativamente.

O reajuste das notas do critério de durabilidade em nível 1 foi feito mediante a multiplicação de 22,69% (importância desta característica dentre as demais do nível) pelos percentuais finais de cada formulação em nível (Tabela 17). Nota-se que, a melhor formulação de argamassa de cal para reabilitação em patrimônios históricos é a CpPTCON com 78,27% de satisfação, considerando tanto o desempenho sustentável quanto o desempenho em utilização.

CONCLUSÕES

O presente artigo permitiu demonstrar a eficiência da metodologia de análise hierárquica nas tomadas de decisão em práticas de reabilitação de patrimônios históricos. Não obstante seja necessário esclarecer que as respostas dadas pela AHP podem ser as mais variadas possíveis, a depender do enfoque dos especialistas que usam a ferramenta, da origem do material que será empregado e para qual propósito se destina a escolha.

Verificou-se a importância da dosagem das argamassas para os impactos ambientais gerados, bem como para o grau de atendimento ao uso em assentamentos azulejares antigos. Além disto, com o emprego da metodologia foi possível evidenciar e incentivar a aplicabilidade adequada dos resíduos industriais na incorporação das argamassas de reabilitação.

Como resultado da pesquisa, a escolha mais adequada no que tange à sustentabilidade e aplicabilidade para esta situação analisada é a argamassa CpPTCON (cal em pasta: fragmentos de tijolo: areia de rio) com 78,27% de satisfação.

REFERÊNCIAS

[1] BARACHO, A.S.B. **Patrimônio Sustentável: Reflexões sobre as melhores práticas anglo-saxônicas aplicadas a edificações culturais.** UFMG, 2013.

[2] GREEN BUILDING COUNCIL. **Manuale GBC HISTORIC BUILDING - Per il restauro e la riqualificazione sostenibile degli edifici storici.** Edizione 2015 - revisione maggio 2017.Italia.

[3] ALÇADA, M.; CLEMENTE, A.M.; SILVEIRA, A.; VALENTE T. **Materiais e técnicas tradicionais: rebocos e tintas de cal, Tipos de utilizações – alguns casos de estudo.** Direção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 2006.

[4] KANAN, M. I. **Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal.** Programa Monumenta, IPHAN, 2008.

[5] MATIAS, G. M. L. **Argamassas de Reabilitação com Resíduos de Cerâmica.** Universidade de Coimbra, 2014.

[6] SAATY, T. L. **How to make a decision : The Analytic Hierarchy Process.** European Journal of Operations Research. v. 48, n.1, 1990.

[7] MATTANA, A.J; MEDEIROS, M.H.F; SILVA, N.G.; COSTA, M.R.M.M. **Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79, out./dez. 2012.

[8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1765: standard practice for applying analytical hierarchy process (AHP) to multiatribute decision analysis of investments related to buildings and buildings systems.** West Conshohocken, PA, 2002.

[9] VELOSA, A. L. P. L. **Argamassas de Cal com Pozolanas para Revestimento de Paredes Antigas.** Universidade de Aveiro, 2006.

[10] KIBERT, C.J. **Policy instruments for a a sutainable built environment.** J. Land Use and Envtl. L., No. 17, 2002.

[11] CÂMARA MUNICIPAL DE OVAR. **Manual de Materiais e Técnicas Tradicionais de Assentamento de Azulejos de Fachadas.** Ovar, 2012.

[12] VEIGA, M.R. **Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes.** 3º Encore, Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios, LNEC, maio 2003.

[13] VEIGA, M.R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação.** Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, LNEC, 1998.

[14] SANTOS, A. R.; VEIGA, M. R. **Argamassas compatíveis para edifícios antigos.** Jornadas LNEC, Lisboa, 2012.

[15] BAÍA, L.L.R.; SABBATINI, F.H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa.** 4ed, 2000.

[16] SILVA, J.M.B. **Estudo da durabilidade do revestimento de paredes exteriores.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

[17] ICE, E.; PROF, B; HAMMOND, G. et al. **A BSRIA guide Embodied Carbon The Inventory of Carbon.** BSRI ed. University of Bath, 2011.

[18] GLUCH, P.; BAUMANN, H. **The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making.** 2003.

[19] YEANG, K. **El rascacielos ecológico.** 1ª ed. Barcelona. Gustavo Gili. 2001.

[20] OLIVEIRA, C. N. **O Paradigma da Sustentabilidade na Seleção De Materiais e Componentes para Edificações.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC. 2009.

[21] CYPECAD. **Database gerador de preços: Reabilitação em Portugal.** Software para Engenharia e Construção. Cype Ingenieros, S.A, 2020.

[22] SINAPI, CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Preço de insumos para a construção civil.** Mês de referência: Agosto, 2020.