

Avaliação de durabilidade em revestimento externo argamassado: *review*

NATHANA LUIZA PINTO DE LIMA¹

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Norte, Brasil

RENATA CARLA TAVARES DOS SANTOS FELIPE²

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Norte, Brasil

RAIMUNDO NONATO BARBOSA FELIPE³

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Norte, Brasil

Resumo

A durabilidade de elementos construtivos é, hoje, um fator importante para a sustentabilidade das edificações, posto que a redução precoce do desempenho desses agentes implica em altos custos ambientais, sociais e econômicos. O crescente desenvolvimento industrial da sociedade resultou em ambientes cada vez mais favoráveis à degradação, tanto que, nos dias atuais, a grande parcela das obras realizadas são classificadas como de recuperação, as quais, por empregarem grande quantidade da matéria-prima natural, acabam gerando a maior parte de resíduos sólidos rejeitados ao meio ambiente. Devido à maior exposição a agentes agressivos, as fachadas constituem um dos elementos construtivos mais complexos e sensíveis à degradação, uma vez que apresentam, hoje, o maior número de patologias evidenciadas em edificações. Nos últimos anos, a

¹ Técnica em Laboratório/ Edificações do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do RN. Graduada em Engenharia Civil (2017) e Ciência e Tecnologia (2014) pela Universidade Federal Rural do Semi Árido. Mestranda em Uso Sustentável em Recursos Naturais pelo IFRN, na área de concentração em Sustentabilidade com linha de pesquisa em materiais compósitos sustentáveis. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6866-5987>; E-mail: nathanaluiza@yahoo.com.br

² Professora titular do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do RN. Graduada em Engenharia Mecânica (1993), mestrado em Engenharia Mecânica (1997) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do RN (2012). Com experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Materiais compósitos, avaliação mecânica e envelhecimento ambiental dos materiais quando expostos em ambientes diversos. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9407-995X>; E-mail: renata.felipe@ifrn.edu.br

³ Professor titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN. Com Graduação em Engenharia Mecânica (1993), mestrado em Engenharia Mecânica (1997) e Doutorado em Engenharia Mecânica (2012) pela Universidade Federal do RN. Com experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Materiais Não-Metálicos (Compósitos Poliméricos) e avaliação do mecanismo de degradação mediante envelhecimento ambiental nos respectivos materiais. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6640-1278>; E-mail: raimundo.felipe@ifrn.edu.br

comunidade acadêmica, entendendo a importância estética e protetiva dos revestimentos argamassados, buscou métodos eficazes de avaliar sua durabilidade de modo a possibilitar uma escolha assertiva de composições aplicadas em revestimentos argamassados externos. Diante do exposto, esta pesquisa busca, por meio de consultas em bancos de dados como ScienceDirect, Scopus e outras bibliotecas virtuais, realizar uma revisão sobre as principais metodologias de avaliação de durabilidade aplicada às argamassas cimentícias de revestimento, possibilitando, assim, a elaboração do atual estado da arte sobre a temática. A partir dos resultados, é possível visualizar um diagnóstico dos principais métodos utilizados para analisar a durabilidade de argamassas nos últimos anos, bem como divulgar procedimentos e bibliografias, possibilitando a consulta e o enriquecimento de futuras pesquisas na área.

Palavras-chave: Degradação. Construção sustentável. Argamassa. Envelhecimento. Fachada.

Abstract

The durability of construction elements is today an important factor for the sustainability of buildings, so that, the early reduction of their performance implies high environmental, social and economic costs. The growing industrial development of society has resulted in environments that are increasingly favorable to degradation, so that a large portion of the works carried out today are classified as recuperation, using a large amount of natural raw material and generating most of the solid waste discarded into the environment. Due to greater exposure to aggressive agents, facades are one of the most complex construction elements and sensitive to degradation, so that today they have the largest number of pathologies evidenced in buildings. In recent years, the academic community, understanding the aesthetic and protective importance of mortar coverings, sought useful methods to assess their durability in order to enable an assertive choice of compositions applied to rendering mortar. In light of the above, this research seeks, through consultations in databases such as ScienceDirect, Scopus and other virtual libraries, to carry out a review of the main durability assessment methodologies applied to cementitious rendering mortars, thus enabling the elaboration of the

current state of art about the theme. From the results, it is possible to obtain a diagnosis of the main methods used to analyze the durability of mortars in recent years, as well as to disseminate procedures and bibliographies, enabling the consultation and enrichment of future research in the area.

Keywords: Degradation; Sustainable construction; Mortar; Aging; Facade.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores econômicos de uma sociedade, sendo ele um importante gerador de empregos e um grande contribuinte para o Produto Interno Bruto (PIB) de uma nação (Bao e Lu 2020). Entretanto, esse setor é tido como a prova mais visível da ação depreciativa do homem no planeta (Górecki et al. 2019), já que ele está intimamente relacionado a problemas ambientais devido a seu modelo econômico linear de “pegar, fazer e descartar” que retém o potencial de reutilização dos materiais (Benachio, Freitas e Tavares 2020) e cria um cenário de alto consumo de recursos naturais (Ribeiro e Gonçalves 2019) e de grande geração de resíduos de construção e de demolição (López Ruiz, Roca Ramón e Gassó Domingo 2020).

Os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), traçados pelas Nações Unidas em 2015, abrangem o desenvolvimento social do meio ambiente e o avanço econômico (Gostin e Friedman 2015; Street et al. 2018). Nesse enfoque, a indústria da construção passou a adotar práticas que reduzam os impactos gerados ao meio ambiente a partir do aumento da durabilidade e da vida útil das estruturas (Ruuska e Häkkinen 2014), o que fez com que esse tema passasse a ser objeto de estudo da comunidade científica.

A segunda lei da termodinâmica implica que qualquer sistema se degrada, sendo esse um processo irreversível (Kang, Gong e Chen 2020). Porém, determinados fatores de natureza variada podem acelerar essa degeneração que, normalmente, é ocasionada por falhas de projeto ou de execução, por falta de manutenção ou, ainda, pela inadequação dos materiais utilizados (Possan e Demoliner 2013). O recente desenvolvimento industrial da sociedade resultou em

edificações expostas a ambientes extremamente desfavoráveis. Como resultado disso, o processo degenerativo se torna cada vez mais prematuro (Possan e Demoliner 2013), tornando o enfoque e a atuação na área de durabilidade das construções uma demanda indispensável na atualidade.

Sendo assim, por definição, durabilidade é a capacidade de uma estrutura e/ou seus componentes de satisfazer, com dada manutenção, os requisitos de desempenho de projeto por um período de tempo sob influência de ações ambientais (ISO 2008). Esse conceito trata das características dos materiais e das condições de exposição, de utilização e de manutenção, de forma que a durabilidade seja o resultado dessa interação e não uma propriedade intrínseca do componente (Possan e Demoliner, 2013). A vida útil é definida pela ISO 13823 (2008) como o período de tempo durante o qual uma estrutura ou seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto. De acordo com Possan e Demoliner (2013), o conceito de durabilidade se associa diretamente ao de vida útil, tanto que uma vida útil longa pode ser considerada, inclusive, sinônimo de durabilidade (Mehta e Monteiro 2008). A vida útil de uma construção ocorre em crescentes taxas de degradação que, normalmente, resultam do processo natural de envelhecimento. A degradação de um material informa sobre as alterações de desempenho que ele sofreu. Ela pode ser originada de processos físicos, químicos, biológicos ou multimecanismos que modificam as características do material (Kang, Gong e Chen 2020).

Por meio do Regulamento de Produtos da Construção (European Union 2011), a Europa determina a obrigatoriedade na utilização de materiais duráveis nas edificações, tendo em vista que a durabilidade é o fator que determina a demanda de reparo e de novas edificações, o que influencia diretamente no impacto gerado ao meio ambiente (Ruuska e Häkkinen 2014). Além dos custos ambientais, a degradação precoce das estruturas resulta em custos econômicos e sociais (Ferreira et al. 2021) responsáveis por afetar diretamente o tripé da sustentabilidade, de forma que esses dados vêm corroborar a importância da durabilidade das construções e seus elementos para a sustentabilidade desse setor.

A patologia das construções trata dos problemas que as edificações estão sujeitas devido à degradação. Estima-se que, em

países industrialmente desenvolvidos, pelo menos 40% do total de recursos do setor da construção civil seja destinado a intervenções em estruturas existentes (Mehta e Monteiro, 2008). Nos últimos anos, por exemplo, os resíduos de construções têm se sobressaído quando se trata de fatores de degradação ambiental, representando 25% a 33% dos resíduos sólidos na União Europeia (Det Udomsap e Hallinger 2020), e, nos Estados Unidos, quase 70% do total de resíduos sólidos não industriais (EPA 2007). Acredita-se que 48% do resíduo de construção seja originado das demolições, 44% seja de reformas e que apenas 8% desse total seja resultante de novas construções (Baptista Junior e Romanel 2013).

As fachadas são elementos construtivos altamente susceptíveis à degradação ambiental, muito em virtude da exposição aos diversos fatores climáticos externos como radiação solar extrema, variação brusca de temperatura e poluição (Jelle 2012). Estudos indicam que as fachadas estão entre os elementos mais afetados por patologias. Isso significa que as fachadas representam, juntamente com as coberturas, mais de 50% do total de registros (Freitas, Alvez e Souza 2007). Além disso, devido a sua função prioritariamente protetiva, a degradação das fachadas normalmente desencadeia uma série de outros problemas à construção (Eleftheriadis e Hamdy 2017).

Embora seja perceptível o alto custo associado a reparos em revestimentos de fachadas e, conseqüentemente, a necessidade de uma avaliação de durabilidade para seu desenvolvimento (Maia, Ramos e Veiga 2019), percebe-se que esse local em específico ainda recebe pouca atenção, sendo seu estudo pouco representativo quando comparado a outros elementos construtivos. Nesse contexto, essa pesquisa busca realizar uma revisão em pesquisas publicadas com o objetivo de determinar os principais métodos de avaliação de durabilidade aplicados a argamassas cimentícias de revestimento de modo a promover embasamento bibliográfico e metodológico às sistemáticas de avaliação de durabilidade de futuras pesquisas e ao conseqüente avanço do conhecimento acerca da degradação em argamassas de revestimento.

2. FACHADAS EM EDIFICAÇÕES

As fachadas constituem um sistema complexo de envoltória vertical de uma edificação e atuam como primeira barreira às agressões externas (Pereira, de Brito e Silvestre 2018). Do ponto de vista arquitetônico, elas desempenham importante papel estético por serem o elemento de maior ênfase em uma edificação; já do ponto de vista da engenharia, elas são as responsáveis pela proteção das condições internas e pela melhoria do desempenho sustentável dos edifícios (Halawa et al. 2018).

O elemento de fachada é um dos de maior complexidade de uma edificação (Halawa et al. 2018) e também um dos mais sensíveis à degradação. Conseqüentemente, esse elemento é o segundo com maior custo associado a obras de reparo (FIGURA 1) (Alves 2008). Embora notória a importância do tema, a degradação das fachadas ainda é foco secundário na maior parte das investigações científicas (Freitas, Alvez e Souza 2007).

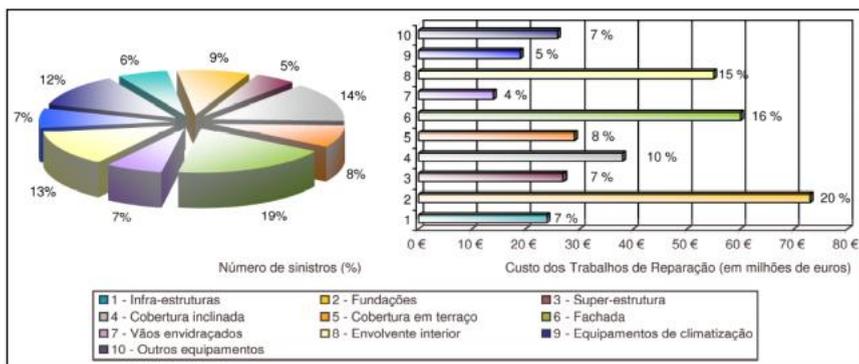


Figura 1 – Representatividade de patologias em elementos construtivos.

Fonte: Alves (2008).

A alta frequência de ocorrências patológicas nas fachadas faz desse um elemento crítico, principalmente quando associado à exigência de um valor de vida útil de projeto (VUP) que, no Brasil, é de 40% a 80% do valor da VUP da estrutura, ou seja, entre 20 e 40 anos (ABNT 2013a).

Normalmente, as soluções para vedação e revestimento de fachada em construções são divididas em três tipologias distintas, a saber: alvenaria e revestimento aderido com substrato em argamassa; alvenaria ou divisória com revestimento tipo cortina ou ventilado; e fachada cortina e seus subtipos como painéis de concreto, *light steel framing* com placas cimentícias, pele de vidro, *structural glazing* e módulos de vidro unitizados (Medeiros et al. 2014). No entanto, devido ao seu baixo custo e à pouca especificidade de mão de obra, as construções tradicionais utilizam fachada com revestimento em argamassa cimentícia.

2.1 AGENTES E PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO

Para avaliar a durabilidade de uma fachada, é necessário a identificação das agressões que irão afetá-la, além da identificação dos seus componentes (Pereira, de Brito e Silvestre 2018), visto que cada material usado terá diferentes resistências e durabilidades em função dos diversos fatores de exposição climática (Jelle 2012).

Os fatores que atuam de forma deletéria nos materiais são denominados de agentes de degradação. A identificação desses agentes pode ser uma tarefa complexa, já que esses são particulares para cada edifício ou mesmo para cada face da fachada. Além disso, normalmente ocorre uma ação conjunta de vários agentes, o que dificulta ainda mais a identificação dos mecanismos de degradação atuantes. A ISO (2011) apresenta as classes dos agentes de degradação de materiais dos elementos construtivos em função de sua procedência (QUADRO 1).

Procedência	Classe
Provenientes da atmosfera	Água no estado líquido
	Umidade
	Temperatura
	Radiação solar - radiação ultravioleta
	Gases de oxigênio
	Ácido sulfúrico
	Gases ácidos
	Bactérias, insetos
	Vento com partículas em suspensão
Provenientes do solo	Sulfatos
	Cloretos
	Fungos

	Bactérias
	Insetos
Provenientes ao uso	Esforços de manobra
	Agentes químicos normais e uso doméstico
Provenientes do projeto	Compatibilidade química
	Compatibilidade física
	Cargas permanentes e periódicas

Quadro 1 – Procedência dos agentes de degradação.

Fonte: adaptado de ISO (2011).

Normalmente, a degradação em fachadas são decorrentes de fatores de exposição climática (Jelle 2012), de forma que os fenômenos provenientes da atmosfera são os mais agressivos aos elementos de fachada. Segundo a ASTM E632-82 (1996), a radiação, a temperatura, a chuva e outras formas de água, como gelo, degelo e constituintes normais do ar, como seus poluentes e os ventos, são os grupos de fatores associados ao ambiente natural.

2.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DURABILIDADE

A durabilidade de um material pode ser avaliada a partir das metodologias de ensaios de degradação natural, de degradação acelerada e de estudos de deterioração em uso (John, Agopyan e Prado 1997).

Nos ensaios de degradação natural, os materiais são expostos aos fatores de degradação climáticos. Esses materiais, que serão submetidos durante seu uso habitual, irão agir, simultaneamente, em sua intensidade normal, de forma que sua utilização acabe por facilitar a visualização e a avaliação dos efeitos (Caldas e Silva, Jr e John 2009). Entretanto, seu uso normalmente é limitado ao tempo reduzido das pesquisas, as quais, em geral, demandam um longo período de exposição das amostras avaliadas (Bentur e Akers 1989) e da variabilidade dos agentes agressores em função do clima ou das especificidades do local. Diante disso, os resultados, muitas vezes, não conseguem ser aplicados ou refeitos em outra região.

Os processos naturais de envelhecimento costumam demorar muito tempo e, amiúde, a decisão de construir não pode esperar pelos seus resultados. Isso significa, dada tal especificidade, que os ensaios de envelhecimento acelerado se tornam uma procedimento mais viável (Jelle 2012). No processo de envelhecimento acelerado, o objetivo é

simular a degradação ocasionada em um ambiente por meio da exposição do material a intensidades elevadas de seus principais agentes de degradação (Caldas e Silva e Jr e John 2009), de modo a se obter dados de envelhecimento do material em curtos prazos e em condições controladas.

Os ensaios de deterioração em uso são os mais eficazes na avaliação de materiais por submeter a condições reais de exposição, de conformação e de interação com outros sistemas construtivos (Caldas e Silva, Jr e John 2009). Entretanto, esses ensaios demandam, também, longo tempo de exposição e elevado custo associado à sua aplicação.

3 METODOLOGIA

A proposta deste trabalho é obter, por meio de uma pesquisa qualitativa, dados sobre aplicação e relevância de metodologias de avaliação de durabilidade de argamassas de revestimento externo, qualificando as principais sistemáticas de ensaios e de aplicação de agentes de degradação utilizados nos últimos anos. A pesquisa ainda oferece uma breve contextualização a partir dos principais conceitos relacionados à durabilidade e aos processos de degradação.

Para elaboração dessa revisão, foram realizadas pesquisas nas bases de dados *ScienceDirect*, *Scopus* e bibliotecas virtuais, sendo, então, analisados os resumos dos artigos localizados e selecionados somente aqueles que contemplam procedimentos de avaliação de durabilidade em argamassas cimentícias passíveis de aplicação como revestimento externo em fachadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Grande parte dos artigos alcançados na pesquisa realizada para o desenvolvimento deste trabalho tratam da avaliação de durabilidade de argamassas inovadoras obtidas por meio da substituição de algum dos materiais convencionais – areia e cimento ou a adição de algum tipo de resíduo, material orgânico ou subproduto industrial.

Foi verificado que diversas pesquisas utilizam propriedades da composição para avaliar indiretamente a durabilidade da argamassa. Autores como Pachideh, Gholhaki e Ketabdari (2020) e Seifan,

Mendoza e Berenjian (2020) associaram a durabilidade unicamente à propriedade de absorção de água nas argamassas. Pachideh, Gholhaki e Ketabdari (2020), com base na realização do ensaio nas amostras de argamassa cimentícia com substituição parcial (7, 14, 21 e 28%) de agregado miúdo por resíduos de ferro, de borracha, de vidro e de casca de ovo, consideraram que a menor absorção de água resulta em maior durabilidade. Os testes foram realizados nas amostras com idade de 7, 28, 56 e 90 dias; a partir disso, foi detectado que as absorções máximas e mínimas obtidas pertenceram às amostras contendo adição de pó de borracha e de ferro, respectivamente. Além disso, devido à característica do cimento Portland utilizado na pesquisa, foi constatada baixa alteração entre os resultados em idades avançadas - após 28 dias de idade. Embora a absorção seja uma propriedade importante para a durabilidade do material, sua consideração como elemento isolado torna os resultados da pesquisa limitados.

Um dos parâmetros associados à durabilidade por Gruszczyński e Lenart (2020) foi o da magnitude de deformação por contração, juntamente a outros indicadores como absorção de água e resistência ao degelo. Nessa pesquisa, foram utilizadas amostras de argamassa convencional de cimento Portland na proporção 1:3:0,5 (cimento:areia:água) e argamassas modificadas com adição de dispersões de silicato de alumínio amorfo e sílica ativa. O ensaio de magnitude de deformação por contração foi realizado conforme a ÖNORM B 3329, no qual os autores fizeram medições da tensão de contração mediante a aplicação de calhas automáticas de contração, sendo essas equipadas com sensores eletrônicos de deslocamento. Essas medições foram realizadas por 90 dias com as amostras sob temperatura de 20°C e umidade entre 50% e 60%, ação que determinou o encolhimento geral que ocorreu no compósito associado à retração química, ou seja, alterações de volume durante a reação de hidratação e a retração por secagem devido à evaporação da água da superfície do elemento, condições bastante prejudiciais à durabilidade do material. Como resultado, foi verificado que a dosagem com sílica ativa da ordem de 10% resultou em uma retração 3 vezes maior que a da argamassa controle; já a contração da argamassa com aditivo de silicato de alumínio amorfo a 10% foi ligeiramente maior do que a da argamassa de controle. Embora altamente precisa, devido à ausência do erro relacionado ao fator humano, essa técnica não considerou

variações de temperatura ou variações bruscas de umidade, que são fatores de grande influência à retração por secagem.

Diversas pesquisas relacionaram a durabilidade do material à degradação causada por agentes poluentes do ar (CO_2 e Cl^-), determinando a frente carbonatada e/ou profundidade da penetração de cloretos (Gonçalves et al. 2020; Lozano-Lunar et al. 2019; Li et al. 2018a; Li et al. 2018b; Le, Tribout e Escadeillas 2019). Gonçalves et al. (2020) realizaram o ensaio de carbonatação acelerada com medição nos períodos de 28 e 91 dias de exposição em amostras de argamassa com substituições parciais do cimento por óxido de magnésio reativo e de areia natural por areia reciclada. Os autores verificaram que a incorporação dos materiais alternativos gerou um aumento da carbonatação nas amostras de argamassa; porém, não especificaram o tipo de contribuição que esse resultado gerou às amostras. Lozano-Lunar et al. (2019) utilizaram amostras de argamassa com uso de resíduo industrial (pó de forno elétrico a arco) e realizaram o ensaio com 7, 14, 28 e 56 dias de exposição, com amostras sob condições de $5 \pm 0,1\%$ de CO_2 , $60 \pm 5\%$ de umidade e temperatura de $23 \pm 3^\circ \text{C}$. Os resultados mostraram um significativo aumento na velocidade de carbonatação das amostras com resíduo em função do aumento na dimensão dos poros do material, já que são formados “grandes capilares” (aqueles maiores que $10 \mu\text{m}$). Já Li et al. (2018a) e Li et al. (2018b), a partir da normatização chinesa GB / T 50082-2009, utilizaram, na exposição, a temperatura de $20 \pm 2^\circ \text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 5\%$ e concentração de CO_2 em $20 \pm 3\%$, certificando os efeitos com 28 dias de ensaio. As pesquisas demonstraram que a adição de pó de granito e de pó de mármore em argamassas diminui a profundidade de carbonatação, proporcionando a melhoria da resistência da carbonatação das argamassas e o aumento de suas durabilidades. De acordo com Mazurana (2019), a principal consequência da carbonatação é a redução do pH, o que torna a armadura suscetível à corrosão, aspecto que, nesse caso, é benéfico em estruturas não armadas, tendo em vista que a argamassa atua como um processo de captura de CO_2 da atmosfera, gerando, assim, uma medida compensatória para o impacto ambiental propiciado pelo ciclo de vida das construções.

Le, Tribout e Escadeillas (2019) realizaram o ensaio de penetração de íons cloreto, utilizando uma solução de NaCl a 10% e a

solução de NaOH 0,3 mol / l durante 24 horas, e de carbonatação, expondo as amostras durante 7 dias a 4% de CO₂ e 65% de umidade em amostras de argamassa com taxas de areia reciclada carbonatada e não carbonatada. O ensaio de difusão de íons cloreto indicou uma redução na migração nas amostras com areia reciclada carbonatada, mas, por outro lado, um aumento nas amostras com areia reciclada não carbonatada. Os resultados também indicaram uma redução na velocidade de carbonatação em ambas as amostras com agregados reciclados devido à redução dos produtos carbonáveis disponíveis. Gopalakrishnan e Jeyalakshmi (2020) submeteram amostras de argamassas com substituição parcial de cimento por material nano e micro pozolânico (pozolana, cinza volante, metacaulim e escória com nano aditivos) a migração de íons por apenas 6 horas, sendo esse denominado teste rápido de penetração de íons cloreto. Os resultados asseguraram que a inclusão dos materiais de forma combinada alcança uma proteção mais forte contra a penetração de íons cloro no sistema em função do aumento de sua dureza, que diminui o fluxo do íon cloro livre. Embora, normalmente, os ensaios de penetração de íons cloretos sejam aplicados em estruturas de concretos, por gerarem problemas severos relacionados à corrosão de suas armaduras, seu estudo em argamassas deve ser considerado, já que grande parte das estruturas de concreto possuem revestimento em argamassa, sendo essa uma barreira inicial a ser transposta antes que os íons cloreto cheguem ao concreto (Malheiro, Meira e Lima 2014).

Para a verificação dos resultados dos ensaios de carbonatação e de migração de íons cloreto, é normal que as amostras sejam divididas diametralmente e perpendicularmente à direção da penetração dos agentes agressivos. Posteriormente, determina-se a frente carbonatada pela pulverização de uma solução de fenolftaleína a 1% em álcool etílico a 70%, de forma que a parte não carbonatada exibe uma cor púrpura devido à redução da alcalinidade, enquanto a parte carbonatada permanece cinza. Para determinar a profundidade de penetração de cloretos, aplica-se uma solução de AgNO₃. (Ferreira, Paliga e Torres 2019).

Um outro parâmetro para a durabilidade de uma argamassa cimentícia é o de resistência a sulfatos, cujo ensaio foi realizado por alguns autores com tempos variados de exposição e de concentração da solução de Na₂ SO₄ (Mobili et al. 2020; Abraham e Ransinchung 2019;

Coppola et al. (2018). Mobili et al. (2020) realizaram a imersão parcial de argamassas de ligantes alternativos (sulfoaluminato de cálcio e cimento ativado por álcali) em solução de 14% Na_2SO_4 por 21 dias após a cura das amostras por 28 dias. Os autores apuraram que as argamassas à base de sulfoaluminato de cálcio se comportaram como as argamassas à base de cimento convencional, apresentando fissuras mais extensas e formação de eflorescências em corpos de prova com resistência mais baixa. Como os outros dois tipos de argamassas, as misturas à base de cimento ativado por álcalis mostraram uma eflorescência mais extensa quanto mais baixas suas resistências. Entretanto, nelas não foram detectadas fissuras, uma vez que essas argamassas são caracterizadas por possuírem maiores poros. Abraham e Ransinchung (2019) realizaram a imersão completa de amostras de argamassa com resíduo de pavimento asfáltico na solução de 5% de Na_2SO_4 com exposição de 90 dias, sendo avaliada sua durabilidade em termos da variação da resistência à compressão após o período de imersão. Os resultados indicaram a diminuição da resistência devido ao ataque por sulfatos em amostras com 75% e 100% de resíduo e o aumento nas amostras com 25% e 50%. De acordo com os autores, os resultados contraditórios entre as misturas podem ser devido à diferença na taxa de formação e de enchimento dos produtos de cristalização de sal em fissuras ou microporos. Coppola et al. (2018) constataram a maior resistência ao ataque por sulfatos de argamassas leves com uso de agregado de resíduos espumados, já que essas possuem poros maiores que as argamassas convencionais, reduzindo, assim, as pressões internas causadas pelos fenômenos expansivos da etringita. Entretanto, o aumento de macroporos na estrutura deve ter seus efeitos analisados de forma mais ampla, haja vista a contribuição desses agentes para efeitos adversos no material como, por exemplo, a perda de resistência mecânica, o que impossibilita, desse modo, o seu uso.

Boukhelkhal et al. (2019) associaram a durabilidade de argamassas autoadensáveis à perda de resistência e de massa causada pela imersão das amostras em soluções de ácido sulfúrico com concentração entre 3% e 10% durante 360 dias. Os autores produziram dez amostras de argamassas autoadensáveis utilizando taxas de substituição de cimento por três tipos minerais (pó de mármore, pó de tijolo e metacaulim). Os resultados indicaram um

ganho de massa em todas as amostras nos primeiros sete dias de ensaio, mas com reduções sucessivas de massa até o final do período. Em 360 dias de imersão, a perda de massa de todas as amostras variou entre 81,43% e 100%, sendo os maiores valores verificados nas amostras com metacaulim, de forma que essas foram completamente danificadas.

Huseien et al. (2018) realizaram processos de envelhecimento acelerado por meio de processos de umedecimento e de secagem em argamassas alcali-ativadas com substituição parcial da cinza do óleo de palma por cinza volante. A metodologia buscou simular condições climáticas da Malásia mediante a aplicação de 150 ciclos, cada um desses composto por 3 dias em condição seca (65°C) e 1 dia em condição úmida (27°C). A partir disso, foram avaliadas alterações nas dimensões, na massa, na velocidade de pulso ultrassônico e na resistência. Como resultado, verificou-se redução na massa e resistência mecânica das amostras, o que proporcionou uma redução de 28,7% de resistência nas amostras com 50% de substituição. Em função a ação deletéria ocasionada pela substituição da cinza do óleo de palma por cinza volante na argamassa, os autores sugerem a utilização de amostras com taxas de até 10% de substituição. O trabalho fez referência às condições climáticas da Malásia; porém, ele não menciona a fidelidade das variações de temperatura e de umidade das condições reais do local de estudo e não indica uma análise prévia dessas informações, aspecto que pode acarretar em uma incompatibilidade entre os efeitos aplicados em pesquisa e os naturais.

De Souza Kazmierczak et al. (2020) utilizaram o procedimento descrito pela ABNT NBR 15575-4 (2013b) para a realização de testes de envelhecimento acelerado com a finalidade de avaliar a durabilidade de argamassas com substituição parcial de areia por borracha triturada. Nesse processo, foram realizados dez ciclos de aquecimento-resfriamento aplicado em a uma parede com revestimento na argamassa proposta. O aquecimento foi realizado por meio de lâmpadas de alta luminância; partindo disso, foi, então, efetuado o monitoramento da temperatura da superfície a partir de termopares do tipo k. Após permanecer uma hora com temperatura de 80°C, a superfície foi resfriada pela aspensão de água até atingir 20 °C. Os resultados indicaram que a inclusão de borracha fragmentada

nas argamassas de reboco aumenta sua durabilidade, uma vez que reduz sua fissuração e mantém a resistência à tração no mesmo nível da argamassa de referência após a finalização do processo de degradação. Embora esse seja um procedimento normatizado, eles desconsideraram muitos dos principais agentes agressores dos revestimentos externos como, por exemplo, a incidência de raios UV, muito associado à degradação de materiais poliméricos utilizados na composição proposta pelos autores.

Algumas pesquisas utilizaram ciclos de congelamento e de degelo como método de avaliação de durabilidade (Sun et al. 2020; Mardani-Aghabaglou et al. 2019). Sun et al. (2020) avaliaram a durabilidade de argamassas produzidas com areia do mar utilizando até 450 ciclos contínuos de congelamento e de degelo com temperaturas variando entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, com 8 horas de duração em cada ciclo, sendo 4 horas de congelamento e 4 de degelo. Os autores identificaram que a perda de massa das amostras aumentou linearmente com o aumento dos ciclos de congelamento e de descongelamento. Eles identificaram, ainda, uma redução significativa nas resistências à flexão e à compressão das amostras após 450 ciclos de gelo-degelo quando comparada às amostras de referência, verificando, com isso, a ação prejudicial da areia do mar na composição. Mardani-Aghabaglou et al. (2019) realizaram 300 ciclos de gelo-degelo a partir de amostras de argamassa congeladas no ar com temperatura variando entre $5 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-18 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de 3 horas e descongeladas em água com variação de temperatura de $-18 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $5 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de 1 hora. Essa atitude permitiu aos pesquisadores a constatação de um aumento na resistência a ciclos de gelo-degelo em amostras de argamassa com agregado de concreto reciclado. Os autores justificaram esse fato devido ao caráter poroso do agregado reciclado que fornece alívio da pressão que é gerada durante esse processo expansivo, reduzindo, de tal modo, os danos internos.

Joshaghani, Balapoir e Ramezanieanpou (2018) relacionaram a durabilidade das argamassas à sua capacidade de retenção de umidade. O procedimento de ensaio foi realizado conforme a ASTM C 156 (2017) e se deu por intermédio de amostras curadas em água que foram pesadas a cada 2 horas durante um período total de 72 horas. Ao final desse processo, foi obtida a relação entre a massa perdida e a

massa da amostra. Os resultados da pesquisa indicaram existir uma relação direta entre a perda de umidade das amostras e a temperatura de exposição devido ao aumento da taxa de evaporação da água, além de uma relação inversa com a umidade relativa. Autores como Surana, Pillai e Santhanam (2017) destacaram esse como um dos principais fatores da qualidade de materiais cimentícios, pois esse aspecto se configura como um importante causador de trincas com consequente impacto a sua durabilidade.

Foi identificado um pequeno número de pesquisas que aplicam degradação provenientes de cargas em argamassas, quantidade normalmente justificada pela consideração da pouca agressividade desse tipo de degradação quando comparada aos fenômenos provenientes da atmosfera. Entretanto, Junco et al. (2018) avaliaram a durabilidade de argamassas com uso de resíduos de poliuretano por meio de testes de fadiga com a aplicação de 300.000 ciclos de carga com valores entre 20% e 60% da tensão de ruptura. Os resultados indicaram que a amplitude de deformação, as deformações máximas e as residuais foram maiores em traços com maiores taxas de resíduo, o que indica que essas misturas se adaptaram melhor às deformações da base causadas por ciclos de carga e descarga.

Maia, Ramos e Veiga (2019), em seu artigo, propuseram uma nova metodologia de avaliação de durabilidade com base em ciclos de envelhecimento acelerado que combinam efeitos da variação de temperatura e ação da água de duas maneiras distintas: ciclos de variação térmica (calor-frio) e diminuição abrupta de temperatura de uma fachada quente por uma chuva fria (calor-chuva). Os autores desenvolveram um algoritmo teórico referente aos períodos de aquecimento e de resfriamento que permite a determinação das temperaturas dos ciclos com base nas temperaturas de cada clima e fixa valores e durações dos ciclos de calor-frio e calor-chuva. Essa nova metodologia permite a obtenção de parâmetros de durabilidade de argamassas de revestimento adaptando essa análise para cada zona climática. Maia, Ramos e Veiga (2019) admitiram a necessidade de uma análise adicional dos efeitos da radiação UV e ciclos de gelo-degelo em função das características climáticas das regiões em estudo, sendo a primeira um incremento fundamental para regiões caracterizadas por alta incidência solar como a brasileira.

Os ensaios de degradação natural, embora em menor quantidade, também foram aplicados em argamassas. Nakarai et al. (2019) fizeram uma discussão sobre a durabilidade de argamassas com uso de resíduos de madeira de cedro japonês com base nos resultados da aplicação por quatro anos de lixiviação de cálcio em ação conjunta do cloreto de sódio. Nesse procedimento, as amostras foram imersas em água modificada por íons e cloreto de sódio aquoso (3% em massa), havendo a circulação contínua do fluido, trocado a cada 7 dias no máximo, mediante o uso de um sistema de bombeamento. Os resultados indicaram a diminuição da resistência a lixiviação de cálcio causada pelo uso de resíduo de madeira na composição, porém, essas reduções não foram significativas devido à compensação gerada pela hidratação adicional do cimento em água.

5 CONCLUSÕES

Em virtude do alto impacto econômico, social e ambiental gerado pelos reparos em construções, o estudo da degradação ganha espaço nos ambientes acadêmicos. Nesse contexto, as fachadas surgem como elementos de grande sensibilidade, muito em parte por sua alta exposição à agentes agressivos naturais, o que dá origem a um elevado número de ocorrências patológicas.

As pesquisas analisadas indicam a existência de uma vasta gama de procedimentos aplicados à avaliação de durabilidade de argamassas cimentícias. Nelas, foram identificadas análises de dados de degradação acelerada e natural, e, majoritariamente, aplicação de agentes de degradação provenientes da atmosfera.

Diversos autores utilizam parâmetros indiretos para avaliar a durabilidade do material. Normalmente, essas características são relacionadas à porosidade, que trata da facilidade da penetração dos agentes agressivos na composição. Outra metodologia é a do emprego de ensaios de envelhecimento acelerado mediante a aplicação de agentes poluidores do ar (CO₂ e Cl-) com verificação da frente carbonatada e/ou profundidade da penetração de cloretos. Alguns estudos aplicaram agentes de degradação de maneira cíclica, normalmente com variações de umidade e de temperatura ou gelo e degelo, de forma a simular o ambiente natural de maneira mais semelhante possível.

Constatou-se, também, que os resultados obtidos nas pesquisas são limitados em virtude da aplicação de poucos agentes agressivos e da falta de simultaneidade entre eles, visto que, no ambiente natural, esses agentes ocorrem concomitantemente e seus efeitos podem ser acumulativos. Outro complicador é a falta de correspondência entre a natureza e a intensidade dos agentes naturais e dos aplicados em ensaios, que podem não representar fidedignamente as características do ambiente em análise. Embora a aplicação de ensaios de degradação natural solucione as questões apresentadas, sua execução fica muitas vezes impossibilitada devido à necessidade de longos períodos de análise. É sugerido às futuras pesquisas o desenvolvimento de metodologias com aplicação de agentes agressivos de forma simultânea, além da determinação de sua natureza e da intensidade a partir de estudos de parâmetros atmosféricos locais como temperatura, umidade, incidência solar e poluentes.

5 REFERÊNCIAS

1. Abraham, Sarah Mariam e G. D. R. N. Ransinchung. 2019. "Effects of Reclaimed Asphalt Pavement aggregates and mineral admixtures on pore structure, mechanical and durability properties of cement mortar". *Construction and Building Materials*, 216: 202-213. [https://doi.org/ 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.011](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.011).
2. Alves, Sandro Miguel Martins. 2008. "Um contributo para a sistematização do conhecimento da patologia da construção." Dissertação (Mestre em engenharia civil — especialização em construções), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
3. American Society for Testing and Materials. 1996. *ASTM E632-82: Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
4. American Society for Testing and Materials. 2017. *ASTM C1202: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2013a. *NBR 15575-1: Edificações habitacionais — desempenho - parte 1: requisitos gerais*. Rio de Janeiro: ABNT.
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT. 2013b. *NBR 15575-4: Edificações habitacionais — desempenho - parte 4: requisitos gerais*. Rio de Janeiro: ABNT.
7. Baptista Junior, Joel Vieira e Celso Romanel. 2013. "Sustentabilidade Na Indústria Da Construção: Uma Logística Para Reciclagem Dos Resíduos De Pequenas Obras." *Urbe. Revista Brasileira De Gestão Urbana* 5, no. 2: 27-37. <https://doi.org/10.7213/urbe.05.002.SE02>.
8. Bao, Zhikang e Weisheng Lu. "Developing Efficient Circularity for Construction and Demolition Waste Management in Fast Emerging Economies: Lessons Learned from Shenzhen, China." *The Science of the Total Environment* 724 (2020): 138264.

9. Benachio, Gabriel Luiz Fritz, Maria Do Carmo Duarte Freitas e Sergio Fernando Tavares. "Circular Economy in the Construction Industry: A Systematic Literature Review." *Journal of Cleaner Production* 260 (2020): *Journal of Cleaner Production*, 01 July 2020, Vol.260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>.
10. Bentur, A. e S. A. S Akers. 1989. "The Microstructure and Ageing of Cellulose Fibre Reinforced Cement Composites Cured in a Normal Environment." *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* 11, no. 2: 99-109. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(89\)90120-6](https://doi.org/10.1016/0262-5075(89)90120-6).
11. Boukhelkhal, Aboubakeur, Lakhdar Azzouz, Said Kenai, El-Hadj Kadri e Benchaa Benabed. 2019. "Combined Effects of Mineral Additions and Curing Conditions on Strength and Durability of Self-compacting Mortars Exposed to Aggressive Solutions in the Natural Hot-dry Climate in North African Desert Region". *Construction & Building Materials*, 197: 307-18. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(89\)90120-6](https://doi.org/10.1016/0262-5075(89)90120-6).
12. Caldas e Silva, Aluizio, Holmer Savastano Jr e Vanderley Moacyr John. 2009. "Envelhecimento de compósitos à base de escória de alto-forno reforçados com polpa celulósica residual de eucalipto". *Revista Ambiente Construído* v. 9 n.1.
13. Coppola, Bartolomeo, Luc Courard, Frédéric Michel, Loredana Incarnato, Paola Scarfato e Luciano Di Maio. 2018. "Hygro-thermal and durability properties of a lightweight mortar made with foamed plastic waste aggregates". *Construction and Building Materials*, 170: 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.083>.
14. De Souza Kazmierczak, Claudio, Samuel Dutra Schneider, Orlando Aguilera, Cristhiana Carine Albert e Maurício Mancio. 2020. "Rendering Mortars with Crumb Rubber: Mechanical Strength, Thermal and Fire Properties and Durability Behaviour." *Construction & Building Materials*, 253, vol. 253 (agosto). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119002>.
15. Det Udomsap, Amornrut e Philip Hallinger. 2020. "A Bibliometric Review of Research on Sustainable Construction, 1994–2018." *Journal of Cleaner Production* 254. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120073>
16. Eleftheriadis, Georgios e Mohamed Hamdy. 2017. "Impact of building envelope and mechanical component degradation on the whole building performance: a review paper." *Energy Procedia*, 132: 321-326. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.739>.
17. European Union. 2011. "The Construction Products Regulation " No 305/2011 (CPR). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:EN:PDF>.
18. Ferreira, C., Silva, A., de Brito, J., Dias e I. S. & Flores-Colen, I. 2021. "The impact of imperfect maintenance actions on the degradation of buildings' envelope components." *Journal of Building Engineering*: 101571. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101571>.
19. Ferreira, Carina Farias, Charlei Marcelo Paliga e Ariela da Silva Torres. 2019. "Comportamento do concreto frente à ação de cloretos e CO₂ na cidade de Pelotas/RS". *Reec - Revista Eletrônica De Engenharia Civil*, 15 (2):35-49. <https://doi.org/10.5216/reec.v15i2.51363>.
20. Freitas, V. P. D., Alves, S. e M. Sousa. 2007. "Um contributo para a sistematização do conhecimento da patologia da construção em Portugal". *Anais do. 2º Congr. Mortars Constr.* Lisboa, Portugal.
21. Gonçalves, T., R. V. Silva, J. De Brito, J. M. Fernández e A. R. Esquinas. 2020. "Mechanical and Durability Performance of Mortars with Fine Recycled Concrete Aggregates and Reactive Magnesium Oxide as Partial Cement Replacement." *Cement & Concrete Composites*, 105, vol. 105 (janeiro). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103420>.
22. Gopalakrishnan, Ramasamy e Ramaswamy Jeyalakshmi. 2020. "The effects on durability and mechanical properties of multiple nano and micro additive OPC mortar exposed to combined chloride and sulfate attack". *Materials Science in Semiconductor Processing*, 106: 104772. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.104772>.

23. Gostin, Lawrence O e Eric A Friedman. "The Sustainable Development Goals: One-Health in the World's Development Agenda." *JAMA : The Journal of the American Medical Association* 314, no. 24 (2015): 2621-622. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.16281>.
24. Gruszczyński, Maciej e Malgorzata Lenart. 2020. "Durability of Mortars Modified with the Addition of Amorphous Aluminum Silicate and Silica Fume." *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 107, vol. 107 (junho). <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102526>.
25. Górecki, Jarosław, Pedro Núñez-Cacho, Francisco Antonio Corpas-Iglesias e Valentín Molina. "How to Convince Players in Construction Market? Strategies for Effective Implementation of Circular Economy in Construction Sector." *Cogent Engineering* 6, no. 1 (2019): 1-23. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1690760>.
26. Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Trombley, J., Hassan, N., Baig, M. e Azzam Ismail, M. 2018. "A review on energy conscious designs of building façades in hot and humid climates: Lessons for (and from) Kuala Lumpur and Darwin." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82: 2147-2161. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.061>.
27. Huseien, Ghasan Fahim, Mahmood Md Tahir, Jahangir Mirza, Mohammad Ismail, Kwok Wei Shah e Mohammad Ali Asaad. 2018. "Effects of POFA Replaced with FA on Durability Properties of GBFS Included Alkali Activated Mortars." *Construction & Building Materials*, 175: 174-86. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.166>.
28. International Organization for Standardization - ISO. 2011. *ISO 15686-1: Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework*. Geneva: International Organization for Standardization.
29. International Organization for Standardization - ISO. 2008. *ISO 13823: General principles on the design of structures for durability*. Geneva: International Organization for Standardization.
30. Jelle, Bjorn Petter. 2012. "Accelerated Climate Ageing of Building Materials, Components and Structures in the Laboratory." *Journal Of Materials Science* 47, no. 18: 6475-496. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6349-7>.
31. John, V. M., V. Agopyan e A. T. Prado. 1997. "Durabilidade de Compósitos de Cimento e Fibras Vegetais". Apresentado em Workshop durabilidade das construções, 1997, São Leopoldo.
32. Joshaghani, Alireza, Mohammad Balapour e Ali Akbar Ramezaniyanpour. 2018. "Effect of controlled environmental conditions on mechanical, microstructural and durability properties of cement mortar." *Construction and Building Materials*, 164: 134-149. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.206>.
33. Junco, C., A. Rodríguez, V. Calderón, C. Muñoz-Rupérez e S. Gutiérrez-González. 2018. "Fatigue durability test of mortars incorporating polyurethane foam wastes". *Construction and Building Materials*, 190: 373-381. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.161>.
34. Kang, Rui, Wenjun Gong e Yunxia Chen. 2020. "Model-driven Degradation Modeling Approaches: Investigation and Review." *Chinese Journal of Aeronautics* 33, no. 4: 1137-153. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.12.006>.
35. Le, Manh Tan, Christelle Tribout e Gilles Escadeillas. 2019. "Durability of Mortars with Leftover Recycled Sand". *Construction & Building Materials*, 215: 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.179>.
36. Li, L. G., Z. H. Huang, Y. P. Tan, A. K. H. Kwan e F. Liu. 2018b. "Use of marble dust as paste replacement for recycling waste and improving durability and dimensional stability of mortar". *Construction and Building Materials*, 166: 423-432. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.154>.
37. Li, L. G., Y. M. Wang, Y. P. Tan, A. K. H. Kwan e L. J. Li. 2018a. "Adding granite dust as paste replacement to improve durability and dimensional stability of mortar". *Powder Technology*, 333: 269-276. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.04.055>.

38. Lozano-Lunar, A., Pedro R Da Silva, Jorge De Brito, J.I Álvarez, J.M Fernández e J.R Jiménez. 2019. "Performance and Durability Properties of Self-compacting Mortars with Electric Arc Furnace Dust as Filler". *Journal of Cleaner Production*, 219: 818-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.145>.
39. López Ruiz, Luis Alberto, Xavier Roca Ramón e Santiago Gassó Domingo. "The Circular Economy in the Construction and Demolition Waste Sector – A Review and an Integrative Model Approach." *Journal of Cleaner Production* 248 (2020): Journal of Cleaner Production, 01 March 2020, Vol.248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119238>.
40. Maia, J., Nuno M.M Ramos e R. Veiga. 2019. "A New Durability Assessment Methodology of Thermal Mortars Applied in Multilayer Rendering Systems." *Construction & Building Materials* 222: 654-63. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.178>.
41. Malheiro, Raphaele Meireles de Castro, Gibson Rocha Meira e Munique Silva de Lima. 2014. "Influência da camada do revestimento de argamassa na penetração de cloretos em estruturas de concreto". *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1:41-55. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000100005>.
42. Mardani-Aghabaglou, Ali, Cihat Yüksel, Ahsanollah Beglarigale e Kambiz Ramyar. 2019. "Improving the Mechanical and Durability Performance of Recycled Concrete Aggregate-bearing Mortar Mixtures by Using Binary and Ternary Cementitious Systems." *Construction & Building Materials*, 196: 295-306.
43. Mazurana, Lissandra. 2019. "Captura de CO2 em argamassa de revestimento através da carbonatação natural". Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
44. Medeiros, J. S, Melo, M. B., Roggero, M. V. V., Pimenta Segundo, M. J. e Pietratonio, V. B. 2014. *Tecnologias de vedação e revestimento para fachada*. Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014.
45. Mehta, P. Kumar e Paulo Monteiro. 2008. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON.
46. Mobili, Alessandra, Antonio Telesca, Milena Marroccoli e Francesca Tittarelli. 2020. "Calcium Sulfoaluminate and Alkali-activated Fly Ash Cements as Alternative to Portland Cement: Study on Chemical, Physical-mechanical, and Durability Properties of Mortars with the Same Strength Class." *Construction & Building Materials*, 246, vol. 246 (junho). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.244>.
47. Nakarai, Kenichiro, Yuji Suzuki, Masanobu Mori, Lanh Si Ho, Akira Arai e Yusuke Kobayashi. 2019. "Physicomechanical Properties and Durability of a New Lightweight Porous Mortar Utilizing Woodchips." *Journal of Cleaner Production*, 235: 158-65. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.244>.
48. Pachideh, Ghasem, Majid Gholhaki e Hesam Ketabdari. 2020. "Effect of pozzolanic wastes on mechanical properties, durability and microstructure of the cementitious mortars". *Journal of Building Engineering*, 29: 101178. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101178>.
49. Pereira, Clara, Jorge De Brito e José D Silvestre. 2018. "Contribution of Humidity to the Degradation of Façade Claddings in Current Buildings." *Engineering Failure Analysis* 90: 103-15. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.028>.
50. Possan, Edna e Carlos Alberto Demoliner. 2013. "Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral.". *Revista Técnico-Científica do CREA- PR*, 1.
51. Ribeiro, Paulo Jorge Gomes e Luís António Pena Jardim Gonçalves. 2019. "Urban resilience: A conceptual framework". *Sustainable Cities and Society*, 50: 101625. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101625>.
52. Ruuska, Antti e Tarja Häkkinen. 2014. "Material Efficiency of Building Construction." *Buildings (Basel)* 4, no. 3: 266-94. <https://doi.org/10.3390/buildings4030266>.
53. Seifan, Mostafa, Shaira Mendoza e Aydin Berenjian. 2020. "Mechanical properties and durability performance of fly ash based mortar containing nano- and micro-silica

- additives". *Construction and Building Materials*, 252: 119121. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119121>.
54. Street, R., Smith, Moshabela, Shezi, Webster e Falkenberg. "Traditional Health Practitioners and Sustainable Development: A Case Study in South Africa." *Public Health (London)* 165 (2018): 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.07.021>.
 55. Sun, Feilong, Shuai Wu, Quan Jiang, Bin Wang e Hailong Zhu. 2020. "Effect of Multi-substance Film on the Surface of Sea Sand on Mechanical Properties and Durability of Mortar." *Results in Engineering*, 6 (junho). <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100117>.
 56. Surana, Saarthak, Radhakrishna G Pillai e Manu Santhanam. 2017. "Performance Evaluation of Curing Compounds Using Durability Parameters". *Construction & Building Materials*, 148: 538-47. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.055>.
 57. United States Environmental Protection Agency — EPA. 2007. *The national biennial RCRA hazardous waste report*. <http://www.epa.gov/epawaste/inforesources/data/br07/national07.pdf>.