Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ESTUDO SOBRE ARGAMASSA FOSFORESCENTE: PROPRIEDADES ÓPTICAS E APLICABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL[1]

BIASI, Bárbara (1); LÓPEZ, Dagoberto (2); VENQUIARUTO, Simone (3)

(1) Universidade Federal do Pampa, barbarapbiasi@hotmail.com
(2) Instituto Tecnológico de Sonora, dlopez@itson.edu.mx
(3) Universidade Federal do Pampa, simonevenquiaruto@unipampa.edu.br

RESUMO

A inovação na área de materiais da Engenharia Civil busca responder questões ambientais, econômicas e construtivas para o desenvolvimento sustentável e o aproveitamento dos recursos. As pesquisas sobre materiais de propriedades luminescentes com funções de iluminação, estética, arquitetura e economia de energia são exemplos em novas tecnologias. Entre elas, a argamassa fosforescente, que possibilita diferentes usos e empregos – composta por cimento branco e pigmentos fotoluminescentes que permitem a absorção, o armazenamento e a reflexão da luz de forma lenta e durável. A presente pesquisa analisou as propriedades ópticas desse tipo de argamassa, ponderando sobre sua funcionalidade, aplicabilidade e custo-benefício para a construção civil. O programa experimental contou com amostras de diferentes concentrações de pigmentos (cores verde e azul) e ensaios laboratoriais (Prova da iluminância noturna e Ensaio do aparelho Luxímetro). Por fim, constatou-se a iluminação noturna das amostras e o aumento do fluxo luminoso proporcional à concentração de pigmentos. Os valores de iluminância mostraram aptidão para a sinalização de segurança e emergência, ainda que abaixo dos mínimos para a iluminação de interiores. Outrossim, o alto custo-benefício do material retratou que a argamassa fosforescente apresenta rentabilidade para uso em pequena escala na construção civil.

Palavras-chave: Materiais da construção civil. Argamassa fosforescente. Fosforescência.

ABSTRACT

The innovation in the Civil Engineering materials area seeks to answer environmental, economic and constructive issues for the sustainable development and the use of resources. The researches on materials with luminescent properties with lighting, aesthetics, architecture and energy saving functions are examples in new technologies. Among them, the phosphorescent mortar, which allows different uses and employments – composed of white cement and photoluminescent pigments that enable the absorption, storage and reflection of light in a slow and durable way. The present research analyzed the optical properties of this type of mortar, considering its functionality, applicability and cost-benefit for civil construction. The experimental program included samples of different concentrations of pigments (green and blue colors) and laboratory tests (Night illuminance test and Luximeter device test). Finally, it was verified the samples night illumination and the luminous flux increase in proportion to the concentration of pigments. The illuminance values showed aptitude for safety and emergency

1 BIASI, Bárbara; LÓPEZ, Dagoberto; VENQUIARUTO, Simone. Estudo sobre argamassa fosforescente: propriedades ópticas e aplicabilidade na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

signs, although below the minimums for indoor lighting. Furthermore, the high cost-benefit of the material presented that the phosphorescent mortar are profitable for use on a small scale in civil construction.

Keywords: Civil construction materials. Phosphorescent mortar. Phosphorescence.

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil está em constante desenvolvimento na área de materiais que auxiliam no melhor aproveitamento do tempo, do custo e da matéria-prima. A necessidade de responder tanto a parâmetros construtivos e econômicos, quanto a ambientais corrobora com o estudo de alternativas sustentáveis para a substituição dos métodos antigos com a mesma funcionalidade e qualidade (LUCAS; AGUIAR; FERREIRA, 2010). Dentre elas, destacam-se os materiais luminescentes, como inovação científica e tecnológica de numerosas aplicações.

No setor da construção, um dos produtos mais utilizados e essenciais é a argamassa, a possibilidade de agregar novos componentes e assim admitir diferentes usos e empregos, garante a eficiência desse material (FARIA, 2012). A argamassa especial fosforescente é composta por cimento branco e pigmentos fotoluminescentes, que permitem a absorção, o armazenamento e a reflexão de luz de forma lenta e durável, mesmo após a remoção da fonte de excitação. Assim, cumpre funções de iluminação, estética e arquitetura, além de sustentabilidade e economia de energia – pode ser utilizada em estradas, fachadas, piscinas, estacionamentos, sinalizações, entre outros (FLOR; CARPIO; SANTAMARÍA, 2018, tradução nossa).

A pesquisa busca analisar as características da argamassa fosforescente, ponderando sobre sua aplicabilidade na construção civil. Para tal, foram produzidas amostras que variam quanto à concentração de pigmentos fotoluminescentes e à aplicação dos mesmos, sendo: dois tratamentos superficiais (pigmentos na resina e em pó) e outro com incorporação na argamassa. A investigação inicial e o trabalho laboratorial foram realizados no México, um dos primeiros países a estudar essa tecnologia, com José Carlos Rubio Ávalos (CARREÑO, 2016, tradução nossa).

2 OBJETIVOS

Analisar a funcionalidade, a aplicabilidade e o custo-benefício da argamassa fosforescente, a partir das suas características ópticas e estéticas, determinadas por ensaios laboratoriais (Prova da iluminância noturna e Ensaio do aparelho Luxímetro).

3 REVISÃO TEÓRICA

Os itens 3.1 e 3.2 apresentam uma breve revisão teórica sobre os principais conceitos e os antecedentes históricos sobre o tema abordado na pesquisa.

3.1 Luz, luminescência, fluorescência e fosforescência

A luz é a energia radiante de ondas eletromagnéticas com partes visíveis e divide-se em duas categorias: a incandescência com a emissão de luz devido à energia calorífica, chamada "luz quente", por exemplo, o sol e as lâmpadas incandescentes; e a luminescência com a emissão de luz absorvida de uma fonte sem a geração de calor, chamada "luz fria" de televisões, painéis solares, lâmpadas fluorescentes, além de elementos naturais (BÁEZ *et al.*, 2019, tradução nossa).

A luminescência na natureza (Figura 1) ocorre quando os átomos do componente

entram em excitação pela energia absorvida, no estado instável e transitório, liberada sob a forma de luz. Caso o período de emissão de luz for inferior a um milissegundo ou 10^{-8} segundos, define-se a fluorescência, que cessa com a remoção da fonte; caso for superior, a fosforescência, que pode emitir luz durante horas após a fonte de emissão ser removida (SANJUÁN; ARGIZ, 2019, tradução nossa).

Figura 1 – Exemplos de luminescência na natureza: a) aurora boreal, b) praia com bactérias, c) águas-vivas e d) vagalumes



Fonte: Adaptado de Báez et al. (2019)

3.2 Antecedentes históricos

A fosforescência é a capacidade de substâncias em absorver, armazenar e irradiar luz visível, sendo parte do fenômeno de luminescência. Os primeiros estudos datam de 1603, em que Vicenzo Cascariolo aqueceu pó de barita natural (sulfato de bário) e carbono, resultando na mistura *lapis solaris* (pedra do sol), que brilhava a noite. Ao longo dos tempos, houve avanço experimental e teórico sobre o tema, inclusive em publicações de Albert Einstein em 1905, sobre física quântica, eletromagnetismo e efeito fotoelétrico (FLOR; CARPIO; SANTAMARÍA, 2018, tradução nossa).

Na área da construção civil, a busca por novas tecnologias levou ao uso de materiais luminescentes devido, primordialmente, aos requisitos de eficiência na sinalização de segurança e emergência, além de funções estéticas na arquitetura de acabamentos. Atualmente, algumas pesquisas têm sido realizadas (Figura 2), como a do mexicano José Carlos Rubio que possui uma patente outorgada em geopolímeros fotoluminescentes, e afirma:

> A argamassa tradicional serve como aglomerante ou adesivo, por isso é o material mais utilizado na construção depois da água. Esta nova variante de argamassa terá mais aplicações porque não exigirá um sistema de distribuição elétrica (RUBIO, 2016, tradução nossa).

Figura 2 – Resultados de pesquisas com materiais fosforescentes



Fonte: Adaptado de Báez et al. (2019) e Rubio (2016)

Além disso, o composto cimentante fotoluminescente (PCC) é protegido pela patente internacional da empresa italiana ITALCEMENTI S.P.A. (ALFANI; LEZZI, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados na pesquisa estão descritos nos itens 4.1(Argamassa fosforescente e componentes) e 4.2 (Programa Experimental).

4.1 Argamassa fosforescente e componentes

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), a argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento. Utilizada para assentamento, impermeabilização e regularização, também em acabamentos e detalhamentos.

A argamassa fosforescente é composta por cimento branco, areia, água e pigmentos fotoluminescentes (Figura 3). O cimento branco utilizado foi o Cimento Portland Branco (CPB40) da empresa CEMEX (México), que possibilita a obtenção de argamassas pigmentadas; a areia natural do setor de Nueva Palmira, Sonora, México; e os pigmentos fotoluminescente foram adquiridos por compra *online*.

Figura 3 – Componentes da argamassa: a) cimento branco, b) areia e c) pigmentos



Fonte: Os autores

Os pigmentos fotoluminescentes utilizados são da série MH, feitos de aluminato alcalino-terroso ($SrAl_2O_4$:Eu^{2+}, Dy^{3+}) nas cores verde e azul, apresentam alta luminância e brilho prolongado de até 12 horas (MPHOTOLUMINESCENT, 2020). Para a produção de $SrAl_2O_4$ são misturados ácido bórico, óxido de alumínio e de estrôncio, com queima a 1100°C em atmosfera redutora de hidrogênio por 10 horas, após, a mistura é retirada e moída, sendo novamente queimada – o processo é repetido até atingir a granulometria desejada. Ademais, o efeito fotoluminescente do $SrAl_2O_4$ deve-se a presença dos ativadores Eu^{2+} e Dy^{3+}, íons metálicos de "terras raras" de elevada eficiência quântica e fosforescente (ROJAS; ROCÍO, 2015, tradução nossa).

4.2 Programa experimental

O programa experimental foi desenvolvido no México. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil (LV-800) da universidade pública Instituto Tecnológico de Sonora, com amostras de argamassa de diferentes concentrações de pigmentos fotoluminescentes – conforme normas, livros e teses sobre o tema.

O processo foi realizado nas seguintes etapas: determinação do traço, produção das argamassas, aplicações de pigmentos e ensaios ópticos. As etapas referentes a determinação do traço e a produção das argamassas seguiram as normas mexicanas NMX C-414 (ONNCEE, 2017) e NMX C-159 (ONNCEE, 2016). A pesquisa contou com a confecção de dois traços distintos, um traço sem pigmento e outro com a incorporação de pigmento. Foi utilizado o traço padrão de argamassa de 1:3 (cimento: areia média em massa), com o cimento branco e a relação água/cimento (a/c) de 0,50. O segundo traço diferiu do traço padrão somente pela adição de pigmentos na relação de 2:1 (cimento: pigmentos em massa).

Um dia após a moldagem (realizada em tubo PVC de 2"), os corpos de prova (CPs) foram desformados. Ao sétimo dia, foram redimensionados (Ø5x1cm e volume de 51,50cm³ por CP) com o auxílio de serra circular e identificados. Posteriormente, receberam os tratamentos superficiais, divididos em três grupos (Tabela 1): (a) **Tratamento 1** – pigmentos na resina, os CPs foram pintados com três demãos de mistura de resina de película esmalte e de porcentagens diferentes de pigmento:

10%, 20% e 30% de cada cor, com total de 12 CPs pigmentados e 2 CPs de referência (sem pigmento); (b) **Tratamento 2** – pigmentos em pó, os CPs foram pintados com mão única de resina de película esmalte e os pigmentos (verde e azul) foram polvilhados uniformemente na superfície, com total de 4 CPs; (c) **Tratamento 3** – pigmentos incorporados na argamassa (segundo traço).

A pesagem das CPs/amostras, realizada antes e após os tratamentos, resultou em cerca de 28 gramas de pigmentos. A seguir, a Tabela 1 (quantitativo de amostras) e a Figura 4 com as amostras após desforma, redimensionamento e tratamentos.

Tabela 1 – Quantitativo de amostras

Cor do pigmento	T–1				T–2	T–3	Nº amostras
	0%	10%	20%	30%			
Verde	2	2	2	2	2	3	13
Azul	-	2	2	2	2	3	11
Nº total de amostras							24

Legenda: T–1 (Tratamento 1– pigmento na resina), T–2 (Tratamento 2 – pigmento em pó), T–3 (Tratamento 3 – incorporado na argamassa)

Fonte: Os autores

Figura 4 – Amostras



Fonte: Os autores

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro ensaio – Prova da iluminância noturna – é um experimento de percepção visual (Figura 5), onde as amostras são previamente expostas ao sol e após observadas em um ambiente escuro.

Figura 5 – Prova da iluminância noturna: a) T–1 (pigmento na resina) a 10%, b) T–1 a 20%, c) T–1 a 30%, d) T–3 (incorporado na argamassa) e e) T–2 (pigmento em pó)



Fonte: Os autores

Nota-se que as amostras centrais (Figura 5c), de maior concentração de pigmento, tenderam a irradiar maior luminosidade. Já as amostras com pigmento incorporado na argamassa (Figura 5d) não emitiram luz, possivelmente pelo uso de pigmentos indicados para películas ou resinas, não para misturas aquosas como a argamassa.

O segundo ensaio – Ensaio do aparelho Luxímetro – foi realizado com o equipamento HAGNER Modelo EC1, que tem a função de medir a intensidade de iluminação com o sensor e determinar a iluminância de determinado local ou superfície. A unidade lux define o fluxo luminoso, onde lux equivale à lúmen/m², com relação ao brilho e à orientação do ambiente, ou seja, a iluminância pode variar de ponto a ponto.

Previamente ao ensaio, as amostras receberam uma carga de irradiação solar de 3 horas pela manhã, após, foram efetuadas leituras aos 10, 30 e 60 minutos – a contar da retirada das amostras do sol – em dois dias consequentes, totalizando 96 leituras. Como os valores de fluxo luminoso foram de pequena grandeza, as medições realizaram-se em ambientes com certa luminosidade, de 20 a 30 lux, assim, foi possível

averiguar os resultados subtraindo a luminosidade da amostra pela do ambiente. Os resultados médios e desvios padrão (σ) foram expostos na Tabela 2, o Tratamento 3 (incorporado na argamassa) apresentou valores nulos ausentes na Tabela.

Tabela 2 – Resultados de iluminância das amostras

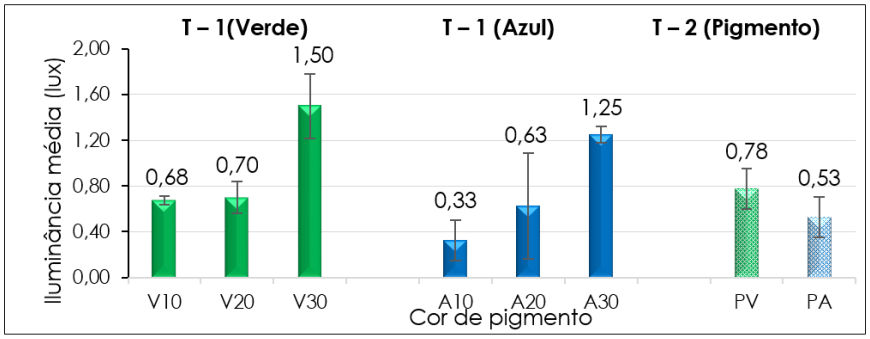
Trat.	Cor		CPs		Iluminância média (lux)			Cor		CPs		Iluminância média (lux)		
	Verde				10 min	30 min	60 min	Azul				10 min	30 min	60 min
T–1 Tratamento 1 (pigmento na resina)	Concentração de pigmento (%)	10%	V10	1	1,05	0,4	0,7	Concentração de pigmento (%)	10%	A10	1	1,1	0,25	0,45
				2	0,6	0,25	0,65				2	0,9	0,3	0,2
			Média		0,82	0,32	0,68			Média		1	0,27	0,33
			σ		0,32	0,11	0,04			σ		0,14	0,04	0,18
		20%	V20	1	1,1	0,75	0,8		20%	A20	1	1,95	0,7	0,3
				2	1,35	1,05	0,6				2	1,8	0,7	0,95
			Média		1,22	0,9	0,7			Média		1,87	0,7	0,63
			σ		0,18	0,21	0,14			σ		0,11	0	0,46
		30%	V30	1	2,35	1,2	1,3		30%	A30	1	2,05	1,1	1,2
				2	2,45	1,4	1,7				2	2,1	1,45	1,3
			Média		2,4	1,3	1,5			Média		2,07	1,27	1,25
			σ		0,07	0,14	0,28			σ		0,04	0,25	0,07
T–2 Trat. 2 (em pó)		50%	PV	1	1,35	0,7	0,9		50%	PA	1	1,05	0,95	0,65
				2	1,6	0,95	0,65				2	1,35	0,8	0,4
			Média		1,47	0,82	0,78			Média		1,2	0,87	0,52
			σ		0,18	0,18	0,18			σ		0,21	0,11	0,18

Fonte: Os autores

Os resultados do Ensaio do aparelho Luxímetro, presentes na Tabelas 2, demonstraram que ocorreu redução da iluminância com o passar do tempo (10min→60min), independente do tratamento, sendo que para as amostras com maiores valores de iluminância houve redução de 40% para V30 e A30, 47% para PV e 57% para PA. Ao comparar os tratamentos em 10, 30 e 60 min: T–1(pigmento na resina) indicou vantagem ao T–2 (pigmento em pó) para as maiores concentrações de pigmento (A30 e V30). Também, houve aumento da iluminância com a variação da concentração de pigmento no Tratamento 1 para as cores verde e azul.

O Gráfico 1 apresenta os valores médios de iluminância e os desvios padrão das amostras aos 60 minutos, sendo: V10, V20 e V30 correspondentes ao Tratamento 1 na cor verde; A10, A20 e A30 ao Tratamento 1 na cor azul; PV e PA ao Tratamento 2. O Tratamento 3 está omitido do Gráfico por ter apresentado valores nulos nesse Ensaio.

Gráfico 1 – Iluminância média (lux) aos 60 min *versus* Cor do pigmento



Fonte: Os autores

A partir do Gráfico 1, observou-se que para Tratamento 1 as amostras manifestaram iluminância proporcional ao aumento da concentração de pigmentos, com mais que o dobro de diferença (10%→30%) para ambas as cores. Também, independente da concentração de pigmento e do tratamento, as argamassas com pigmento verde apresentaram valores de iluminância superiores às com pigmento azul. Além do Gráfico, para um melhor entendimento dos resultados, realizou-se análise de variância (ANOVA) para valores do Tratamento 1 (Tabela 3) e do Tratamento 2.

Tabela 3 – Análise de variância para o Tratamento 1 (ANOVA)

Efeito	SQ	GL	MQ	Teste - F	*p*
Interseção	8,585208	1	8,585208	147,7025	0,000019
Cor do Pigmento	0,151875	1	0,151875	2,6129	0,157125
% do Pigmento	1,732917	2	0,866458	14,9068	0,004702
Cor do Pigmento x % do Pigmento	0,038750	2	0,019375	0,333	0,72900
Erro	0,348750	6	0,058125		

Fonte: Os autores

Com base na análise da ANOVA (Tabela 3), verificou-se que entre as variáveis estudadas e as suas interações, somente a concentração de pigmento (% do Pigmento) foi significativa ($p < 0,005$), ou seja, influenciou na variável de resposta (iluminância). Para o Tratamento 2 (Gráfico 1), a análise de variância (ANOVA) indicou não haver significância da cor do pigmento na iluminância das argamassas.

De modo geral, os resultados encontrados superaram os valores mínimos normativos, com iluminância de 0,14 lux (ou cd/m²) aos 10 min e de 0,02 lux aos 60 min, para a NBR 13434-3 de Sinalização contra incêndio e pânico, ou seja, estão aptos para uso em sinalização básica de segurança e emergência (ABNT, 2004). Entretanto, estão abaixo do esperado para as prescrições da NBR 5413 de Iluminância de interiores, com valores mínimos de iluminância geral de 20 a 50 lux (ABNT, 1992). Em relação ao custo-benefício, o material apresentou gasto estimado de 646 g/m², aproximadamente $ 2067,00 pesos mexicanos convertidos em R$ 485,00 reais brasileiros por metro quadrado – taxas de câmbio da EXCHANGE-RATES.ORG (2020).

Outras pesquisas mais aprofundadas – Rubio e Rocío (2015); Flor, Carpio e Santamaría (2018); Sanjuán e Argiz (2019) – também demonstraram o potencial da incorporação de materiais luminescentes na construção civil. Maiores amostragens e concentrações de pigmentos, além de diferentes ensaios laboratoriais e análises estatísticas podem gerar melhores resultados, e assim, um futuro iluminado e sustentável com o uso de tecnologias como a argamassa fosforescente.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos confirmaram que a incorporação de pigmentos com propriedades fosforescentes para produção de argamassas especiais apresenta a funcionalidade e a aplicabilidade esperadas para a construção civil em pequena escala, por conta do elevado custo-benefício. Houve comprovação da iluminação noturna das amostras e realização de medições do fluxo luminoso, as quais apresentaram aptidão para a sinalização de segurança e emergência pela NBR 13434-3 (ABNT, 2004), ainda que valores de iluminância baixos para a iluminação de interiores pela NBR 5413 (ABNT, 1992).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro: ABNT,1992.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 13434-3**: Sinalização contra incêndio e pânico – Parte 3 – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALFANI, R.; LEZZI, G. **Photoluminescent cementitious compositions based on hydraulic binders particularly suitable for use in safety signs.** Depositante: Italcementi S.P.A. WO2016/062873 A1. Depósito: 23 out. 2015. Concessão: 28 abr. 2016. Disponível em: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016062873>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BÁEZ, A. R. *et al.* Materiales luminiscentes: naturales y sintéticos. **Revista Materia, Ciencia y Nanociencia**, México, v. 2, n. 1, p. 21-30. 2019. Disponível em: <https://www.uv.mx/veracruz/microna/files/2019/07/ART04.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

CARREÑO, Berta. Glow-Hard: Luminous Cement Could Light Roads, Structures. **Scientific American**, Estados Unidos, 16 jun. 2016. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/glow-hard-luminous-cement-could-light-roads-structures/>. Acesso em 25 ago. 2019.

CINCOS'10: CONGRESSO DE INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 10., 2010. Portugal. **Inovação na construção sustentável**, Argamassas funcionais para construção sustentável, p. 209-216. Portugal: LUCAS, S.; AGUIAR, J. B.; FERREIRA, V., 2010.

CONFERÊNCIA CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE EDIFÍCIOS NO ESPAÇO LUSÓFONO, 2., 2012, Portugal. **Argamassas sustentáveis.** Portugal: FARIA, Paulina, 2012.

EXCHANGE-RATES.ORG. **Taxas de câmbio mundial**. Conversão de reais brasileiros (BRL) para pesos mexicanos (MXN). 2020. Disponível em: <https://pt.exchange-rates.org/Rate/BRL/MXN>. Acesso em: 03 jun. 2020.

FLOR, M.; CARPIO, A.; SANTAMARÍA, J. Estudio de un compuesto cementante fotoluminiscente y su aplicación en la construcción. **FIGEMPA, Investigación Y Desarrollo,** Equador, v. 1, n. 1, pg. 62-70. 2018.

MPHOTOLUMINESCENT. **MHG Series- Aluminate Based**. China: Mphotoluminescent, 2014. Disponível em: <https://www.mphotoluminescent.com/mh-g-series-aluminate-based.html>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ONNCCE ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN, S.C. **NMX C-159:** Industria de la Construcción – Concreto – Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo. Ciudad de México: ONNCCE, 2016.

_____. **NMX C-414**: Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Especificaciones y métodos de ensayo. Ciudad de México: ONNCCE, 2017.

ROJAS, R; ROCÍO, E. **Diseño y Síntesis de Materiales Nanoestructurados basados en Aluminatos de Estroncio con Propiedades Fotoluminiscentes**. 2015. Tese (Doutorado em ETSI de Telecomunicação) - Universidad Politécnica de Madrid. Espanha, 2015.

RUBIO, José Carlos Ávalos. El cemento fosforescente inventado por un mexicano. [Entrevista cedida a] Abril Mulato. **EL PAÍS VERNE – Arquitectura**, jun. 2016. Disponível em: https://verne.elpais.com/verne/2016/06/30/mexico/1467243648_835428.html>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SANJUÁN, M.; ARGIZ, C. Cementos fotoluminiscentes. **Revista AFINIDAD**, v. 76, n. 588, p. 262 – 269, out./dez. 2019. Disponível em: <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/361875/456476>. Acesso em: 20 abr. 2020.