

De 17/07/2024 a 20/07/2024
Fortaleza, Ceará.
DOI: 10.5281/zenodo.13171181

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

ESTUDO DO DESEMPENHO MECÂNICO EM ARGAMASSA TRANSLÚCIDA PRODUZIDA COM FIBRA ÓPTICA POLIMÉRICAS - FOP.

Antônio Laercio Teixeira Carrera^{1*}, Renata Oliveira Damasceno², Lerika do Amaral Poll³, Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro⁴, Rennan Fernando Lourenço de Lima⁵

* Lerika do Amaral Poll: lerika.poll@itec.ufpa.br

¹ GPMAC/ITEC/UFPA | Belém, Pará, Brasil; ² GPMAC/ITEC/UFPA | Belém, Pará, Brasil; ³ GPMAC/ITEC/UFPA | Belém, Pará, Brasil; ⁴ GPMAC/ITEC/UFPA | Belém, Pará, Brasil; ⁵ GPMAC/ITEC/UFPA | Belém, Pará, Brasil

RESUMO

O objetivo deste artigo é avaliar o comportamento de argamassa translúcida feita com fibra óptica poliméricas. O compósito cimentício foi produzido a partir de uma mistura com cimento, sílica ativa, areia e água. Sendo avaliado o comportamento mecânico do material por meio do ensaio de resistência a tração na flexão e compressão diametral em corpos de provas prismáticos 16x4x4 e para avaliar o percentual de fibras incorporados a matriz cimentícia moldou-se placas 22x18x4. Os resultados indicam que o teor de fibra óptica adotado garante a translucidez da peça como também a matriz cimentícia foi favorável pelo comportamento mecânico.

Palavras-chave: Argamassa Translúcida; Propriedade Mecânica; Durabilidade

ABSTRACT

The objective of this article is to evaluate the behavior of translucent mortar made with polymeric optical fibers. The cementitious composite was produced from a mixture of cement, silica fume, sand and water. The mechanical behavior of the material was evaluated through the tensile strength test in flexion and diametral compression on 16x4x4 prismatic specimens and to evaluate the percentage of fibers incorporated into the cement matrix, 22x18x4 plates were molded. The results indicate that the optical fiber content adopted guarantees the translucency of the part, as well as the cement matrix was favorable due to its mechanical behavior.

Keywords: Translucent Mortar; Mechanical Property; Durability.

1. INTRODUÇÃO

No setor da construção civil, há inúmeras inovações, entre elas o concreto armado foi o material mais inovador, passando a ser o mais utilizado no mundo como é indicado pelo relatório anual da associação global de cimento e concreto – GCCA (2020). E uma das maiores dificuldades na hora de se planejar uma estrutura, é conciliar aspectos estruturais com aspectos da sustentabilidade (ambiental,

econômico e social) e uma solução para esta problemática, é a criação de materiais translúcidos com uso de fibras; material que permite obter boas resistências como pontuado por Montardo (1999) que as fibras ampliam a capacidades de deformação do material e aumenta a capacidade de suporte de carga, principalmente quando submetidas a esforços de tração, flexor-tração e a impactos. Já Sreevani *et al* (2023) pontua que esse material ao possibilitar a transmissão da luz, também possui potencial para reduzir o consumo de energia elétrica, minimizando a necessidade de ter lâmpadas acessas durante o dia e essa técnica é considerada ecologicamente correta dentro do conceito da construção verde.

O desenvolvimento de materiais translúcido ocorreu em 2001, pelo arquiteto Aron Losonczy, que dispôs as fibras ópticas paralelamente nos blocos e suas extremidades ficam expostas nas superfícies, transmitindo luz natural ou artificial. No Brasil esta tecnologia foi trazida pelo professor Dr. Hélio Greven, no Núcleo Orientado de Inovação na Edificação - NORIE, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS. Johnston *et al* (1994), nos afirma que as fibras de uma matriz cimentícia podem, em geral, ter dois efeitos importantes, o primeiro é as fibras reforçarem o compósito sobre os modos de carregamento que induzem tensões de tração, isto é, retração restringida, tração direta ou na flexão e cisalhamento e o segundo é poder melhorar a ductilidade e a tenacidade de uma matriz frágil.

Assim o desempenho desses compósitos, passam a ser controlados principalmente pelo teor de fibra incorporado na matriz cimentícia, pelo seu comprimento e suas propriedades física como também pela aderência ocorrida entre as fibras e a matriz cimentícia (BERGER & RAMAKRISHNA, 2016); (SUN & WANG, 2011). A utilização de fibra óptica polimérica – FOP, em materiais translúcidos atingi vários parâmetros relacionados com o seu desempenho tais como os pontuados no quadro a seguir. Neste sentido o objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento mecânico de uma matriz cimentícia translúcida produzida com fibra óptica e quantificar a perda de massa dessa argamassa translúcida devido a exposição a soluções ácidas.

Tabela 1 – Principais parâmetros atingidos por materiais translúcidos com uso de fibras.

Parâmetros	Detalhamento
Teor de fibra	Alto teor de fibras confere maior resistência pós fissuração e menor dimensão das fissuras, desde que as fibras possam absorver as cargas adicionais causadas pela fissura
Módulo de elasticidade da fibra	Alto valor do módulo de elasticidade causaria um efeito similar ao teor de fibra, mas, na prática, quanto maior o módulo maior a probabilidade de haver a retirada das fibras.
Aderência fibra/matriz	As características de resistência, deformação e padrões de ruptura de uma grande variedade de compósitos cimentados com adição de fibras dependem fundamentalmente da aderência fibra/matriz, reduzindo o tamanho das fissuras e ampliando a distribuição pelo compósito.
Resistência da fibra	Aumentando a resistência das fibras aumenta se a ductilidade do compósito, assumindo que não ocorre o rompimento das ligações de aderência.
Deformabilidade da fibra	A ductilidade pode ser aumentada com a utilização de fibras que apresentem alta deformação de ruptura devido ao elevado grau de deformabilidade consumirem energia sob a forma de alongamento da fibra.
Compatibilidade entre a fibra e a matriz	A compatibilidade química e física entre as fibras e a matriz é importante. Já que as fibras que absorvem água podem causar excessiva perda de trabalhabilidade.

	Além disso, sofrem variação de volume e a aderência fibra/matriz é comprometida. Outro ponto é que existe fibras poliméricas que não possuem estabilidade química frente à presença de álcalis casos da qual a deterioração ocorre com rápida perda das propriedades da fibra e do compósito.
Comprimento da fibra	Quanto menor for o comprimento das fibras, maior será a possibilidade de serem arrancadas. Para uma dada tensão de cisalhamento superficial aplicada à fibra, esta será mais bem utilizada se o seu comprimento for suficientemente capaz de permitir que a tensão cisalhante desenvolva uma tensão de tração igual a sua resistência à tração.

Fonte: Taylor, 1994

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização de Materiais

Para esta pesquisa, foi utilizado cimento Portland CII-Z-32, devido apresentar maior durabilidade e resistência a agentes agressivos como também menor permeabilidade; agregado miúdo de origem quartzosa fina; sílica ativa (SiO_2) de origem metalúrgica na forma amorfa, utilizada com o intuito de promover aumento na resistência aos ataques ácidos e sulfatos como ainda diminuir a permeabilidade e melhorar a área de transição da argamassa para obter-se um melhor desempenho.

Quanto ao aditivo utilizado foi o superplastificante a base de policarboxilato objetivando reforçar as características no estado fresco e endurecido da argamassa pela diminuição do consumo de água para um mesmo consumo de cimento e ainda aumentar a durabilidade. As Fibras Ópticas Poliméricas – FOP são provenientes de luminárias decorativas fabricadas na China. A água potável utilizada na mistura das argamassas provém da Universidade Federal do Pará - UFPA, não sendo realizado nenhum ensaio prévio de caracterização.

Os ácidos minerais usados foram o ácido clorídrico (HCL) de $\text{PH} \leq 3,5$ utilizado na limpeza de indústrias da construção civil, possui alta potencialidade corrosiva; o ácido sulfúrico (H_2SO_4) de $\text{PH} \leq 1,5$ é altamente corrosivo comum nas indústrias petroquímicas, papelarias e nas baterias de automóveis, e o ácido nítrico (HNO_3) de $\text{PH} < 7$ é uma substância corrosiva, utilizado no setor da indústria de fabricação de explosivos, todos esses ácidos ao serem diluídos em água liberam calor.

Quadro 1 – Caracterização dos Materiais

Materiais	Propriedades	Método de Ensaio	Valores
Cimento Portland CII-Z-32	Massa Unitária	NBR 16605 (ABNT, 2017)	3,10 kg/dm ³
Agregado Miúdo	Massa Específica	NBR 16916 (ABNT, 2021)	2,60 kg/dm ³
	Massa Unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)	1,53 kg/dm ³
	Modulo de Finura	NBR 17054 (ABNT, 2022)	2,02
Sílica Ativa	Massa Unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)	0,35 kg/dm ³
	Massa Específica	NBR 16916 (ABNT, 2021)	2,22 kg/dm ³
	Diâmetro da Partícula	Fornecidos pelo Fabricantes.	0,19 μm
	Área Superficial Especifica	Fornecidos pelo Fabricantes.	20.000m ² /kg
	Densidade	Fornecidos pelo Fabricantes	1,20 kg/dm ³

Aditivo superplastificante	Adições	Fornecidos pelo Fabricantes	1% a 5 %
	PH	Fornecidos pelo Fabricantes	4,5 – 7,5
Fibras Ópticas Poliméricas	Massa Específica	NBR 16916 (ABNT, 2021)	1,21 g/cm ³
	Massa Unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)	0,24 g/cm ³
	Comprimento Máximo	Fornecidos pelo Fabricantes	30cm
	Diâmetro	Fornecidos pelo Fabricantes	10 µm

Fonte: os autores.

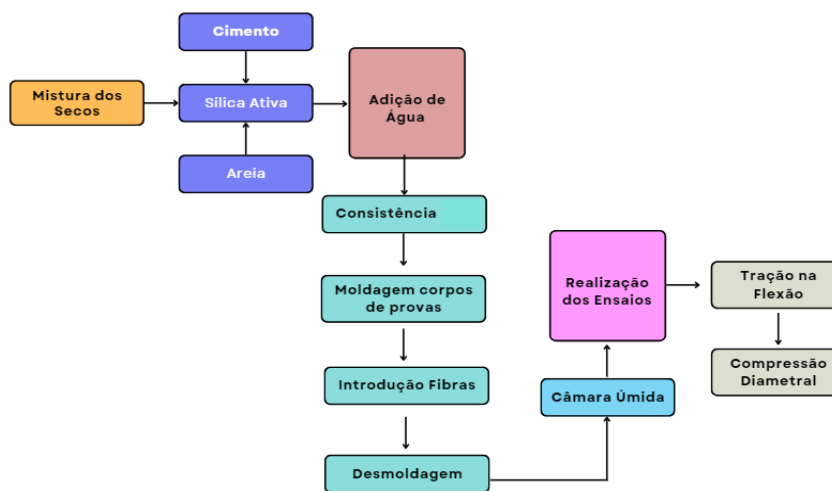
2.2 Método.

2.1.1 Avaliação da resistência mecânica da Argamassa Translúcida

Neste trabalho produziu-se uma argamassa com traço em massa de 1: 0,11: 2,2: 0,43 (cimento: sílica ativa: areia: a/c) da qual foi dividida em dois grupos: GRUPO 01 com incorporação de Fibras Ópticas Poliméricas – FOP e o GRUPO 02 sem a utilização das Fibras, a moldagem ocorreu em com moldes prismáticos 16 x 4 x 4 com uma área de 64 cm² e volume de 256 cm³ para os dois grupos e duas placas 22x18x4 para o grupo 01, a incorporação das fibras FOP ocorrerem em camadas dispostas no sentido longitudinal totalizando um percentual de 4%.

Para a confecção da matriz cimentícia padronizou-se o processo de homogeneização, misturando inicialmente os materiais secos (cimento, sílica ativa, areia) e em seguida adicionou-se água de forma gradativa, até a argamassa atingir a consistência de 260 ± 5mm. Em seguida, moldou-se os corpos de prova prismáticos para a realização dos ensaios mecânicos de resistência a tração na flexão e compressão diametral como também as placas das quais foram usadas para avaliar se o percentual utilizado de fibras atende a translucidez na matriz cimentícia. Esses corpos de provas permaneçam nos moldes por um período de 24h, e depois de desmoldados foram direcionados a câmara úmida até a idade de ensaio.

Na figura 1: apresenta-se o fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: os autores

No estado fresco, avaliou-se a coesão e no estado endurecido a resistência a tração na flexão segundo a NBR 12142 (ABNT, 2010) e a compressão diametral segundo a NBR 7222 (ABNT, 2011). Para o ensaio da resistência a tração na flexão, analisou-se oito corpos de prova prismáticos para cada grupo, sendo quatro corpos de prova para as idades de ensaio de 07 e 28 dias, com a realização dos ensaios de tração na flexão e compressão diametral.

Na figura 2: apresenta-se o fluxograma da realização dos ensaios mecânicos

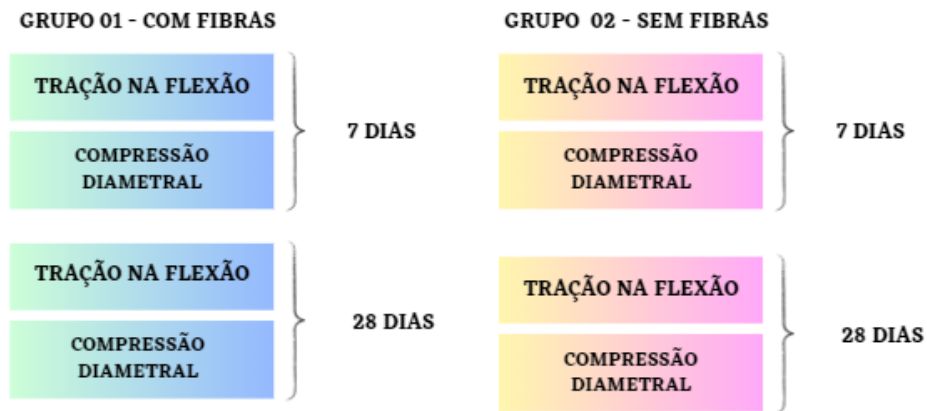
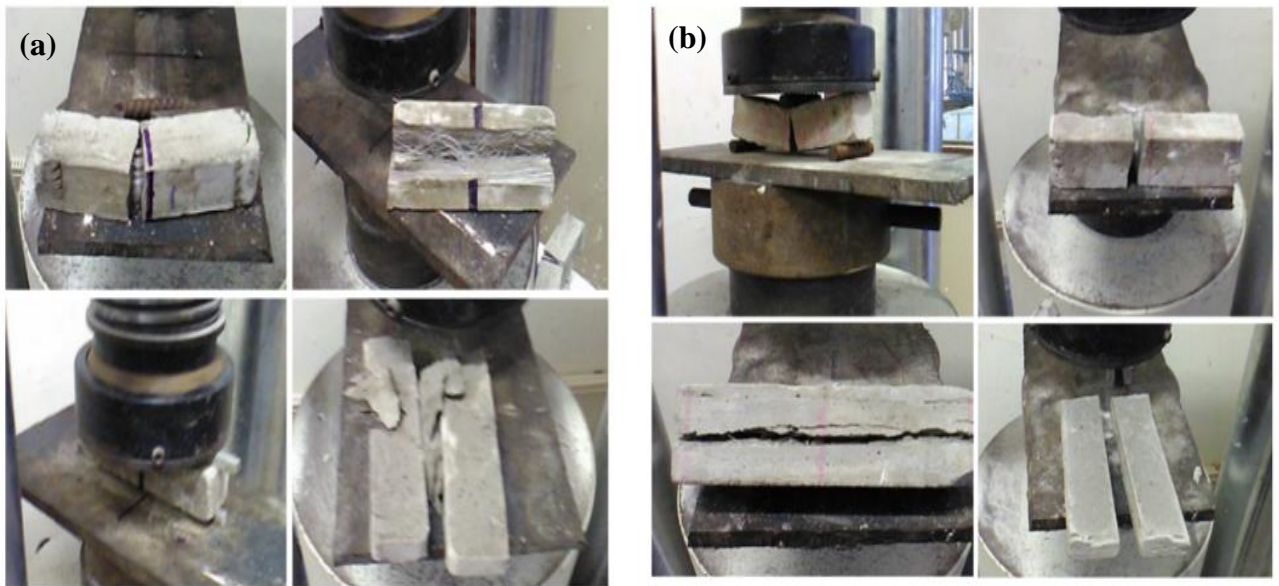


figura 3: Realização do ensaio mecânico de resistência a tração na flexão e compressões diametral (a) grupo 01 com a utilização das fibras (b) grupo 02 sem a utilização das fibras



Fonte: os autores

Para a verificação da translucidez da argamassa, após decorrido o período de cura úmida de 28 dias, as placas foram retiradas e colocadas em processo de secagem natural, em seguida foram polidas para se obter um melhor acabamento e passagem de luz, conforme ilustrado nas imagens a seguir.

Figura 4: Exposição a luz solar das duas placas, para verificação da translucidez das peças.



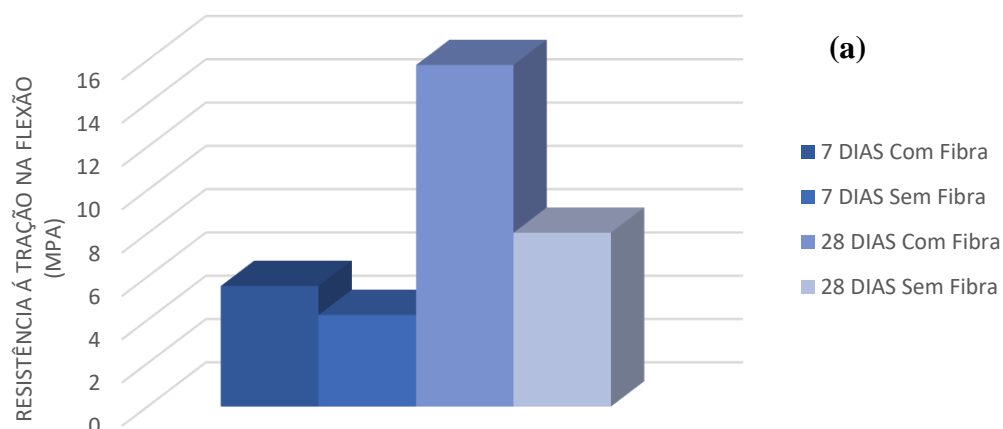
Fonte: os autores

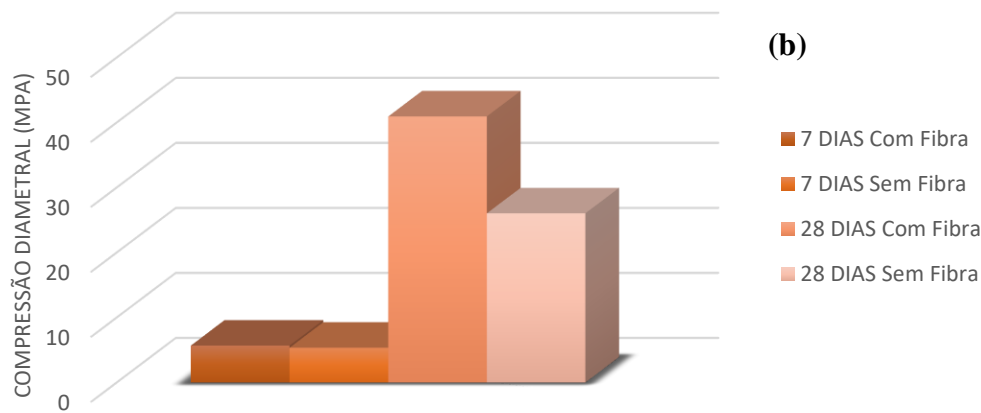
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados mecânicos dos grupos de argamassa encontram-se na tabela 2, nota-se que as misturas do grupo 01 apresentaram uma maior resistência em relação as misturas do grupo 02. O aumento da resistência à tração na flexão e compressão diametral da argamassa translúcida pode ser atribuída aos 4% de fibras ópticas poliméricas incorporadas no compósito, da qual não só melhorou a resistência mecânica do material, mas também oferece uma translucidez de boa qualidade. Estudos demonstram que as fibras ópticas atuam reforçando a estrutura, pois distribuem as tensões de maneira mais uniforme dentro da matriz, ocasionando uma maior capacidade de suportar cargas (LI, ZHANG, & WANG, 2023).

Além do reforço mecânico, a presença de fibras ópticas contribui para a resistência à tração na flexão devido ao seu comportamento de ligação eficiente com a argamassa. Esse comportamento impede a propagação de fissuras e redistribui as tensões ao longo da superfície do material, aumentando a durabilidade e a integridade estrutural da construção. Pesquisas indicam que a integração de fibras ópticas pode aumentar significativamente a resistência à tração na flexão em comparação com argamassas convencionais, tornando este material uma escolha promissora para construções modernas que necessitam de características estéticas e estruturais avançadas. (SMITH, JOHNSON & BROWN, 2022). *Journal of Building Engineering*, 2022). Outros estudos apontam que a inclusão de fibras ópticas em quantidades adequadas pode aumentar a resistência à compressão em até 20% comparado com argamassas tradicionais. Esse incremento é atribuído à capacidade das fibras ópticas de impedir a propagação de fissuras e de redistribuir as tensões de forma mais uniforme ao longo do material (SHAHIDAN *et al*, 2018)

Gráfico 1 – Resultados dos ensaios de resistências (a) tração na flexão e (b) compressão diametral





Fonte: os autores.

4. CONCLUSÃO

Ao analisar o comportamento da argamassa translúcida, conclui-se que matrizes cimentícias com 4% de incorporação de fibra óptica poliméricas se mostram resistentes no que tange ao comportamento mecânico, sendo possível verificar pelo ensaio de tração na flexão e compressão diametral promovendo um incremento de resistência, auxiliando a minimização de propagação de defeitos comumente presente neste tipo de material como também se obteve uma argamassa com translucidez aceitável.

A inclusão de fibras ópticas na composição da argamassa não apenas confere propriedades estéticas inovadoras, a passagem de luz através do material, mas também contribui para melhorar a flexibilidade e resistência da estrutura. Este material híbrido consegue combinar a robustez da argamassa tradicional com a capacidade de deformação das fibras ópticas, resultando em um composto mais resistente a fissuras e deformações sob tensões. Isso se traduz em uma maior durabilidade e desempenho mecânico, além de possibilitar aplicações em estruturas que exigem maior flexibilidade e beleza estética.

REFERÊNCIAS

ALIBERTI, P.U; BERTOLINI, L "Transparent Concrete: A Literature Review", Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Brazil, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17254/2022** - Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697/2018** - Cimento Portland – Requisitos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13956-1/2012** - Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta. Rio de Janeiro 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479/2006** - Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpo de provas. Rio de Janeiro 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142/2010** - Determinação da resistência à tração na flexão dos corpos prismáticos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605/2017** – Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916/2021** – Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972/2021** – Agregados - Determinação da massa unitária e índice de vazios.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054/2022** – Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM52/2021** – Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222/2011** – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpo de prova cilíndricos.

ASSOCIAÇÃO GLOBAL DE CIMENTO E CONCRETO – GCCA (2020)

BALAGURU, PN e SHAH, SP (1992) *Compósitos de Cimento Reforçado com Fibra*. Edições internacionais Mc Graw Hill.

DAVIS, B. K.; JOHNSTON, W. M.; SABA, R. F. Kubelka–Munk reflectance theory applied to porcelain veneer systems using a colorimeter. *Int J Prosthodont*, v. 7, p. 227–233, 1994.

HANNANT, L. Fiber-reinforced cements and concretes. In: J. M. ILLSTON. *Construction Materials; their nature and behavior*. 2ed. London: J. M. Illston/E & FN Spon, 1994. p.359- 403.

JOHNSTON, C. D. Fibre-reinforced cement and concrete. In: V. M. MALHORTA. *Advances in concrete technology*. 2ed. Ottawa: V. M. Malhotra, 1994.

Li, M., Wang, Y., & Zhang, J. (2014). "Optical fiber-based smart concrete: Smart sensing and damage detection." *Sensors and Actuators A: Physical*.

Li, Y., Zhang, X., & Wang, L. (2023). "The Role of Optical Fibers in Reinforcing Concrete Structures: Enhancing Load-Bearing Capacity through Uniform Stress Distribution." *Materials and Design*, 230, 104865.

LIU, J., et al. "Flexural behavior of cementitious composites incorporating hybrid fiber reinforcement." *Cement and Concrete Research*, vol. 67, 2015, pp. 84-92.

LI, V.C. "Engineered Cementitious Composites (ECC) – Material, Structural, and Durability Performance." *Concrete Construction Engineering Handbook*, 2nd edition, 2008.

MONTARDO, J.P. *Comportamento mecânico de compósitos solo-cimento-fibra: estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes*. Porto Alegre, Dissertação (Mestrado), 1999.

RAMOS, N.M.M., et al. "Mechanical and light-transmitting properties of optical fibre reinforced translucent mortar." *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 10, 2010, pp. 1881-1887.

SETZER, M. J. "Durability of Transparent Concrete", TU Dresden, Germany, 2016.

SHAHIDAN, S., et al. "Mechanical properties of translucent mortar incorporating fiber optics." *Construction and Building Materials*, 2018.

SMITH, J., Johnson, L., & Brown, M. (2022). "Enhancing Flexural Tensile Strength of Mortars through Optical Fiber Integration." *Journal of Building Engineering*, 45, 102345.

TAYLOR, G. D. *Materials in Construction*. London: Longman Scientific & Technical, 2ed, 1994.

VANDERLEI, R.D. *análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedade mecânicas*. São Paulo, Tese (doutorado), 2004

Zhang, W., et al. "Light Transmitting Cement-Based Material and Optical Properties Analysis." *Applied Mechanics and Materials*, vol. 351-352, 2013, pp. 24-28.