



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LAÍS SONCIN SANTANA DE PAULA

**OBTENÇÃO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS
TRANSMISSORAS DE LUZ, UTILIZANDO FIBRAS ÓPTICAS E FIBRAS DE
POLI(ETILENO TEREFALATO)**

ILHA SOLTEIRA - SP
JUNHO DE 2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**OBTENÇÃO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS
TRANSMISSORAS DE LUZ, UTILIZANDO FIBRAS ÓPTICAS E FIBRAS DE
POLI(ETILENO TEREFALATO)**

LAÍS SONCIN SANTANA DE PAULA

Orientador: Prof. Dr. Fauze Ahmad Aouada

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Civil da Faculdade de Engenharia do
Campus de Ilha Solteira – UNESP, como
parte dos requisitos para obtenção do
grau de Engenharia Civil.

ILHA SOLTEIRA - SP

JUNHO DE 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P324o Paula, Lais Soncin Santana de.
Obtenção de matrizes cimentícias sustentáveis transmissoras de luz,
utilizando fibras ópticas e fibras de poli(etileno tereftalato) / Lais Soncin
Santana de Paula. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
31 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Fauze Ahmad Aouada

Inclui bibliografia

1. Fibra óptica . 2. F-PET. 3. Argamassa translúcida .

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURSO : ENGENHARIA CIVIL
REALIZADA EM : 25-06-2024
DISCENTE : LAIS SONCIN SANTANA DE PAULA
COMISSÃO EXAMINADORA:

1. Prof. Dr. Fauze Ahmad Aouada (Orientador)
2. Prof. Dr. Adhemar Watanuki Filho (Examinador)
3. Dr. Fabrício Cerizza Tanaka (Examinador)

TÍTULO: "OBTENÇÃO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS TRANSMISSORA DE LUZ UTILIZANDO FIBRAS ÓPTICAS E FIBRAS DE POLI (ETILENO TEREFTALATO)".

Local: Via Google Meet – Campus I
Horário de início: 14 horas

Em sessão pública, após exposição em torno de 40 (quarenta minutos), a discente foi arguida oralmente, e no final da exposição foi **"APROVADA"** pelos membros componentes da Comissão Examinadora. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ATA, a qual é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pela discente.....

Ilha Solteira, 25 de junho de 2024.

Documento assinado digitalmente
 **FAUZE AHMAD AOUADA**
Data: 25/06/2024 16:09:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fauze Ahmad Aouada
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ADHEMAR WATANUKI FILHO**
Data: 25/06/2024 17:17:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adhemar Watanuki Filho
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **FABRICIO CERIZZA TANAKA**
Data: 25/06/2024 18:08:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Fabrício Cerizza Tanaka
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **LAIS SONCIN SANTANA DE PAULA**
Data: 18/07/2024 21:41:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ciente:

Discente: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso a todos os meus familiares e amigos que estiveram ao meu lado durante essa jornada acadêmica, sempre me apoiando e incentivando a seguir em frente. Dedico também aos meus professores e orientadores, que compartilharam seus conhecimentos e experiências, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional. Este trabalho é fruto do esforço e dedicação de todos aqueles que acreditaram em mim. Muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha sincera gratidão à minha mãe Edineia, ao meu padrasto Marcos, à minha irmã, aos meus avós e ao meu namorado por todo apoio e incentivo ao longo do tempo. Agradeço a Deus pela oportunidade de realizar a faculdade e concluir este trabalho de conclusão.

Também quero agradecer à Faculdade de Engenharia da Unesp de Ilha Solteira (FEIS – UNESP), ao seu corpo docente e à estrutura que me proporcionaram o conhecimento necessário para esta pesquisa. Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Fauze Ahmad Aouada, à Profa. Dra. Marcia Regina de Moura Aouada e ao Prof. Dr. Adhemar Watanuki por seu apoio e orientação ao longo de 3 anos de pesquisa. Agradeço também ao Grupo de Compósitos e Nanocompósitos Híbridos (CGNH) por permitir que eu aprendesse tanto nessa área.

Aos meus amigos da faculdade, que agora fazem parte da minha vida, meu eterno agradecimento, em especial às minhas amigas Julia e Thayna.

E também agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, ao CNPq e à Prope-UNESP.

RESUMO

Em diversos setores, construção civil e industrial, sempre há busca por alternativas mais sustentáveis devido ao consumo excessivo de energia, aumento na produção de bens processados e geração de resíduos, o que resulta em uma crise energética e danos ao meio ambiente. O cimento é um material fundamental na indústria da construção civil, e por isso, há um interesse crescente em pesquisas para reduzir seus impactos ou adotar opções mais sustentáveis, sem comprometer suas propriedades mecânicas após a cura. Neste contexto, este estudo tem como objetivo explorar a combinação de fibras ópticas comerciais (FO) e de poli(etileno tereftalato) (F-PET) provenientes de garrafas plásticas, como uma alternativa para substituir parcialmente as FO. Isso se deve ao alto custo das fibras ópticas no mercado e à necessidade de reduzir descarte indevidos de plásticos no meio ambiente. A produção das matrizes de cimento e fibras envolveu uma concentração total de 3,0% de FO e/ou F-PET, distribuídas de forma aleatória e ordenada nas amostras. Os materiais foram divididos em três grupos: 3,0% de FO, 3,0% de F-PET e 1,5% de FO + 1,5% de F-PET. A argamassa foi preparada seguindo uma dosagem padrão de 1:0,10:2,16 (cimento:silica ativa:areia média). Os resultados dos testes demonstraram boa resistência de compressão, destacando-se as amostras com as fibras distribuídas aleatoriamente (45,5 MPa). A densidade aparente no estado endurecido foi em torno de 2,2 g/cm³ para todas as amostras. Notou-se que as amostras com fibras distribuídas de forma ordenada apresentaram maior transmitância (32 lux), enquanto as amostras com duas fibras diferentes (FO+F-PET) tiveram uma transmitância mais baixa. O módulo de elasticidade dinâmico por onda ultrassônica mostrou que as amostras com distribuição ordenada tiveram os melhores resultados.

Palavras-chaves: Fibra óptica, F-PET, argamassa translúcida

ABSTRACT

In several sectors, civil and industrial construction, there is always a search for more sustainable alternatives due to excessive energy consumption, an increase in the production of processed goods and waste generation, which results in an energy crisis and damage to the environment. Cement is a fundamental material in the construction industry, and therefore, there is a growing interest in research to reduce its impacts or adopt more sustainable options, without compromising its mechanical properties after curing. In this context, this study aims to explore the combination of commercial optical fibers (FO) and poly(ethylene terephthalate) (F-PET) obtained from plastic bottles, as an alternative to partially replace commercial optical fibers. This is due to the high cost of optical fibers on the market and the need to reduce inappropriate disposal of plastics in the environment. The production of cement and fiber matrices involved a total concentration of 3.0% of FO and/or F-PET, distributed randomly and ordered in the samples. The materials were divided into three groups: 3.0% FO, 3.0% F-PET and 1.5% FO + 1.5% F-PET. The mortar was prepared following a standard dosage of 1:0.10:2.16 (cement: active silica: medium sand). The test results demonstrated good compression resistance, highlighting the samples with randomly distributed fibers (45.5 MPa). The apparent density in the hardened state was around 2.2 g/cm³ for all samples. It was noted that samples with fibers distributed in an orderly manner showed higher transmittance (32 lux), while samples with two different fibers (FO+F-PET) had lower transmittance. The dynamic modulus of elasticity using ultrasonic waves showed that samples with ordered distribution had the best results.

Keywords: Optical fiber, F-PET, translucent mortar

LISTA DE TABELAS, FIGURAS E QUADRO

Tabela 1: Composição química do cimento Portland do tipo CPV-ARI.....	17
Tabela 2: Propriedades físicas do cimento Portland do tipo CPV-ARI.....	18
Figura 1: Reflexão interna total na fibra óptica.....	13
Figura 2: Esquema representando ensaio de transmitância de luz.....	22
Figura 3: Resistência à compressão axial das matrizes cimentícias para cada concentração de fibras.....	24
Figura 4: Resistência à tração na flexão das matrizes cimentícias para cada concentração de fibras.....	25
Figura 5: Resistência à compressão após o ensaio de tração das matrizes cimentícias para cada concentração de fibras.....	25
Figura 6: Densidade no estado endurecido para cada concentração de fibras.....	26
Figura 7: Transmitância de luz na idade de 28 dias para cada concentração de fibras.....	27
Figura 8: Módulo de elasticidade dinâmica na idade de 28 dias para cada concentração de fibras.....	28
Figura 9: Corpo-de-prova do ensaio de tração com concentração de 3,0% FO distribuição ordenada, antes dos cortes de fibras.....	32
Figura 10: Corpo-de-prova do ensaio de compressão com concentração de 3,0 % FO distribuição ordenada, antes dos cortes de fibras.....	32
Figura 11: Corpo-de-prova do ensaio de compressão com concentração de 3,0% PET distribuição aleatória.....	33
Figura 12: Corpo-de-prova do ensaio de compressão com concentração de 3,0% FO distribuição ordenada, fibras cortadas.....	33
Quadro 1: Dosagem e orientação das fibras.....	19

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. JUSTIFICATIVAS.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1. FIBRAS ÓPTICAS.....	13
3.2. POLI(ETILENO TEREFALATO) (PET).....	15
3.3. CIMENTO ARI (CP-V).....	16
4. OBJETIVOS.....	17
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
5.1. MATERIAIS.....	17
5.2. PREPARAÇÃO DAS FIBRAS ÓPTICAS E GARRAFA PET.....	18
5.3. PREPARAÇÃO DE ARGAMASSAS TRANSMISSORAS DE LUZ.....	18
5.4. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE CONTROLE.....	19
5.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	20
5.6. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO.....	20
5.7. DENSIDADE APARENTE.....	21
5.8. TRANSMITÂNCIA DE LUZ.....	21
5.9. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	22
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6.1. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE CONTROLE.....	22
6.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	23
6.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO.....	24
6.4. DENSIDADE APARENTE.....	25
6.5. TRANSMITÂNCIA DE LUZ.....	26
6.6. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	27
7. CONCLUSÕES.....	28
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
9. ANEXOS.....	32

1. INTRODUÇÃO

A importância da redução do consumo de energia elétrica em edifícios está aumentando globalmente, devido ao alto consumo de combustíveis fósseis e emissões de gases de efeito estufa. Práticas de eficiência energética na construção e operação de edifícios são essenciais para promover cidades sustentáveis, sistemas inteligentes de gerenciamento de energia são fundamentais para monitorar e regular a demanda energética, otimizando o uso de energia, reduzindo custos e promovendo a sustentabilidade ambiental. (MIRJALILI, 2023)

A qualidade da luz natural em espaços das construções é fundamental para o ambiente interno e para a economia de energia. Vários fatores influenciam a percepção visual, desde presença de construções na vizinhança, posição do sol e janelas, sendo importante avaliar e priorizar aqueles que mais impactam o conforto visual humano. A iluminação natural é essencial para proporcionar um ambiente saudável e confortável, evitando ofuscamento, distribuindo a luz de forma equilibrada, estimulando os ocupantes de forma adequada e reduzindo o consumo de energia. O projeto de iluminação natural é impactado pelo design do edifício, por parâmetros ambientais e pelo fator humano, devendo-se compreender os elementos que afetam o conforto visual nos espaços interiores. (FAKHARI, 2023)

A importância da luz natural no design arquitetônico sempre foi reconhecida, porém somente recentemente novos métodos de quantificação têm surgido. A iluminação dos espaços de trabalho é crucial para estimar e otimizar as dimensões do edifício, sendo a profundidade em relação à fachada um desafio comum para os designers na busca por equilibrar intenções e desempenho. (RAIMONDI, 2016)

A iluminação natural pode ser uma estratégia eficaz para promover a eficiência energética dos edifícios, contribuindo para a sustentabilidade energética de edifícios residenciais e comerciais, possibilitando uma redução de até 45% no consumo de energia. (DEBNATH, 2016)

A fim de reduzir o consumo de bens processados na construção civil, é fundamental adotar medidas sustentáveis, especialmente no que diz respeito ao uso do cimento, que é o material mais prevalente no setor. Devido à sua facilidade de produção, adaptabilidade e resistência mecânica, na melhoria do desempenho desses materiais, os aditivos são essenciais, permitindo a criação de concretos especiais com propriedades específicas. (CILLI, 2019)

A ideia de concreto que transmite luz foi pela primeira vez introduzida em 2001 pelo arquiteto húngaro Aron Losoncz. Este desenvolveu o concreto transmissor de luz, chamado LiTraCon (Concrete Light Transmitting), que utiliza 4% em relação volumétrica de fibra óptica (FO) para iluminar edifícios com luz natural ou artificial. Existem diferentes tipos de concretos translúcidos incorporados com materiais, como plástico, vidro ou fibra óptica, mas a maioria dos utilizados na construção combina concreto com fibra óptica. Na fibra óptica,

composta por núcleo e revestimento, a luz é transmitida por reflexão interna total. Há diferentes tipos de fibras ópticas permitindo a transmissão de luz em diversos modos. (PALANISAMY, 2022)

Contudo, os custos de produção do concreto translúcido ainda são elevados devido ao processo de fabricação que demanda mão de obra especializada e equipamentos específicos, além da fibra óptica que encarece o processo. Por conta disso, seu uso em construções de baixo e médio padrão ainda não é viável economicamente.

Considerando a resistência mecânica e química do poli(etileno tereftalato) (PET), que é amplamente utilizado na fabricação de garrafas e embalagens. Este polímero tem sido objeto de estudos para sua aplicação em conjunto com outros materiais estruturais, como o concreto. Neste sentido, a avaliação da substituição parcial ou total da fibra óptica por garrafas PET recicladas, visando a redução de custos de produção sem comprometer as propriedades do concreto translúcido, como dureza, tenacidade, resistência à compressão e translucidez, mantendo assim as características desejadas para sua utilização no mercado. (FALABRETTI, 2018)

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2021), apenas 56,4% das embalagens de PET descartadas pela população brasileira em 2021 são recicladas. Esse número representa um aumento de 15,4% em relação ao volume registrado em 2019, que está relacionado ao aumento do consumo de produtos de embalagens PET, ele sendo o polímero mais comumente usado no mundo devido às suas propriedades e potencial de aplicação para engenharia, por ser um termoplástico reciclável sendo um material que pode ser moldado e remodelado quando aquecido, naturalmente transparente e com boa resistência à tração e ao impacto. (SPÓSITO, 2020)

A conscientização sobre a importância de oferecer alternativas de utilização para materiais residuais reciclados, especialmente na construção civil, tem impulsionado o uso de um dos plásticos de consumo mais comuns. Essa abordagem oferece uma alternativa sustentável para reutilizar esse material não biodegradável, em vez de enviá-lo para instalações de reciclagem para processamento. (BORG, 2016)

2. JUSTIFICATIVAS

A justificativa para este trabalho se baseia na aplicação das fibras ópticas já utilizadas para argamassa translúcida, porém, ainda não existem estudos específicos sobre a utilização de fibras PET, associadas a fibras ópticas, para a transmissão de luz. Portanto, um estudo que explore essa combinação e suas aplicações pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de novos materiais mais eficientes e sustentáveis na construção civil. Isso poderia resultar em impactos positivos nas áreas de redução do consumo de recursos naturais,

custos de manutenção menores, facilidade de reciclagem e melhoria nas propriedades mecânicas e durabilidade do material. Esta linha de pesquisa está intimamente ligada às áreas prioritárias definidas pelo MCTI (Portaria MCTIC nº 1.122/2020, com texto alterado pela Portaria MCTIC nº 1.329/2020), mais especificamente na área de Tecnologia para Desenvolvimento Sustentável (Bioeconomia, Energias Renováveis, Tratamento e Reciclagem de Resíduos Sólidos), sobrepondo com os setores de Materiais Avançados dentro de Tecnologias Habilitadoras, e Infraestrutura, na área de Tecnologia de Produção.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

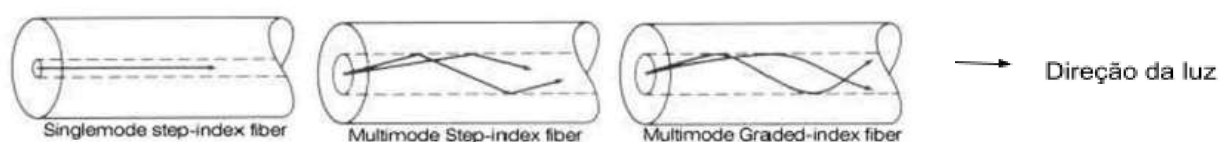
3.1. FIBRAS ÓPTICAS

As fibras são estruturas filiformes que possuem um comprimento significativamente maior em comparação com sua largura máxima. Elas se destacam por sua flexibilidade e delicadeza. As fibras ópticas são fios transparentes e flexíveis feitos de vidro ou plástico. Elas são comumente utilizadas para transmitir luz de um ponto a outro, principalmente em comunicações, possibilitando a transmissão por longas distâncias com larguras de banda maiores do que os cabos de fio tradicionais. (PALANISAMY, 2022)

A luz é transmitida através do núcleo da fibra óptica, enquanto o revestimento é o material óptico externo com um índice de refração menor, impedindo a reflexão interna total no núcleo. As fibras ópticas mais comuns utilizadas em concreto translúcido são compostas por fibra de vidro e fibra plástica (ou fibra de polimetilmetacrilato). Ambos os tipos de fibras são eficientes na transmissão de luz, mas a fibra plástica é mais resistente a danos e mais econômica em comparação com a fibra de vidro. (CHIEW, 2021)

Existem três categorias de reflexão interna total em fibras ópticas (demonstrado na Figura 1), sendo a fibra monomodo capaz de transmitir apenas um modo de luz, enquanto a fibra multimodo pode transmitir vários modos simultaneamente. (CHIEW, 2021)

Figura 1. Reflexão interna total na fibra óptica



Fonte: (CHIEW, 2021)

O concreto translúcido, que permite a passagem de luz natural no interior de um edifício, é composto pela matriz cimentícia com materiais que transmitem luz, como fibras ópticas. (SU, 2022). Embora o custo das fibras ópticas plásticas sejam superiores a outros materiais de transmissão de luz, o uso delas em concreto translúcido é mais adequado devido à sua flexibilidade, facilidade de instalação e resistência. Desta forma, o custo elevado das

fibras ópticas torna a produção de blocos de concreto transparente cara, requerendo mão de obra especializada (TAHWIA, 2022)

A transmitância de luz na matriz cimentícia aumenta com a fração volumétrica da fibra óptica, mas diminui com o aumento do diâmetro da fibra. (CHIEW, 2021) O espaçamento das fibras e seu diâmetro também influencia na transmitância de luz, assim como a distância entre a fonte de luz e o concreto. (LI, 2015)

Com a adição das fibras ópticas, uma proporção volumétrica de 6% de fibra utilizada nos painéis transmissores de luz, pode resultar em uma economia de energia luminosa de aproximadamente 50%. (AHUJAA, 2017) A utilização desses painéis pode ser ainda mais benéfica se contribuírem para a redução dos requisitos de aquecimento e refrigeração da sala do escritório. A luz solar, que é canalizada pelas fibras ópticas, pode aquecer o ambiente durante o inverno, porém, pode aumentar as cargas de resfriamento durante o verão. Por outro lado, a luz natural proveniente pode reduzir a dissipação de calor das instalações de iluminação e ter um impacto positivo nas cargas de refrigeração, reduzindo o gasto energético em 18%. (AHUJAA, 2017)

O acréscimo de fibras na matriz pode trazer benefícios importantes para o comportamento à tração do material. Essas propriedades otimizadas podem fornecer capacidades de suporte de carga residuais, com significativas contribuições estruturais. No entanto, a resistência residual das matrizes reforçadas com fibras é influenciada pela presença e posicionamento das fibras nas superfícies fissuradas. A orientação das fibras é um fator importante a se considerar, já que a eficácia do reforço pode variar conforme o ângulo em que as fibras estão distribuídas no material. (ALBERTI, 2018)

Embora a fibra óptica apresenta alta resistência e resistência à tração, foi observado um comportamento adverso em relação à resistência à compressão e aderência da fibra à matriz. Isso pode ser atribuído ao arranjo paralelo das fibras e à superfície lisa da fibra óptica, comprometendo a aderência. É importante ressaltar que a adição de fibras em compósitos cimentícios traz vantagens, como a diminuição da propagação de fissuras e uma maior tenacidade, sendo a capacidade de resistir a deformações antes da ruptura. Porém, um teor elevado de fibras pode comprometer as propriedades mecânicas do compósito no estado endurecido. Desse modo, a distribuição da fibra óptica em camadas equidistantes pode enfraquecer as propriedades do compósito, devido à falta de aderência causada pela superfície lisa das fibras. Portanto, é importante considerar cuidadosamente a quantidade e o arranjo das fibras para garantir o melhor desempenho do material compósito. (HENRIQUES, 2018)

Em comparação com as amostras de fibras ordenadas, a distribuição aleatória de fibras em uma matriz pode implicar em custos menores de produção devido à sua simplicidade. No entanto, a variabilidade experimental pode levar a acumulação de fibras em

alguns pontos e falhas em outros, afetando o desempenho do compósito. (HENRIQUES, 2020)

3.2. POLI(ETILENO TEREFTALATO) (PET)

Nas últimas décadas, os plásticos têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento industrial e no aumento dos padrões de vida em todo o mundo, graças às suas propriedades vantajosas, como resistência, durabilidade, facilidade de fabricação e baixo custo. No entanto, a geração de resíduos plásticos tem causado sérios danos ao meio ambiente, uma vez que os plásticos não são biodegradáveis e levam décadas para se decompor em aterros, o que gera uma demanda por espaço de descarte e polui significativamente os ecossistemas marinhos. (MOUNA, 2024)

Existem três principais métodos de eliminação de resíduos plásticos: aterro sanitário, incineração e reciclagem. A reciclagem é considerada a abordagem mais sustentável, mas devido à grande quantidade de plástico usado e à sua baixa biodegradabilidade, ainda há uma acumulação significativa de resíduos plásticos no meio ambiente. (KUNTHAWATWONG, 2022)

Atualmente, é crucial explorar e desenvolver novas estratégias para a reciclagem do PET, basicamente duas abordagens para a reciclagem do PET: métodos mecânicos e métodos químicos. Apenas uma parte dos resíduos é coletada, separada e triturada para processamento. Por outro lado, por meio de processos químicos, as cadeias poliméricas são quebradas em monômeros em um processo chamado despolimerização, isso resulta na obtenção de uma resina de poliéster insaturada (RPET), amplamente empregada em indústrias têxteis, de construção e revestimentos. Contudo, o uso do RPET é limitado devido às mudanças adversas em suas propriedades mecânicas, térmicas e de condutividade elétrica resultantes do processo de reciclagem. (CHINCHILAS-CHINCHILAS, 2020)

As fibras de garrafas são feitas a partir de garrafas plásticas, que são produzidas a partir de polímeros e identificadas em sete categorias (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS e outros). Normalmente, as garrafas de refrigerante e água são feitas de PET, representado quimicamente por $(C_{10}H_8O_4)_n$. É produzido a partir do petróleo por meio de reações entre os monômeros etilenoglicol e ácido tereftalato. (BOZYIGIT, 2021) Sua densidade é aproximadamente $1,38 \text{ g/cm}^3$. Já a condutividade térmica da fibra do PET é em torno de $0,15$ a $0,3 \text{ W/mK}$. Possui resistência à tração entre 55 a 75 MPa , e módulo de Young entre 2800 a 3100 MPa . (REVATHI, 2023) As fibras plásticas têm um coeficiente de condutividade térmica semelhante ao da madeira, o que é significativamente menor que o dos agregados naturais, que ficam em torno de $1,7$ a $2,0 \text{ W/mK}$. Isso faz com que os agregados plásticos possam melhorar as propriedades térmicas dos compósitos à base de cimento. Além disso,

eles possuem uma densidade reduzida em comparação aos agregados convencionais, o que os torna uma opção interessante para a produção de compósitos leves à base de cimento. (RESENDE, 2024)

A incorporação de resíduos plásticos, como garrafas PET, como aditivo na mistura de matrizes cimentícias tem se mostrado benéfica, apresentam elevadas propriedades mecânicas, como resistência à tração, excelente durabilidade e ductilidade, o que melhora as propriedades mecânicas, como resistência à flexão e ao impacto, resultando em uma amostra mais resistente e durável. Com a presença das fibras de PET também reduz a propagação de fissuras e proporciona uma ductilidade. Além do mais, a matriz com PET possui menor transmitância térmica e melhores propriedades de isolamento, resultando em custos menores e benefícios ambientais significativos ao utilizar macro plásticos de fibra PET. (THOMAS, 2020)

3.3. CIMENTO ARI (CP-V)

O cimento Portland é o nome dado ao cimento resultado da mistura de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro. Os constituintes fundamentais do cimento Portland são o calcário (CaCO_3), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de magnésio (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Tem-se ainda, como constituintes, impurezas como óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O), óxido de titânio (TiO_2) e outras substâncias em menor quantidade.

Os compostos formados são principalmente silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$), silicato dicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$) e ferro aluminato tetracálcico ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$). Estes quatro compostos principais determinam as propriedades hidráulicas do cimento e representam mais de 90% do cimento Portland. A porcentagem total não é igual a 100% por causa da presença de impurezas no cimento. (NEVILLE, 2013). Existem diferentes tipos de cimento Portland, que variam de acordo com a proporção de clínquer, sulfatos de cálcio e adições, como escórias, pozolanas e calcário.

O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) é altamente reativo em baixas idades de cura, devido ao seu grau de moagem e pureza. É ideal para uso em artefatos que exigem cimentos resistentes à sulfatação, como tubos para esgoto, concreto protendido, pisos industriais e argamassa armada. No entanto, a disponibilidade limitada deste tipo de cimento pode ser um obstáculo para sua aplicação em determinadas regiões.

A resistência inicial do cimento de alta resistência é desenvolvida rapidamente devido ao teor elevado de silicato tricálcico e à maior finura do clínquer. Embora o tempo de pega

seja semelhante ao do cimento comum, a resistência do CP V-ARI aumenta significativamente entre 10 e 20 horas, continuando aumentar até 28 dias. É importante notar que a finura excessiva do cimento pode aumentar a quantidade de água na mistura, resultando em uma maior relação água/cimento e reduzindo os benefícios da maior resistência inicial. (NEVILLE, 2016)

De acordo com a NBR 16697 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018), a composição do CP V-ARI é de 90 a 100% de clínquer e sulfatos de cálcio, com a possibilidade de adição de filler. Este tipo de cimento é indicado quando é necessário um rápido desenvolvimento da resistência inicial, mas não é recomendado para concretos massivos ou grandes estruturas devido à alta taxa de liberação de calor. Em condições de baixa temperatura, o uso do cimento de alta resistência inicial pode ser vantajoso para prevenir danos causados pelo congelamento precoce.

4. OBJETIVOS

Os objetivos principais deste trabalho de conclusão de curso estão listados abaixo:

- Desenvolver matrizes a base de cimento e fibras com concentração total de 3,0% de FO e/ou F-PET distribuídas de forma aleatória e ordenada;
- Avaliar as propriedades no estado fresco (índice de consistência) e no estado endurecido (ensaio de resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, densidade aparente e módulo de elasticidade dinâmico) destas matrizes;
- Averiguar o efeito dos dois tipos de fibra e de distribuição na transmitância de luz destas matrizes em seu estado endurecido.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. MATERIAIS

Foram utilizados dois tipos de materiais para compor o sistema fibra e argamassa: - fibra óptica do tipo endlight (FO) com diâmetro de 0,75 mm; - e fibras de poli(etileno tereftalato (F-PET), comumente encontradas em garrafas comerciais de refrigerante, utilizando filamento de aproximadamente de 1,0 mm.

Para preparo das argamassas, o cimento Portland escolhido foi o tipo CPV-ARI (Cimento Nacional[®]), cujas propriedades físicas e químicas foram listadas nas tabelas 1 e 2. (CIMENTO NACIONAL, 2023)

Tabela 1. Composição química do cimento Portland do tipo CPV-ARI

Elemento	Resíduo insolúvel	Perda ao fogo	MgO	SO ₃	CO ₂
Composição (%)	1,02	4,56	1,32	3,87	1

Fonte: (CIMENTO NACIONAL, 2023)

Tabela 2. Propriedades físicas do cimento Portland do tipo CPV-ARI

Tempo de cura		Superfície específica (Blaine)	Resistência à compressão (MPa)			
Inicial (min)	Final (min)	(m ² /kg)	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
119	179	466,9	28,4	39,5	45,8	54,4

Fonte: (CIMENTO NACIONAL, 2023)

5.2. PREPARAÇÃO DAS FIBRAS ÓPTICAS E GARRAFA PET

Para o preparo das fibras ópticas, foi necessário o corte manual inicialmente utilizando uma tesoura. Isso se deve ao tamanho das fôrmas utilizadas nos ensaios, que demandam um ajuste preciso das fibras, sendo as fibras comerciais de espessura 0,75mm. No caso da F-PET, utilizou garrafas reutilizáveis de refrigerante, que passaram por um processo de higienização e secagem antes do corte. Os cortes foram feitos com o objetivo de obter filetes de 1,0 mm de espessura. Estes filetes foram cortados de acordo com o tamanho das fôrmas utilizadas nos ensaios, e finalizados após a cura com estilete para retirada do excesso, dos corpos de prova (HENRIQUES,2018).

5.3. PREPARAÇÃO DE ARGAMASSAS TRANSMISSORAS DE LUZ

A preparação das matrizes para a realização dos ensaios, utilizou-se uma dosagem padrão de 1:0,10:2,16 (cimento: sílica ativa: areia média). Além disso, aplicou-se uma relação água/cimento (a/c) de 0,50 e a adição 1% do aditivo superplastificante à base de policarboxilato (Vedacit Pro®). Para o preparo utilizou uma argamassadeira mecânica SOLOTEST®. O processo começa adicionando cimento, sílica e parte da água na argamassadeira, e misturando por 1 minuto na velocidade mínima. Após, a areia foi adicionada na mesma velocidade e misturada por mais 1 minuto. A agitação da argamassadeira foi pausada e os resíduos de materiais nas laterais do recipiente foram removidos. O aditivo foi adicionado juntamente com o restante da água e a misturado em velocidade alta por 3 minutos, para garantir a homogeneização dos componentes.

Após essa etapa, colocou-se a argamassa em uma mesa vibratória SOLOTEST® para eliminar bolhas de ar aprisionadas que podem interferir nos resultados. Nessa mesa vibratória, as fibras foram adicionadas de forma aleatória para algumas amostras, enquanto outras amostras ordenadas já estavam previamente inseridas nas fôrmas.

Para a adição das fibras, foi estabelecida uma proporção de 3,0% em relação ao volume total da argamassa produzida. Essas fibras foram distribuídas nos moldes de forma aleatória ou ordenada.

Para cada idade de rompimento (7 e 28 dias) e cada proporção de fibra, preparou-se 4 corpos de prova.

Antes de serem preenchidos com a argamassa, todos os moldes receberam uma fina camada de óleo. Após 24 horas, as amostras foram desmoldadas e acondicionou-se na câmara úmida, mantidos em umidade relativa de 98% e temperatura de 25°C.

Além do controle, sem adição de fibras, foram utilizadas dosagens com 3,0% de fibras ópticas (FO), 3,0% de fibras de polietileno tereftalato (F-PET) e 1,5% de cada uma dessas fibras (1,5% FO + 1,5% F-PET). A definição dessas proporções foi obtida a partir da literatura (HENRIQUES, 2018), levando em consideração as adições de sílica ativa e plastificante para otimizar as propriedades mecânicas da argamassa.

Quadro 1. Dosagem e orientação das fibras

Denominação	Orientação	Proporção das Fibras (%/ volume de argamassa)	
		Fibra Óptica	Fibra PET
Argamassa controle	-	-	-
Argamassa fibra óptica aleatória	aleatória	3,0%	
Argamassa fibra PET aleatória	aleatória		3,0%
Argamassa fibra óptica+PET aleatória	aleatória	1,5%	1,5%
Argamassa fibra óptica ordenada	ordenada	3,0%	
Argamassa fibra PET ordenada	ordenada		3,0%
Argamassa fibra óptica+PET ordenada	ordenada	1,5%	1,5%

Fonte: Elaboração própria

5.4. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE CONTROLE

Para determinar as propriedades reológicas da argamassa, as amostras controle, sem adição de fibras, foram utilizadas para determinar o ensaio do índice de consistência,

seguindo os procedimentos da norma NBR 13276 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). A argamassa foi disposta em um molde troncônico sobre uma mesa de adensamento (CONTECO®) em três camadas de volumes semelhantes. A primeira camada foi adensada com 15 golpes de forma aleatória, enquanto a segunda e a terceira camadas receberam 10 e 5 golpes, respectivamente. Em seguida, o excesso de argamassa foi nivelado e removido verticalmente, e foram aplicados 30 golpes na mesa de adensamento por 30 segundos. Após esse procedimento, as medições do diâmetro da argamassa foram realizadas em três posições diferentes, a fim de obter a média aritmética dos diâmetros.

5.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Para avaliar o efeito das fibras como agentes de reforço mecânico em materiais cimentícios, foram utilizados corpos de prova de 5x5x5 cm (vide em anexo figuras 10, 11 e 12), de acordo com o procedimento estabelecido pela norma NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018). O preparo das amostras seguiu as diretrizes descritas na norma, bem como as exigências para o ensaio, confeccionando quatro corpos de prova utilizados para cada condição avaliada, com idades pré-determinadas de 7 e 28 dias. Essas amostras foram armazenadas em uma câmara úmida, com umidade relativa de 98% e temperatura de 25°C, até o momento do ensaio de ruptura.

O ensaio de ruptura de compressão axial foi executado utilizando uma prensa universal do modelo DL 30000 (EMIC®, Brasil), com uma carga limite de 200 toneladas e uma taxa de carga de $0,25 + 0,05$ MPa/s, na direção perpendicular das fibras.

O objetivo dessa avaliação era comparar as amostras com adição de fibras com os controles, a fim de verificar se as fibras atuam como agentes de reforço mecânico dos materiais cimentícios.

5.6. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO

Para averiguar o comportamento das propriedades mecânicas das fibras, o ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão foi aplicado, seguindo os procedimentos da norma NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Foram utilizadas 4 amostras com formato prismático 4x4x16 cm (vide em anexo figura 9), sendo empregado o equipamento prensa universal modelo DL 30000 (EMIC®, Brasil), com carga limite de 200 toneladas e velocidade de 0,22 mm/min.

As amostras foram mantidas em ambiente de cura controlada (umidade relativa de 98% e 25°C) até a idade de ruptura de 28 dias. Para determinar a resistência à tração na flexão, o corpo de prova foi posicionado de modo que a face rasada não ficasse em contato com os

apoios nos extremos da amostra nem com o dispositivo de carga. Já para determinar a resistência à compressão, foram utilizadas as metades das amostras do ensaio de tração à flexão, utilizando o mesmo equipamento.

Destaca-se que os valores obtidos foram apresentados como a média dos resultados, com o objetivo de comparar as amostras de controle e as amostras com fibras.

5.7. DENSIDADE APARENTE

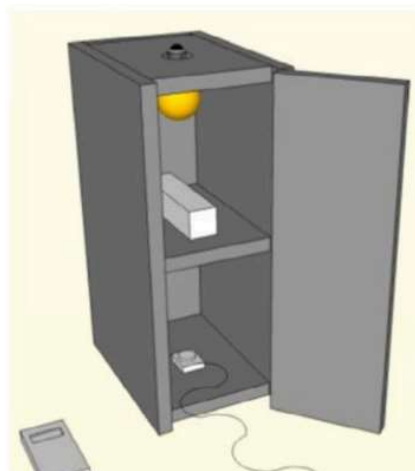
Na determinação da densidade aparente no estado endurecido de argamassas, foram seguidos os procedimentos de ensaio da norma NBR 13280 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Foram utilizados 4 corpos de prova de argamassa, após o tempo de cura nas idades estabelecidas de 7 e 28 dias. As dimensões das arestas dos corpos de prova foram obtidas e os volumes dos mesmos foram determinados. Além disso, a massa de cada corpo de prova foi medida e, com esses dados, foi possível calcular a relação entre massa e volume, resultando na densidade aparente das amostras para cada proporção de fibras e para as duas idades de cura.

5.8. TRANSMITÂNCIA DE LUZ

O ensaio de transmitância de luz foi empregado para analisar a quantidade de luz que conseguiu transpor por um material cimentício, que era opaco. Esse ensaio foi baseado nas orientações da literatura (HENRIQUES, 2018) e na norma NBR 15215-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Para realizar o ensaio, foi necessária uma caixa escura vedada, composta por três partes. Na parte superior, foi colocada uma fonte de luz (lâmpada de 100W/110V). Na parte central, havia uma abertura que permitia posicionar as amostras de material cimentício, permitindo a passagem da luz. Na parte inferior, foi instalado um aparelho fotossensível luxímetro (Minipa®, modelo MLM-1011) para realizar as leituras.

As leituras foram feitas durante um período de 10 minutos de exposição, sendo realizadas leituras a cada 2 minutos para garantir a consistência dos resultados. Antes de iniciar as leituras com as amostras, também foi feita uma leitura de referência sem nenhuma amostra, apenas para aferir o luxímetro com a luz diretamente. A avaliação da transmitância de luz em materiais cimentícios foi importante para verificar a capacidade do material em permitir a passagem de luz. Permitindo aplicações em projetos arquitetônicos que buscavam iluminação natural no interior do ambiente e reduzir o uso de luz artificial.

Figura 2. Esquema do ensaio de transmitância de luz



Fonte: (HENRIQUES, 2018)

5.9. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Este ensaio avaliou o comportamento da argamassa com a adição de fibras através do ensaio de determinação de módulo de elasticidade dinâmico de acordo com a norma NBR 15630 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) e ASTM C-597 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2022), obtidas através de um equipamento ultrassom. Para realizar esse ensaio foram necessárias amostras com dimensionamento de 5x5x2,5 cm mantidas em ambiente de cura controlada até 28 dias.

A partir das amostras, foram feitas 3 leituras para cada amostra, esse aparelho foi composto por um circuito pulso-receptor, transdutor e osciloscópio de armazenamento digital (TDS 2022), e registradas para cálculo da velocidade da propagação da onda ultrassônica e também foi calculada a densidade aparente do corpo de prova, e com a equação foi obtido o módulo de elasticidade dinâmico, Equação 1.

$$Ed = V^2 \rho \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \quad (\text{Eq. 1})$$

sendo V é a velocidade da propagação da onda ultrassônica (m/s), ρ é a densidade de massa aparente do corpo de prova (kg/m^3) e μ é o coeficiente de Poisson, adotando-se nessa equação o valor de 0,2.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE CONTROLE

Os resultados do índice de consistência das matrizes cimentícias de controle permitiu avaliar a trabalhabilidade da argamassa e preenchimento uniforme nos moldes para adicionar as fibras. Os valores médios dos índices de consistência foram de $36,4 \pm 0,4$ cm, podendo concluir que será possível ter preenchimento entre as fibras e homogeneidade nas amostras. De acordo com a literatura, esses valores são similares ao autoadensável (igual ou maior que 32 centímetros) (NBR 13280 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

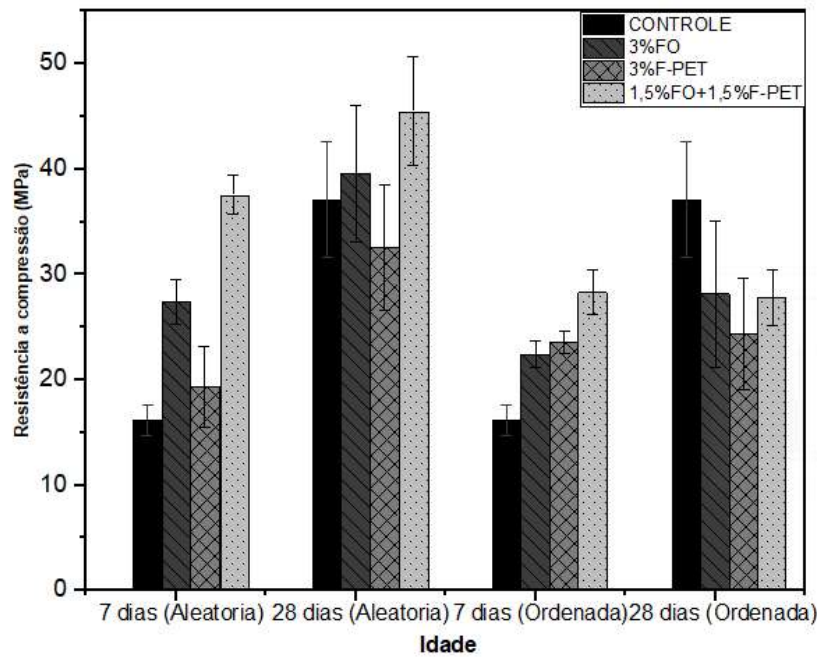
6.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Durante os ensaios de compressão axial, os valores obtidos para cada amostra com fibras, em diferentes idades de cura, foram representados na Figura 3 e comparados com as matrizes de controle.

Para as amostras distribuídas aleatoriamente, aos 7 dias de cura, observou-se que as amostras com adição de fibras apresentaram melhoria na resistência, com médias de resistência de $19,34 \pm 3,8$ MPa para 3,0% F-PET, $27,4 \pm 2,2$ MPa para 3,0% FO, e em destaque a composição de 1,5% FO e 1,5% F-PET, com o valor de $37,56 \pm 1,8$ MPa. Aos 28 dias de idade, a adição de ambas as fibras resultou em boa resistência ($45,52 \pm 5,2$ MPa), enquanto apenas a fibra óptica mostrou aumento de resistência em relação ao controle. Ao compará-las com amostras similares de concentração de somente fibra óptica (HENRIQUES, 2020), a média é aproximadamente 50 MPa, mostrando que houve melhoria ao adicionar os dois tipos de fibras parcialmente ao equiparar a matriz de controle.

Para as amostras distribuídas ordenadamente, aos 7 dias de idade, houve aumento na resistência em relação ao controle, com médias de resistência de $23,51 \pm 1,1$ MPa (3,0% F-PET), $22,42 \pm 1,2$ MPa (3,0% FO) e em destaque a matriz 1,5% FO e 1,5% F-PET ($28,33 \pm 2,1$ MPa). No entanto, aos 28 dias de idade, não houve aumento significativo de resistência em relação ao controle, com a melhor resistência sendo observada para a fibra óptica ($28,13 \pm 6,92$ MPa).

Figura 3. Resistência à compressão axial das matrizes cimentícias para cada concentração de fibras.

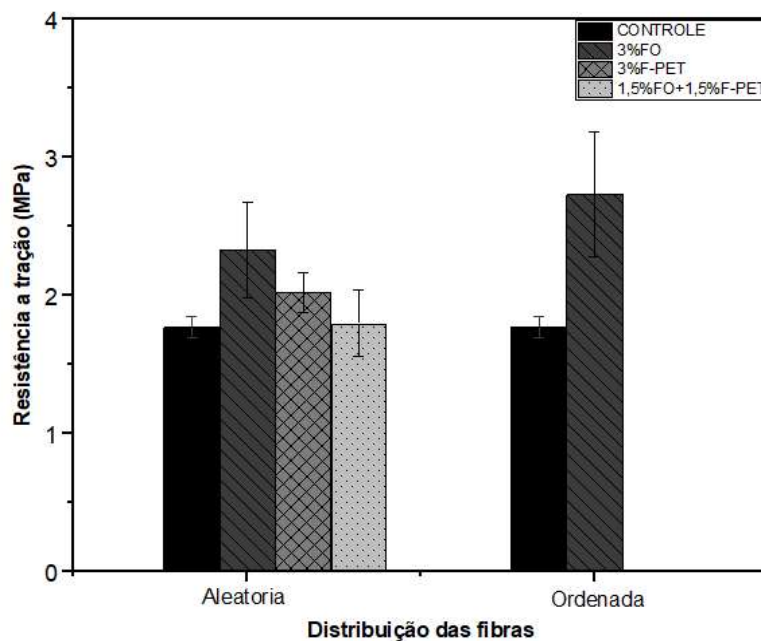


Fonte: Elaboração própria

6.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO

Na Figura 4 estão apresentados os resultados do ensaio de resistência à tração de flexão aos 28 dias de idade. Todas as amostras com adição de fibras apresentaram resultados superiores ao controle, com destaque para as amostras com 1,5% FO e 1,5% F-PET ($1,80 \pm 0,2$ MPa), 3,0% F-PET ($2,02 \pm 0,1$ MPa) e em destaque o 3,0% FO ($2,33 \pm 0,3$ MPa) para a distribuição aleatória, e para a distribuição ordenada 3,0% FO ($2,73 \pm 0,5$ MPa).

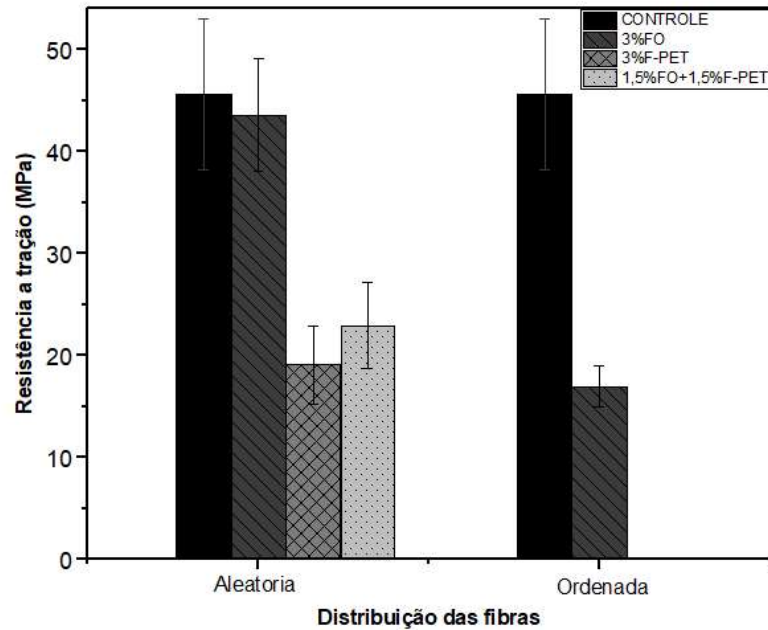
Figura 4. Resistência à tração na flexão das matrizes cimentícias para cada concentração de fibras.



Fonte: Elaboração própria

Após o ensaio de tração, metade dos corpos de prova prismáticos foi submetido ao ensaio de compressão, cujos resultados médios estão dispostos na Figura 5. Notavelmente, a amostra com melhor desempenho foi aquela contendo exclusivamente fibra óptica, atingindo a resistência de $(43,55 \pm 5,5 \text{ MPa})$.

Figura 5. Resistência à compressão após o ensaio de tração das matrizes cimentícias para cada concentração de fibras.

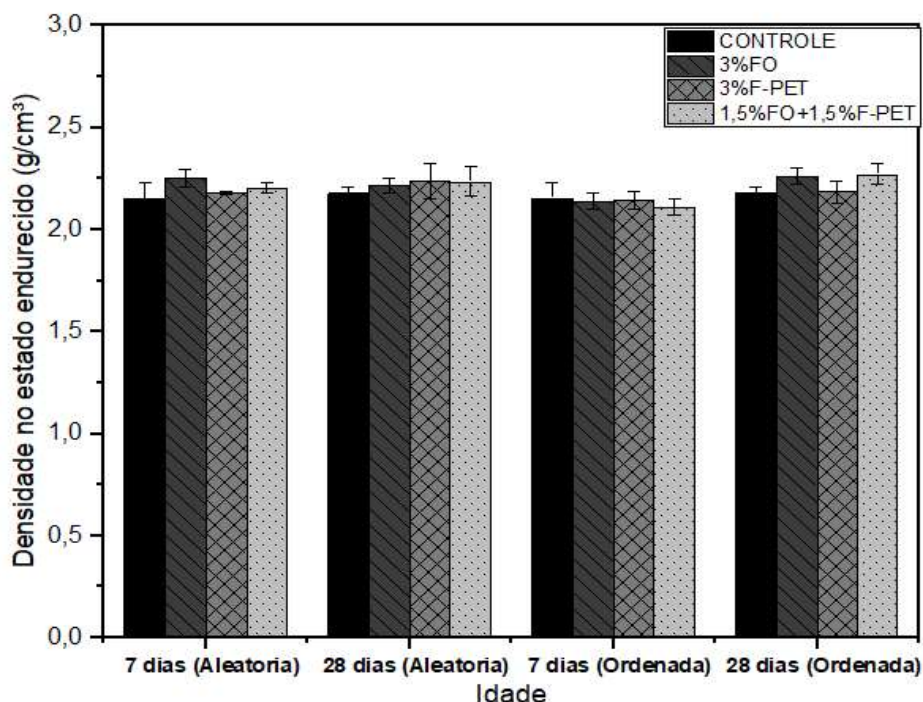


Fonte: Elaboração própria

6.4. DENSIDADE APARENTE

Na figura 6 não foram detectadas diferenças significativas nas concentrações de fibras nas amostras coletadas em duas idades diferentes, 7 e 28 dias. Os valores médios de densidade foram de aproximadamente $2,2 \text{ g/cm}^3$, indicando que a aplicação das fibras é satisfatória quando analisada essa propriedade.

Figura 6. Densidade no estado endurecido para cada concentração de fibras.

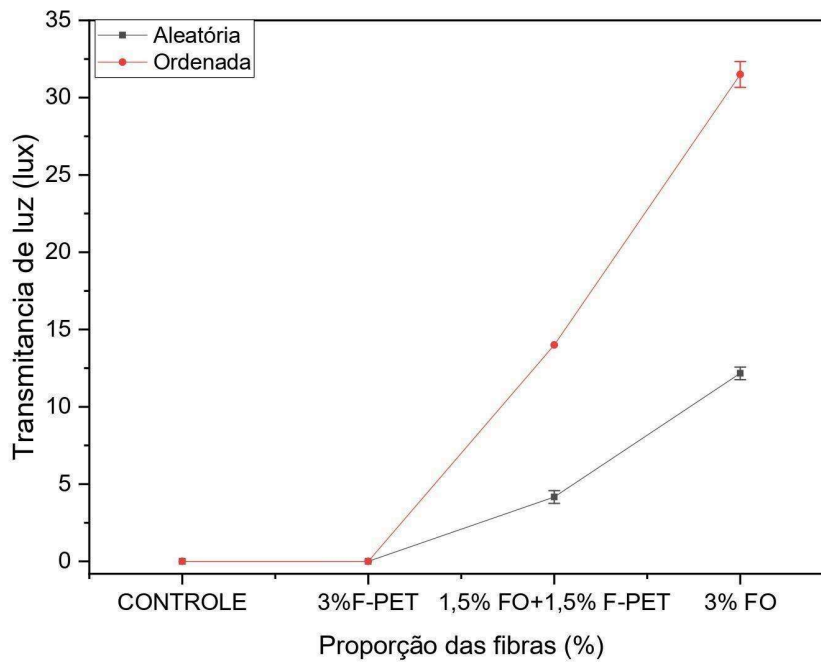


Fonte: Elaboração própria

6.5. TRANSMITÂNCIA DE LUZ

Na figura 7 são apresentados os resultados da transmitância de luz das amostras com 28 dias de idade. As amostras de controle não apresentaram nenhuma presença de luz perceptível pelo aparelho, já que são materiais opacos, e a F-PET também não houve transmissão de luz, visto que a seção transversal não permite a transmitância. Por outro lado, a fibra óptica tipo monomodo permitiu a transmissão da luz de uma ponta a outra, que comparando as duas formas de distribuição, ordenada e aleatoriamente, a distribuição ordenada obteve aproximadamente 3 vezes mais transmitância que a distribuição aleatória. As matrizes contendo dois tipos de fibras (FO+F-PET) apresentaram uma transmitância de cerca de 14 lux, enquanto as amostras contendo apenas FO tiveram uma transmitância de aproximadamente 32 lux. Esses resultados estão de acordo com a literatura e indicam que a aplicação das fibras nas amostras foi eficaz. (HENRIQUES, 2018)

Figura 7. Transmitância de luz na idade 28 dias para cada concentração de fibras.

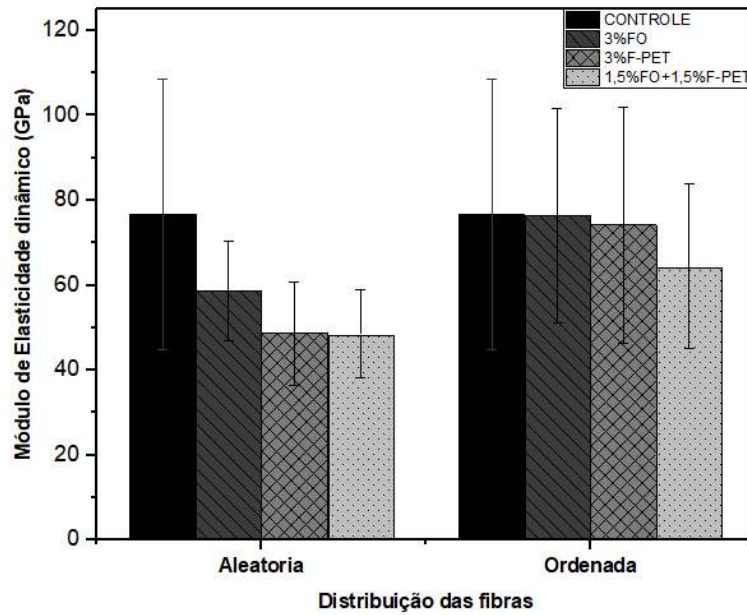


Fonte: Elaboração própria

6.6) MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

O ensaio de ultrassom é um método de avaliação qualitativa do concreto utilizado para determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais por meio de pulsos ultrassônicos em uma amostra. Suas principais aplicações incluem a análise da homogeneidade do concreto, a detecção de falhas internas de concretagem, a medição da profundidade de fissuras e outras anomalias, bem como a monitoração de variações no concreto decorrentes do meio agressivo em que a estrutura está inserida. Na figura 8 são apresentados os resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico com ultrassom, onde foi possível observar que as amostras com distribuição ordenada tiveram um melhor desempenho: $76,3 \pm 25,3$ GPa (3,0 % de FO) e $74,2 \pm 27,8$ GPa (3,0 % de F-PET).

Figura 8. Módulo de elasticidade dinâmica na idade 28 dias para cada concentração de fibras.



Fonte: Elaboração própria

7. CONCLUSÕES

Utilizando fibras de fibra óptica (FO) e de PET reciclado (F-PET) na argamassa, foi observado que as propriedades analisadas no estado endurecido apresentaram alterações positivas em relação à argamassa de controle. Os resultados foram favoráveis ao adicionar as duas fibras de forma aleatória na resistência à compressão axial (45,52 MPa), o que pode contribuir para a redução da concentração de FO e tornar mais sustentável a utilização da F-PET.

As amostras com distribuição ordenada de FO apresentaram uma transmitância 3 vezes maior do que o controle, enquanto nas amostras com F-PET, não foi detectada nenhuma luz pelo luxímetro. Na resistência à tração na flexão, as amostras com concentração de fibra óptica na distribuição ordenada apresentaram melhorias em comparação com o controle. Já na metade das amostras do ensaio de tração, as amostras com distribuição aleatória de FO tiveram o melhor desempenho.

No ensaio de módulo de elasticidade dinâmico, que avalia a qualidade da matriz cimentícia, as amostras com distribuição ordenada apresentaram melhor desempenho. Assim, pode-se concluir que a aplicação de fibras nas matrizes cimentícias favorece as propriedades analisadas como agente de reforço, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental e

energética, através da redução de resíduos com o reuso de garrafas PET e da diminuição do uso de luzes artificiais em interiores.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTI, M. G., ENFEDAQUE, A., GÁLVEZ, J. C. Composites Part B: Engineering, 151, 274-290, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C-597: Standard Test Method for Ultrasonic Pulse Velocity Through Concrete. West Conshohocken: PA, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. ABIPET. O PET número 1 em reciclagem.(2021) .<https://abipet.org.br/reciclagem/>. Acesso em 7 de janeiro de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 5739: Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 13280: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-1: iluminação natural: parte 1: conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 15630: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.

BORG, R. P., BALDACCHINO, O., FERRARA, L. Construction and Building Materials, 108, 29-47, 2016

BOZYIGIT, I., BULBUL, F., ALP, CANDAS. Engineering Science and Technology, an International Journal 24, 1090–1101, 2021.

CHIEW, S. M., IBRAHIM, I. S., SARBINI, N. Materials today: Proceedings. 39, 1046-1050, 2021.

CHINCHILAS-CHINCHILAS, M. J., GAXIOLA, A., ALVARADO-BELTRAN, C. G. Journal of Cleaner Production, 252, 119827, 2020.

CILLI, S. L., SILVA, H. C., WATANUKI FILHO, A., AOUADA, M. R. D. M., AOUADA, F. A. Journal of Experimental Techniques and Instrumentation, 2, 1, 2019.

CIMENTO NACIONAL. Certificado de ensaios em cimento, Max Performance CP V-ARI, 2023. https://cimentonacional.com.br/public/documentos/fispq_sete_lagoas.pdf.

DEBNATH, R., BARDHAN, R. Energy Procedia, 90, 382-394, 2016.

FAKHARI, M., FAYAZ, R. Solar Energy, 256, 179-190, 2023.

FALABRETTI, A., DE FRANÇA, C. H. A., DE ALMEIDA FILHO, R. B., DE HOLANDA, E. P. T. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, 4, 187, 2018.

HENRIQUES, T. D. S., DAL MOLIN, D. C., MASUERO, . B. Construction and Building Materials, 161, 305-315, 2018.

HENRIQUES, T. D. S., DAL MOLIN, D. C., MASUERO, . B. Construction and Building Materials, 244, 118406, 2020.

KUNTHAWATWONG, R., SYLISOMCHANH, L., PANGDAENG, S. Construction and Building Materials 328, 127084, 2022.

LI, Y., LI, J., WAN, Y., XU, Z. Construction and building materials, 96, 319-325, 2015.

MIRJALILI, S. M. A., ASLANI, A., RAHIM, Z., Case Studies in Thermal Engineering, 52, 103696, 2023.

MOUNA, Y., IRFAN, B., RAHMAN, M. S., BATIKHA, M. Construção e Materiais de Construção 420, 135613, 2024.

PALANISAMY, C., KRISHNASWANI, N., VELUSAMY, S. K., Materials Today: Proceedings 65, 1774–1778, 2022

RAIMONDI, A., SANTUCCI, D., BEVILACQUA, S., CORSO, A. Energy Procedia, 96, 180-189, 2016.

REVATHI, S., KUMAR, P. S., SURESH, D. Materials Today: Proceedings, 2214-7853, 2023.

RESENDE, D. M., MENDES, V. F., CARVALHO, V. R. Journal of Building Engineering 83, 108426, 2024.

SPÓSITO, F. A., HIGUTI, R. T., TASHIMA, M. M., AKASAKI, J. L. Journal of Building Engineering, 32, 101506, 2020.

SU, X., ZHANG, L., LIU, Z. Journal of Building Engineering 67, 105959, 2023.

TAHWIA, A. M., ABDEL-RAHEEM, A., ABDEL-AZIZ, N., AMIN, M. Journal of Building Engineering 38,102178, 2021.

THOMAS, L. M., MOOSVI, S. A. Materials Today: Proceedings, 32, 4, 2020, 632-637

9. ANEXOS

Figura 9. Corpo-de-prova do ensaio de tração com concentração de 3% FO distribuição ordenada, antes dos cortes de fibras.



Fonte: Elaboração própria

Figura 10. Corpo-de-prova do ensaio de compressão com concentração de 3% FO distribuição ordenada, antes dos cortes de fibras.



Fonte: Elaboração própria

Figura 11. Corpo-de-prova do ensaio de compressão com concentração de 3% PET
distribuição aleatória.



Fonte: Elaboração própria

Figura 12. Corpo-de-prova do ensaio de compressão com concentração de 3% FO
distribuição ordenada, fibras cortadas.



Fonte: Elaboração própria