

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
ENGENHARIA CIVIL

SOLON TUPINAMBA LEITE NETO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CONCRETO CONVENCIONAL E O
CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA ÓTICA**

São Luís

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
ENGENHARIA CIVIL

SOLON TUPINAMBA LEITE NETO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CONCRETO CONVENCIONAL E O
CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA ÓTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil da
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como
requisito necessário à obtenção do título de Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Msc. José Átila Matos Aroucha Junior

São Luís

2024

Leite Neto, Solon Tupinamba

Estudo comparativo entre o concreto convencional e o concreto com
adição de fibra ótica. / Solon Tupinamba Leite Neto. – São Luís, MA, 2024.

212 f

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade
Estadual do Maranhão, 2024.

Orientador: Prof. Me. José Átila Matos Aroucha Junior

1.Concreto. 2.Ensaio experimental. 3.Fibra ótica. 4.Resistência.
5.Transmitância luminosa. I.Título.

SOLON TUPINAMBA LEITE NETO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CONCRETO CONVENCIONAL E O CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA ÓTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito necessário à obtenção do título de Engenharia Civil.

Aprovado em: 12/08/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. José Átila Matos Aroucha Junior (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Fernando Jorge Cutrim Demetrio
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar
Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus pela vida e por me proporcionar saúde em toda minha caminhada.

Agradeço aos meus pais, Antônio José e Rachel Leite e aos meus avós Solon e Jamacy (em memória) por todo amor concedido, carinho, educação, apoio, incentivo e por sempre fazerem tudo pelos meus sonhos. Escrevo esses agradecimentos com a eterna saudade que carrego em meu coração. Agradeço aos meus irmãos de sangue, João Carlos e Carlos por estarem sempre ao meu lado nessa caminhada.

Agradeço aos meus irmãos de vida, Matheus Gerude, Vinicius Capistrano, Celio Neto, Lucas Cardoso, Gabriel Vinicius, Victor Pezzino e Caio Pezzino. Obrigado por estarem sempre ao meu lado dia após dia.

Deixo meus agradecimentos à minha namorada Danielly Maciel, por todo companheirismo, carinho, cuidado, afeto e amor ao longo desta caminhada.

Sou grato pelos aprendizados que adquiri com os professores e amigos de turma, em minha trajetória na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

Agradeço ao professor José Átila por me orientar, proporcionar ensinamentos e pelo apoio quando precisei.

Agradeço à professora Fernanda, ao professor Witson e a toda equipe do Laboratório de Concreto e Materiais de Construção (LABCOM) pelo auxílio nas etapas experimentais desta pesquisa.

Deixo aqui minha gratidão a todos que contribuíram de alguma forma nessa etapa da minha vida.

RESUMO

O presente estudo tem como principal objetivo realizar um estudo comparativo entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica. Para isso, foram realizados ensaios experimentais de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos (28 dias) e de transmitância luminosa em painéis translúcidos fabricados com diâmetros de 3,00mm, 1,00mm e 0,75mm, contendo 4% de proporção em volume de fibras tanto para os corpos de prova quanto para os painéis translúcidos. O foco do estudo está na comparação entre os corpos de prova confeccionados, buscando avaliar qual mistura apresentou os melhores resultados quando submetida ao carregamento compressivo e qual das fibras óticas poliméricas (FOP) apresentou os resultados mais favoráveis. Além disso, buscou-se também avaliar e comparar os resultados de transmitância luminosa nos painéis translúcidos sob luz natural nos horários de 10h, 12h, 14h e 16h em ambas as faces dos painéis (A e B), ao longo de 28 dias, e sob luz artificial utilizando uma lâmpada de LED. Pelo estudo, ficou evidente que os corpos de prova de com adição de FOP apresentaram resultados de resistência à compressão inferiores quando comparados ao concreto convencional. Entretanto, dentre as misturas com adição, verifica-se que o concreto com FOP de maior diâmetro (3,00mm) apresentou os resultados mais favoráveis. No que se refere à transmitância luminosa, constatou-se que a face B do painel com FOP de Ø1,00mm apresentou os resultados mais favoráveis. Contudo o resultado médio total entre os painéis indica que o painel com FOP de Ø3,00mm obteve os resultados mais satisfatórios sob luz natural. Sob luz artificial os resultados mostraram-se muito próximos, com uma ligeira vantagem para o painel com FOP de Ø1,00mm, cuja diferença em relação ao painel de maior diâmetro foi de apenas 1 Lux. Dessa forma, conclui-se que dentre os concretos com adição de fibra ótica ensaiados experimentalmente, a mistura com FOP de maior diâmetro (Ø3,00mm) apresentou os resultados mais favoráveis, alcançando valores de resistência à compressão mais próximos do concreto convencional e obtendo simultaneamente os resultados médios totais mais satisfatórios no tocante à transmitância luminosa sob luz natural, com uma diferença mínima sob luz artificial.

Palavras-chave: Concreto. Ensaio experimental. Fibra ótica. Resistência. Transmitância luminosa.

ABSTRACT

The main objective of this study is to carry out a comparative study between conventional concrete and concrete with the addition of optical fiber. To this end, experimental tests of compressive strength were carried out on cylindrical specimens (28 days) and of light transmittance on translucent panels manufactured with diameters of 3.00mm, 1.00mm and 0.75mm, containing 4% proportion by volume of fibers for both the specimens and the translucent panels. The focus of the study is on the comparison between the manufactured specimens, seeking to evaluate which mixture presented the best results when subjected to compressive loading and which of the polymeric optical fibers (POF) presented the most favorable results. Furthermore, we also sought to evaluate and compare the results of light transmittance on translucent panels under natural light at 10 am, 12 pm, 2 pm and 4 pm on both sides of the panels (A and B), over 28 days, and under artificial light using an LED lamp. From the study, it was evident that the specimens with the addition of POF presented lower compressive strength results when compared to conventional concrete. However, among the mixtures with addition, it appears that concrete with larger diameter POF (3.00mm) presented the most favorable results. With regard to light transmittance, it was found that face B of the panel with a POF of Ø1.00mm presented the most favorable results. However, the total average result between the panels indicates that the panel with a Ø3.00mm POF obtained the most satisfactory results under natural light. Under artificial light, the results were very close, with a slight advantage for the panel with a Ø1.00mm POF, whose difference in relation to the panel with a larger diameter was only 1 Lux. Therefore, it is concluded that among the concretes with the addition of optical fiber experimentally tested, the mixture with larger diameter POF (Ø3.00mm) presented the most favorable results, achieving compressive strength values closer to conventional concrete and simultaneously obtaining the most satisfactory total average results in terms of luminous transmittance under natural light, with a minimal difference under artificial light.

Key-words: Concrete. Experimental test. Optical fiber. Strength. Light Transmittance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Registro de Dólmen localizado em Poul nabrone na Irlanda.....	19
Figura 2	– Pedras de Callanish localizadas na Escócia.....	20
Figura 3	– Cromlech de Orgambide localizado em Navarra na Espanha.....	21
Figura 4	– Disposição de grampos em blocos de pedra.....	22
Figura 5	– Castelo de Loarre na Espanha.....	23
Figura 6	– Farol de Eddystone entre 1889 e 1911.....	24
Figura 7	– Barco de cimento armado proposto por Joseph Louis Lambot.....	25
Figura 8	– Ponte construída por Joseph Monier atualmente.....	26
Figura 9	– Sistema Estrutural proposto por Hennebique.....	27
Figura 10	– Ingalls Building, Cincinnati, Ohio nos Estados Unidos.....	28
Figura 11	– Inauguração da Estátua do Cristo Redentor no Rio de Janeiro.....	29
Figura 12	– CN Tower localizada em Toronto no Canadá.....	31
Figura 13	– Residência construída com adobe reforçado com palha em 1540.....	36
Figura 14	– Fibras de vidro álcali-resistentes em elemento cimentício.....	37
Figura 15	– Curva comparativa Carga x Deformação entre concretos.....	40
Figura 16	– Evolução histórica da atenuação das fibras óticas ao longo da segunda metade do século XX.....	48
Figura 17	– Estrutura simplificada da fibra ótica.....	49
Figura 18	– Estrutura base da fibra ótica polimérica.....	50
Figura 19	– Seção da fibra ótica polimérica.....	51
Figura 20	– Comportamento da luz ao incidir na fronteira entre meios com índices de refração.....	52
Figura 21	– Representação gráfica do ângulo crítico e do	

	fenômeno da reflexão total do feixe de luz.....	53
Figura 22	– Áron Losonzi e uma luminária fabricada em concreto translúcido.....	56
Figura 23	– Pavilhão Italiano apresentado na Expo Mundial de Shangai em 2010.....	57
Figura 24	– Paredes e teto fabricados em concreto translúcido para a nova sede do banco da Georgia.....	58
Figura 25	– Blocos translúcidos da Braston Pisos Personalizados.....	61
Figura 26	– Inauguração da escultura Europe Gate em Kamaron, Hungria.....	62
Figura 27	– Parede confeccionada em concreto translúcido em uma clínica na cidade de Genk, Bélgica.....	63
Figura 28	– Parede e piso confeccionados em concreto translúcido em um saguão pertencente a uma edificação em Londres, Reino Unido.....	64
Figura 29	– Bancos retroiluminados em uma praça pública na cidade de Magdeburgo, Alemanha.....	65
Figura 30	– Fluxograma referente às etapas metodológicas realizadas.....	67
Figura 31	– Frasco de Chapman com o conjunto água-agregado miúdo já estabilizado.....	69
Figura 32	– Curva granulométrica do agregado miúdo e limites de distribuição de acordo com a ABNT NBR 7211/2022.....	71
Figura 33	– Amostras de agregado graúdo submersas em água.....	72
Figura 34	– Série de peneiras posicionadas para determinação da composição granulométrica dos agregados.....	73
Figura 35	– Curva granulométrica do agregado miúdo e limites de distribuição estabelecidos pela ABNT NBR 7211/2022.....	75
Figura 36	– Frasco volumétrico de Le Chatelier com líquido presente.....	76
Figura 37	– Fibras óticas poliméricas utilizadas.....	78
Figura 38	– Ensaio de Abatimento de tronco de cone.....	81
Figura 39	– Corpos de prova submetidos à câmara úmida.....	82
Figura 40	– Corpo de prova posicionado adequadamente no	

	eixo da prensa.....	83
Figura 41	– Equipamento Luxímetro MINIPA MLM-1011.....	85
Figura 42	– Caixa utilizada nos ensaios de transmitância luminosa.....	87
Figura 43	– Luxímetro, painel translúcido e caixa durante o ensaio a) com exposição à luz natural b) com exposição à luz artificial.	88
Figura 44	– Fibras óticas poliméricas coladas na guia de madeira.....	89
Figura 45	– Moldes de madeira utilizados na produção dos painéis.....	89
Figura 46	– Estrutura dos painéis translúcidos antes da concretagem.....	90
Figura 47	– Estrutura dos painéis translúcidos antes da desmoldagem.....	91
Figura 48	– Estrutura dos painéis translúcidos após a concretagem.....	92
Figura 49	– Painéis translúcidos polidos e finalizados.....	92
Figura 50	– Etapas de produção dos painéis translúcidos.....	93
Figura 51	– Abatimento relativo ao concreto convencional sem aditivo superplastificante.....	95
Figura 52	– Abatimento relativo ao concreto convencional com aditivo superplastificante.....	96
Figura 53	– Comparação gráfica relativa ao abatimento entre o concreto com e sem aditivo superplastificante.....	97
Figura 54	– Corpos de prova cilíndricos após a ruptura (28 dias)	98
Figura 55	– Representação gráfica da variação de resistência à compressão nos corpos de prova de concreto convencional e com adição de FOP (28 dias)	99
Figura 56	– Representação gráfica comparativa da resistência à compressão nos corpos de prova obtidos por Cadavid (2013) e o presente estudo (28 dias)	101
Figura 57	– Representação gráfica comparativa dos novos resultados de resistência à compressão nos corpos de prova de Cadavid (2013) e do presente estudo (28 dias)	102
Figura 58	– Representação gráfica da intensidade luminosa captada na condição climática ensolarada às 10h.....	104
Figura 59	– Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática ensolarada às 10h (a) primeiros dias e (b) dias restantes.....	105

Figura 60	–	Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática ensolarada às 12h.....	108
Figura 61	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática ensolarada às 12h (a) primeiros dias e (b) dias restantes.....	109
Figura 62	–	Representação gráfica das intensidades luminosas registradas na condição climática ensolarada às 14h.....	112
Figura 63	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática ensolarada às 14h.....	113
Figura 64	–	Representação gráfica das intensidades luminosas registradas na condição climática ensolarada às 16h.....	116
Figura 65	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática ensolarada às 16h (a) primeiros dias e (b) dias restantes.....	117
Figura 66	–	Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática parcialmente ensolarada às 10h.....	120
Figura 67	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 10h.....	121
Figura 68	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 12h.....	124
Figura 69	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 12h.....	125
Figura 70	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 14h.....	128
Figura 71	–	Representação gráfica da transmitância luminosa na condição climática parcialmente ensolarada às 14h (a) primeiros dias e (b) dias restantes.....	129
Figura 72	–	Representação gráfica dos resultados de intensidade luminosa na condição climática parcialmente ensolarada às 16h.....	132
Figura 73	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 16h.....	133
Figura 74	–	Representação gráfica dos resultados de intensidade luminosa na condição nublada às 10h.....	136
Figura 75	–	Representação gráfica dos painéis translúcidos	

	na condição climática nublada às 10h.....	137
Figura 76	– Representação gráfica dos resultados de intensidade luminosa na condição nublada às 12h.....	140
Figura 77	– Representação gráfica da transmitância luminosa na condição climática nublada às 12h.....	141
Figura 78	– Representação gráfica dos resultados de intensidade luminosa na condição nublada às 14h.....	144
Figura 79	– Representação gráfica da transmitância luminosa nos painéis translúcidos na condição climática nublada às 14h.....	145
Figura 80	– Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática nublada às 16h.....	148
Figura 81	– Representação gráfica da transmitância luminosa nos painéis translúcidos na condição climática nublada às 16h.....	149
Figura 82	– Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática chuvosa às 12h.....	152
Figura 83	– Representação gráfica da transmitância luminosa dos painéis translúcidos na condição climática chuvosa às 12h.....	153
Figura 84	– Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática chuvosa às 16h.....	155
Figura 85	– Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática chuvosa às 16h.....	156
Figura 86	– Representação gráfica da transmitância luminosa dos painéis translúcidos expostos à luz artificial.....	158
Figura 87	– Posicionamento adquirido pelas FOP de Ø1,00mm na Face B do painel, no estado endurecido.....	160
Figura 88	– Vista isométrica e lateral do efeito ocasionado pela mudança no direcionamento das FOP.....	161
Figura 89	– Seção transversal da FOP ao ser cortada com serra.....	162

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Parâmetros de comparação relativos às fibras óticas poliméricas com núcleos de composições distintas.....	54
Tabela 2	– Ensaios e normas relativas à caracterização dos agregados.....	68
Tabela 3	– Massa específica relativa à amostra de agregado miúdo.....	69
Tabela 4	– Composição granulométrica referente ao agregado miúdo.....	70
Tabela 5	– Massa específica e absorção de água referente ao agregado graúdo.....	72
Tabela 6	– Composição granulométrica relativa ao agregado graúdo.....	74
Tabela 7	– Massa específica referente ao cimento.....	76
Tabela 8	– Percentual de aditivo superplastificante utilizado.....	77
Tabela 9	– Traço em massa utilizado na concretagem.....	79
Tabela 10	– Nomenclatura adotada para as condições climáticas estabelecidas pelo INMET.....	84
Tabela 11	– Características técnicas referente ao luxímetro.....	86
Tabela 12	– Resistência à compressão do concreto convencional e do concreto com adição de FOP em corpos de prova cilíndricos (28 dias)	99
Tabela 13	– Resultados da ANOVA.....	100
Tabela 14	– Resultados do Teste de Tukey.....	100
Tabela 15	– Médias por face e geral para a condição climática ensolarada às 10h.....	106
Tabela 16	– Percentual de luz passante para a condição climática ensolarada às 10h.....	107
Tabela 17	– Resultado das médias por face e geral e do desvio padrão para a condição climática ensolarada às 12h.....	110
Tabela 18	– Percentual de luz passante para a condição climática ensolarada às 12h.....	111
Tabela 19	– Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática ensolarada às 14h.....	114
Tabela 20	– Percentual de luz passante para a condição climática	

	ensolarada 14h.....	115
Tabela 21	– Resultado das médias por face e geral, e do desvio padrão para a condição climática ensolarada às 16h.....	118
Tabela 22	– Percentual de luz passante para a condição climática ensolarada 16h.....	119
Tabela 23	– Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática parcialmente ensolarada às 10h.....	122
Tabela 24	– Percentual de luz passante para a condição climática parcialmente ensolarada 10h.....	123
Tabela 25	– Resultado das médias por face e geral, e do desvio padrão para a condição climática parcialmente ensolarada às 12h.....	126
Tabela 26	– Percentual de luz passante para a condição climática parcialmente ensolarada 12h.....	127
Tabela 27	– Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática parcialmente ensolarada às 14h.....	130
Tabela 28	– Resultado das médias por face e geral, e do desvio padrão para a condição climática parcialmente ensolarada às 16h.....	134
Tabela 29	– Percentual de luz passante para a condição climática parcialmente ensolarada 16h.....	135
Tabela 30	– Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática nublada às 10h.....	138
Tabela 31	– Dados e resultados do percentual de luz passante para a condição climática nublada 10h.....	139
Tabela 32	– Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática nublada às 12h.....	142
Tabela 33	– Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática nublada 12h.....	143
Tabela 34	– Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática nublada às 14h.....	146
Tabela 35	– Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática nublada 14h.....	147

Tabela 36	– Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática nublada às 16h.....	150
Tabela 37	– Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática nublada 16h.....	151
Tabela 38	– Dados obtidos e média geral para a condição climática chuvosa às 12h.....	153
Tabela 39	– Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática chuvosa 12h.....	154
Tabela 40	– Médias por face e geral para a condição climática chuvosa às 16h.....	156
Tabela 41	– Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática chuvosa 16h.....	157
Tabela 42	– Resultados dos ensaios com exposição à luz artificial.....	159

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	JUSTIFICATIVA.....	17
3	OBJETIVOS.....	18
3.1	Objetivos gerais.....	18
3.2	Objetivos específicos.....	18
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
4.1	Pré-História do concreto.....	19
4.2	Origem do concreto.....	22
4.3	Evolução do concreto.....	23
4.4	Concretos Especiais.....	32
4.5	Concretos e argamassas com utilização de fibras.....	34
4.5.1	Evolução histórica dos concretos e argamassas com utilização de fibras.....	35
4.5.2	Materiais compósitos.....	38
4.5.3	Concreto reforçado com fibras.....	39
4.5.4	Variedade de Fibras empregadas.....	41
4.6	Fibra Ótica Polimérica – FOP.....	46
4.6.1	Histórico da fibra ótica polimérica.....	47
4.6.2	Estrutura e mecanismo base da fibra ótica.....	49
4.6.3	Fundamentos da transmissão de luz através de fibras óticas.....	50
4.6.4	Material que constitui a fibra ótica polimérica.....	54
4.7	Concreto Translúcido.....	55
4.7.1	Histórico do concreto translúcido.....	55
4.7.2	Propriedades do concreto translúcido.....	58
4.7.2.1	<i>Propriedades mecânicas.....</i>	<i>59</i>
4.7.2.2	<i>Propriedades de transmitância de luz e economia de energia.....</i>	<i>59</i>
4.7.3	Aplicações do concreto translúcido.....	60
4.7.3.1	<i>Escultura Europe Gate em Kamaron, Hungria.....</i>	<i>61</i>
4.7.3.2	<i>Clínica em Genk, Bélgica.....</i>	<i>62</i>
4.7.3.3	<i>Saguão de um prédio em Londres, Reino Unido.....</i>	<i>63</i>
4.7.3.4	<i>Bancos retroiluminados em Magdeburgo, Alemanha.....</i>	<i>64</i>

5	METODOLOGIA.....	66
5.1	Materiais.....	67
5.1.1	Materiais utilizados e Caracterização dos agregados.....	67
5.1.1.1	<i>Agregado miúdo.....</i>	68
5.1.1.2	<i>Agregado graúdo.....</i>	71
5.1.1.3	<i>Cimento.....</i>	75
5.1.1.4	<i>Aditivo Superplastificante.....</i>	76
5.1.1.5	<i>Fibras óticas poliméricas.....</i>	77
5.2	O concreto.....	78
5.2.1	Dosagem adotada.....	79
5.2.2	Ensaio de abatimento de tronco de cone.....	80
5.2.3	Moldagem e cura dos corpos de prova.....	81
5.2.4	Ensaio de resistência a compressão.....	82
5.3	Luminosidade.....	83
5.3.1	Ensaio de luminosidade.....	84
5.3.2	Determinação da transmitância luminosa nos painéis de concreto translúcido.....	85
5.3.3	Confecção do painel em concreto translúcido.....	88
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	95
6.1	Abatimento do tronco de cone.....	95
6.2	Resistência à compressão.....	97
6.3	Transmitância Luminosa.....	102
6.2.1	Iluminação Natural.....	103
6.2.1.1	<i>Condição climática ensolarada.....</i>	103
6.2.1.2	<i>Condição climática parcialmente ensolarada.....</i>	120
6.2.1.3	<i>Condição climática nublada.....</i>	135
6.2.1.3	<i>Condição climática chuvosa.....</i>	151
6.2.2	Iluminação Artificial.....	157
6.2.3	Análises sobre os resultados de transmitância luminosa.....	165
7	CONCLUSÃO.....	155
	REFERÊNCIAS.....	167
	APÊNDICES.....	176

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material fabricado a partir da composição de cimento, água, agregado graúdo e miúdo, além do uso de aditivos visando melhorias em seu desempenho. É considerado um material de ampla utilização na construção civil, isso se deve principalmente, pela grande versatilidade em seu uso, pelos resultados relativos à sua durabilidade e pela sofisticação que esse material pode entregar a projetos de engenharia (Ribeiro, 2011).

A evolução tecnológica das técnicas e dos materiais que compõem a dosagem do concreto e a sua consecutiva aplicação, demonstram uma ascensão na busca por espaços mais confortáveis e cada vez mais sustentáveis, atrelando juntamente a estes fatores o custo benefício da edificação. Nesse contexto, o concreto com adição de fibras óticas, apresentou seus primeiros vestígios em meados de 1999, entretanto foi somente em 2001 que o Húngaro Áron Losonczy executou e patenteou o primeiro protótipo a base de cimento e fibra ótica, alcançando resultados satisfatórios relativos à resistência do material, assim como a passagem de luz entre os feixes da fibra (Arman, 2004).

Após o desenvolvimento e o aprimoramento de técnicas, Losonczy funda um escritório e realiza então a comercialização do produto, nomeando-o de LiTraCon (Light Translucent Concrete). Este produto ganhou grande reconhecimento a nível mundial, sendo apresentado em 2005 no National Building Museum em Washington nos Estados Unidos, assim como em exposições em diversos outros países (Cadavid, 2013).

Com os passar dos anos, o produto se propagou globalmente e ganhou estudos e pesquisas cada vez mais direcionados ao produto, sobretudo em relação às características relativas à resistência, à reologia e a luminância do material. O recorrente avanço destas características supracitadas proporcionou a produção de concretos translúcidos com resistências mais elevadas que concretos convencionais, contemplando paralelamente a estética do produto.

Dessa forma, é cediço a crescente necessidade por estruturas com resistências cada vez mais elevadas, que sejam sustentáveis, e que proporcionem o custo benefício sem comprometer a estética. Portanto, o presente trabalho busca contribuir com o meio acadêmico através do estudo comparativo do concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica, seguindo as diretrizes técnicas exigidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a realização dos estudos e das análises experimentais.

2 JUSTIFICATIVA

À medida que os materiais e as tecnologias avançam, verifica-se uma correlação direta entre esses avanços e os níveis de conforto, em especial, o conforto térmico, sonoro e luminoso. De acordo com Barrios (2011), este último está associado com o desempenho de múltiplas atividades do ser humano ao longo do dia. Ademais, o aspecto sustentável é de grande importância no que concerne a iluminação de espaços em construções. Tutikian (2015) descreve que o concreto translúcido se apresenta como um material com grande potencial sustentável. Dessa maneira, o emprego do concreto translúcido no presente estudo busca atender a estes critérios de conforto e sustentabilidade, por meio da análise e avaliação da eficiência proveniente da transmitância luminosa e, abrangendo concomitantemente os aspectos ligados à resistência mecânica.

O concreto ao receber a adição de fibras óticas em sua composição, pode apresentar resultados satisfatórios no tocante à resistência mecânica, além de desempenhar um papel importante na redução de patologias resultantes do assentamento e da retração do material (Barbarán, 2013). Durante a pesquisa na literatura disposta sobre o tema do presente estudo foi possível perceber uma insuficiência em relação a quantidade de trabalhos que avaliam a eficiência luminosa de painéis translúcidos ao longo de uma determinada periodicidade.

Nesse contexto, este trabalho buscou contribuir de forma acadêmica a trazer resultados de transmitância luminosa ao longo de 28 dias, além de resultados inerentes à resistência à compressão entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica aos 28 dias, baseando-se nos requisitos exigidos pelas normas técnicas brasileiras, com a finalidade de levar o conhecimento à comunidade acadêmica e profissional.

3 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados os objetivos gerais e específicos relativos ao estudo comparativo entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica.

3.1 Objetivos gerais

Contribuição ao meio acadêmico com o estudo comparativo entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica em sua composição.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o concreto convencional;
- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o concreto com adição de fibras óticas e suas aplicações globais;
- Realizar ensaios que possibilitem analisar e comparar os resultados de resistência à compressão entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica e, ensaios para avaliar a transmitância luminosa entre painéis translúcidos confeccionados com fibras óticas com diâmetros distintos ($\text{Ø}3,00\text{mm}$, $\text{Ø}1,00\text{mm}$ e $\text{Ø}0,75\text{mm}$);
- Apresentar resultados e as conclusões acerca da análise comparativa entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra de ótica, assim como os resultados para os painéis translúcidos.

4 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta a evolução do concreto e das fibras óticas ao longo da história, bem como as propriedades inerentes a cada um destes materiais. Nesta seção também são apresentados os princípios inerentes à transmissão de luz em fibras óticas, além de abordar acerca do desenvolvimento histórico, das propriedades e aplicações do concreto translúcido.

4.1 Pré-História do concreto

A pré-história do concreto apresentou os seus primeiros vestígios de construções realizadas pelo homem datam dos períodos Neolítico e também da idade do bronze, aproximadamente entre 8000 a 4000 anos a.C., localizadas em regiões europeias, especificamente próximos da região Mediterrânea e também da Costa do Atlântico.

Estas construções registradas foram construídas a base de pedras, com dimensões colossais. Estas obras, não possuíam a função de moradia, mas tinham funcionavam como templos ou até mesmo como câmaras mortuárias. Esses monumentos megalíticos possuíam três classificações: Dólmens, Menires e os Cromlech.

Os Dólmens são monumentos formados por um bloco de pedra achatada que apresenta maior superfície, sobre blocos de pedra posicionados verticalmente, que servem como apoio para o bloco superior, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Registro de Dólmens localizado em Poul nabrone na Irlanda.



Fonte: Enciclopédia Britannica (2015).

Já os Menires são monumentos formados por blocos de pedras posicionados verticalmente ao solo, e podem estar dispostos em filas alinhadas ou de forma isolada. Vale lembrar, que estes blocos possuíam grandes dimensões, levantando a hipótese de que os homens nesse período já detinham conhecimentos empíricos construtivos suficientes para erguer e posicionar estes pedregulhos, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Pedras de Callanish localizadas na Escócia



Fonte: Brasileiras sem fronteiras (2022).

Os Cromlechs são monumentos formados por Menires posicionados, em sua grande maioria, de forma circular ou elíptica. Estas estruturas serviam como locais para a realização de cerimônias rituais e até mesmo para observações astronômicas. Na Figura 3 é possível observar a disposição destes monumentos.

Figura 3 – Cromlech de Orgambide localizado em Navarra na Espanha.



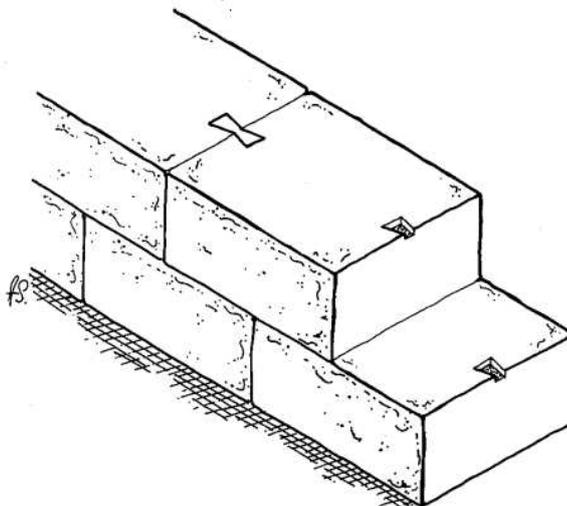
Fonte: Reidekish (2023).

Já no período de 3000 a.C a 2500 a.C, os registros arqueológicos mostram uma crescente evolução tanto nos materiais utilizados quanto nos métodos construtivos. A exemplo tem-se a mistura do barro juntamente com a palha, resultando na formação de tijolos que viriam a ser utilizados, por exemplo, na construção das pirâmides de Gizé no Egito antigo.

Além dos tijolos de barro, os egípcios também fabricavam a Cal e da Gipsita, para a execução de seus monumentos e construções. Sendo a Cal considerada um aglomerante formado através da calcinação de rochas calcárias, que quando misturada com água e areia, tem-se como produto final a argamassa. A Gipsita é um material igualmente obtido por calcinação, entretanto possui matéria prima distinta, obtendo-se como produto final, o gesso.

Já no período de 800 a.C. na Grécia, tem-se a evolução das argamassas empregadas em suas construções. Assim, os gregos utilizavam nas construções de muros mais simplificados, tijolos formados de barro ou de pedra, interligados por argamassas. Já em construções mais grandiosas, como templos, ao invés de recorrerem às argamassas, utilizavam-se grampos para unir os blocos de pedra, como pode ser visto na Figura 4. (Kaefer, 1998).

Figura 4 – Disposição de grampos em blocos de pedra



Fonte: Kaefer (1998).

Adiante, em Atenas na Grécia, cerca de 437 a.C. destacaram-se o desenvolvimento de técnicas e a adoção de novas tecnologias construtivas que sinalizaram um avanço significativo nas construções da época. Como o emprego de barras de ferros em Arquitraves para mitigar os efeitos da flexão nessas estruturas. (Kaefer, 1998).

4.2 Origem do concreto

Os primeiros vestígios do uso do concreto estão remotamente ligados ao Império Romano (300 a.C. a 500 d.C), com a construção de muros em uma cidade próxima à Roma e posteriormente o material fora utilizado na construção de estruturas na cidade de Roma.

Posteriormente às guerras Púnicas, instaurou-se a hegemonia romana, nas regiões do Mediterrâneo e da Península Ibérica, após a conquista de Cartago. Assim, ao longo dos séculos, o crescimento territorial do império era exponencial, necessitando assim de soluções construtivas para as cidades, englobando a construção de templos, moradias, espaços para lazer, aquedutos, pontes, entre outras estruturas urbanas. (Carvalho, 2008).

Nesse contexto, os romanos descobriram e desenvolveram materiais fundamentais para o desenvolvimento de construções monumentais, com destaque para o Pantheon e para o Coliseu. Para estas construções, os romanos utilizaram um material recém-descoberto, denominado Opus Caementicium, formado a partir da: cinza pozolânica, que é um material de origem vulcânica e da cal que até então já era utilizada. O resultado dessa mistura formaria um composto similar à estrutura base do cimento moderno, podendo aplicar-se a uma grande

variedade de construções, que por sua vez contemplariam as necessidades das cidades Romanas.

4.3 Evolução do concreto

Com o advento do concreto romano, que apesar de apresentar uma composição similar à argamassa, foi possível a construção de uma série de obras, que por sua vez, entregaram resultados muito satisfatórios em termos de: dimensionamento e durabilidade.

Na idade média, o principal enfoque construtivo baseava-se em castelos e em grandes construções de cunho religioso. Esse período estendeu-se do século V até o século XV, aproximadamente. Entretanto, os avanços relativos às argamassas e principalmente no desenvolvimento do concreto, foram praticamente inexistentes. Além disso, as obras nesse respectivo período eram realizadas pelos mestres construtores, que se encarregavam de realizar todas as etapas da construção, garantindo e definindo todos os aspectos de projeto, assegurando sua conformidade com os princípios construtivos da época, bem como o cumprimento das normas estabelecidas e das etapas determinadas. A Figura 5 ilustra uma destas construções realizadas na idade média (Campos, 2002).

Figura 5 – Castelo de Loarre na Espanha



Fonte: Viva Decora (2020).

Embora os avanços relativos às argamassas e ao desenvolvimento do concreto terem sido relativamente ínfimos na idade média, foi somente na segunda metade do

século XVIII que o engenheiro inglês John Smeaton desenvolveu estudos com enfoque no desenvolvimento de um material aglomerante que obtivesse propriedades hidráulicas quando em contato com a água, tendo em vista que o engenheiro em questão havia sido solicitado para a reconstrução do farol de Eddystone localizado na Inglaterra, como ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Farol de Eddystone entre 1889 e 1911



Fonte: BBC News Brasil (2016).

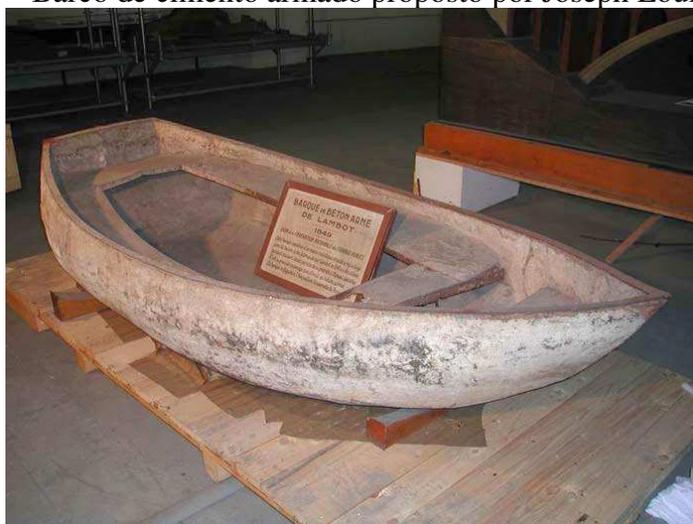
Ainda no século XVIII, o engenheiro inglês James Parker desenvolveu um cimento que fora patenteado como Cimento Romano. Este material era produzido a partir da quebra das pedras de cimento, também conhecidas tecnicamente como Septaria. Esse processo consistia na trituração deste material em partículas finas e então eram levadas para o forno em formatos de garrafa, estas modelagens eram capazes de resistir a cerca de 30 toneladas. Assim, após três dias de queima da rocha, o material era retirado do forno e moído em seguida, para então ser transportado (Elliot, 1992).

Já no início do século XIX, à medida que as pesquisas por materiais construtivos avançavam, o engenheiro Francês Louis Joseph Vicat direcionou seus estudos no cimento. Seu intuito era aprofundar a compreensão das características e das propriedades físicas desse material. Assim, através de suas pesquisas, Vicat concluiu que para a obtenção de um cimento com desempenho superior aos já existentes, seria necessário dosar adequadamente diferentes materiais à composição, para assim superar as qualidades dos produtos encontrados naturalmente.

Em 1824, o empresário Inglês, Joseph Aspdin após obter a patente para a produção da matéria-prima do cimento, realizou então a mistura do calcário com a argila, submetendo-os às altas temperaturas e então eram seguidamente moídos, resultando em um produto denominado Cimento Portland. No entanto, apesar de receber esta nomenclatura, o cimento produzido por Aspdin não possuía tecnologia suficiente para enquadrar-se nos quesitos de um Cimento Portland contemporâneo, tendo em vista que, com a tecnologia disponível naquele período dificilmente os fornos alcançariam temperaturas altas o suficiente para a produção do Clínquer, além de apresentar desproporções nas dosagens dos materiais constituintes.

A partir da metade do século XIX, com a busca por soluções construtivas, que o Francês Joseph Louis Lambot desenvolveu o cimento armado. Este material visava o reforço do concreto com uma estrutura de ferro. Assim, em 1855, Lambot apresentou na Exposição mundial de Paris um barco construído a partir de finas malhas de ferro, juntamente com barras de ferro de maiores dimensões, preenchidas com argamassa, como pode ser visto na Figura 7. Entretanto, apesar das suas obras terem sido revolucionárias para o cenário da época, suas construções não obtiveram grande repercussão comercial. (Andrade, 2016).

Figura 7 – Barco de cimento armado proposto por Joseph Louis Lambot

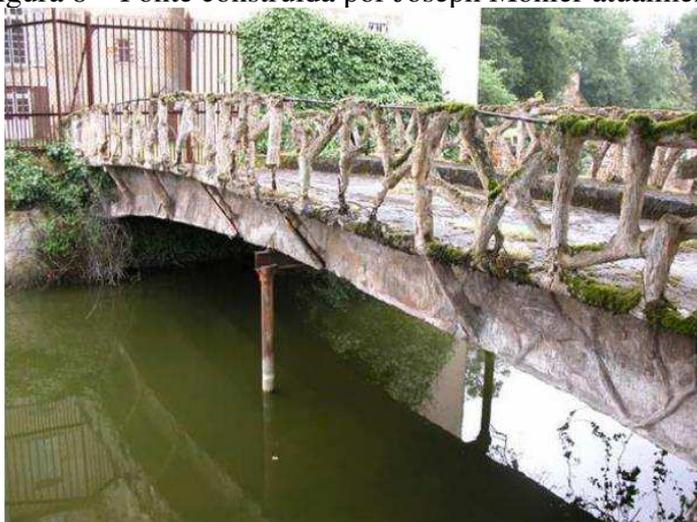


Fonte: Paris et les Expos (2014).

Paralelamente às descobertas de Lambot, o jardineiro Francês Joseph Monier desenvolvia seus vasos a partir da massa de concreto com finas malhas de ferro para garantir mais resistência, quando comparado aos vasos comuns comercializados. Dessa forma, com os sucessivos avanços nos estudos desta combinação de materiais, o jardineiro ampliou os horizontes de aplicação, realizando a construção de reservatórios d'água com a tecnologia do

cimento armado em meados de 1868 e em 1875 construiu a primeira ponte com a aplicação de concreto e ferro na sua composição, unindo as características favoráveis do concreto simples na compressão, com a excelente resistência do ferro à tração. A Figura 8 ilustra a ponte construída por Monier.

Figura 8 – Ponte construída por Joseph Monier atualmente



Fonte: Instituto Militar de Engenharia (2011).

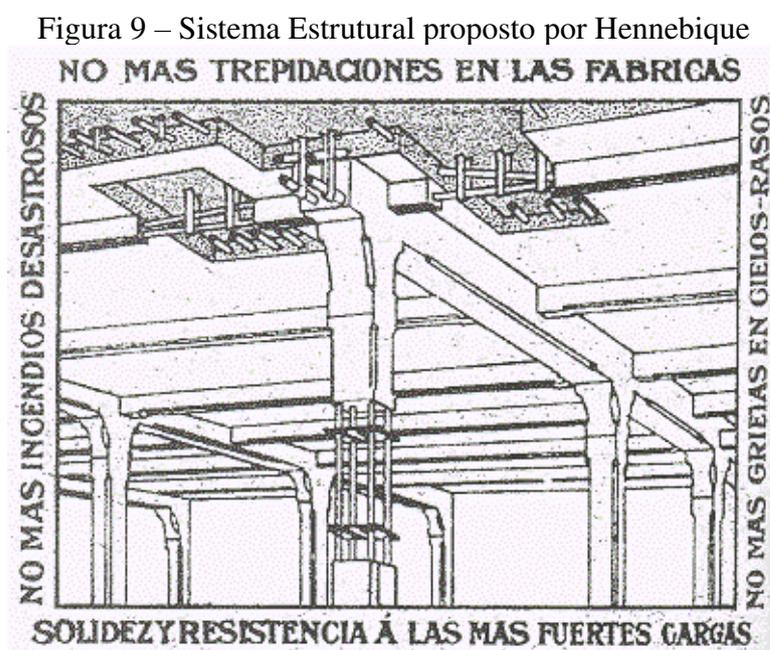
Nesse mesmo período, o Engenheiro Alemão Gustav Adolf Wayss adquiriu as patentes de Monier e desenvolveu pesquisas direcionadas ao concreto armado, explorando questões como a interação da umidade do concreto quando em contato com as barras de ferro. Por meio de sua empresa, a Wayss & Freytag fundada e sediada em Berlim, Gustav realizou projetos e os executou não apenas na Alemanha, mas também em países europeus como: Áustria e França. Assim, em colaboração com o engenheiro Matthias Koenen, publicou-se em 1887 o livro *Das System Monier*, que se destacou como o primeiro livro alemão sobre o concreto armado. Este livro abordava princípios, fundamentos e resultados derivados dos experimentos conduzidos pelos engenheiros. Estas contribuições, entre outras, transcenderam as fronteiras continentais, exercendo grande influência em países da América do Sul, incluindo o Brasil.

Ainda na segunda metade do século XIX os estudos, em escala global, por soluções construtivas e por materiais mais eficientes se tornaram mais incidentes. Dessa forma, em 1877 o Americano Thaddeus Hyatt realizou ensaios com o então cimento armado já utilizado em diversas construções em países europeus. Nesse contexto, algumas conclusões foram aferidas acerca do comportamento do conjunto: ferro e concreto quando atuando em conjunto, dentre as conclusões encontradas por Hyatt, destacam-se: a influência da ação do

fogo quando em contato com o conjunto; a aderência satisfatória do conjunto, frisando sobre a trabalhabilidade dos materiais quando submetidos à esforços de compressão e tração; dentre outras descobertas. (Kaefer, 1998).

Ao final do século XIX, a disseminação de novos métodos construtivos foi eminente. Nesse sentido, o empreiteiro Fracês, François Hennebique contribuiu incisivamente na indústria da construção e no desenvolvimento de um inovador modelo de negócios. Dessa forma, através de um sistema de gestão inovador e de sua metodologia eficaz, Hennebique expandiu suas operações para além das fronteiras europeias, instalando filiais e designando gestores em diversos países pelo mundo.

Além de uma excelente gestão e organização empresarial, Hennebique é reconhecido como um dos pioneiros no desenvolvimento das tecnologias do concreto armado. De acordo com Santos (2008), o sistema estrutural desenvolvido e patenteado por Hennebique era completo, contando com diversos elementos estruturais interligados, que possuíam, em suma, seções retangulares, quadradas e poligonais. Além de prever o uso de armaduras metálicas em todos os elementos estruturais projetados. A Figura 9 ilustra o sistema estrutural implementado por Hennebique, além de enfatizar, através de um slogan a segurança e as qualidades presentes em sua metodologia construtiva.



Fonte: Freyssinet (2014).

No início do século XX, um grande marco para o cenário da construção mundial fora alcançado. Com a colaboração de grandes talentos, com destaque para os arquitetos Elzer

e Anderson, juntamente com o engenheiro estrutural e chefe da Ferro-Concrete Construction Company, Henry N. Hooper construiu-se o que viria a ser o primeiro arranha-céu em concreto armado no mundo, denominado Ingalls Building, localizado em Ohio nos Estados Unidos. Esta edificação possuía 16 andares e contou com um custo estrutural avaliado em \$400.000,00. A Figura 10 ilustra a construção supracitada. (Condit, 1968).

Figura 10 – Ingalls Building, Cincinnati, Ohio nos Estados Unidos



Fonte: The Enquirer (2021).

Apesar dos grandes feitos relativos às construções em concreto no início do século XX, o número de acidentes e o número de falhas técnicas envolvendo estas construções eram evidentes e necessitavam de medidas que combatessem este cenário. Assim, a Associação Alemã de Arquitetos e Engenheiros em consonância com a Associação Alemã de Concreto formalizaram um anteprojeto que viesse a normalizar o: dimensionamento; execução de projetos e a realização de ensaios em estruturas de concreto simples e em concreto armado. (Elliot, 1992).

De acordo com Helene (2010) os cálculos desenvolvidos por Möersch e Köenen na Alemanha e de Hennebique na França em 1903, impulsionaram incisivamente a publicação de normas para projetos e execução das estruturas em concreto armado na Europa. Por outro lado, o Brasil publicou a sua primeira norma apenas em 1931, apesar de já possuir grandes

edificações em seu território, como o Edifício denominado “A Noite” localizado no Rio de Janeiro e o edifício Martinelli em São Paulo.

Embora o desempenho no Brasil tenha se dado de forma tardia, quanto às metodologias desenvolvidas e os materiais empregados, grandes construções tiveram relevância em escala global, como o projeto e construção da estátua do Cristo Redentor localizada no Rio de Janeiro e com sua inauguração em 1931, como ilustra a Figura 11. Cabe ressaltar que, o projeto estrutural deste monumento foi executado em concreto armado, em sua grande maioria in loco, com poucas peças pré-fabricadas.

Figura 11 – Inauguração da Estátua do Cristo Redentor no Rio de Janeiro.



Fonte: VEJA (2016).

Na primeira metade do século XX, alguns adventos foram de grande importância para os rumos da engenharia e para o mundo. Com o advento das duas grandes guerras e, em especial, da 2ª Guerra Mundial, muitos países viram a necessidade emergencial pela reconstrução de suas cidades no cenário pós-guerra. De fato, os países em estado emergencial necessitavam de soluções imediatas que garantissem a retomada das condições de vida ideais à população. Segundo Andrade (2016) medidas como: redução das seções dos elementos estruturais e a diminuição de revestimentos nas armaduras estruturais foram algumas medidas tomadas durante o período citado.

Do ponto de vista da durabilidade destas construções realizadas no período pós-guerra, Mehta e Monteiro (2008) destacam que, a durabilidade desempenha um papel crucial,

que merece tanta atenção quanto fatores relacionados às propriedades mecânicas e aos custos envolvidos, uma vez que os custos com reparos e falhas acarretam despesas orçamentárias substanciais. Dessa maneira, na segunda metade do século XX, consequências advindas das medidas tomadas no cenário pós-guerra refletiram em elevados custos com reparos e restaurações, fazendo com que estudos e pesquisas relativas aos fatores de deterioração de estruturas em concreto, dessem seus primeiros passos.

Na década de 1970, houve a inserção dos concretos reforçados com fibras e de concretos de alta resistência (Kaefer, 2008). O primeiro, conforme definido por Mehta e Monteiro (2008) consiste em um concreto que contém cimento hidráulico, água, agregado e também de fibras discretas descontinuas, estas fibras podem ser fabricadas a partir de vários materiais e apresentar vários formatos. Entretanto, é importante destacar que as fibras de aço são as mais utilizadas. Ainda segundo os citados autores, o segundo citado é definido baseando-se apenas em sua resistência à compressão em uma determinada idade. Vale ressaltar que, para a década citada, os concretos que possuíam cerca de 40 Mpa ou mais aos 28 dias, já poderiam ser classificados como concretos de alta resistência.

Em 1975 ocorreu a construção da CN Tower localizada na cidade de Toronto no Canadá, conforme ilustrado na Figura 12. Essa construção marcou um grande avanço para a engenharia na década de 1970, principalmente, por tratar-se da primeira estrutura em concreto reforçado com fibras de aço, com incríveis 553,3 metros, sendo esta uma torre autoportante, que possui sustentação independente, ou seja, não se utiliza de cabos, hastes ou estais para sustentar-se.

Figura 12 – CN Tower localizada em Toronto no Canadá.



Fonte: A view on cities (2023).

A década de 1980 foi marcada por mais avanços na engenharia do concreto, dentre estes avanços destaca-se a inserção de superplastificantes à composição do concreto. Segundo Helene (2010) estes aditivos são empregados, em suma, em concretos de alta resistência, modificando a reologia da mistura, tornando-a mais fluida. Como resultado, há uma redução em seu volume, sem, no entanto, causar alterações, de forma significativa, nas propriedades do concreto em seu estado endurecido.

Para Helene (2010) a década de 1990, é considerada como sendo a única no século XX em que o concreto prevaleceu-se em relação ao uso do aço em projetos de estrutura. Esse fato se deu devido aos descobrimentos correlatos à rigidez de concretos de alto desempenho, além do aspecto sustentável para a engenharia, que ganhara nessa dada década.

De acordo com Mehta e Aitcin (1990), o termo Concreto de Alto Desempenho – CAD é empregado a misturas de concreto que atendam a três propriedades requisitadas, sendo elas: a elevada trabalhabilidade, elevada resistência e elevada durabilidade. Entretanto, Mehta e Monteiro (2008) explicam que a abordagem adotada pelo American Concrete Institute – ACI resultou em um cenário nas quais diversos concretos comercializados, fossem classificados como de alto desempenho, mesmo não apresentando elevada durabilidade quando submetidos a ambientes agressivos.

Ao final da década 1990, os avanços progressivos em pesquisas direcionadas à tecnologia dos concretos especiais, proporcionaram ao mercado da construção soluções que visassem atender cada vez às deficiências apresentadas pelos concretos convencionais de cimento Portland. Uma vez que, as construções mais sofisticadas ganhavam cada vez mais espaço nas grandes cidades. Dessa forma, alternativas como: diminuição da massa específica do concreto, tornando-o mais leve; a busca por resistências à compressão mais elevadas; a aplicação de aditivos superplastificantes em concretos com baixa relação água cimento, com o intuito de obter um concreto de melhor desempenho quando submetido à intemperes e o uso de polímeros em misturas de concreto, a fim de obter-se um material com baixa impermeabilidade são apenas alguns dos avanços relativos à engenharia do concreto no final do século XX.

O início do século XXI é marcado por algumas mudanças nas abordagens relativas às tecnologias do concreto. Mony e Helene (2002) consideram que o aumento das demandas de mercado trouxe consigo um desafio significativo para alguns países europeus: a escassez de agregados, que compunham às misturas de concreto. Diante desse cenário, viu-se a necessidade na busca por alternativas, e uma das soluções encontradas foi a utilização de agregados reciclados em substituição aos agregados naturais. Essa abordagem trouxe uma nova perspectiva para o uso do concreto, evidenciando a importância da preservação do meio ambiente no cenário construtivo mundial.

Miller, Horvath e Monteiro (2016) apresentam que a produção de concreto em escala mundial acarreta na emissão de aproximadamente 8,6% de todas as emissões de dióxido de carbono (CO₂). Nessa perspectiva, pesquisadores buscam alternativas cada vez mais eficientes que contemplem não apenas as questões de caráter sustentável, mas também as questões econômicas e de desempenho das misturas de concreto. Embora esse desafio pareça longínquo para alguns países, é de suma importância que as indústrias do concreto mundial tomem medidas tanto a curto prazo, com a implementação da ecologia industrial, por meio da reciclagem dos resíduos produzidos e emitidos, bem como a longo prazo, com profundas melhorias no uso dos recursos disponíveis, evidenciando os impactos da exploração desenfreada pela indústria tradicional do concreto.

4.4 Concretos Especiais

A evolução das tecnologias inerentes ao concreto, ao longo dos anos, tem proporcionado soluções cada vez mais destinadas aos desafios encontrados pela engenharia.

Nesse sentido, os denominados concretos especiais surgem ainda no século XX, contemplando propriedades das misturas relativas à: durabilidade, trabalhabilidade, desempenho, resistência, impermeabilidade, retração, massa específica, exposição a agentes químicos, dentre outros fatores demandados.

Tutikian e Helene (2011) definem os concretos especiais, como sendo aqueles que apresentam características específicas com a finalidade de atender às exigências das construções, em que os concretos convencionais não demonstram ser viáveis. Esses materiais, não apenas melhoram deficiências intrínsecas ao concreto convencional, mas também incorporam propriedades não convencionais às misturas comumente empregadas.

Bartos (1993) complementa afirmando que as misturas de concreto que apresentam quantidades substanciais de materiais especiais, podem ser considerados concretos especiais. Estes materiais incluem: fibras de aço, vidro, polímeros, microssílica e polímeros em sua composição.

De acordo com Tutikian e Helene (2011) dentre os principais concretos especiais, destacam-se: o concreto de alta resistência, de alto desempenho, autoadensável, massa, rolado, leve, pesado, com utilização de resíduos reciclados, projetado, com incorporação de polímeros, fibras, colorido, branco, graute, com o uso de aditivos e adições especiais, e também os concretos do futuro, incluindo o concreto com cura interna, condutor de eletricidade, com retração reduzida, concreto autolimpante, concreto poroso e concreto translúcido, que serão explicados a seguir:

- Concreto com cura interna: o concreto com cura interna ou concreto autocicatrizante, que em uma definição estabelecida por Cadavid (2013) é um concreto com a capacidade de regenerar-se múltiplas vezes. Assim ao ocorrer algum dano à estrutura, um agente é então liberado e reage com um catalisador capaz de restaurar a área afetada, restituindo assim a peça.
- Concreto condutor de eletricidade: No tocante ao concreto condutivo eletricamente, Watanabe (2008) e Cordon et al. (2020) descrevem que este concreto surge através de um grupo de pesquisadores Canadenses e é resultante da adição de material carbonáceo em sua composição, como fibras de aço ou até mesmo de pó de grafite. Essa mistura ganha grande funcionalidade em países com invernos mais rigorosos, tendo em vista, que nestas localidades a neve tende a avançar nos pavimentos. Dessa forma, o concreto condutivo é submetido a uma determinada corrente elétrica possibilitando que a neve seja derretida e garantindo maior segurança na passagem de veículos.

- Concreto com retração reduzida: é desenvolvido através da incorporação de um aditivo redutor de retração, que de acordo com Zhan e He (2019) é uma classe de produtos químicos conhecidos como surfactantes. Esse aditivo, ao ser incorporado à mistura cimentícia proporciona uma diminuição na tensão superficial da água presente na mistura, dessa maneira, há uma menor quantidade de ligações entre a massa cimentícia e a água, reduzindo, por consequência, a retração do concreto.
- Concreto autolimpante: é obtido através da incorporação de TiO_2 à massa cimentícia. De acordo com Obata et al. (2012), este composto químico é um fotocatalisador, que quando exposto à radiação ultravioleta, dá-se início a uma reação química, que resulta na decomposição da poluição atmosférica e auto-esterilização da superfície do concreto.
- Concreto poroso: constitui-se, em suma, da mistura entre agregados granulares e revestido por um material cimentício, conforme apresentam Elizondo-Martínez et al. (2020). Ainda de acordo com os autores, este concreto apresenta em sua estrutura um percentual considerável de vazios, que está compreendido entre 15 e 30%. Assim, devido à alta permeabilidade deste concreto, a água proveniente das chuvas ou de quaisquer outras fontes poderá então ser captada e filtrada no solo. É importante evidenciar que, pavimentos construídos a partir de concreto poroso, poderão não somente contribuir com o processo de filtragem da água no solo, mas também poderão influenciar em parâmetros, principalmente, relativos à atenuação das temperaturas em espaços urbanos, a redução de ruídos e o aumento da segurança rodoviária, devido a maior aderência entre os pneus e a superfície do pavimento.
- Concreto Translúcido: os dados e conceitos referentes a este concreto serão tratados no item 4.7.

4.5 Concretos e argamassas com utilização de fibras

Uribe (2010) considera que a incorporação de fibras a concretos de cimento Portland e argamassas apresenta-se como uma alternativa eficiente, no tocante à fragilidade, durabilidade, além de conferir à mistura propriedades mecânicas, relativas à deformação e absorção da energia, não encontradas em argamassas e concretos convencionais. Banthia (1994) complementa afirmando que misturas de concreto simples, apresentam tendem a

apresentar mais fragilidade, quando comparado a metais e polímeros, podendo apresentar resistências à fratura, pelo menos, cem vezes inferior ao aço, em relação à expansão das fissuras. Evidenciando, que a inserção de fibras aos elementos pode garantir maior vida útil e melhores propriedades às misturas, quando comparado ao concreto convencional.

4.5.1 Evolução histórica dos concretos e argamassas com utilização de fibras

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) o uso de fibras na composição de materiais de construção remonta ao antigo Egito. Os referidos autores, ainda complementam afirmando que os egípcios utilizavam palhas a fim de reforçar tijolos feitos com barro. Figueiredo (2011) complementa, assim como aludem as escrituras sagradas:

“Naquele mesmo dia o Faraó deu esta ordem aos inspetores do povo e aos capatazes: não continueis a fornecer palha ao povo, como antes, para o fabrico dos tijolos.” (Êx 5, 6-7).

De acordo com os registros históricos apresentados pela ACI 544.1R (1996) evidencia-se que desde a antiguidade as fibras eram empregadas com objetivo de obter-se maior reforço em materiais de construção. Podendo citar o uso de palhas e pelos de cavalo na confecção de tijolos de adobe e alvenarias feitas com argamassa ou gesso, com o intuito de trazer maior reforço a estas estruturas.

Ainda conforme documentado em registros apresentados pelo ACI 544.1R (1996), a residência mais antiga, que se tem registro, dos Estados Unidos foi construída com tijolos de adobe reforçados com palha em sua composição, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Residência construída com adobe reforçado com palha em 1540



Fonte: Historic Santa Fe Foundation (2020).

Com a evolução dos métodos e dos materiais de construção, ao final do século XIX, especificamente em 1898 ocorreu a comercialização em larga escala de fibras de amianto incorporadas ao cimento. Considera-se que o amianto foi a primeira fibra natural aplicada em escala industrial, através da produção de telhas de cimento-amianto, sendo patenteada em 1900 por Ludwig Hatschek. Contudo, apesar deste material apresentar propriedades notáveis relativas à resistência a agentes externos, como fogo ou até mesmo produtos químicos, é importante destacar os severos riscos à saúde quando inalados. Diante destes riscos, a inserção de fibras fabricadas com materiais alternativos, como substituição ao uso de fibras de amianto, teve seu início em meados de 1960 e 1970, levando progressivamente muitos países a banir o uso do amianto.

Paralelamente ao desenvolvimento do cimento com fibras de amianto, outros materiais também voltados para o uso na engenharia do concreto se destacaram. Podendo-se citar o uso de elementos descontínuos feitos em aço, que, de acordo com o ACI 544.1R (1996) tiveram seus primeiros ensaios e patentes, almejando melhorias nas propriedades relativas às misturas de concreto, em 1910. No entanto, segundo Oliveira (2010) foi somente em meados de 1960 que as pesquisas e os avanços em materiais compósitos com uso de cimento ganharam notoriedade. Cabe evidenciar também, que nesse mesmo período, ocorreu o desenvolvimento de concretos reforçados com fibra de aço.

Além dos concretos reforçados com fibra de aço, segundo o ACI 544.1R (1996) ao final da década de 1950, ocorreram as primeiras tentativas do uso de fibras de vidro em concretos, realizados pela URSS. Entretanto, de acordo com Bartos (2017) apesar do desenvolvimento prévio, foi somente em meados de 1960 que se iniciou a comercialização das fibras de vidro, levando em consideração que o ambiente alcalino que o cimento Portland apresentava, causava a corrosão, e, por conseguinte a diminuição da resistência à tração das fibras de vidro. Como solução, desenvolveram-se tipos especiais de vidros, contendo zircônia em sua composição, que conferia ao material resistência a meios alcalinos. A Figura 14 ilustra a incorporação de fibras de vidro álcali-resistentes em meio cimentício.

Figura 14 – Fibras de vidro álcali-resistentes em elemento cimentício



Fonte: Premier Precast (2022).

De acordo com Bartos (2017), em meados dos anos de 1980, a produção industrial de fibras de vidro álcali-resistentes ganhava cada vez mais enfoque, assim uma nova geração de fibras com tratamento relacionado às suas superfícies era conferida a estes novos produtos. Nesse contexto, com o sucessível desenvolvimento industrial e em pesquisas, a *iGRCA – International Glassfibre Reinforced Concrete Association* promoveu a adoção de normas e requisitos mínimos para garantir o controle de qualidade dos produtos fabricados e comercializados. Estas medidas contribuíram significativamente para a obtenção de resultados cada vez mais satisfatórios, no tocante ao desempenho a longo prazo dos elementos construídos em concreto reforçado com fibras de vidro.

Já com relação ao uso de fibras sintéticas, de acordo com Illston (2001) o crescimento nos últimos 100 anos deveu-se, principalmente, pelo desenvolvimento da indústria petrolífera, inteirando que a partir dos anos de 1930 o petróleo atua como principal matéria prima na produção de produtos químicos orgânicos, e, por conseguinte, a produção de

fibras, adesivos, borrachas e plásticos sintéticos. Nesse sentido, apesar de em um momento inicial as fibras sintéticas, como as de nylon e polipropileno, não serem tão bem aceitas na indústria do concreto, quanto as fibras de vidro e aço,

Para a indústria do concreto, em um momento inicial, as fibras sintéticas, assim como as de nylon e polipropileno não foram tão bem aceitas para o uso em misturas de concreto, como as de aço e de vidro. Entretanto com o melhor entendimento das características e propriedades das fibras, novas metodologias de fabricação e tipos de fibra foram empregadas, demonstrando que benefícios relativos ao reforço do concreto proporcionado tanto pelas fibras sintéticas quanto pelas fibras naturais eram notáveis.

Rodrigues (2009) ressalta que o grande desenvolvimento e aplicação de concretos reforçados com fibras (CRF) ocorreram posteriormente a primeira grande guerra, na primeira metade do século XX. Pois considerando o cenário vivido, as instituições militares buscavam por um material que garantisse maior absorção dos impactos provenientes das explosões, além de propiciar maior resistência em relação à destruição deste material.

Lopes (2005) complementa afirmando que ao longo do século XX, o crescente emprego de fibras em matrizes de base cimentícia, estimulou o mercado a buscar por materiais que contemplassem as necessidades exigidas. Entre as quais encontram-se as fibras de aço, de vidro, fibras de carbono e de kevlar, fibras de polipropileno, polietileno, poliéster, aramida e as fibras vegetais (cânhamo, celulose, juta, algodão, sisal, dentre outros) e as fibras minerais de volastonita e de mica.

4.5.2 Materiais compósitos

Budinski (2009) define os materiais compósitos como misturas entre dois ou mais materiais, que por sua vez, resultam em um material com propriedades distintas das apresentadas pelos materiais que o incorporam. Portanto, os compósitos são formados por duas fases, sendo: a matriz, que inclui argamassas, concreto, silicone, resinas, e pelo reforço que inclui fibras, polímeros, papel, aço, isopor, dentre outros.

De acordo com Hull e Clyne (1996) a história dos compósitos remonta de milhares de anos, tendo em vista que, para serem classificados como material verdadeiramente compósito é necessário que sejam formados por pelo menos dois constituintes distintos. Nesse sentido, exemplos de compósitos naturais incluem a madeira, os ossos, tecidos musculares e até mesmo os dentes, todos estes são formados por diferentes materiais, que quando combinados resultam em estruturas com propriedades particulares.

Complementarmente, Callister (2020) esclarece que a introdução dos compósitos como uma nova classe ocorreu na metade do século XX. Nesse período, os projetos e a fabricação de compósitos multifásicos, ou seja, materiais compostos por mais de duas fases em sua composição já eram empregados de forma deliberada. Esse conceito de compósitos multifásicos possibilitava o avanço na combinação de uma gama de materiais com propriedades distintas, a fim de obter novos materiais com propriedades ainda melhores, que, por sua vez, não poderiam ser alcançadas por materiais convencionais como as cerâmicas, ligas metálicas, dentre outros.

Na perspectiva da engenharia do concreto, Mehta e Monteiro (2008) explicam que o concreto é considerado um material compósito, uma vez que é composto por uma matriz, por partículas esféricas e por uma interface que envolve cada partícula constituinte. Os referidos autores, também ressaltam que estes materiais que constituem os compósitos possuem propriedades elásticas isotrópicas, e, portanto, comportam-se da mesma maneira em todas as direções.

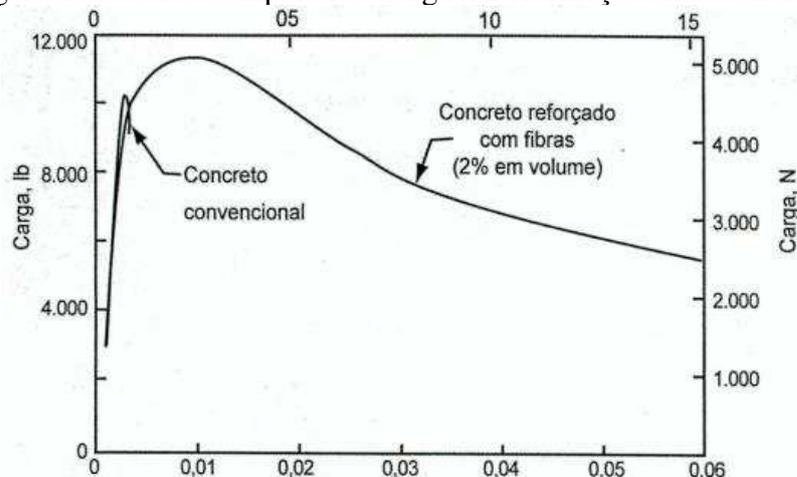
Além disso, é possível verificar que o emprego do concreto como matriz constituinte de um compósito, possibilita a incorporação de diversos materiais que podem realçar ou até mesmo conferir melhores propriedades aos concretos convencionais. Johnston (2001) explica que a incorporação de fibras às matrizes cimentícias, que possuem por sua vez, propriedades essencialmente fracas, quebradiças e suscetíveis à fissuração, proporcionam ainda resultados satisfatórios ao material compósito resultante. O referente autor ainda completa, explicando que a depender da fibra utilizada e das quantidades aplicadas, melhorias, em graus distintos, relativas à resistência à tração ou à flexão, a tenacidade, ductilidade, a durabilidade do compósito fibroso, a resistência ao impacto e a impermeabilidade, são apenas algumas destas melhorias proporcionadas pela incorporação de fibras às matrizes cimentícias.

4.5.3 Concreto reforçado com fibras

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) os concretos reforçados com fibras – CRF (Fiber-reinforced concrete - FRC) são formados pela mistura do cimento hidráulico, água, os agregados e por fibras discretas e orientadas de forma descontínua. Os referidos autores complementam que afirmando que além destes materiais, estas misturas de concreto podem conter ainda pozolanas e outros aditivos em sua composição.

O conceito que fundamenta o concreto com adição de fibras baseia-se na análise do efeito de microfissuração presente em concretos convencionais. Tendo em vista, que estes elementos quando submetidos à carregamentos que promovem a tração e a flexão há uma rápida propagação de microfissuras em sua estrutura. Cabe ressaltar, que historicamente, apesar dos experimentos iniciais não apresentarem resultados substanciais, os resultados mais recentes mostraram melhorias relativas em concretos com adição de fibras relativas a sua resistência, assim como à tenacidade. A Figura 15 apresenta a curva comparativa de Carga x Deformação entre o comportamento de um elemento de concreto convencional e do concreto reforçado com fibras. (Mehta; Monteiro, 2008).

Figura 15 – Curva comparativa Carga x Deformação entre concretos



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

O concreto reforçado com fibras potencializou o mercado de concretos especiais e adquiriu aplicações exponenciais na construção civil. Nessa perspectiva, com o desenvolvimento tecnológico, a busca da indústria por melhorias visando atender às novas aplicações destas misturas acarretou em uma meticulosa classificação dos tipos de concreto reforçados com fibras disponíveis. O ACI 544.1R (1996) classificou estas misturas em quatro tipos distintos, levando em consideração a fibra utilizada, tem-se entre eles: o Concreto Reforçado com Fibras de Aço – CRFA (Steel Fiber Reinforced Concrete - SFRC); Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (Glass Fiber Reinforced Concrete – GFRC); Concreto Reforçado com Fibras Sintéticas, incluindo fibras de carbono (Synthetic Fiber Reinforced Concrete – SNFRC) e os Concretos Reforçados com Fibras Naturais (Natural Fiber Reinforced Concrete – NFRC).

Já em uma análise proposta por Naaman (2003) as fibras discretas utilizadas na construção civil podem ser classificadas de formas distintas, quanto ao material fibroso utilizado (minerais, naturais e sintéticos), quanto as suas propriedades físico-químicas (rugosidade superficial, densidade, sem reatividade com a matriz cimentícia, resistência ao fogo, dentre outros) e quanto as suas propriedades mecânicas (módulo de elasticidade, resistência à tração, ductilidade, tenacidade, resistência, entre outros).

No tocante às aplicações referentes aos concretos reforçados com fibras, as primeiras iniciativas foram realizadas na segunda metade do século XX, tanto através de ensaios quanto empiricamente. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), em 1971, o U.S Army Construction Engineering Research Laboratory realizou ensaios controlados nas pistas de decolagem de Vicksburg, no Mississippi. Esses ensaios envolveram a adição de 2% em volume de fibra para o reforço do concreto. Esta pista foi submetida à carga proveniente de uma aeronave denominada C5A, que possuía 13.600kg em cada roda e possuía o equivalente a 12 rodas. O objetivo principal do ensaio era comparar o desempenho entre uma laje de concreto reforçado com fibras de 150mm de espessura à uma laje feita em concreto convencional de 250mm. Como resultado, verificou-se que na laje de concreto reforçado com fibras, a primeira fissura surgiu após 350 repetições da carga proveniente da aeronave, enquanto no concreto convencional a primeira fissuração surgiu após apenas 40 repetições do carregamento. Já com relação à destruição, verificou-se que a laje feita de concreto simples foi considerada destruída após 950 repetições da carga, já a laje de concreto reforçado com fibras apresentou apenas fissuras capilares, permanecendo ainda em condições de uso após 8735 repetições da carga.

4.5.4 Variedade de Fibras empregadas

O reforço de fibras incorporadas ao concreto no cenário atual propiciou ao mercado soluções cada vez mais abrangentes no tocante às necessidades construtivas. Muitas dessas soluções se devem pelas melhorias relativas às propriedades incorporadas as misturas de concreto. Para Barros (1995) os maiores benefícios às misturas de concreto reforçado com fibras ocorrem após a fissuração e, as propriedades mais favorecidas pela incorporação das fibras são relativas, principalmente, ao aumento na capacidade de absorção de energia, assim como a resistência às ações dinâmicas, a ductilidade do elemento e o controle do surgimento de fissuras.

Cabe ressaltar, que estas propriedades proporcionadas pela incorporação de fibras à matriz podem variar conforme o material da fibra utilizada. Uribe (2010) explica que é imprescindível compreender o mecanismo tanto da parcela relativa à matriz, quanto relacionada ao reforço do material compósito em questão. Esse entendimento é fundamental para que se possa definir o tipo de fibra a ser empregada em cada situação. Vale destacar, que essa definição dependerá, por sua vez, das características inerentes a matriz que receberá o reforço e das propriedades desejadas pelo material compósito final.

Dentre as variedades de fibras presentes e aplicadas à engenharia do concreto, o ACI 544.1R (1996) define classificações para os concretos reforçados com fibras, sendo eles: o Concreto Reforçado com Fibras de Aço – CRFA (Steel Fiber Reinforced Concrete - SFRC); Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (Glass Fiber Reinforced Concrete – GFRC); Concreto Reforçado com Fibras Naturais (Natural Fiber Reinforced Concrete – NFRC) e o Concreto Reforçado com Fibras Sintéticas, incluindo o concreto reforçado com fibras de carbono (Synthetic Fiber Reinforced Concrete – SNFRC).

Em relação à primeira classificação citada. De acordo com o ACI 544.1R (1996) os concretos reforçados com fibras de aço, CRFA, são formados pelo cimento hidráulico contendo agregados finos ou com a presença de agregados graúdos e adição de fibras de aço descontinuas e discretas. Moraes Neto (2013) complementa afirmando que estas fibras de aço utilizadas podem possuir uma grande variação de formatos, de dimensões, assim como no tipo de aço utilizado.

De acordo com Barros (2000) os concretos reforçados com fibras de aço possuem vantagens econômicas e técnicas em relação à utilização reforços convencionais realizado com barras de aço. Em relação às vantagens econômicas tem-se a supressão da mão de obra responsável pela confecção e instalação das armaduras convencionais, e na redução do tempo levado para realizar a execução dos elementos estruturais. Já com relação às vantagens técnicas tem-se a atribuição de um reforço homogêneo à matriz, melhorias relativas à capacidade absorção de energia, na ductilidade da mistura e no controle de fissuras dos elementos.

Com relação aos concretos reforçados com fibras de vidro, CRFV, muitos desafios relativos à composição destas misturas foram enfrentados, principalmente, devido às reações químicas apresentadas entre os reforços e matriz cimentícia. De acordo com Larner et al. (1976) fibras de vidro tipo E e vidros do tipo A podem ter a resistência comprometida devida a alta alcalinidade da matriz cimentícia, que apresenta um pH superior ou igual a 12,5, afetando, por conseguinte, no uso a longo prazo das misturas. Complementarmente Peruzzi

(2002) afere que fibras de vidro tipo E quando submetidas ao meio alcalino da matriz de cimento podem apresentar perda na flexibilidade e na resistência à tração, comprometendo a mistura como um todo.

De acordo com Peruzzi (2002) dentre as vantagens apresentadas pelas fibras de vidro relativas à aplicação na construção civil tem-se: o baixo coeficiente de dilatação térmica, conservação das propriedades mecânicas quando submetidas às altas temperaturas, elevada ductilidade, a resistência à tração e também à vibração, baixo custo quando comparada à demais fibras dúcteis, além do fácil processamento na confecção destas fibras.

Relativo aos concretos reforçados com fibras naturais, CRFN, de acordo com Toledo Filho (1997) as fibras naturais de origem vegetal podem constituir uma excelente alternativa para a incorporação em matrizes de cimento, principalmente pelo baixo custo, pela grande disponibilidade das fibras e pelo baixo consumo de energia. Correlatamente, Franco (2010) explica que o reforço de fibras vegetais em compósitos é uma alternativa de cunho econômico e ecológico, e que objetiva a substituição do reforço realizado com fibras de vidro.

Nesse contexto, o ACI 544.1R (1996) explica que o reforço com fibras naturais em concretos proporciona como resultado, em grande parte dos casos, um aumento na resistência ao impacto, e frisa que este resultado independe da quantidade de fibras adicionadas à mistura. Entretanto, em relação às demais propriedades não há melhorias substanciais quando comparadas ao concreto convencional. Cabe evidenciar, que o concreto reforçado com fibras naturais apresenta menor durabilidade quando comparado às demais classificações, isso se deve pelo contato das fibras com água alcalina presente nos poros do concreto. Portanto, como solução, propõe-se o revestimento das fibras através de produtos químicos, como o ácido fórmico, com o objetivo de obter-se assim maior durabilidade da mistura.

Já em relação aos concretos reforçados com fibras sintéticas, CRFS, é de suma importância destacar que os polímeros empregados na fabricação destas fibras, por possuírem diversidades relativas à sua composição química, apresentam uma ampla variedade de nomenclaturas e comportamentos, dessa forma, por conseguinte, resultam em variados tipos de fibras com características e propriedades particulares.

De acordo com o ACI 544.1R (1996), o concreto reforçado com fibras acrílicas, tem como objetivo a substituição das fibras de amianto, em virtude dos riscos à saúde associados ao amianto e, a consequente proibição do seu uso em diversos países. Segundo Amat et al. (1994), a inserção do reforço a partir das fibras ganhou muitos estudos ao longo do tempo, entretanto, em relação as fibras de acrílico pouco se sabe sobre suas propriedades e

comportamentos. Os referidos autores ainda destacam que, estas fibras possuem como características vantajosas o seu baixo custo, boa dispersão em meio aquoso, alta resistência à ação de micro-organismos, boa resistência aos esforços de tração, entre outras. Estas características tornam as fibras acrílicas adequadas para o reforço em matrizes de cimento, proporcionando melhorias substanciais na tenacidade, assim como no controle de fissuras em argamassas ou misturas de concreto.

Em relação ao concreto reforçado com fibras de aramida, Illston (2001) destaca que estas fibras foram introduzidas em 1972 pela empresa DuPont e tinham inicialmente o nome de fibras de kevlar. O referido autor complementa apresentando que estas fibras possuem estrutura anisotrópica, ou seja, não possui as mesmas propriedades em todos os sentidos, nesse contexto, estas fibras apresentam maior resistência no sentido longitudinal de sua estrutura.

Segundo Nanni (1992), os concretos reforçados com fibras de aramida apresentam propriedades e comportamentos semelhantes aos dos concretos reforçados com fibras de aço e, podem oferecer até melhores propriedades mecânicas em comparação ao reforço realizado com fibras de polipropileno. Cabe evidenciar ainda que, em comparação às fibras de aço, as fibras de aramida possuem como vantagem a resistência à corrosão em sua estrutura. No entanto, ainda de acordo com o referido autor, as fibras de aramida apresentam custos mais elevados, podendo tornar-se inviável para determinados usos, a menos que os custos relativos à matéria prima e à sua fabricação sejam reduzidos.

O concreto reforçado com fibras de carbono apresenta-se como um tipo de concreto em que as misturas entre matriz e reforço são realizadas simultaneamente. Dessa forma, estas fibras ao serem adicionadas e misturadas, aleatoriamente espalham-se pelo elemento de concreto. No entanto, para obter-se uma dispersão uniforme das fibras, o ACI 544.1R (1996) considera o uso de um misturador de alta energia flexível, seguido da adição de metilcelulose, de um agente antiespumante, a fim de prevenir a formação de bolhas de ar, de sílica condensada e de aditivo superplastificante.

De acordo com Ali et al. (1972), os resultados relativos ao reforço proveniente das fibras de carbono, em um percentual de 3% em volume, em matrizes cimentícias mostraram-se satisfatórios, uma vez que, a incorporação das fibras à matriz mostrou um aumento significativo no módulo de elasticidade da mistura, assim como apresentou um aumento de cinco vezes em sua resistência a tração. Além dessas propriedades, verificou-se que as fibras de carbono não apresentaram evidências relativas à degradação por corrosão, pela reação com a matriz. Dessa forma, os referentes autores concluem que, pelos resultados obtidos, as fibras

de carbono podem apresentar excelentes durabilidades quando aplicadas em reforços de matrizes cimentícias.

Já em relação ao uso de fibras de nylon, seus primeiros vestígios deram-se através de testes realizados pelo corpo de engenheiros do exército. Williamson (1966) relatou que a inserção de fibras a matrizes de concreto deu-se com o objetivo de analisar os efeitos de explosivos em lajes de concreto armado reforçada com fibras, para assim, verificar a eficiência deste reforço na redução da velocidade, assim como na quantidade de fragmentos provenientes do impacto das explosões. Outro objetivo da pesquisa foi a avaliação dos esforços de flexão e compressão nos elementos de concreto.

Como resultado alcançado, o referido autor relata que o reforço de fibras de aço e fibras sintéticas no concreto, mostrou-se resistente frente aos impactos provenientes das sobrecargas e das ondas de choque dos explosivos, resultando em uma redução na velocidade dos fragmentos de 20% e uma redução de 80% relativa à quantidade de fragmentos provenientes dos explosivos. O autor, ainda classifica as fibras que obtiveram melhores resultados, e que apresentaram maior facilidade na realização das misturas, citando inicialmente a fibra de nylon e em seguida a fibra de aço.

De acordo com Song (2005) as propriedades dos concretos reforçados com fibras de nylon mostraram-se superiores ao reforço realizado com fibras de polipropileno em parâmetros relativos à resistência a compressão, resistência a tração durante a flexão, ao módulo de elasticidade e na resistência ao impacto da mistura. O autor ainda ressalta que esses resultados devem-se pelo fato das fibras de nylon apresentarem maior resistência à tração e distribuírem-se melhor pelo concreto. Já em comparação ao concreto convencional, as matrizes reforçadas com fibras de nylon mostraram-se semelhantes em alguns aspectos, mas superiores em relação à resistência a primeira fissuração, na resistência à ruptura e, em especial, em um parâmetro empregado para avaliar o potencial da mistura para atrasar a falha do elemento após o surgimento da primeira fissura.

As fibras de poliéster também desempenham grande papel no reforço de matrizes cimentícias. De acordo com o ACI 544.1R (1996) estas fibras tem sido empregadas em misturas de concreto a fim de controlar o surgimento de fissuras devido a retração plástica. Para Gupta et al. (2008), outras propriedades são evidenciadas pelo reforço de fibras de poliéster em relação ao concreto convencional, demonstrando uma melhoria substancial em relação à resistência à compressão, mas em contrapartida, uma pequena melhoria em relação à resistência a tração. Já no tocante à durabilidade da mistura, o referido autor, afere que em condições aceleradas de exposição ao aquecimento e resfriamento, a umidade e à secagem e

na resistência à sulfatos, os resultados mostraram-se semelhantes entre o concreto reforçado com fibras de poliéster e no concreto convencional.

No tocante ao concreto reforçado com fibras de polietileno, Zheng (1981) destaca que estas fibras se caracterizam por apresentar boa resistência aos álcalis, boa resistência à água e baixo módulo de elasticidade, embora também possam ser produzidas com módulo de elasticidade relativamente alto. Já em relação à resistência térmica, o referido autor menciona que as fibras de polietileno apresentam perdas progressivas na resistência à tração quando expostas a temperaturas iguais ou superiores a 100°C. Complementarmente, Hannant (1994) ressalta que estas fibras não sofrem variações volumétricas quando em contato com a água, esta propriedade se mostra de grande relevância, no tocante à durabilidade destas misturas de concreto. Já sobre as propriedades mecânicas dos concretos reforçados com fibras de polietileno, Kobayashi (1981) destaca que estas misturas possuem excelente ductilidade, além de demonstrarem um comportamento quase que perfeitamente plástico até o alcance da carga relativa à primeira fissura, vale ressaltar que o aumento no teor de fibras pode promover uma redução na resistência ao surgimento de fissuras.

Nagabhushanam et al. (1989) consideram que as fibras de polipropileno possuem propriedades singulares que as tornam adequadas para o uso em reforços de matrizes de concreto. Os referidos autores destacam que as fibras de polipropileno possuem uma alta resistência a tração, enfatizam também que, a elevada capacidade de alongamento proporciona ao material uma melhora na absorção de energia, maior resistência à fadiga, maior ductilidade, bem como uma maior resistência ao impacto do concreto reforçado com fibras de polipropileno. Complementarmente, Zheng (1981) explica que as fibras de polipropileno são caracterizadas pela estabilidade química quando expostas ao ambiente alcalino inerente ao concreto. Estas fibras possuem também, um ponto de fusão relativamente elevado atrelado ao uso de matérias primas de baixo custo. Além disso, o polipropileno apresenta uma superfície hidrofóbica, impedindo, dessa forma, que esta fibra tenha absorção de água.

4.6 Fibra Ótica Polimérica - FOP

As fibras óticas poliméricas (FOP) surgem na segunda metade do século XX, com aplicações predominantemente voltadas para as áreas de tecnologia e telecomunicações. Nesta seção, serão abordados os aspectos inerentes ao histórico, à estrutura base das FOP, bem

como os fundamentos de transmissão luminosa nas fibras óticas poliméricas e, por fim, os materiais que as compõem.

4.6.1 Histórico da fibra ótica polimérica

De acordo com Zubia e Arrue (2001), a partir do surgimento do telégrafo, desenvolvido por Samuel Morse em 1838, a progressiva utilização de faixas cada vez maiores pertencentes ao espectro eletromagnético possibilitava a comunicação e a transmissão de informações entre diferentes locais. No entanto, embora fossem utilizadas cada vez mais faixas pertencentes ao espectro eletromagnético na busca por melhorias relativas à comunicação, Uribe (2010) revela que em 1880, Alexander Graham Bell realizou o que seria a primeira tentativa do uso da luz como meio de transmissão de informações e de comunicação. O referido autor complementa explicando que, os experimentos realizados consistiam na emissão de um feixe de luz em meio atmosférico, objetivando a transmissão de informações. Vale evidenciar que, a ideia apresentou falhas decorrentes de determinados fatores, como a presença de partículas presentes no ar, a interferência do oxigênio, bem como o vapor da água. Assim, por não se encontrarem soluções viáveis relativas à confecção de um protótipo, o projeto não progrediu, mas contribuiu substancialmente com princípios que viriam a ser fundamentais em aplicações no século XX, como em fitas magnéticas, assim como em computadores.

Segundo Soares (2012) o primeiro experimento efetuado no escopo das transmissões com fibras óticas, deu-se com o uso de fibras óticas plásticas (POF) em 1955. Neste período, o uso de fibras óticas de sílica (GOF) prevalecia em relação às fibras óticas plásticas (POF) por apresentarem vantagens e resultados já então consolidados. Entretanto, posteriormente, devido a fatores relacionados principalmente aos custos de fabricação e pela possibilidade de utilização em meios de comunicação, as fibras óticas de plástico ganharam maior visibilidade.

O referido autor revela que o primeiro material a ser utilizado em fibras óticas de plástico foi o polimetilmetacrilato (PMMA), caracterizado por ser um material termoplástico rígido e por apresentar estrutura transparente. Nesse contexto, foi na década de 1960 que as fibras óticas de plástico de polimetilmetacrilato foram confeccionadas e apresentadas pela empresa Pilot Chemical of Boston e posteriormente pela DuPont.

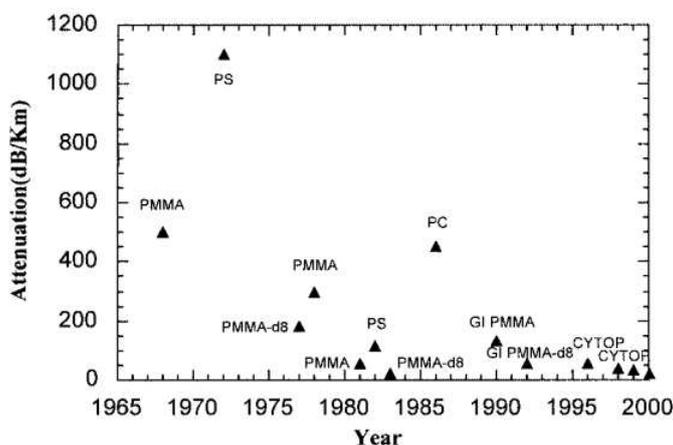
Em 1978, o cenário das fibras óticas de plástico passou por mudanças significativas, quando a DuPont vendeu a patente com todos os avanços conquistados até

então para a Mitsubishi Rayon (MR). Vale destacar que neste período a atenuação apresentada por estas fibras eram de cerca de 1000dB/km, entretanto com os avanços em estudos e tecnologias disponibilizados pela Mitsubishi Rayon os níveis de atenuação tiveram uma redução significativa, apresentando resultados na ordem de 300dB/km, e então realizaram a comercialização pela primeira vez das fibras óticas com índice em degrau (SI-POF) confeccionadas com PMMA denominadas ESKA™.

De acordo com Soares (2012), em meados da década de 1980 as empresas Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT), Asahi Chemical e Toray investiram no comercio de fibras com índice em degrau confeccionadas com PMMA, alcançando atenuações mínimas na ordem de 55dB/km. Já no início da década de 1990, o Professor Koike et al. da Universidade de Keio localizada na cidade de Tóquio no Japão desenvolveu uma metodologia de fabricação de fibras óticas de plástico com índice gradual, sobrepondo às tecnologias apresentadas pelas fibras com índice em degrau. Assim, as fibras óticas de plástico com índice gradual de polimetilmetacrilato (PMMA-GI-POF) apresentavam capacidade de transmissão na ordem de 3GHz.km e atenuação de 150 dB/km, ou seja, estas fibras ainda apresentavam dificuldades no tocante à atenuação.

Na metade da década de 1990, o Professor Koike da Universidade de Keio desenvolveu uma fibra ótica de índice gradual confeccionada com polímero de flúor (PF-GI-POF) que apresentou atenuações inferiores a 50dB/km, demonstrando assim os avanços cada vez mais progressivos nas tecnologias empregadas em fibras óticas de plástico. A Figura 16 ilustra a evolução histórica da atenuação das fibras óticas entre os anos de 1965 e 2000.

Figura 16 – Evolução histórica da atenuação das fibras óticas ao longo da segunda metade do século XX



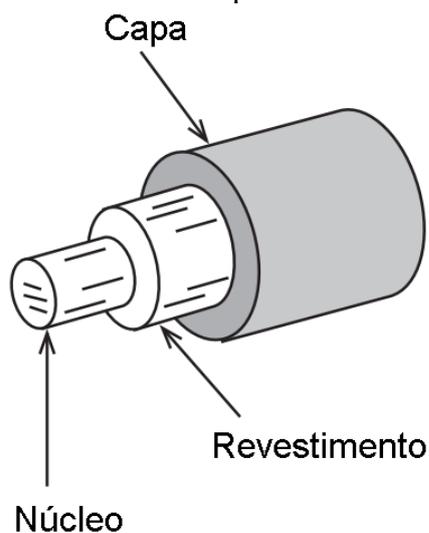
Fonte: Zubia (2001).

Em 2001 grupos da Austrália e da Coreia apresentaram a primeira fibra ótica microestruturada e, em 2004 a primeira fibra ótica de plástico com índice gradual de polimetilmetacrilato (PMMA-GI-POF) estava disponível para comercialização, produzida pela empresa de origem coreana Optimedia Company. Outro advento de grande importância foi a disponibilização de fibras óticas de índice gradual confeccionada com polímero de flúor (PF-GI-POF) pela empresa Chromis Optical Fiber, desenvolvendo uma tecnologia que permitia a produção destas fibras com elevada qualidade e um baixo custo.

4.6.2 Estrutura e mecanismo base da fibra ótica

Para Sterling (2004) a fibra ótica é formada por duas camadas concêntricas denominadas núcleo e revestimento. O núcleo se encarrega de transportar a luz por toda a estrutura da fibra ótica, enquanto o revestimento fornece a diferença no índice de refração, possibilitando assim que haja reflexão total interna da luz na camada do núcleo. Adicionalmente, o autor destaca que as fibras óticas se constituem de uma camada suplementar de proteção, no qual é composta por uma ou mais camadas em polímero, que atuam como um amortecedor, preservando as propriedades óticas e físicas, sem ocasionar interferências na propagação da luz nas camadas internas à fibra. A Figura 17 ilustra a estrutura base da fibra ótica apresentada pelo autor supracitado.

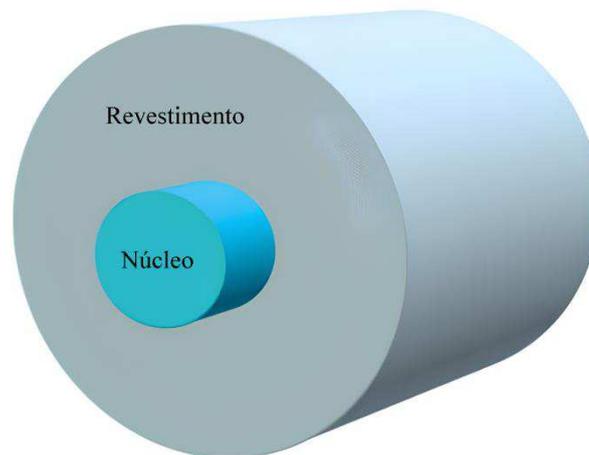
Figura 17 – Estrutura simplificada da fibra ótica.



Fonte: Adaptado de Sterling (2004).

De forma semelhante, Koike (2011) aborda que a estrutura das fibras óticas poliméricas é composta por duas camadas coaxiais distintas, denominadas núcleo e revestimento. O núcleo, como delineado pelo autor, constitui a camada central e deve ser composta por um polímero transparente, para que possa servir como material base do núcleo. Por sua vez, o revestimento corresponde à camada que envolve o núcleo, sendo também confeccionada em polímero, entretanto, esta camada apresenta índice de refração inferior ao do núcleo. Vale ressaltar que, o modelo apresentado por Koike (2011) não incorpora a camada de capa à estrutura das fibras óticas, distinguindo-se nesse aspecto da estrutura apresentada por Sterling (2004). A figura 18 ilustra a estrutura descrita por Koike (2011).

Figura 18 – Estrutura base da fibra ótica polimérica.



Fonte: Adaptado de Koike (2011)

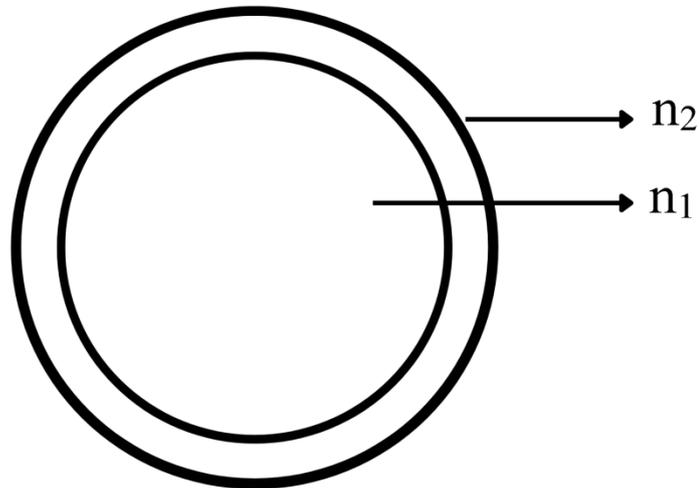
4.6.3 Fundamentos da transmissão de luz através de fibras óticas

De acordo com Senior e Jamro (2009) para analisar a propagação da luz através das fibras óticas é necessário considerar o índice de refração do meio dielétrico, no qual é definido através da razão entre a velocidade de propagação da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio analisado. De acordo com os autores, ao considerar-se a densidade entre meios distintos verifica-se que a luz se transporta com velocidade distinta entre estes meios. Dessa maneira, quando a luz incide entre dois meios dielétricos com índices de refração distintos, ocorre então o fenômeno da refração.

No tocante a análise do fenômeno da refração nas fibras óticas, Uribe (2010) explica que a fibra ótica é composta por um núcleo central que possui alto índice de refração, enquanto a camada que o envolve possui índice de refração inferior ($n_1 > n_2$), sendo n_1 o índice

de refração do núcleo e n_2 o índice de refração do revestimento. A Figura 20 ilustra simplificada a configuração dos índices de refração entre as camadas de uma fibra ótica.

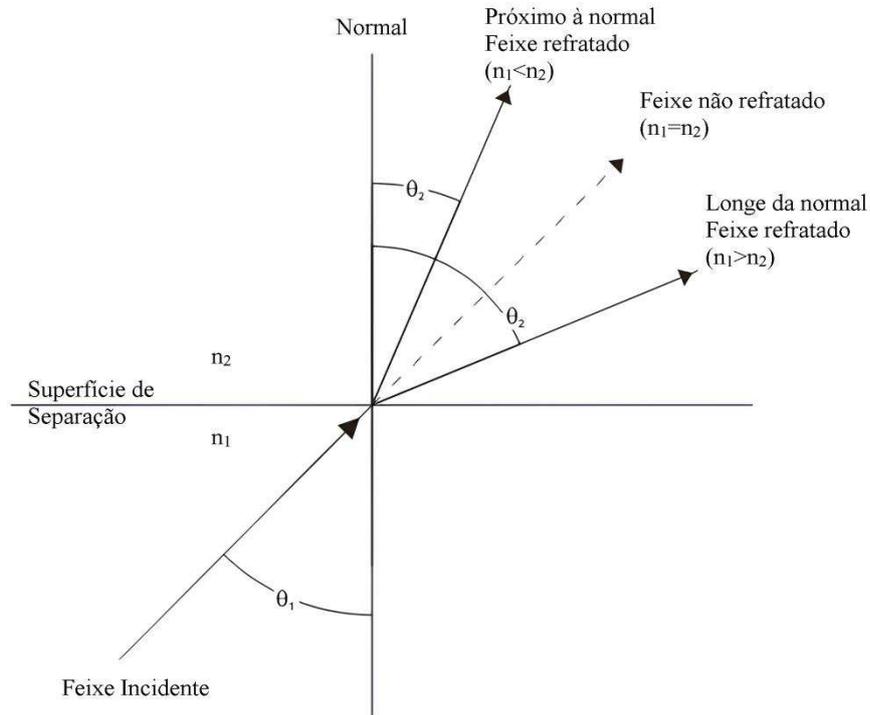
Figura 19 – Seção da fibra ótica polimérica.



Fonte: Autor (2023).

Nesse sentido, a explicação dos princípios que regem a transmissão da luz em fibras óticas, é fundamentada pela Lei de Snell. Para Hawkins (1990), foi na primeira metade do século XVII, que o astrônomo e matemático Willebrord Snell descobriu a lei da refração. Lane (2016) considera que a luz ao incidir na fronteira entre dois materiais com diferentes índices de refração (n_1 e n_2), a luz passará pelo primeiro material ao longo de uma determinada trajetória e depois se curvará após atingir a fronteira, denominando-se como refração esse fenômeno ocasionado pela luz. A Figura 20 ilustra o comportamento da luz ao atingir a fronteira entre materiais com diferentes índices de refração.

Figura 20 – Comportamento da luz ao incidir na fronteira entre meios com índices de refração distintos.



Fonte: Adaptado de DüNDAR (2007).

Assim, de acordo com DüNDAR (2007) o comportamento dos feixes refratados pode ser explicado através da lei de Snell, que é expressa na seguinte forma:

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2 \quad \text{Eq. 1}$$

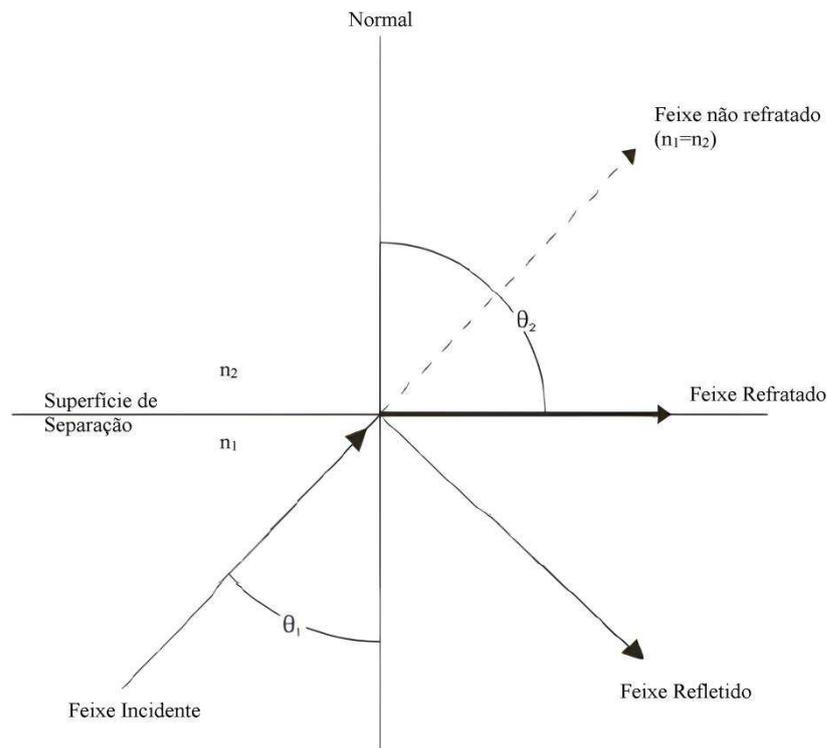
No qual, n_1 representa o índice de refração do material 1, enquanto θ_1 refere-se ao ângulo formado pelo feixe incidente, que é medido entre a reta normal à interface do feixe incidente, já n_2 representa o índice de refração do material 2 e θ_2 o ângulo do feixe refratado.

DüNDAR (2007) explica que na fronteira entre os materiais, o feixe incidente poderá refratar-se tanto aproximando-se da reta normal, quanto afastando-se dela, este fenômeno irá depender se o índice de refração n_1 for maior ou menor ao índice de refração n_2 . Dessa maneira, se o feixe incidente se propaga de um material de índice de refração inferior, ($n_1 < n_2$), de acordo com a equação de Snell, o ângulo refratado tende a se aproximar da reta normal e, portanto, será menor. Já se o feixe incidente parte de um material com índice de refração superior ($n_1 > n_2$), o ângulo refratado será maior em relação à reta normal.

Considerando o último caso, em que o feixe de luz passa de um meio de maior índice de refração para um meio com menor índice, verifica-se que, quando esse feixe incide na fronteira entre estes meios com um ângulo de incidência que proporcione um ângulo

refratado igual a 90° , denomina-se este ângulo de incidência como ângulo crítico. Nesse sentido, se os ângulos incidentes forem superiores ao ângulo crítico tem-se que os feixes de luz emitidos serão refletidos em sua totalidade. A Figura 21 ilustra a formação do ângulo crítico e o fenômeno da reflexão total do feixe de luz.

Figura 21 – Representação gráfica do ângulo crítico e do fenômeno da reflexão total do feixe de luz.



Fonte: Adaptado de Dündar (2007).

Através da equação de Snell apresentada acima, é possível encontrar a expressão que representa o ângulo crítico. Dessa maneira, considerando que o feixe refratado forma um ângulo de 90° quando o ângulo de incidência atinge a condição de ângulo crítico, tem-se então:

$$\theta_2 = 90^\circ \quad \text{Eq. 2}$$

$$\theta_1 = \theta_c = \text{Ângulo Crítico} \quad \text{Eq. 3}$$

Assim, tem-se a seguinte equação que expressa o ângulo crítico:

$$\theta_c = \text{sen}^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad \text{Eq. 4}$$

Dessa forma, para feixes de luz que incidirem com ângulos superiores ao ângulo crítico ($\theta_1 > \theta_c$) tem-se o fenômeno da reflexão interna total.

4.6.4 Material que constitui a fibra ótica polimérica

De acordo com Zubia e Arrue (2001) e Luo (2017) os principais tipos de fibras óticas poliméricas fabricadas, em suma, possuem como matéria-prima constituinte os polímeros, os quais se caracterizam por possuir uma estrutura com longas cadeias moleculares. Vale destacar, que estas macromoléculas podem apresentar propriedades distintas, devido a diversos fatores, no qual confere a estes materiais uma versatilidade de aplicações.

O núcleo das fibras óticas poliméricas pode ser constituído por vários polímeros distintos, nos quais se destacam: o polimetilmetacrilato (PMMA), policarbonato (PC), polímeros fluoratados (PF), poliestireno (PS), polietilmetacrilato (PEMA), polimetacrilato de benzila (PBzMA) e os deuterados (PD). A Tabela 1 apresenta de forma sintetizada os índices de refração e o diâmetro dos núcleos relacionados às principais fibras óticas poliméricas, nos quais os núcleos são confeccionados a partir de polímeros distintos, incluindo Núcleo duro de sílica (HCS) e Sílica revestida de plástico (PCS).

Tabela 1 – Parâmetros de comparação relativos às fibras óticas poliméricas com núcleos de composições distintas.

Material	Índices de refração núcleo/revestimento	Diâmetro do núcleo (μm)
PMMA	1,492/1,417	250-1000
OS	1,592/1,416	500-1000
PC	1,582/1,416	500-1000
CYTOP	1,353/1,34	125-500
PCS - HCS	1,46/1,41	110-1000

Fonte: Adaptado de Zubia e Arrue (2001).

4.7 Concreto Translúcido

A formação de um compósito que possui a incorporação de fibras óticas à sua matriz caracteriza a estrutura básica do concreto translúcido. O referido material ganha destaque por aspectos ligados à sustentabilidade, combinando, principalmente, resistência e aspectos inerentes à transmissão luminosa, que, por sua vez, podem possibilitar a economia energia. Nesta seção serão abordados desde o histórico, propriedades mecânicas e de transmitância luminosa, além das diversas aplicações do concreto translúcido em diferentes países.

4.7.1 Histórico do concreto translúcido

Na busca por melhorias e inovações nas construções ao redor do mundo, o homem busca continuamente integrar materiais que proporcionem melhorias nos mais diversos aspectos construtivos. Nesse contexto, a combinação de um material tradicionalmente opaco, como o concreto, com um material que possibilita a transmitância da luz, como a fibra ótica, viabiliza a projeção de ambientes novos, sem que haja necessidade de substituição de técnicas construtivas tradicionais.

De acordo com Cadavid (2013) a concepção inicial ao material translúcido remonta a 1935, quando Bernard Long, criou um objeto resistente, que possibilitava a transmissão da luz, no qual, logo teve sua patente registrada no Canadá. Entretanto, segundo a autora supracitada, foi somente em 1999 que ocorreu a primeira integração entre concreto e a luz, realizada pelo arquiteto e professor da Universidade de Huston Dr. Bill Price, que tinha como projeto a transformação das edificações em construções luminosas e futurísticas. Nesse sentido, em setembro de 1999, produziram-se as primeiras amostras, na tentativa de substituir o concreto tradicional por um material que possuísse propriedades similares e incorporasse as características luminosas desejadas. Contudo, questões relacionadas à resistência tanto à compressão como à tração, acarretou em incertezas acerca do desenvolvimento de um novo material com propriedades translucidas.

Huang (2020) e Sawant (2014) relatam que em 2001, o arquiteto Húngaro Áron Losonzi desenvolveu o que viria a ser a primeira forma de concreto translúcido comercial, no qual foi denominado como LiTraCon (Light Translucent Concrete), que seria a combinação de fibras óticas e concreto fino, que quando combinados resultariam em um compósito de aparência homogênea. No ano de 2003, Áron Losonzi produziu com sucesso o

primeiro bloco em concreto translúcido, apresentando propriedades semelhantes ao concreto convencional.

Este produto inovador foi então apresentado em diversas exposições de design em cidades europeias, tais como Estocolmo, Berlim, Budapest, Londres, dentre outras. Assim, Áron Losonzi cria então um escritório no qual patenteou e comercializou o então denominado LiTraCon. De acordo com Cadavid (2013), no ano de 2005, o material foi exibido e ganhou destaque nos Estados Unidos, mais precisamente no National Building Museum, localizado em Washington, no qual, segundo Bachmann (2007), o LiTraCon foi reconhecido com o renomado prêmio alemão “Red Dot 2005 Design Award” pela categoria de maior qualidade de design.

No ano seguinte, em 2006 o LiTraCon foi novamente premiado no evento “LEAF awards”, desta vez na categoria de melhor utilização de tecnologia inovadora e design em pequenos projetos. Já no ano de 2007, de acordo com Reddy e Prasad (2020), Áron Losonzi registra então a sua segunda patente no LiTraCon. A Figura 22 apresenta a obra com uma luminária fabricada através do concreto translúcido.

Figura 22 – Áron Losonzi e uma luminária fabricada em concreto translúcido

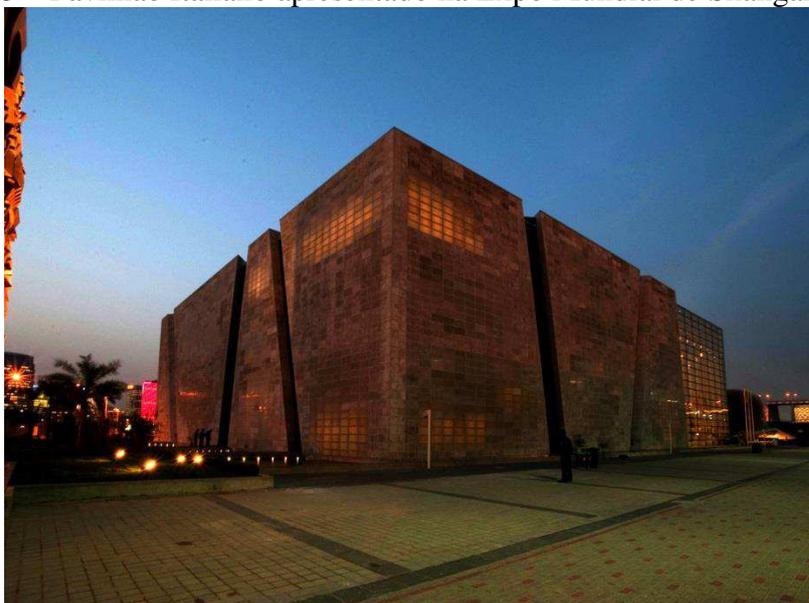


Fonte: Grund Online (2022).

Nos anos subsequentes, o concreto translúcido foi incorporado em variadas edificações, tendo grande destaque no Pavilhão Italiano no qual foi apresentado na Expo Mundial de Shanghai de 2010, na China. É importante ressaltar que a constituição dos blocos de concreto translúcido para esta edificação não se baseou na utilização de fibras óticas, ao

invés disso, optou-se pela adoção de blocos pré-moldados à base de cimento com adição de resinas plásticas poliméricas. Os blocos somam um total de 3774 unidades, abrangendo uma área total de 1887m², correspondendo à cerca de 40% de toda a área externa construída. Dessa forma, em virtude da extensa área construída, bem como da tecnologia empregada nos referidos blocos, garantiu-se então ao interior do pavilhão a passagem da luz de forma suave e, simultaneamente, proporcionou uma intensa transmissão de luz para o ambiente externo. A Figura 23 apresenta a fachada do Pavilhão Italiano durante o período noturno.

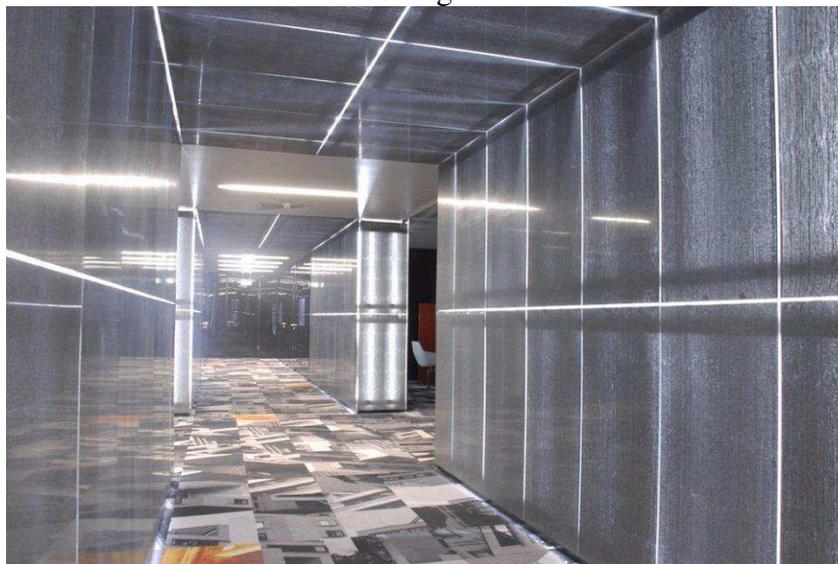
Figura 23 – Pavilhão Italiano apresentado na Expo Mundial de Shangai em 2010



Fonte: Heidelberg Materials (2022).

Em 2011, a construção da nova sede do banco da Georgia destacou-se pela incorporação do concreto translúcido em seu projeto de remodelagem. Esta edificação teve suas obras iniciadas em 2010 e concluídas ao final de 2011, no qual foram aplicados revestimentos em concreto translucido nas paredes, teto, balcões, dentre outros espaços, totalizando uma área de 300m². A Figura 24 ilustra as paredes e o teto confeccionados em concreto translúcido no interior da edificação.

Figura 24 – Paredes e teto fabricados em concreto translúcido para a nova sede do banco da Georgia.



Fonte: Arch Daily (2012).

Han e Zhang (2017) e Altomate et al. (2016) destacam outros projetos construídos através do concreto translúcido em anos subsequentes, como os casos das fachadas confeccionadas em concreto translúcido da Universidade de Aachen na Alemanha em 2012, que totalizou 102m² confeccionados em concreto translúcido ou ainda, a Mesquita de Al Aziz em Abu Dhabi inaugurada em 2015, que totalizou 525m² construídos em concreto translúcido. Entretanto, de acordo com Chiew e Ibrahim (2020) e Mosalam e Modrego (2018), mesmo diante do surgimento de novas técnicas desenvolvidas por empresas para a fabricação concreto translúcido e do grande potencial de aplicação deste material em edificações e em projetos de infraestrutura, alcançar requisitos padrões relativos à transmitância da luz para ambientes internos ainda é um desafio para a área, que por sua vez, concentra-se principalmente no desenvolvimento estético.

4.7.2 Propriedades do concreto translúcido

O estudo das propriedades mecânicas, de transmissão luminosa e economia energética estão entre os principais aspectos abordados, no tocante ao concreto translúcido. A combinação destas propriedades, contemplando simultaneamente às exigências de projeto, pode propiciar a construção de espaços mais sustentáveis, sem comprometer aspectos ligados à resistência, transmissão luminosa e de economia de energia, além da estética proporcionada pelo material.

4.7.2.1 Propriedades mecânicas

No tocante às propriedades mecânicas, segundo Altomate et al. (2016) e Kumar e Ahlawat (2016), as análises relativas às resistências à compressão e flexão dos blocos de concreto translucido apresentaram resultados relativamente inferiores em relação aos blocos de referência. Similarmente, Henriques et al. (2020) demonstraram que os resultados em blocos de concreto translúcido com percentuais de 2% e 3,5% de fibras óticas poliméricas, obtiveram reduções nas resistências à compressão equivalentes a 11,4% e 14,9%, respectivamente. Já para blocos com teor de 5% de fibras óticas poliméricas, observou-se uma redução significativa de aproximadamente 20% na resistência à compressão, sendo então, a amostra que apresentou o resultado mais desfavorável dentre os percentuais ensaiados. Ainda segundo Henriques (2020), os ensaios de tração através da flexão, apresentaram também, resultados inferiores em todas as amostras que continham fibras óticas poliméricas, no qual para os percentuais de 2% e 3,5% os resultados foram, respectivamente, 20,6% e 31,7%, e em relação à amostra com 5% de fibra ótica polimérica a redução foi de 25,4%, não demonstrando uma evolução conforme o aumento no teor de fibra.

Em contrapartida, Huong e Kassim (2019), em ensaios de resistência à compressão demonstraram resultados mais favoráveis em blocos de concreto translúcido em comparação aos blocos convencionais. No qual, blocos com percentuais equivalentes a 1,25% de fibras óticas poliméricas proporcionaram resultados superiores em 16,9% em relação aos blocos confeccionados apenas com concreto convencional.

4.7.2.2 Propriedades de transmitância de luz e economia de energia

No que diz respeito às propriedades relacionadas à transmissão da luz em blocos de concreto translucido, é importante evidenciar que os ensaios apresentam formas distintas de execução e de avaliação. Para os ensaios de Momin et al. (2014), a fonte de luz empregada consistiu exclusivamente em uma lâmpada incandescente apenas. Em contrapartida, os ensaios realizados por Spiesz e Brouwers (2016), ocorreram em ambiente externo, utilizando a luz solar como principal fonte luminosa.

Segundo Kumar e Ahlawat (2016), os ensaios de transmitância de luz demonstraram que o aumento gradual no volume percentual de fibras proporciona também um aumento no percentual de transmitância de luz. Os autores verificaram que, para o menor percentual de fibras óticas poliméricas, o equivalente à 0,25% em volume, submetidas à uma

fonte luminosa de 100W, obteve-se 0,34% de transmissão luminosa, enquanto, para a mesma fonte luminosa, utilizando o maior percentual de fibras óticas poliméricas, o equivalente à 4% em volume, os resultados de transmitância chegaram a 5,62%, apresentando assim uma evolução gradual em relação ao aumento percentual.

Corroborando com os dados de Kumar e Ahlawat (2016), as pesquisas realizadas por Altomate et al. (2016) destacam que, além do aumento percentual em volume de fibras óticas poliméricas proporcionar um aumento da transmitância luminosa, fatores como o diâmetro, assim como o espaçamento entre as fibras podem influenciar nos resultados obtidos. Os referidos autores constaram que, para o diâmetro de 1,5mm, correspondente ao maior diâmetro de fibra utilizado, com um espaçamento de 10mm, associados a um percentual de 1,43% em volume de fibras, foi possível obter o melhor resultado. Cabe evidenciar que, esse percentual em volume de fibras não representou o maior percentual adotado na pesquisa, evidenciando que os resultados podem variar em função do diâmetro e do espaçamento adotado entre as fibras fixadas no bloco de concreto translúcido.

No tocante à economia de energia através da transmitância de luz com emprego do concreto translúcido, Ahuja e Mosalam (2017) destacam que a economia nas despesas totais de energia de refrigeração, aquecimento e com iluminação pode ser alcançada por meio de uma proporção volumétrica adequada de fibras óticas incorporadas em painéis de concreto translúcido. Para verificação destes parâmetros citados, os referidos autores desenvolveram um software específico, que modelou e simulou computacionalmente uma sala modelo com uma de suas paredes confeccionada em concreto translúcido. Os resultados da simulação indicaram que, dentre os percentuais ensaiados (0%, 1,4%, 3%, 6%, 9%, 13%, 17% e 22%), o resultado que apresentou maior economia nas despesas citadas foi obtido com 6% de teor de fibras óticas, com uma redução no consumo de energia equivalente a 18,26%. Esses resultados reforçam a viabilidade do uso do concreto translúcido em projetos que, possuem como finalidade a redução do consumo elétrico durante o dia, bem como em relação à maior eficiência térmica.

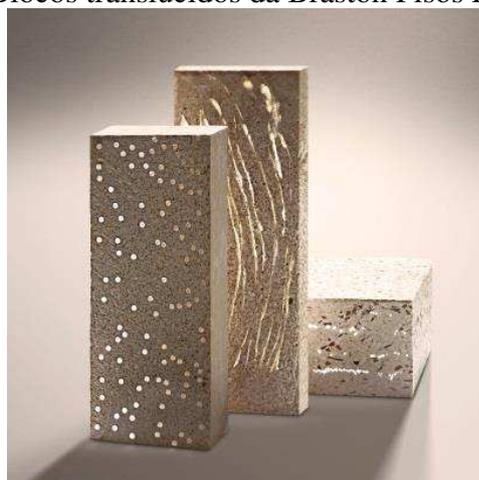
4.7.3 Aplicações do concreto translúcido

Os avanços nas tecnologias relativas ao concreto translúcido permitiram a inserção de novas pesquisas e aplicações diversificadas. De acordo com Covaleov (2019), estas aplicações podem abranger áreas que vão desde o design de interiores, fachadas, divisórias e paredes em edificações, até projetos referentes ao setor de pavimentação, com a

incorporação de iluminação em lombadas ou na sinalização de faixas nas rodovias. Já no tocante à adoção do concreto translúcido em projetos ao redor do mundo, segundo Ribeiro (2010) e Covaleov (2019) determinados países ganharam destaque, entre os quais se evidenciam a Hungria, Bélgica, Suécia, Estados Unidos, França, Reino Unido e Alemanha como exemplos emblemáticos.

De acordo com Balleste et al. (2020), no Brasil apenas uma empresa comercializa o concreto translúcido, a Braston Pisos Personalizados, situada em Campinas, São Paulo. A empresa fabrica blocos destinados à aplicação tanto na forma de pisos como através de painéis. Os blocos pertencem à linha Reluzi da empresa e são comercializados em dois tamanhos distintos, sendo estes 11x30x4cm e 13x21x4cm. Além disso, as peças possuem três configurações distintas, relacionadas à quantidade, posição e distribuição das fibras óticas ao longo da estrutura dos blocos, que são denominados: Bloco Pontilhado, Travertino e Micropontilhado. A figura 25 apresenta as três configurações de blocos supracitadas.

Figura 25 – Blocos translúcidos da Braston Pisos Personalizados

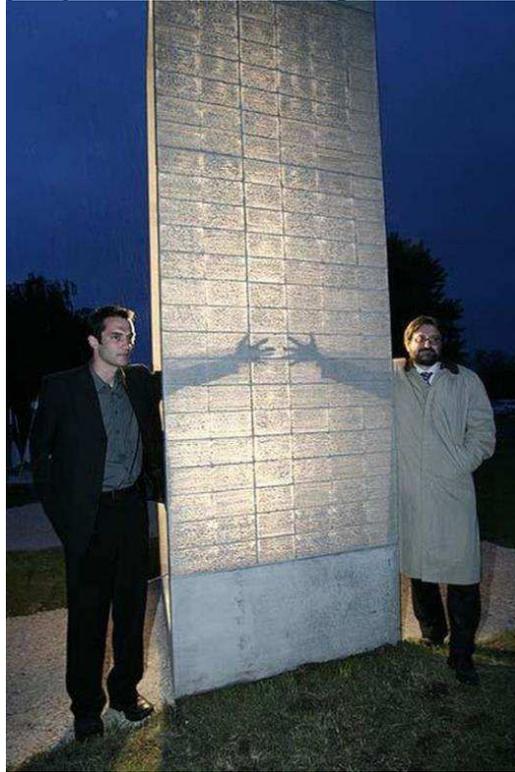


Fonte: Empresa Braston Pisos Personalizados (2016).

4.7.3.1 Escultura Europe Gate em Kameron, Hungria

Segundo Luhar et al. (2021), Balleste et al. (2020) e Zielinska e Ciesielski (2017), a escultura denominada Europe Gate, que está localizada na entrada pública da Fortaleza de Monostor na cidade de Kameron, Hungria foi construída em 2004, em memória da adesão da Hungria na União Europeia. A Figura 26 apresenta Aron Losonsci ao lado do ministro da cultura da Hungria András Bozóki, na inauguração da escultura Europe Gate em 2005.

Figura 26 – Inauguração da escultura Europe Gate em Kamaron, Hungria.



Fonte: Építész forum (2005).

4.7.3.2 Clínica em Genk, Bélgica

De acordo com Cadavid (2013), uma clínica comunitária na cidade de Benk, Bélgica incorpora em seu projeto uma parede confeccionada em concreto translúcido. Esta parede desempenha a função de divisória entre a sala de espera e os escritórios. O projeto foi realizado pelo escritório Buro Bélgica, utilizando blocos fabricados pela empresa alemã Lucem, com dimensões de 100 x 100 cm e espessura de 3 cm, conectadas através de perfis verticais em aço, resultando em uma área total de 30m². A Figura 27 ilustra a parede mencionada, com destaque para a silhueta do público situado na sala de espera, visível para aqueles localizados no escritório.

Figura 27 – Parede confeccionada em concreto translúcido em uma clínica na cidade de Genk, Bélgica.

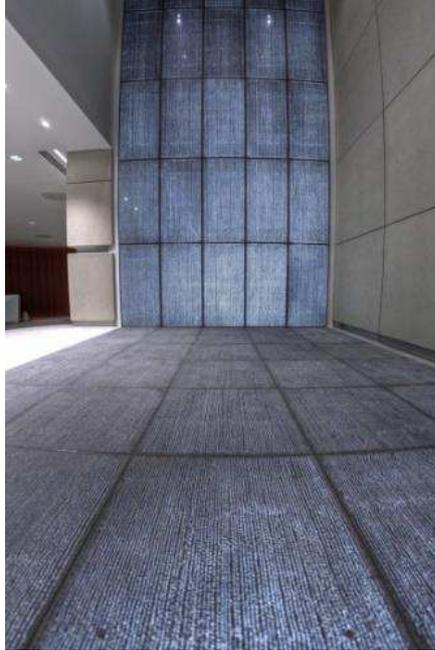


Fonte: Zedfy (2020).

4.7.3.3 Saguão de um prédio em Londres, Reino Unido

Em 2013, um projeto executado em Londres, referente a um saguão de entrada de um prédio de escritórios, destacou-se pela aplicação de painéis em concreto translúcido em uma dada área de paredes e no piso da referida edificação. A fabricação e o fornecimento desses painéis ficaram a cargo da empresa alemã Lucem, enquanto a instalação ficou a cargo da empresa britânica Jame Johnson & Co. Além das placas confeccionadas em concreto translúcido, o projeto incorporou painéis de LED como fonte de luz integrada às superfícies da parede e do piso, que somados totalizaram uma área de 40m². A Figura 28 ilustra o projeto mencionado executado na cidade de Londres.

Figura 28 – Parede e piso confeccionados em concreto translúcido em um saguão pertencente a uma edificação em Londres, Reino Unido.



Fonte: Lucem (2021).

4.7.3.4 Bancos retroiluminados em Magdeburgo, Alemanha

Os bancos retroiluminados localizados em uma praça pública próxima ao MDCC Kundencenter em Magdeburgo, Alemanha, constituem um projeto idealizado pelo escritório de arquitetura alemão Junk & Reich, enquanto a fabricação das peças em concreto translúcido foi confeccionada pela empresa alemã Lucem. Os bancos em questão possuem 7 metros de comprimento e incorpora em sua estrutura uma fonte de luz em LED embutida nas laterais dos assentos, conferindo ao ambiente o conforto luminoso, além de agregar maior sofisticação ao projeto. A Figura 29 ilustra os bancos retroiluminados durante o período noturno.

Figura 29 – Bancos retroiluminados em uma praça pública na cidade de Magdeburgo, Alemanha.



Fonte: Lucem (2022).

5 METODOLOGIA

A metodologia aplicada no presente trabalho baseia-se em uma revisão literária de autores renomados, trabalhos e pesquisas apresentados a outras instituições de ensino, além de estudos relacionados à área proposta pelo trabalho. Serão abordados conceitos, formulações, ensaios e procedimentos necessários acerca do estudo comparativo entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica.

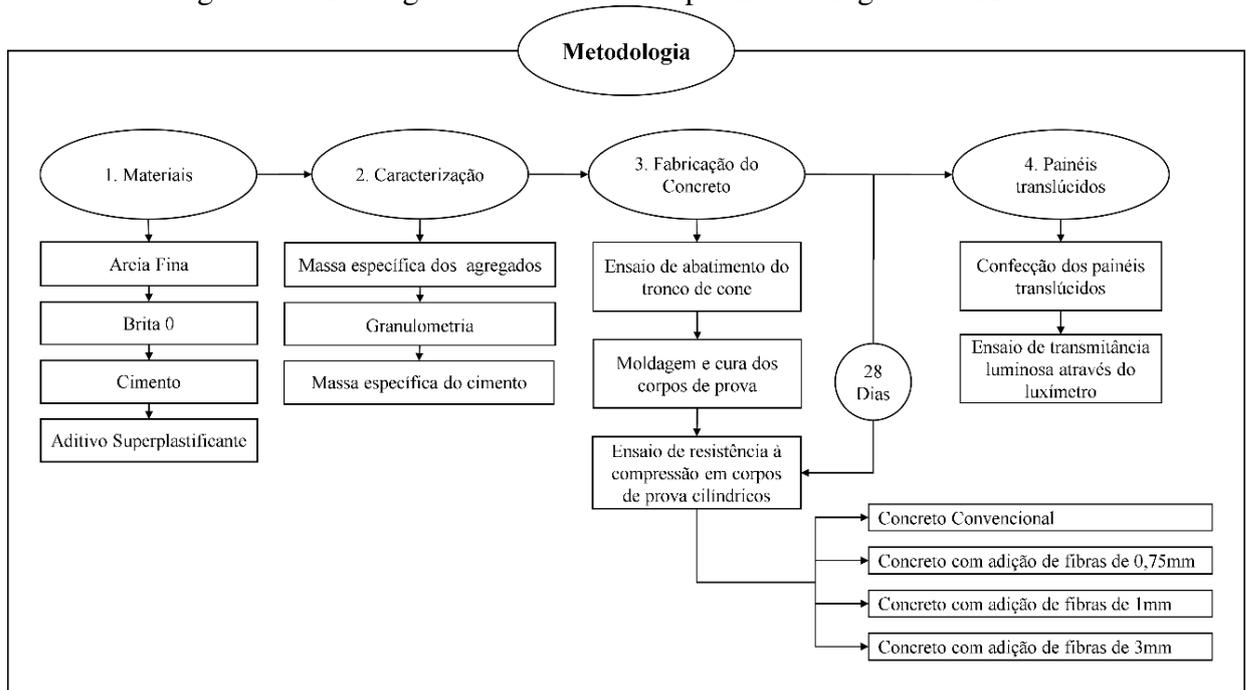
O programa experimental subdivide-se em etapas, objetivando a caracterização dos materiais empregados, bem como em relação à metodologia aplicada na dosagem do concreto com uso de fibras óticas. Assim, após os ensaios de caracterização dos agregados, realizou-se a dosagem para corpos de prova com resistência média de 30 MPa e utilizou-se a mesma dosagem para a confecção das placas translúcidas.

Após a caracterização e a dosagem dos corpos de prova, realizou-se então a moldagem dos corpos de prova para obtenção de dados relativos à propriedade mecânica de resistência a compressão, assim como a propriedade de transmitância de luz nas placas de concreto translúcido.

A partir dos conceitos, ensaios realizados e dos resultados obtidos será definido um comparativo entre os dois modelos de concreto apresentados, e em seguida a apresentação dos benefícios e empecilhos encontrados.

Por fim, serão apresentadas as conclusões acerca da análise comparativa entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica, possibilitando a visualização, bem como a contribuição dos métodos para o meio acadêmico. A Figura 30 apresenta um fluxograma relativo às etapas metodológicas.

Figura 30 – Fluxograma referente às etapas metodológicas realizadas



Fonte: Autor (2024).

5.1 Materiais

Areia fina, brita 0, cimento Portland, aditivo superplastificante e fibras óticas poliméricas são os materiais utilizados na confecção dos corpos de prova, bem como os painéis translúcidos. A seguir, tem-se a caracterização dos materiais empregados.

5.1.1 Materiais utilizados e Caracterização dos agregados

Os ensaios empregados para os agregados graúdo, miúdo, assim como no cimento, foram de suma importância para a determinação de parâmetros, que fundamentam a formulação da dosagem adequada para o concreto convencional, bem como do concreto translúcido. Vale evidenciar, que os materiais ensaiados são provenientes da cidade de São Luís no estado do Maranhão. A Tabela 2 apresenta os ensaios realizados nos agregados naturais e no cimento.

Tabela 2 – Ensaios e normas relativas à caracterização dos agregados.

Ensaios realizados	Norma de referência
Determinação da massa específica do agregado miúdo	ABNT NBR 9776 (1987)
Determinação da massa específica e da absorção de água do agregado graúdo	ABNT NBR 16917 (2021)
Determinação da composição granulométrica	ABNT NBR NM 248 (2001)
Determinação da massa específica do Cimento Portland	ABNT NBR 16605 (2017)

Fonte: Autor (2024).

5.1.1.1 Agregado miúdo

Na caracterização do agregado miúdo, foram realizados ensaios de determinação da massa específica e de composição granulométrica, cujos procedimentos e resultados obtidos serão apresentados a seguir.

O procedimento relativo à determinação da massa específica de agregados miúdos através do frasco de Chapman seguiu os procedimentos indicados pela NBR 9776/1987 e ocorreu no laboratório de concreto e materiais de construção da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Assim, para a correta execução, colocaram-se as amostras relativas ao agregado miúdo na estufa até atingir massa constante. Em seguida, inseriu-se então água no frasco de Chapman até a marcação de 200 cm³, permanecendo em repouso até que a água escorresse totalmente pelas faces internas do frasco, para então inserir-se de forma cuidadosa 500 gr da amostra de agregado miúdo seco. Após a inserção de todo o material, deve-se então agitar o frasco para eliminar as bolhas de ar contidas. A Figura 31 ilustra o conjunto água-agregado miúdo após a estabilização.

Figura 31 – Frasco de Chapman com o conjunto água-agregado miúdo já estabilizado.



Fonte: Autor (2023).

Para a realização da leitura deve-se observar o nível de água atingido no gargalo, que apresentou como resultado os volumes de 388cm^3 e 389cm^3 . Vale ressaltar que, o procedimento em questão foi realizado em duplicata para efeitos de comparação relativos aos resultados obtidos. A Tabela 3 apresenta a massa específica obtida nas duas amostras ensaiadas.

Tabela 3 – Massa específica relativa à amostra de agregado miúdo.

Propriedade	Unidade	Resultado
Densidade do Agregado	(g/cm^3)	2,65

Fonte: Autor (2023).

Para a determinação da granulometria do agregado miúdo, o material foi inicialmente submetido à secagem em estufa por 24 horas, a fim obter-se as massas na condição seca ao ar. Em seguida, utilizou-se a tabela pertencente a ABNT NBR NM 248/2001 para a verificação da massa mínima da amostra. Vale ressaltar, que para realização do ensaio optou-se por empregar duas amostras contendo 1000 gr cada.

Após o registro das massas referentes a cada amostra, o material foi submetido à agitação mecânica. Nesse processo, as peneiras foram posicionadas em ordem crescente de

abertura das malhas (base para o topo), incluindo o fundo falso e a tampa. Em seguida, o material foi introduzido na peneira superior, dando início aos processos de peneiramento mecânico e manual, respectivamente.

Após o peneiramento mecânico e manual, procedeu-se à limpeza da tela, seguido da pesagem do material retido em cada peneira. É relevante ressaltar que, durante o processo de limpeza, o agregado localizado na região superior da peneira, deve ser considerado como retido, enquanto o material encontrado na região inferior à peneira considera-se como passante. Além disso, para cada peneira ensaiada, foram registradas às quantidades retidas, incluindo o fundo.

Ao final de todos os registros, é necessário verificar se o somatório de todas as massas retidas nas peneiras difere em até 0,3% da massa total inicialmente introduzida, garantindo assim a conformidade com a norma aplicada ao procedimento realizado. A Tabela 4 apresenta a composição granulométrica obtida conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR NM 248/2001.

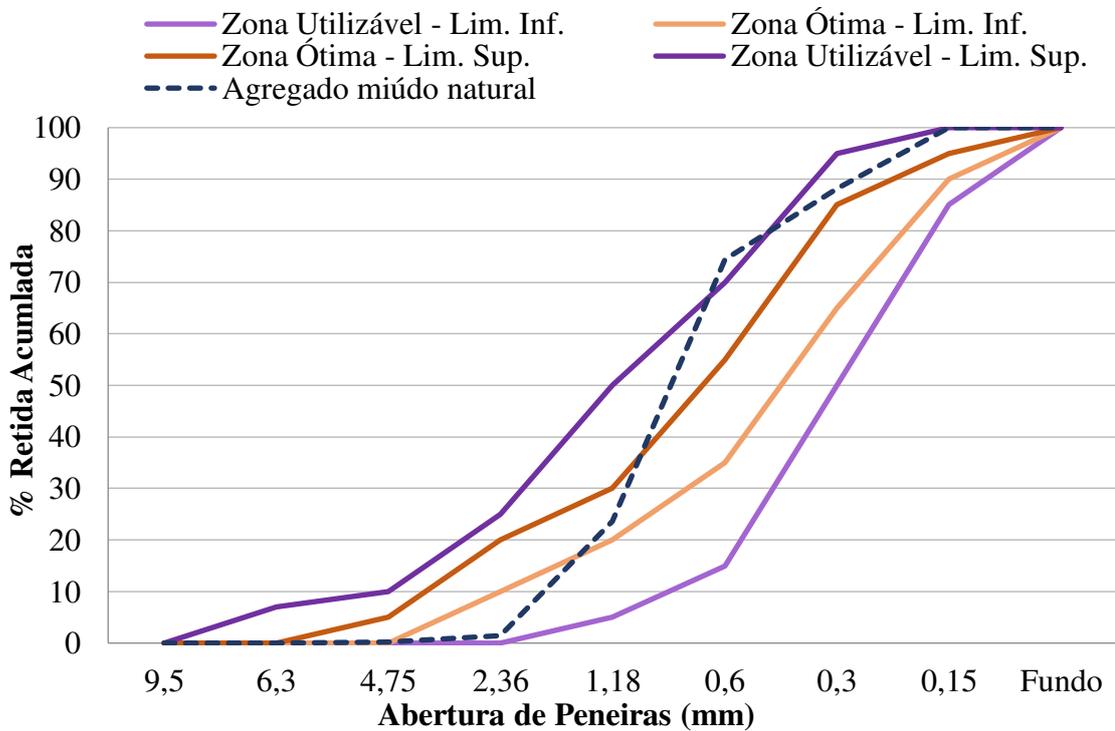
Tabela 4 – Composição granulométrica referente ao agregado miúdo.

Abertura de Peneiras (mm)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)
4,75	0,0	0,0
2,36	0,2	0,2
1,18	1,3	1,5
0,6	22,2	23,7
0,3	50,7	74,4
0,15	13,8	88,2
Fundo	11,8	100,0
Dimensão máxima característica (mm)		2,36
Módulo de finura		1,88

Fonte: Autor (2023).

A Figura 32 ilustra a curva granulométrica obtida em relação aos limites estabelecidos pela ABNT NBBR 7211/2022.

Figura 32 – Curva granulométrica do agregado miúdo e limites de distribuição de acordo com a ABNT NBR 7211/2022.



Fonte: Autor (2023).

5.1.1.2 Agregado graúdo

Para a caracterização do agregado graúdo, foram realizados os ensaios de determinação da massa específica e de composição granulométrica, cujos procedimentos e resultados obtidos serão apresentados a seguir.

O procedimento referente a determinação da densidade e absorção do agregado graúdo ocorreu no laboratório de concreto e materiais de construção da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Inicialmente, tomou-se o material no estado seco, passando-o em seguida pela peneira 4,75 mm, para eliminação do material passante. Seguidamente, foi realizada a coleta mínima necessária da amostra estabelecida por norma, obtendo-se o equivalente a 2000 gr do agregado graúdo, no qual lavou-se o material em água corrente sobre a peneira 4,75mm, para posteriormente espalhar a amostra em uma bandeja e cobri-la com água por um período de 24 h. A Figura 33 ilustra as amostras coletadas submersas em água.

Figura 33 – Amostras de agregado graúdo submersas em água.



Fonte: Autor (2023).

Decorridas 24 h, procedeu-se a secagem da amostra utilizando um pano absorvente, buscando a remoção da água presente na superfície de todo o material, atingindo, dessa maneira, a condição saturada superfície seca. Em seguida, verificou-se a massa das amostras na condição mencionada, que apresentaram valores de 1991,4gr e 1995,3gr. Imediatamente após a secagem, a amostra foi inserida na cesta de arame, permitindo assim a obtenção da massa na condição submersa em água, que apresentaram valores de 1220,0gr e 1225,0gr, respectivamente.

Posteriormente, a amostra foi submetida à secagem em estufa ao longo de um período de 24 h. Após o intervalo especificado, o material foi retirado e aguardou-se seu resfriamento, para então realizar-se a aferição da massa das amostras secas ao ar, que resultaram em 1980,5gr e 1985,0gr, respectivamente. Após os registros, foi possível então obter os resultados referentes à massa específica e a absorção de água do agregado graúdo, que estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Massa específica e absorção de água referente ao agregado graúdo.

Propriedade	Unidade	Resultado
Densidade do Agregado	(g/cm ³)	2,57
Absorção de água	%	0,54%

Fonte: Autor (2023).

Para medir a granulometria do agregado graúdo, inicialmente o material foi submetido à secagem em estufa por 24 h, buscando obter-se as massas na condição seca ao ar. Em seguida, utilizou-se a tabela pertencente a referente norma para verificação da massa mínima das amostras. Vale lembrar, que para o agregado miúdo optou-se por empregar duas amostras contendo 1000 gr cada, enquanto para o agregado graúdo optou-se por empregar duas amostras contendo 2000 gr cada.

Após registrar as massas referentes a cada amostra, o material foi submetido à agitação mecânica. Nesse processo, as peneiras foram posicionadas em ordem crescente de abertura das malhas (base para o topo), incluindo o fundo falso e a tampa, conforme exibido na Figura 34. Em seguida, o material foi introduzido na peneira superior, dando início aos processos de peneiramento mecânico e manual, respectivamente.

Figura 34 – Série de peneiras posicionadas para determinação da composição granulométrica dos agregados.



Fonte: Autor (2024).

Posterior ao peneiramento mecânico e manual, procedeu-se à limpeza da tela, seguido da pesagem do material retido em cada peneira. É relevante ressaltar que, durante o processo de limpeza, o agregado localizado na região superior da peneira, deve ser considerado como retido, enquanto o material encontrado na região inferior à peneira

considera-se como passante. Além disso, para cada peneira ensaiada, foram registradas às quantidades retidas, incluindo o fundo.

Ao final de todos os registros, é necessário verificar se o somatório de todas as massas retidas nas peneiras difere em até 0,3% da massa total inicialmente introduzida, garantindo assim a conformidade com a norma aplicada ao procedimento realizado. A seguir, a Tabela 6 apresenta a composição granulométrica obtida conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR NM 248/2001.

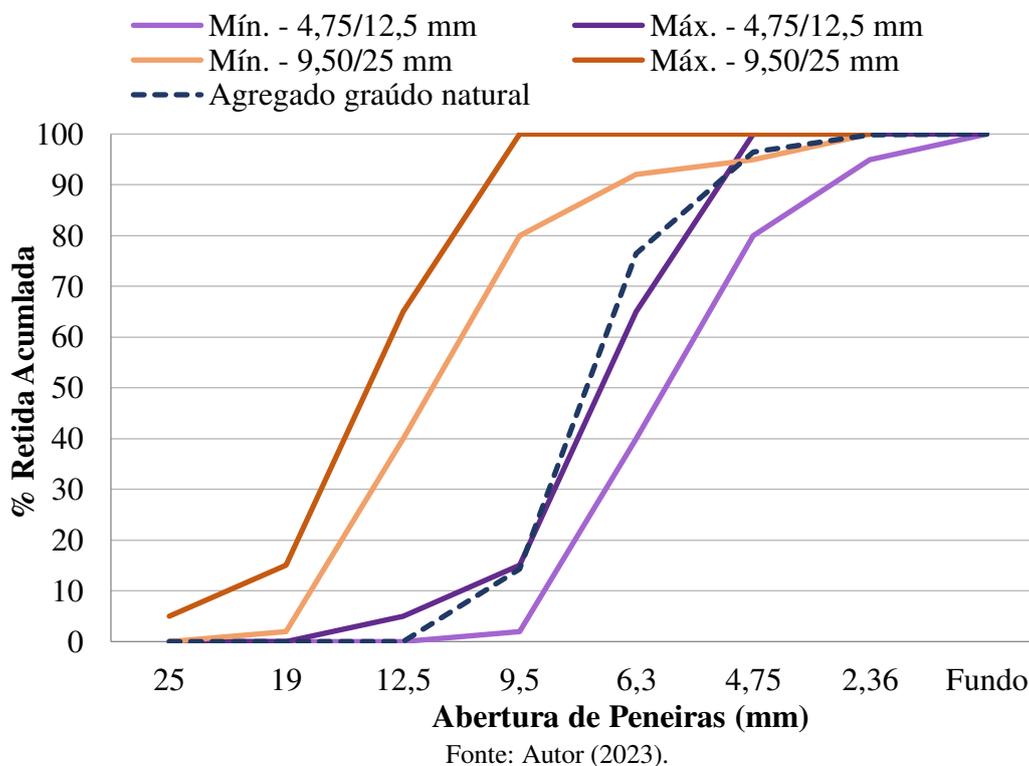
Tabela 6 – Composição granulométrica relativa ao agregado graúdo.

Abertura de peneiras (mm)	Porcentagem Retida %	Porcentagem Retida Acumulada %
12,5	0,1	0,1
9,5	14,2	14,3
6,3	62,3	76,5
4,75	19,8	96,4
2,36	3,6	99,9
Fundo	0,1	100,0
Dimensão Máxima Característica (mm)		12,5
Módulo de finura		2,1

Fonte: Autor (2023).

A seguir, a Figura 35 ilustra a curva granulométrica obtida em relação aos limites estabelecidos pela ABNT NBBR 7211/2022.

Figura 35 – Curva granulométrica do agregado miúdo e limites de distribuição estabelecidos pela ABNT NBR 7211/2022



5.1.1.3 Cimento

Para a realização do ensaio de determinação da massa específica do cimento, foi empregado o cimento do tipo CII-E-32 da Nassau tanto na produção dos corpos de prova quanto nos painéis translúcidos. O referido ensaio foi conduzido conforme os critérios e procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 16605/2017.

Na determinação da massa específica do cimento utilizado, iniciou-se o ensaio preenchendo o frasco volumétrico de Le Chatelier com o líquido não reagente, conforme especificado pela norma, até a marca compreendida entre zero e 1 cm³, como ilustrado na Figura 36. Em seguida, o frasco foi imerso em banho de água por 30 minutos, permitindo o estabelecimento do equilíbrio térmico entre o líquido contido no frasco e no banho. Após transcorrido o período mencionado, registraram-se as leituras do líquido não reagente, que resultou em valores de 0,2 cm³ e 0,3 cm³, para então proceder com a inserção do cimento no frasco.

Figura 36 – Frasco volumétrico de Le Chatelier com líquido presente



Fonte: Autor (2024).

Para o ensaio em questão, empregou-se uma massa de 60 g de cimento, conforme indicado pela norma. Assim, após a inserção do material, procedeu-se a agitação do recipiente a fim de eliminar quaisquer bolhas de ar presentes no sistema. Após esse processo, o frasco foi novamente imerso em banho de água por 30 minutos, visando atingir o equilíbrio térmico, para então registrar-se as leituras finais do sistema líquido-cimento, que apresentaram em 20,3 cm³ e 20,6 cm³. Vale destacar, que ao realizar o ensaio em duplicata, proveniente de uma mesma amostra, os resultados obtidos não devem ser superiores a 0,03 g/cm³. A Tabela 7 apresenta o resultado relativo ao ensaio de determinação da massa específica do cimento.

Tabela 7 –. Massa específica referente ao cimento.

Propriedade	Unidade	Resultado
Densidade do Agregado	(g/cm ³)	2,97

Fonte: Autor (2024).

5.1.1.4 Aditivo Superplastificante

Na confecção dos corpos de prova e nos painéis de concreto translúcido aditivo foi utilizado o aditivo superplastificante MC-PowerFlow 1180, produzido pela MC-

Bauchemie, com sua composição a base de polímeros. O aditivo em questão é classificado pela ABNT 11768/2019 como um aditivo redutor de água – Tipo 2 (RA2). Vale ressaltar, que a dosagem recomendada de aditivo estabelecida pelo fabricante deve estar compreendida entre 0,2% e 5,0% sobre o peso do cimento calculado. A seguir a Tabela 8 apresenta a porcentagem de superplastificante utilizada na confecção dos corpos de prova e painéis.

Tabela 8 – Percentual de aditivo superplastificante utilizado.

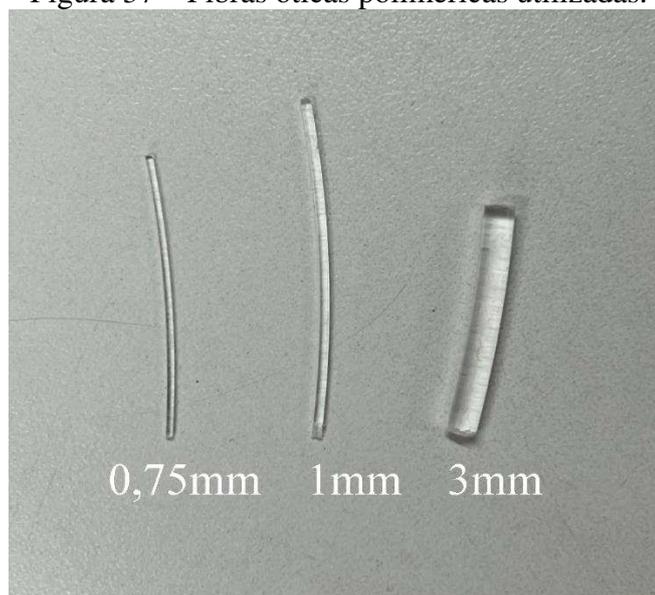
Tipo	Porcentagem Utilizada
Concreto Convencional	0,4%
Concreto com adição de Fibras de 0,75mm	1,1%
Concreto com adição de Fibras de 1,00mm	0,7%
Concreto com adição de Fibras de 3,00mm	0,3%
Painéis Translúcidos	0,5%

Fonte: Autor (2024).

5.1.1.5 Fibras óticas poliméricas

As fibras óticas poliméricas foram utilizadas tanto na produção dos corpos de prova cilíndricos quanto na fabricação dos painéis translúcidos, a um percentual de 4% em volume. As fibras em questão, foram adquiridas com recursos próprios, através da empresa Céu Estrelado e possuem três diâmetros da ordem de 0,75mm, 1mm e 3mm, conforme apresentado na Figura 37. Dessa forma, buscou-se avaliar e comparar a transmitância luminosa, bem como a resistência a compressão do concreto com adição de fibras óticas com diâmetros distintos e o concreto convencional.

Figura 37 – Fibras óticas poliméricas utilizadas.



Fonte: Autor (2024).

5.2 O concreto

A relevância dos ensaios de caracterização realizados decai na necessidade do conhecimento das particularidades inerentes a cada material constituinte do concreto, tendo em vista que, através destes dados coletados, busca-se obter, ao término do programa experimental, a sua eficiência, assim como a dosagem adequada, visando, dessa maneira, garantir os requisitos técnicos qualitativos estabelecidos.

No programa experimental, buscou-se a realização de ensaios tanto em concretos com adição, quanto em concretos sem adição de fibras óticas plásticas. A presente pesquisa analisou as propriedades do concreto com o uso de diferentes teores de fibras, buscando atingir o mesmo volume para ambas, tendo em vista as diferenças em relação às dimensões das fibras óticas empregadas.

Nesta etapa do programa experimental, foram realizados os ensaios de caracterização dos agregados graúdos, miúdos e do cimento Portland, através dos ensaios de granulometria e de massa específica. Prosseguiu-se então, para o cálculo do traço do concreto partindo destes dados compilados, determinando-se em seguida o teor de fibras óticas. Seguidamente, foram realizadas as moldagens dos corpos de prova e o posterior rompimento, que ocorreu em um período de vinte e oito dias.

Os ensaios foram realizados em apenas um grupo, no qual foi realizado no dia 20 de maio de 2024, sendo moldados ao total, treze corpos-de-prova, no qual, nove destes foram

confeccionados com adição de fibras óticas plásticas e os quatro restantes confeccionados sem adição de fibras óticas plásticas. Em seguida, submetem-se os corpos-de-prova ao ensaio de resistência à compressão aos 28 dias. É importante evidenciar que, para a realização do ensaio de resistência à compressão foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm.

Na realização do ensaio de resistência à compressão moldaram-se corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm. Adotou-se a cura submersa para os corpos-de-prova confeccionados, favorecendo assim o processo de hidratação do concreto dosado.

5.2.1 Dosagem adotada

A dosagem do concreto empregado nessa pesquisa foi fundamentada no traço elaborado por Moraes (1982), no qual se buscou atingir a resistência de 30MPa. Assim, para a correção do consumo de cimento em função das massas específicas dos demais materiais, utilizou-se a equação abaixo.

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_{cimento}} + \frac{a}{\gamma_{areia}} + \frac{b}{\gamma_{brita}} + a/c} \quad \text{Eq. 5}$$

Dessa forma, a partir do consumo de cimento, calculou-se a quantidade de materiais necessários para a dosagem do concreto prevista. A Tabela 9 apresenta o traço em massa empregado na concretagem.

Tabela 9 – Traço em massa utilizado na concretagem.

Composição	Traço em massa
Cimento CP II	1,00
Areia média	1,91
Brita 0	2,87
a/c	0,52
Consumo de cimento	371,1695

Fonte: Autor (2024).

Para a concretagem, preliminarmente pesou-se os materiais na condição seca ao ar na balança. Adiante, prosseguiu-se com a inserção dos materiais na betoneira limpa e arejada, no qual foram adicionadas inicialmente a quantidade total de brita 0 e parte da água empregada. Em seguida, adicionou-se areia e o cimento, enquanto gradualmente foi-se adicionando a quantidade restante de água. Seguidamente adicionou-se fibras óticas plásticas e, por fim, o aditivo superplastificante até atingir a homogeneização da mistura. Posteriormente, prosseguiu-se com o ensaio de abatimento do tronco de cone, moldagem e cura dos corpos-de-prova e sucessivamente o ensaio de compressão nos respectivos corpos de prova aos 28 dias.

5.2.2 Ensaio de abatimento de tronco de cone

O procedimento relativo ao ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 16886/2020. O ensaio iniciou-se posicionando a placa de base em uma superfície plana e rígida, no qual foi umedecida juntamente com o molde para prosseguir-se com a inserção do concreto. Assim, colocou-se os pés nas aletas do molde e inseriu-se três camadas de concreto, no qual cada camada recebeu vinte e cinco golpes uniformemente distribuídos e empregados através da haste de adensamento. Em seguida, efetuou-se cuidadosamente a retirada do molde de concreto na direção vertical e, então prosseguiu-se com a medição do abatimento do concreto, que foi obtido através da diferença de altura do molde e o eixo do corpo de prova. A Figura 38 ilustra o ensaio de abatimento de tronco de cone.

Figura 38 – Ensaio de Abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor (2024).

5.2.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

O procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5738/2016, no qual empregaram-se moldes cilíndricos (100 x 200 mm) para todos os exemplares confeccionados. Antes da inserção do concreto, aplicou-se uma fina camada de óleo nas superfícies internas dos moldes, permitindo uma desmoldagem segura e facilitada.

Após a correta mistura do concreto, procedeu-se à sua inserção nos moldes, seguida da realização do adensamento de forma manual, utilizando-se uma concha de pedreiro para a introdução do material. É importante evidenciar que, para o procedimento efetuado de forma manual são necessárias 2 camadas de concreto e a realização de 12 golpes em cada camada. Ao concluir o adensamento rasou-se a superfície utilizando-se a colher de pedreiro, garantindo assim o nivelamento do concreto.

Ao concluir o processo de moldagem, deu-se início ao processo de cura. Para corpos de prova cilíndricos, é necessária uma cura inicial ao ar por 24h, em local com superfície horizontal rígida e livre de interferência que possa comprometer o concreto. Em seguida, os corpos de prova foram transferidos para a câmara úmida, conforme ilustrado na Figura 39, para a cura até a data de rompimento dos corpos de prova.

Figura 39 – Corpos de prova submetidos à câmara úmida.



Fonte: Autor (2024).

5.2.4 Ensaio de resistência a compressão

O ensaio de compressão realizado nos corpos cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm, contou com uma prensa universal para o aferimento dos resultados relativos ao rompimento dos corpos de prova. A NBR 5739/2018 descreve que a velocidade de carregamento destes corpos de prova deve estar entre 0,15 a 0,45 MPa/s e deverá ser constante ao longo de todo o ensaio.

O ensaio contou inicialmente com a inserção dos corpos de prova na prensa eletrohidráulica com indicador digital da empresa Solotest, modelo 1.501.220, fornecida pelo laboratório de Concreto e Materiais de Construção da Universidade Estadual do Maranhão. Após, a inserção, é necessário posicionar os corpos de prova de forma centralizada na máquina, alinhando-se o eixo da prensa com o centro dos blocos cilíndricos, conforme ilustrado na Figura 40. Com o correto posicionamento dos pratos inferiores e superiores, dá-se início ao processo de ruptura dos corpos de prova.

Figura 40 – Corpo de prova posicionado adequadamente no eixo da prensa.



Fonte: Autor (2024).

É importante evidenciar que, após a realização do ensaio de resistência à compressão nos corpos de prova cilíndrico, os resultados experimentais foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e, em seguida realizou-se o teste de Tukey, visando identificar possíveis distinções entre os resultados obtidos para o concreto convencional e para o concreto com adição de fibra ótica.

5.3 Luminosidade

Nesta seção serão abordadas as delimitações do ensaio de transmitância luminosa, equipamentos utilizados, o método de captação luminosa e o processo de confecção dos painéis translúcidos. Serão detalhados aspectos inerentes ao período de realização dos ensaios, tipos de exposição luminosa, os horários de execução dos ensaios, as condições climáticas adotadas, as faces dos painéis analisadas, os equipamentos e os materiais empregados. Além disso, será apresentada a formulação utilizada para obtenção dos percentuais de transmitância luminosa, bem como o método de confecção da caixa e dos painéis para o ensaio de transmitância luminosa.

5.3.1 Ensaio de luminosidade

O ensaio de luminosidade tem como objetivo analisar a transmissão da luz através das fibras óticas incorporados ao concreto, com a finalidade de realizar uma avaliação quantitativa. Dessa maneira, a partir dessa avaliação quantitativa será possível determinar em quais períodos do dia, em um determinado mês do ano, a incidência de luz natural é mais eficiente, além de ilustrar graficamente a sua variação ao longo do dia.

O ensaio de luminosidade foi conduzido ao longo do mês de junho de 2024, ao longo de 28 dias, nos horários de 10h, 12h, 14h e 16h, no qual foi analisada a intensidade da luz em cada um destes horários supracitados. Além disso, para cada horário analisado, foram adaptadas as nomenclaturas correspondentes às condições climáticas determinadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme estão apresentadas na Tabela 10. Por fim, foram aferidas as transmitâncias luminosas em ambas as faces dos painéis, no qual classificam-se como: Face A (Face Regular) e Face B (Face irregular).

Tabela 10 – Nomenclatura adotada para as condições climáticas estabelecidas pelo INMET.

Presente Estudo	Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)
Ensolarado	Claro
Parcialmente Ensolarado	Poucas Nuvens
Nublado	Muitas Nuvens
	Muitas Nuvens com possibilidade de chuva isolada
Chuvoso	Muitas Nuvens com chuva isolada
	Muitas nuvens com pancadas de chuva e trovoadas isoladas

Fonte: Autor (2024).

Para realizar a medição da intensidade luminosa, empregou-se um luxímetro digital da marca Minipa, modelo MLM-1011. Assim, ao submeter o sensor do equipamento a uma determinada quantidade de luz, os resultados são apresentados no visor e são expressos diretamente em lux, que representa a quantidade de luz incidente distribuída de maneira uniforme por unidade de área, que, por sua vez é equivalente a 1 (um) lúmen por metro quadrado.

5.3.2 Determinação da transmitância luminosa nos painéis de concreto translúcido

Para a determinação da transmitância luminosa nos painéis de concreto translúcido optou-se pela utilização da metodologia empregada por Cadavid (2013) e Uribe (2010), no qual a medição baseia-se na utilização de luxímetros para obtenção de dados. Dessa maneira, o equipamento é composto, essencialmente, por um sensor fotométrico conectado a um mostrador, que apresentará os resultados referentes à intensidade luminosa captada no ambiente.

No tocante ao trabalho experimental, foram confeccionados painéis de concreto adotando-se fibras óticas com diâmetros distintos e expostos tanto à luz natural nos horários citados no item 5.3.1, quanto à luz artificial. Para este último caso, empregou-se como fonte luminosa uma lâmpada de LED da marca Elgin de 9W. A seguir, a Figura 41 ilustra o modelo do luxímetro utilizado para aferição da intensidade luminosa nos ensaios com exposição à luz natural e artificial.

Figura 41 – Equipamento Luxímetro MINIPA MLM-1011.



Fonte: Autor (2024).

A seguir na Tabela 11, tem-se a ficha técnica referente ao luxímetro MINIPA MLM-1011 empregado nos ensaios de determinação da transmitância luminosa.

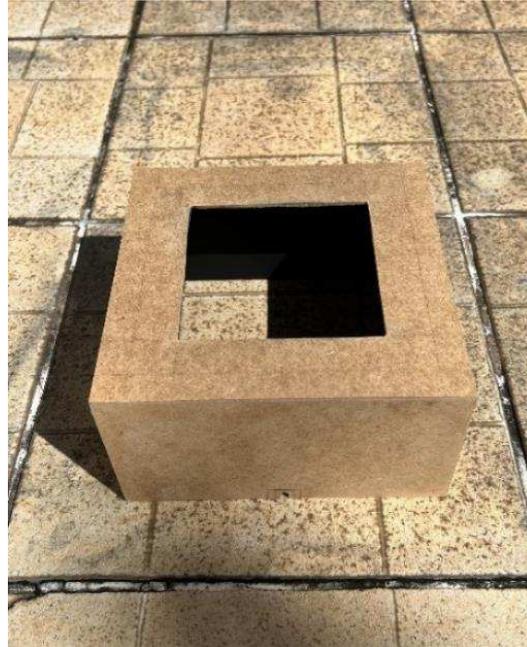
Tabela 11 – Características técnicas referente ao luxímetro.

Display	LCD 3 ½ dígitos com leitura máxima de 1999, indicação x10 e x100
Taxa de Medida	0.2 vezes por segundo (nominal)
Fotosensor	Fotodiodo de Silício
Faixa de Medida	2000/20000/100000lux
Precisão	± (4% da leitura)
Resolução	1Lux, 10Lux, 100Lux
Valor Corrigido	Correção do Valor pela Regra do Cosseno
Resposta Espectral	Fotópica CIE (Padrão internacional para a resposta a cor da média dos olhos humanos)
Ambiente de Operação	-10°C a 40°C (32°F a 104°F) com umidade relativa < 70%
Alimentação	Bateria de 9V
Dimensões do instrumento	Instrumento: 230(A) x 72(L) x 30(P)mm; Sensor: 106(A) x 57(L) x 26(P)mm; Comprimento do Cabo: Aprox. 1,5 m

Fonte: Adaptado de MINIPA (2021).

Além do emprego de uma fonte de luz e do luxímetro supracitado, é necessário desenvolver uma estrutura que permita a adequada aferição da intensidade luminosa. Para atender essa necessidade, adquiriu-se uma caixa de 200x200x100mm vedada em todas suas arestas e vértices, garantindo assim maior precisão nas leituras apresentadas pelo luxímetro. Ademais, todas as faces internas da caixa foram pintadas com tinta de cor preto fosco, visando minimizar a influência luminosa no interior da caixa. A Figura 41 apresenta a estrutura da caixa, empregada nos ensaios para determinação da transmitância luminosa.

Figura 42 – Caixa utilizada nos ensaios de transmitância luminosa



Fonte: Autor (2024).

Na Figura 42, observa-se que a caixa em questão possui uma abertura. Este recorte foi realizado para propiciar maior precisão no ensaio, permitindo a entrada de luz apenas pelo vão no qual o bloco será apoiado, evitando assim o excesso de iluminação. Dessa forma, foi possível registrar-se resultados mais precisos no tocante à intensidade luminosa transmitida entre os painéis confeccionados.

Para a captação da luz, foi necessário posicionar-se o fotossensor do luxímetro na região interna da caixa e registrar a intensidade luminosa captada. Em seguida, apoiou-se o painel translúcido sobre a caixa, permitindo o registro da quantidade de luz transmitida pelo bloco através do visor do equipamento. Vale destacar que para o ensaio experimental realizado com luz artificial, a fonte luminosa (Lâmpada Elgin 9W) foi posicionada a 20cm do painel translúcido e a 30cm do fotossensor. A Figura 43 apresenta o conjunto luxímetro, painel translúcido e caixa durante o ensaio.

Figura 43 – Luxímetro, painel translúcido e caixa durante o ensaio a) com exposição à luz natural b) com exposição à luz artificial.



Fonte: Autor (2024).

Para ambos os ensaios (exposição à luz natural e luz artificial) o cálculo para obtenção do percentual passante (transmitância luminosa percentual) é similar e pode ser obtido através da seguinte equação.

$$TL(\%) = \left[1 - \left(\frac{I_{Luminosa} - T_{Luminosa}}{I_{Luminosa}} \right) \right] \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde $I_{Luminosa}$ refere-se à intensidade luminosa da fonte (Lux) e $T_{Luminosa}$ refere-se à transmitância luminosa atingida pelo painel (Lux).

5.3.3 Confecção do painel em concreto translúcido

Para a confecção dos painéis fabricados em concreto translúcido, inicialmente, foi necessário estabelecer as dimensões relativas a estes painéis, que foram de 120x120x30mm. Com as dimensões definidas, deu-se prosseguimento aos cortes das fibras óticas poliméricas para o adequado ajuste à espessura especificada. Após o corte das fibras, utilizou-se guias de madeira para posiciona-las uniformemente, colando-as em seguida, na estrutura da guia, conforme ilustrado na Figura 44.

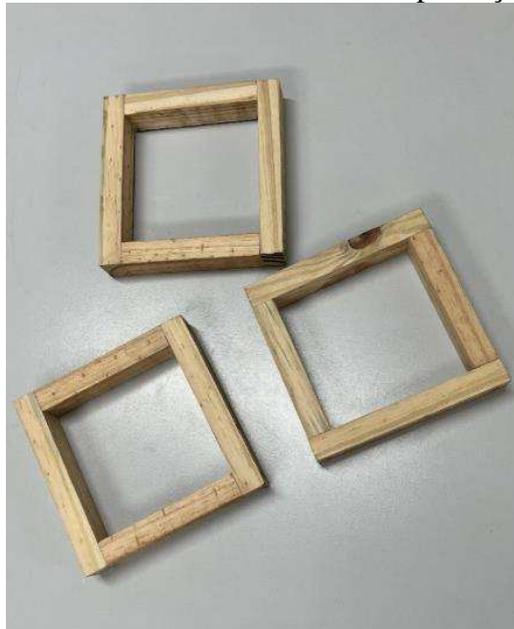
Figura 44 – Fibras óticas poliméricas coladas na guia de madeira.



Fonte: Autor (2024).

Ademais, foi necessária uma base para apoiar as guias perpendicularmente ao plano, utilizando-se uma peça de isopor como material para esta etapa. Simultaneamente, foram confeccionados moldes de madeira que delimitaram o comprimento, largura e espessura dos painéis. A Figura 45 apresenta os moldes de madeira confeccionados.

Figura 45 – Moldes de madeira utilizados na produção dos painéis.



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, os moldes de madeira foram colados na base de isopor, propiciando assim o conjunto ideal para a inserção das fibras óticas perpendicularmente à placa de isopor e

permitindo a posterior inserção do concreto. A Figura 46 apresenta o conjunto final referente aos painéis translúcidos previamente à concretagem.

Figura 46 – Estrutura dos painéis translúcidos antes da concretagem.



Fonte: Autor (2024).

Após a realização da concretagem, os painéis passaram pelo processo de cura e, em seguida, pela desmoldagem. A Figura 47 apresenta o conjunto de painéis previamente à desmoldagem.

Figura 47 – Estrutura dos painéis translúcidos antes da desmoldagem.



Fonte: Autor (2024).

A seguir tem-se a composição dos painéis após a desmoldagem dos mesmos, conforme ilustrado na Figura 48. Observa-se que há uma sobra de fibras óticas em ambas as faces perpendiculares à base de isopor. Assim, após a cura e o desmolde, estas sobras foram cortadas e polidas, visando melhorias no tocante à transmitância luminosa, bem como no acabamento estético.

Figura 48 – Estrutura dos painéis translúcidos após a concretagem.



Fonte: Autor (2024).

Por fim, a Figura 49 apresenta, da esquerda para a direita, os painéis translúcidos com fibras óticas de diâmetros equivalentes a 3mm, 0,75mm e 1mm, respectivamente, após passarem pelo processo de corte e polimento das fibras.

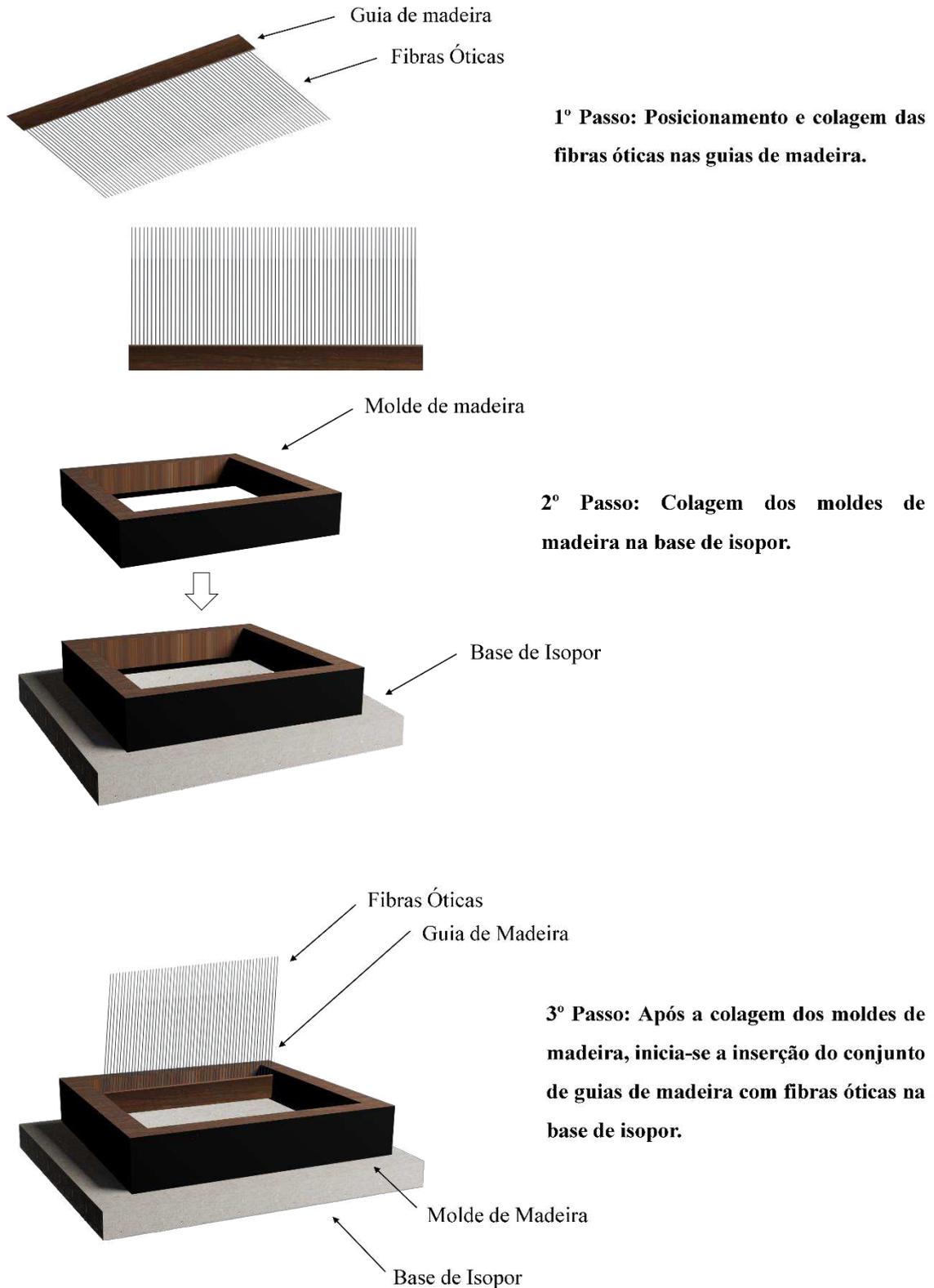
Figura 49 – Painéis translúcidos polidos e finalizados.

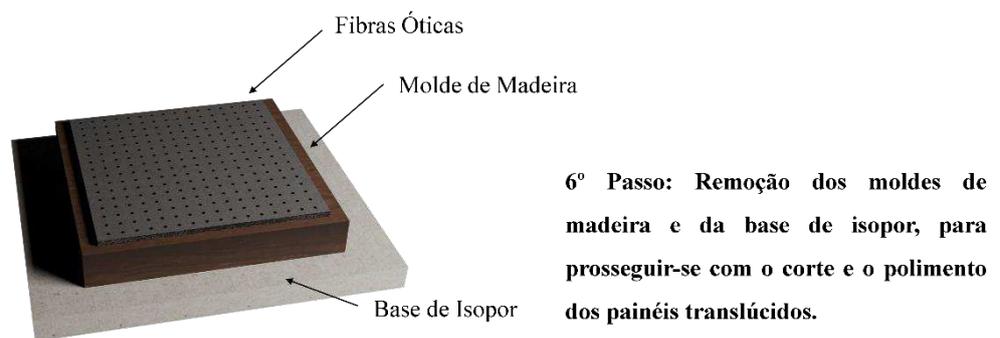
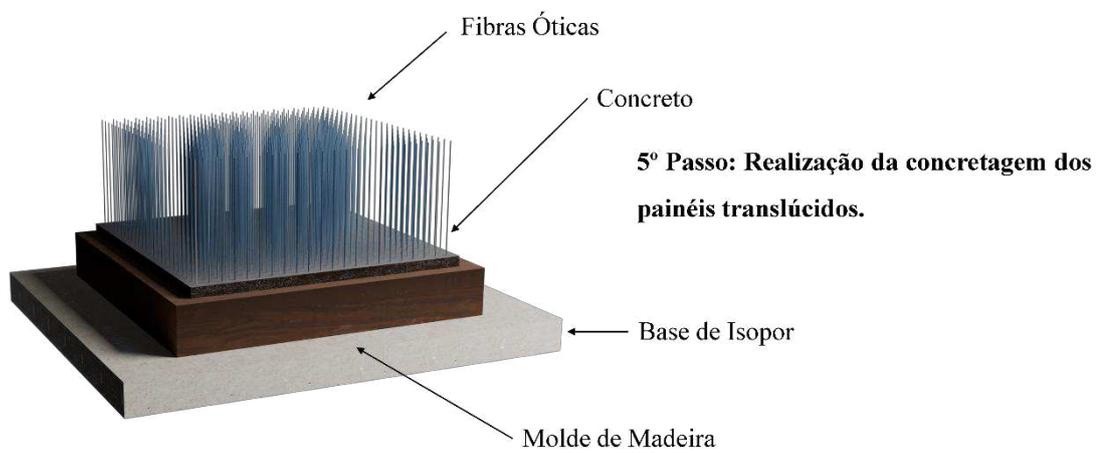
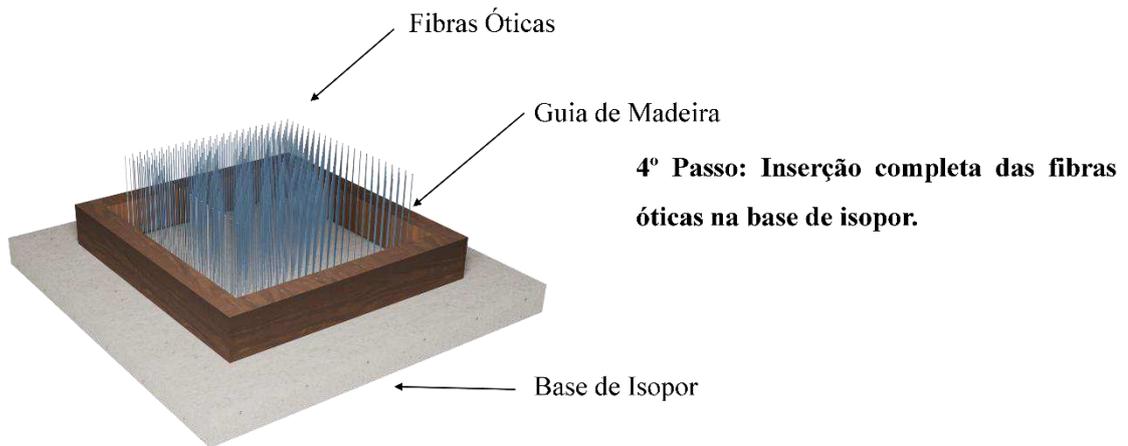


Fonte: Autor (2024).

A seguir tem-se na Figura 50 as etapas de fabricação dos painéis em concreto com utilização de fibras óticas poliméricas

Figura 50 – Etapas de produção dos painéis translúcidos.





Fonte: Autor (2024).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados referentes aos ensaios de abatimento do tronco de cone e resistência à compressão nos corpos de prova com a adição de fibras óticas poliméricas e no concreto convencional, permitindo assim a comparação e a análise dos resultados obtidos. Serão apresentados também os resultados referentes à transmitância luminosa obtida através dos painéis translúcidos, nos horários de 10h, 12h, 14h e 16h, e as condições climáticas registradas ao longo de 28 dias, permitindo assim a comparação entre os painéis confeccionados com fibras óticas poliméricas com diâmetros distintos a um percentual de 4% em volume.

6.1 Abatimento do tronco de cone

Inicialmente o ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado com o concreto sem aditivo superplastificante e apresentou um abatimento equivalente a 24 mm, conforme ilustrado na Figura 51. Este abatimento alcançado, mostra-se inviável para as aplicações desejadas, no qual, a NBR 8953/2015 classifica este abatimento inserido na faixa S10 com aplicações voltadas para o concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado.

Figura 51 – Abatimento relativo ao concreto convencional sem aditivo superplastificante.



Fonte: Autor (2024).

Dessa forma, na busca pela maior trabalhabilidade no concreto, adicionou-se o aditivo superplastificante para alcançar-se a faixa de abatimento desejada. Dessa forma, foi possível atingir um abatimento de 122 mm, conforme apresentado na Figura 52. Este valor atingido, de acordo com a NBR8953/2015, enquadra-se na classe S100, sendo adequado para aplicações em elementos estruturais através do lançamento bombeado do concreto, atendendo de forma satisfatória os objetivos previstos.

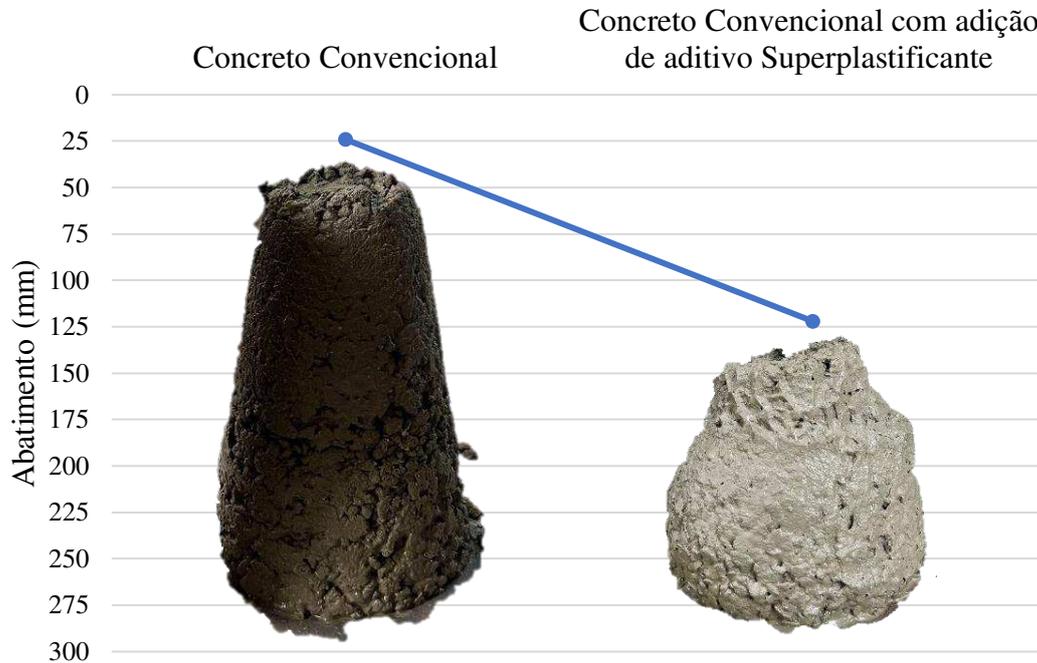
Figura 52 – Abatimento relativo ao concreto convencional com aditivo superplastificante.



Fonte: Autor (2024).

A seguir, a Figura 53 apresenta, de forma gráfica, um comparativo entre o abatimento obtido no concreto sem aditivo superplastificante e o concreto com aditivo superplastificante.

Figura 53 – Comparação gráfica relativa ao abatimento entre o concreto com e sem aditivo superplastificante.



Fonte: Autor (2024).

6.2 Resistência à compressão

Com o objetivo de avaliar e comparar os resultados relativos à resistência à compressão entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibras óticas, em corpos de prova cilíndricos com idade de 28 dias seguiu-se as recomendações descritas pela NBR 5739/2018. É importante evidenciar que, os corpos de prova com adição de FOP possuem distinções quanto ao diâmetro das fibras óticas aplicadas, conforme descrito no item 5.1.1.5.

Através da Figura 54 é possível visualizar as seções de ruptura dos corpos de prova cilíndricos confeccionados, no qual na primeira fileira, compreendido entre as letras (a) e (d), tem-se os blocos confeccionados através do concreto convencional, já na segunda fileira, entre as letras (e) e (h) tem-se o concreto com FOP de 3mm de diâmetro. Abaixo, na terceira linha, (i), (j) e (k), tem-se o concreto com FOP de 1mm e por último, na quarta fileira, (l) e (m), tem-se o concreto com FOP de 0,75mm.

Figura 54 – Corpos de prova cilíndricos após a ruptura (28 dias).



Fonte: Autor (2024).

Na figura, é possível perceber a presença de fibras na mistura, que para as fibras de 1mm e 0,75mm nota-se uma quantidade muito superior quando comparada à FOP de 3mm, podendo haver correlação deste número superior de fibras óticas com a redução não proporcional da resistência à compressão.

A seguir na Tabela 12, são apresentados os valores relativos à resistência a compressão expressos em (MPa).

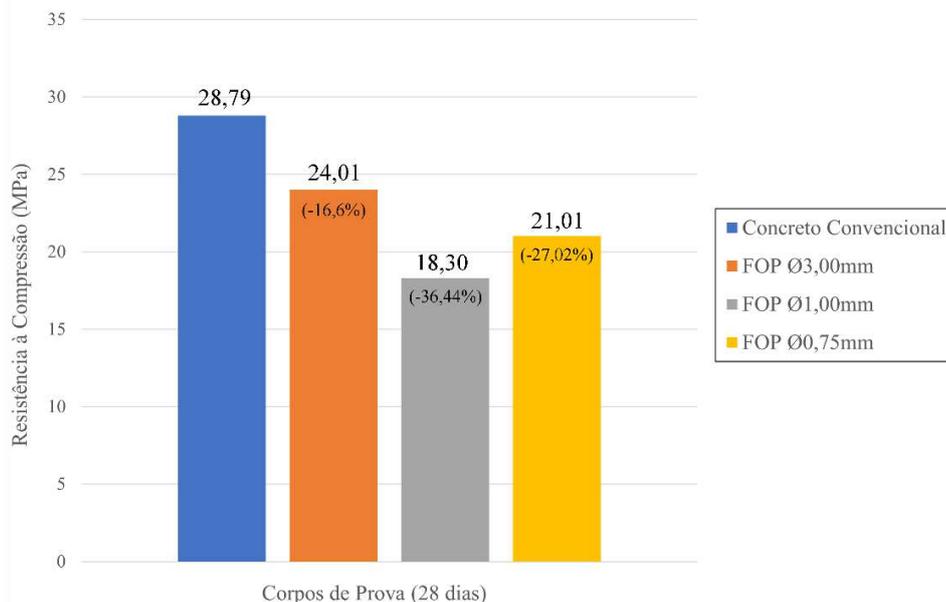
Tabela 12 – Resistência à compressão do concreto convencional e do concreto com adição de FOP em corpos de prova cilíndricos (28 dias).

Traço	CP	Resistência à compressão (MPa)	Média	Desvio Padrão	Limites		Critério de Chauvenet
					LI	LS	
Concreto Convencional	1	30,05	28,79	1,43	26,61	30,98	OK
	2	26,80					OK
	3	29,54					OK
	4	28,79					OK
Concreto com FOP de Ø0,75mm	1	22,35	21,01 (-27,02%)	1,89	18,83	23,18	OK
	2	19,67					OK
Concreto com FOP de Ø1,00mm	1	17,00	18,30 (-36,44%)	1,14	16,73	19,87	OK
	2	18,82					OK
	3	19,09					OK
Concreto com FOP de Ø3,00mm	1	24,89	24,01 (-16,60%)	0,96	22,54	25,48	OK
	2	24,04					OK
	3	22,66					OK
	4	24,45					OK

Fonte: Autor (2024).

A representação gráfica dos valores de resistência à compressão média tanto para os corpos de prova de concreto convencional, quanto para o concreto com FOP de diâmetros da ordem de 0,75mm, 1mm, 3mm estão expressos na Figura 55.

Figura 55 – Representação gráfica da variação de resistência à compressão nos corpos de prova de concreto convencional e com adição de FOP (28 dias).



Fonte: Autor (2024).

Os resultados apresentados na Figura 54 possibilitam aferir, que não houve queda proporcional conforme o diâmetro das FOP reduz. Assim, ao aplicar-se a ANOVA aos respectivos resultados, é possível verificar que a probabilidade do erro nos dados obtidos é inferior a 5%, mostrando que é improvável que estes valores de resistência a compressão sejam obtidos devido ao acaso. A seguir na Tabela 13 tem-se os resultados obtidos através da ANOVA.

Tabela 13 – Resultados da ANOVA.

Causa Variação	Grau Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	p
Tratamento	3	206,06	68,69	41,0020	0,0000
Resíduo	9	15,08	1,68		
Total	12	221,14			

Fonte: Autor (2024).

A realização do teste de Tukey apresentou variação significativa entre o concreto de referência e os concretos com adição de FOP para todos os diâmetros. Contudo, ao relacionar os concretos com adição de fibras entre si, verifica-se que para o concreto com FOP de diâmetros igual a 3mm e 0,75mm, bem como para a relação entre os concretos com FOP de 1mm e 0,75mm, o teste de Tukey não indica variação significativa, demonstrando resultados de resistência à compressão semelhantes. Entretanto, ao relacionar os concretos com adição de fibras de 3mm e 1mm pode-se inferir que há variação significativa nos resultados obtidos, conforme mostra a Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados do Teste de Tukey.

	Convencional	FOP 3,00mm	FOP 0,75mm	FOP 1,00mm
Convencional (a)	-	*	*	*
FOP 3,00mm (b)	-	-	NS	*
FOP 0,75mm (bd)	-	-	-	NS
FOP 1,00mm (d)	-	-	-	-

Fonte: Autor (2024).

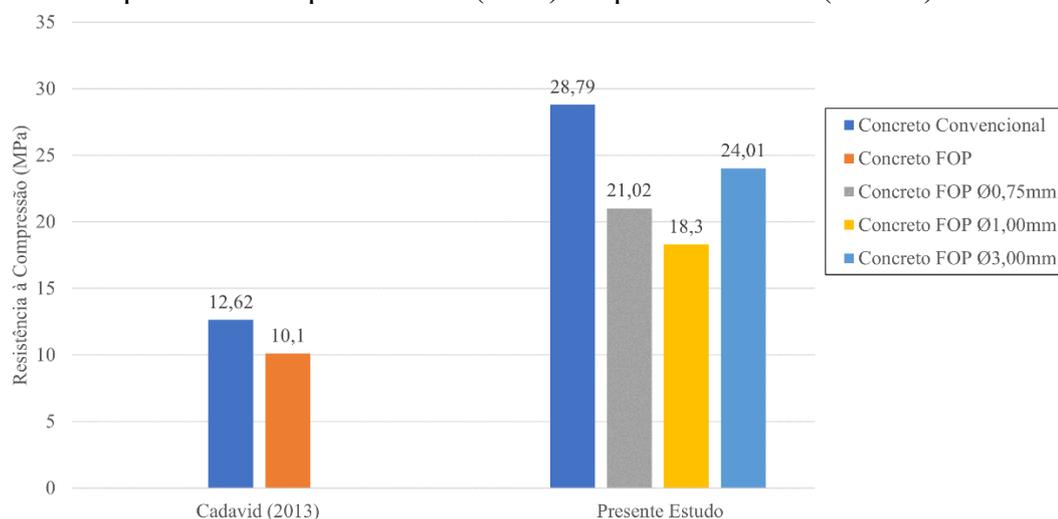
Dessa forma, constata-se que, todos os corpos de prova com adição de FOP apresentaram redução na resistência à compressão. Vale ressaltar que, a redução percentual na resistência à compressão para o concreto com fibras óticas de 3mm (-16,60%) apresenta maior proximidade com os resultados obtidos através do concreto convencional, podendo

admitir-se a hipótese que, a redução na quantidade de pedaços de FOP no concreto pode acarretar em resultados mais satisfatórios no tocante ao aumento de resistência à compressão.

No tocante aos resultados de resistência à compressão em relação a pesquisas que avaliaram o referido parâmetro, nota-se com as pesquisas de Sawant (2014), Cadavid (2013), Tuuum et al. (2019) e Henriques (2020) que os valores resistência à compressão do concreto com adição de FOP tendem a reduzir-se em relação aos concretos de referência.

Em relação ao trabalho realizado por Cadavid (2013) é possível verificar que as diferenças nos resultados encontrados podem estar relacionadas ao cimento empregado, no qual a referida autora emprega, inicialmente em seu trabalho o cimento Portland CP III (alto forno) e posteriormente o cimento Portland CP II Z32RS⁸. Para o primeiro citado, os resultados mostraram-se insatisfatórios, tendo em vista uma grande redução na resistência à compressão tanto do concreto de referência quanto para o concreto com adição de FOP. A seguir tem-se na Figura 56, uma representação gráfica dos valores médios obtidos com o cimento CP III pela referida autora em relação aos alcançados na presente pesquisa com o cimento CPII-E-32 aos 28 dias.

Figura 56 – Representação gráfica comparativa da resistência à compressão nos corpos de prova obtidos por Cadavid (2013) e o presente estudo (28 dias).

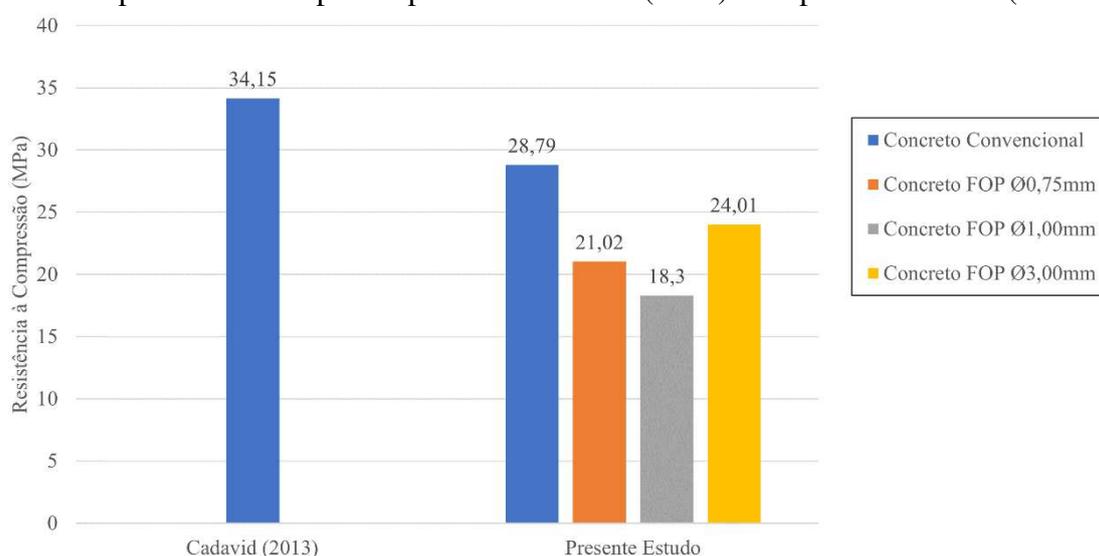


Fonte: Autor (2024).

De um modo geral, nota-se uma redução substancial tanto nos corpos de prova de concreto convencional, quanto para os concretos com adição de FOP, no qual para o concreto convencional tem-se uma diferença de 16,17MPa, enquanto para os concretos com FOP as diferenças variam entre 10,2MPa para as FOP de Ø0,75mm, 8,2MPa para as FOP de Ø1,00mm e 13,91 em relação às FOP de Ø3,00mm.

Em um segundo momento, a referida autora empregou o cimento Portland CP II Z32RS⁸ no qual demonstrou resultados mais satisfatórios, no tocante às resistências à compressão. Contudo, estes resultados foram obtidos somente através do concreto de referência, ou seja, não houve resultados provenientes de corpos de prova com adição de FOP. A seguir na Figura 57 estão apresentados de forma gráfica e comparativa os novos resultados de resistência à compressão obtidos por Cadavid (2013) em relação aos obtidos no presente estudo.

Figura 57 – Representação gráfica comparativa dos novos resultados de resistência à compressão nos corpos de prova de Cadavid (2013) e do presente estudo (28 dias).



Fonte: Autor (2024).

Portanto, pode-se inferir que utilização de um novo cimento proporcionou melhorias, no tocante a resistência à compressão nos corpos de prova confeccionados. Vale ressaltar, que para este novo grupo não houve ensaios para corpos de prova com adição de FOP aos 28 dias, havendo apenas resultados relativos ao concreto convencional.

6.3 Transmitância Luminosa

No que diz respeito a transmitância luminosa dos painéis translúcidos, os resultados foram obtidos tanto através de iluminação natural nos horários de 10h, 12h, 14h e 16h, quanto através de iluminação artificial, no qual a primeira classificação de iluminação citada foi efetuada ao longo de 28 dias no mês de junho de 2024, na cidade de São Luís-MA. É importante destacar que, os resultados dos ensaios com emprego do luxímetro foram

realizados em ambas as faces dos painéis translúcidos (Face A e Face B) em todos os horários supracitados.

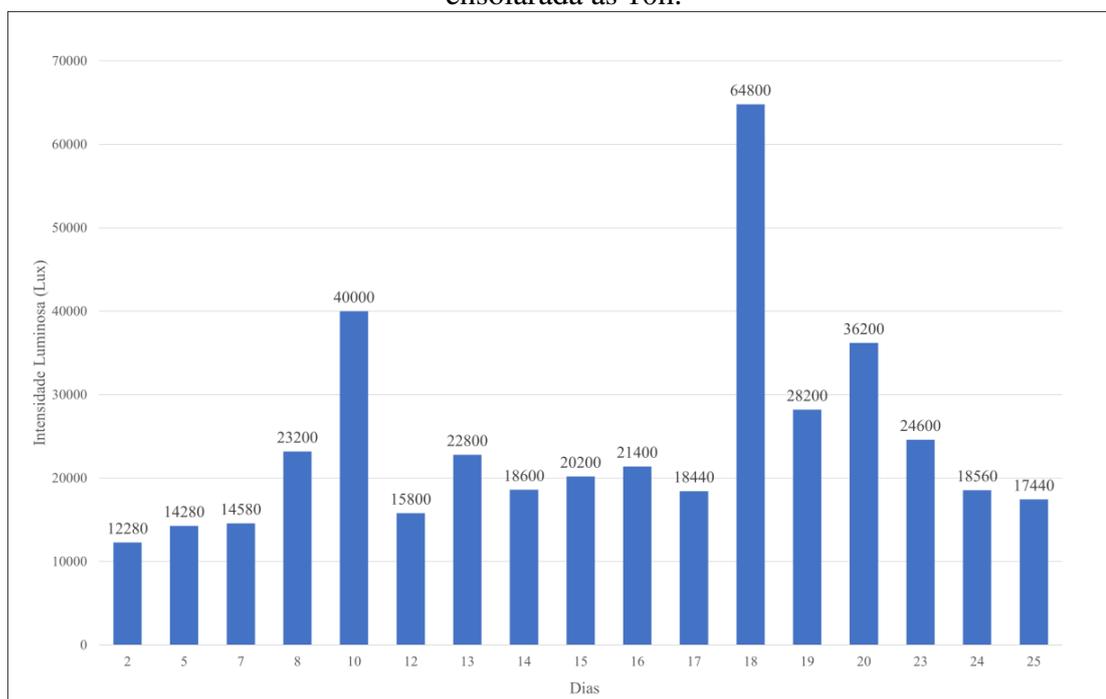
6.2.1 Iluminação Natural

Com o intuito de avaliar o painel com melhor desempenho quando exposto à luz natural em horários e condições climáticas distintas, análises referentes à média dos valores de transmitância luminosa foram realizadas, com o intuito de verificar o melhor desempenho dentre as três fibras empregadas (0,75mm, 1,00mm e 3,00mm). Outra análise de suma importância é a verificação do melhor horário para as condições climáticas estabelecidas. Os resultados por dia, horário e condição climática de intensidade luminosa (Lux), transmitância luminosa (Lux) e os percentuais de transmitância (%) estão apresentados em ordem no Apêndice A.

6.2.1.1 *Condição climática ensolarada*

Com o intuito de contribuir com o entendimento sobre as condições climáticas estabelecidas, tem-se que a classificação da condição climática ensolarada indica a ausência quase completa de nuvens, proporcionando assim uma maior incidência de radiação solar. Nesse contexto, tanto os valores de captação luminosa, quanto os valores de transmitância luminosa tendem a ser maiores que as demais classificações que serão abordadas. A seguir na Figura 58 tem-se a representação gráfica referente à intensidade luminosa na condição climática ensolarada, às 10h.

Figura 58 – Representação gráfica da intensidade luminosa captada na condição climática ensolarada às 10h.

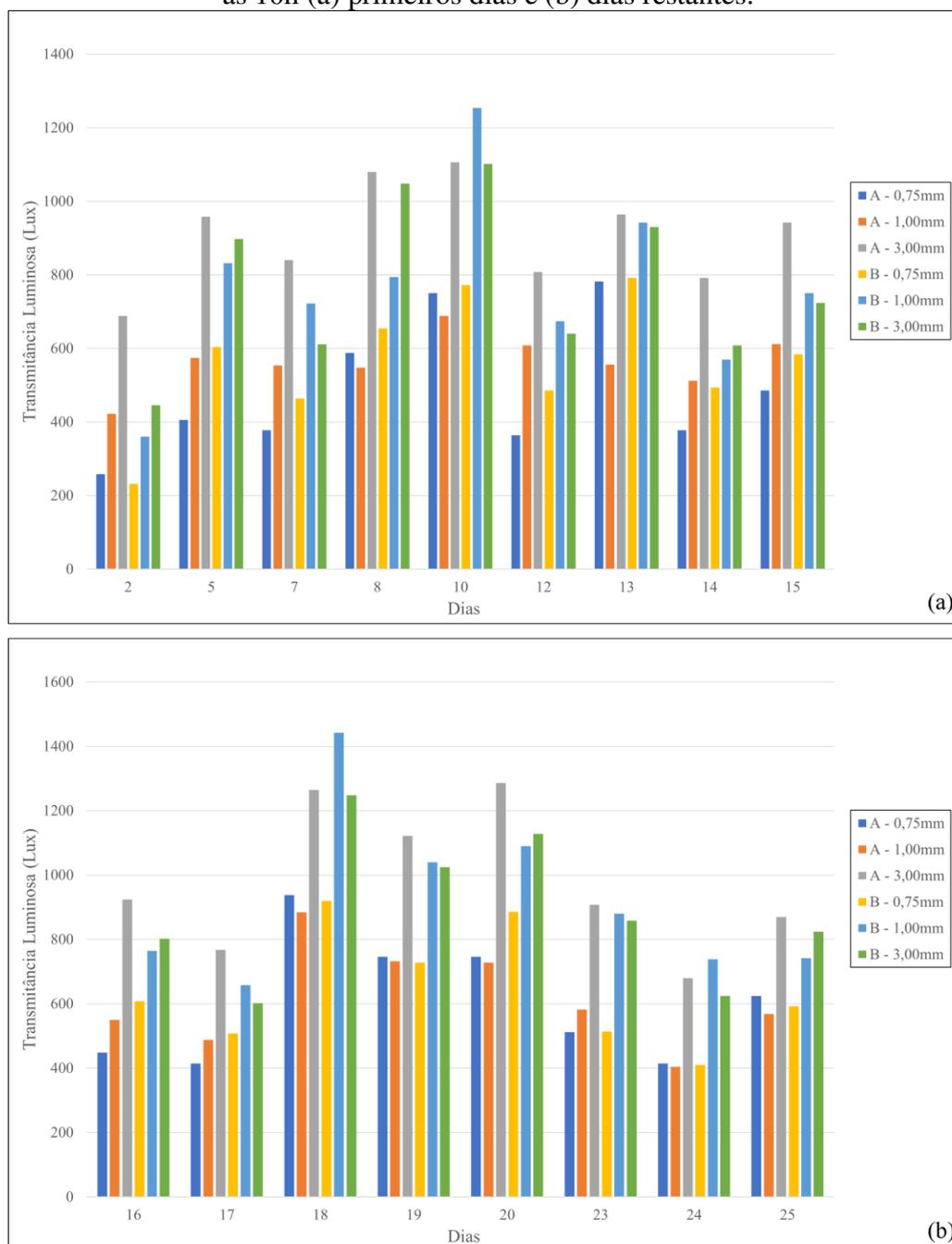


Fonte: Autor (2024).

A Figura 57 permite inferir que, em suma, as intensidades luminosas registradas às 10h na referida condição climática, estão compreendidas entre 12.280 (2) e 40.000 Lux (10), com exceção do dia (18), no qual ocorreu o maior registro de intensidade luminosa para o referido horário e condição climática, alcançando 64.800 Lux.

A seguir na Figura 59 tem-se a representação gráfica relativa à transmitância luminosa na condição climática ensolarada, às 10h, para todas as fibras de diâmetro 0,75mm, 1,00mm e 3,00mm, bem como para as Faces A e B em cada painel.

Figura 59 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática ensolarada às 10h (a) primeiros dias e (b) dias restantes.



Fonte: Autor (2024).

De acordo com os resultados obtidos na Figura 58a, constata-se que o resultado obtido no dia (2) referente à face B do painel confeccionado com FOP Ø0,75mm atinge o menor valor entre os demais dias (resultado inferior à 350 Lux). Em contrapartida, na Figura 58b infere-se que no dia (18) a face B do painel com FOP Ø1,00mm atingiu o maior valor (resultado superior à 1400 Lux) dentre todos os dias ensaiados.

Ademais, através da representação gráfica apresentada é possível calcular os valores médios para cada painel translucido ($\emptyset 0,75\text{mm}$, $\emptyset 1,00\text{mm}$ e $\emptyset 3,00\text{mm}$) e averiguar, portanto, o painel que apresentou melhor desempenho. A seguir na Tabela 15 tem-se a média dos resultados relativos à transmitância luminosa de cada FOP, tanto para a face A quanto para a face B e, abaixo tem-se as médias para cada painel (média das faces de cada FOP), para alcançar-se a média total por FOP.

Tabela 15 – Médias por face e geral para a condição climática ensolarada às 10h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	$\emptyset 0,75\text{mm}$	$\emptyset 1,00\text{mm}$	$\emptyset 3,00\text{mm}$	$\emptyset 0,75\text{mm}$	$\emptyset 1,00\text{mm}$	$\emptyset 3,00\text{mm}$
2	258	422	688	232	360	446
5	406	574	958	604	832	898
7	378	554	840	464	722	611
8	588	548	1080	654	794	1048
10	750	688	1106	772	1254	1102
12	364	608	808	486	674	640
13	782	556	964	792	942	930
14	378	512	792	494	570	608
15	486	612	942	584	750	724
16	448	550	924	608	764	802
17	414	488	768	508	658	602
18	938	884	1264	920	1442	1248
19	746	732	1122	728	1040	1024
20	746	728	1286	886	1090	1128
23	512	582	908	514	880	858
24	414	404	680	410	738	624
25	624	568	870	592	742	824
Média (Lux)	543,06	588,82	941,18	602,82	838,35	830,41
Desvio Padrão	190	118	181	177	258	227
Coef. Variação	35%	20%	19%	29%	31%	27%
FOP	$\emptyset 0,75\text{mm}$	$\emptyset 1,00\text{mm}$	$\emptyset 3,00\text{mm}$			
Média/FOP (Lux)	572,94	713,59	885,79			

Fonte: Autor (2024).

Os resultados da referida tabela, mostram que os valores de transmitância luminosa em cada face são mais elevados na face A da FOP $\emptyset 3,00\text{mm}$ (941,18 Lux), seguido da face B da FOP de $\emptyset 1,00\text{mm}$ (838,35 Lux), enquanto os painéis com FOP $\emptyset 0,75\text{mm}$

mostram resultados inferiores em ambas as faces (543,06 e 602,82 Lux). Já no tocante aos resultados totais para cada painel, nota-se que as FOP de Ø3,00mm possuem maior eficiência (885,79 Lux) em relação à transmitância luminosa, seguida das FOP de Ø1,00mm (713,59 Lux) e por último as FOP Ø0,75mm (572,94 Lux) com menor transmitância luminosa. A partir dos dados inferidos é possível visualizar uma diferença de 312,85 Lux entre as FOP de Ø3,00mm e as FOP Ø0,75mm (redução de 35,32% entre as FOP).

Com os resultados de intensidade e transmitância luminosa obtidos, torna-se possível o cálculo dos percentuais de luminosidade passante em cada face dos painéis, bem como os percentuais totais obtidos por painel. Na Tabela 16, estão apresentados graficamente os resultados percentuais para cada painel na condição ensolarada às 10h.

Tabela 16 – Percentual de luz passante para a condição climática ensolarada às 10h.

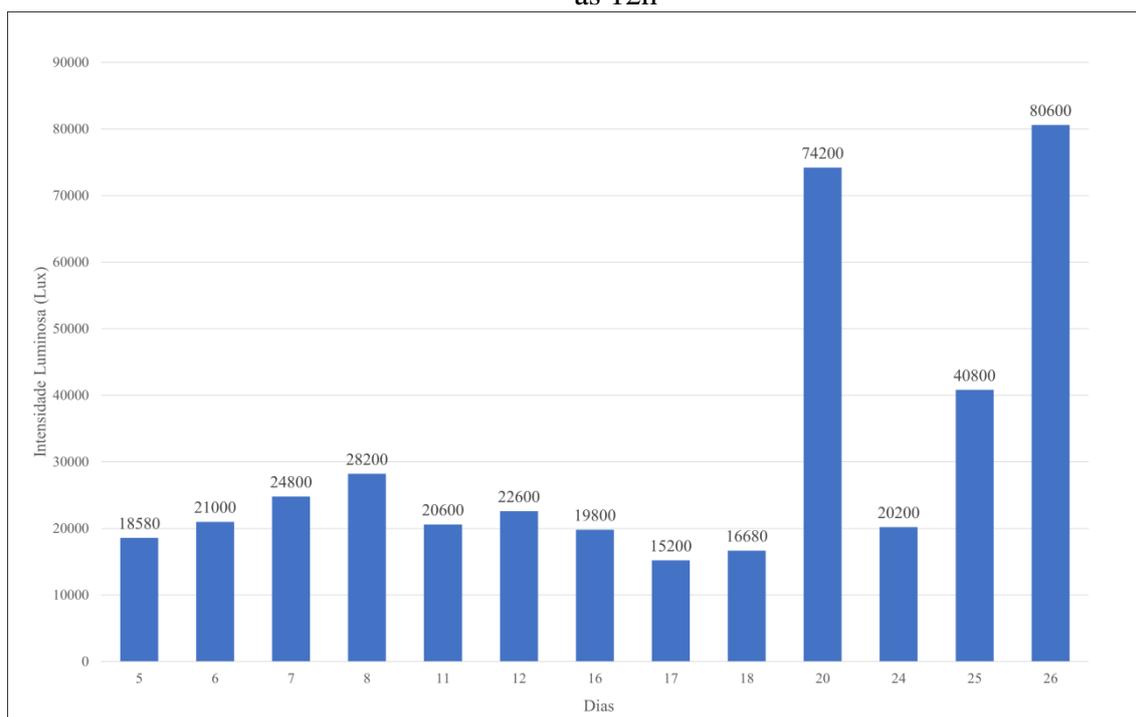
Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
2	2%	3%	6%	2%	3%	4%
5	3%	4%	7%	4%	6%	6%
7	3%	4%	6%	3%	5%	4%
8	3%	2%	5%	3%	3%	5%
10	2%	2%	3%	2%	3%	3%
12	2%	4%	5%	3%	4%	4%
13	3%	2%	4%	3%	4%	4%
14	2%	3%	4%	3%	3%	3%
15	2%	3%	5%	3%	4%	4%
16	2%	3%	4%	3%	4%	4%
17	2%	3%	4%	3%	4%	3%
18	1%	1%	2%	1%	2%	2%
19	3%	3%	4%	3%	4%	4%
20	2%	2%	4%	2%	3%	3%
23	2%	2%	4%	2%	4%	3%
24	2%	2%	4%	2%	4%	3%
25	4%	3%	5%	3%	4%	5%
Média (Lux)	2%	3%	4%	3%	4%	4%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	22%	0,28	26%	25%	22%	25%
FOP	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm			
Média/FOP (Lux)	3%	3%	4%			

Fonte: Autor (2024).

Os resultados relativos ao percentual de luz passante permitem inferir que o painel confeccionado com FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$ apresentou maior percentual de transmitância em ambas as faces (4%), juntamente com a face B do painel com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$ (4%). Contudo, os resultados obtidos para a condição ensolarada às 10h indicam, em suma, todos os percentuais de luz transmitidas são baixos. Esse dado sugere uma significativa perda de luz, possivelmente associada aos danos provenientes do concreto ao longo da fibra ou ao processo de acabamento das fibras (corte com serra diamantada), que podem ter deformado ou até mesmo descolado o revestimento do núcleo das FOP.

Para a condição ensolarada às 12h, tem-se na Figura 60, a representação gráfica referente à intensidade luminosa da referida condição climática e horário.

Figura 60 – Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática ensolarada às 12h

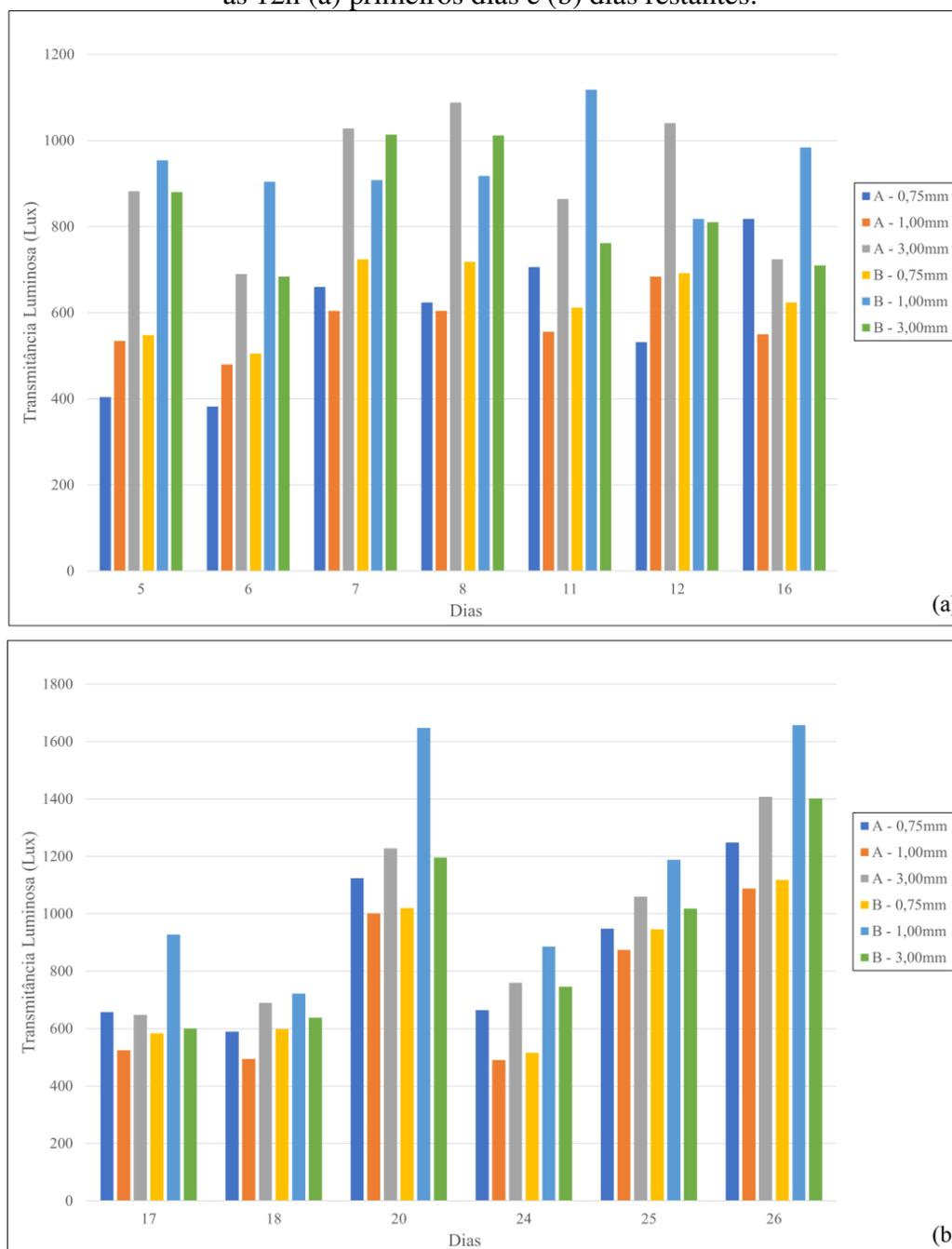


Fonte: Autor (2024).

A referida figura permite observar que nos dias (20), (25) e (26) foram registrados os maiores valores de intensidade luminosa, com resultados acima de 40.000 Lux, enquanto nos demais dias os registros indicam que a intensidade luminosa se manteve mais moderada, variando entre 15.200 Lux e 28.200 Lux.

Adiante, na Figura 61, está ilustrada a transmitância luminosa na condição ensolarada às 14h para todos os painéis e faces.

Figura 61 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática ensolarada às 12h (a) primeiros dias e (b) dias restantes.



Fonte: Autor (2024).

Através da referida figura é possível visualizar a prevalência de resultados entre as FOP Ø1,00mm e Ø3,00mm, no qual os valores de transmitância da face B para as FOP Ø1,00mm atingem os maiores resultados individuais (acima de 1600 Lux), seguido dos valores da face A nas FOP 3,00mm (acima de 1400 Lux). A seguir na Tabela 17 são apresentados os resultados médios de cada face e para cada painel.

Tabela 17 – Resultado das médias por face e geral e do desvio padrão para a condição climática ensolarada às 12h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
5	404	534	882	548	954	880
6	382	480	690	505	904	684
7	660	604	1028	724	908	1014
8	624	604	1088	718	918	1012
11	706	556	864	612	1118	762
12	532	684	1040	692	818	810
16	818	550	724	624	984	710
17	658	524	648	584	928	600
18	590	494	690	598	722	638
20	1124	1002	1228	1020	1648	1196
24	664	490	760	516	886	746
25	948	874	1060	946	1188	1018
26	1248	1088	1408	1118	1658	1402
Média (Lux)	719,85	652,62	931,54	708,08	1048,77	882,46
Desvio Padrão	257	204	233	198	292	236
Coef. Variação	36%	31%	25%	28%	28%	27%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	713,96		850,69		907,00	

Fonte: Autor (2024).

A análise da referida tabela mostra que, os resultados de transmitância luminosa mais eficientes são os presentes nas FOP com o maior e o diâmetro intermediário, no qual os resultados por face são maiores na face B das FOP de Ø1,00mm (1048,77 Lux). Contudo, na análise das médias totais dos painéis, nota-se uma maior eficiência nas FOP de Ø3,00mm (907,00 Lux), seguido das FOP de Ø1,00mm (850,69 Lux), por fim as FOP de Ø0,75mm (713,96 Lux). Dessa forma, percebe-se que, no segundo horário analisado (12h) o painel com FOP de maior diâmetro apresentou o resultado médio total de transmitância mais favorável.

Diante dos dados de intensidade e transmitância luminosa analisados, para a condição climática ensolarada às 12h torna-se possível efetuar o cálculo dos percentuais de luz transmitidos. A tabela 18 apresenta os dados percentuais para cada face e totais sob a condição e horário mencionado (ensolarado 12h).

Tabela 18 – Percentual de luz passante para a condição climática ensolarada às 12h.

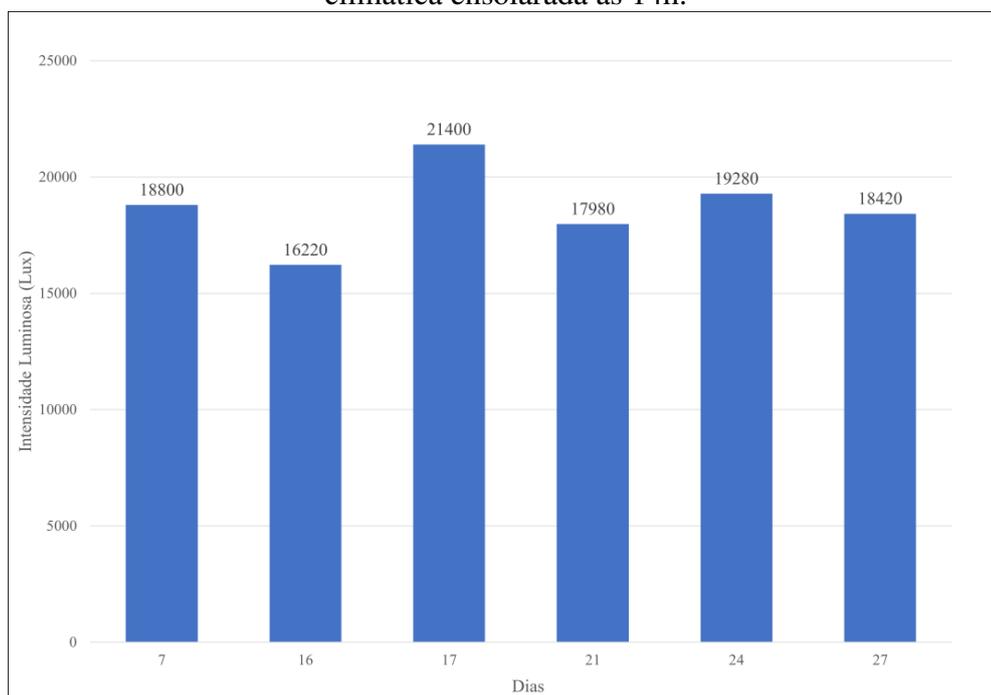
Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
5	2%	3%	5%	3%	5%	5%
6	2%	2%	3%	2%	4%	3%
7	3%	2%	4%	3%	4%	4%
8	2%	2%	4%	3%	3%	4%
11	3%	3%	4%	3%	5%	4%
12	2%	3%	5%	3%	4%	4%
16	4%	3%	4%	3%	5%	4%
17	4%	3%	4%	4%	6%	4%
18	4%	3%	4%	4%	4%	4%
20	2%	1%	2%	1%	2%	2%
24	3%	2%	4%	3%	4%	4%
25	2%	2%	3%	2%	3%	2%
26	2%	1%	2%	1%	2%	2%
Média (Lux)	3%	2%	4%	3%	4%	3%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	35%	25%	28%	27%	30%	27%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	3%		3%		3%	

Fonte: Autor (2024).

Os dados apresentados mostram para a referida condição climática e horário que as médias por face para todos os diâmetros avaliados estão abaixo de 5%, no qual as maiores médias por face pertencem às face A e B dos painéis de FOP de Ø3,00mm e FOP de Ø1,00mm, respectivamente. Nota-se ainda que, a menor média por face, pertence à face A da FOP de Ø1,00mm (2%). Por fim, cabe salientar, que os resultados totais por painel atingiram o mesmo valor percentual (3%), não ocorrendo prevalência entre os resultados totais.

Para o terceiro horário ensaiado (14h) tem-se a seguir na Figura 62, a representação gráfica dos resultados relativos à intensidade luminosa para o referido horário e condição climática.

Figura 62 – Representação gráfica das intensidades luminosas registradas na condição climática ensolarada às 14h.

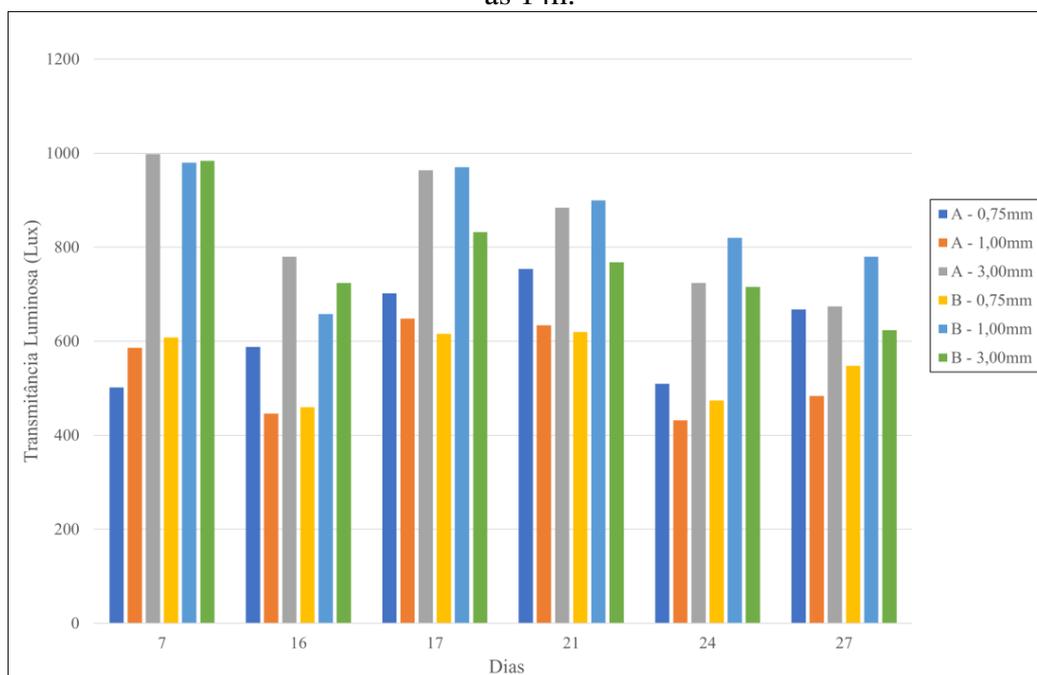


Fonte: Autor (2024).

Através da referida figura é possível visualizar que para a condição climática ensolarada às 14h os resultados não chegam aos 22.000 Lux de intensidade luminosa. Contudo, é possível notar que há menor variação nos valores encontrados, no qual o menor dado atinge 16.220 Lux e o maior 21.400 Lux.

A seguir, na Figura 63, está a representação gráfica dos resultados relativos à transmitância luminosa para o horário das 14h na condição ensolarada para todos os painéis, bem como para as faces A e B.

Figura 63 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática ensolarada às 14h.



Fonte: Autor (2024).

Na condição climática ensolarada às 14h, nota-se que ao longo dos 28 dias de ensaios experimentais, apenas 6 destes apresentaram a referida condição climática. Entretanto, para esta amostragem registrada é perceptível a prevalência de resultados mais expressivos nos painéis constituídos com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$ e FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$. Adiante, na Tabela 19 estão expressos os valores médios de transmitância em cada face e para cada painel.

Tabela 19 – Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática ensolarada às 14h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
7	502	586	998	608	980	984
16	588	446	780	460	658	724
17	702	648	964	616	970	832
21	754	634	884	620	900	768
24	510	432	724	474	820	716
27	668	484	674	548	780	624
Média (Lux)	620,67	538,33	837,33	554,33	851,33	774,67
Desvio Padrão	104	96	132	73	124	123
Coef. Variação	17%	18%	16%	13%	15%	16%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	587,50		694,83		806,00	

Fonte: Autor (2024).

Para o referido horário nota-se resultados inferiores para a face A das FOP Ø1,00mm (538,33 Lux), em contrapartida a face B da mesma FOP mantem-se com os resultados mais expressivos (851,33 Lux) seguido da face A das FOP de Ø3,00mm (837,33 Lux).

No tocante aos resultados relativos aos painéis, considerando a média/FOP, observa-se maior eficiência nos painéis com FOP de Ø3,00mm (806,00 Lux), seguido pelos painéis fabricados com FOP de Ø1,00mm (694,83 Lux). Nesse contexto, nota-se uma diferença de 111,17 Lux (-13,79%) entre as médias dos referidos painéis. Isso permite inferir que a perda de transmitância ocorre ao expor a face A do painel confeccionado com FOP Ø1,00mm à luz natural, demonstrando que a luz refletida ao longo da FOP não proporciona iluminação adequada nos limites das FOP na face B (face voltada para o luxímetro).

Com base nos dados de intensidade e transmitância luminosa analisados, sob a condição climática ensolarado às 14h, é possível calcular os percentuais de luz transmitidos. A seguir a Tabela 20 apresenta os percentuais para cada face e os totais para a condição climática e horário especificados (ensolarada 14h).

Tabela 20 – Percentual de luz passante para a condição climática ensolarada 14h.

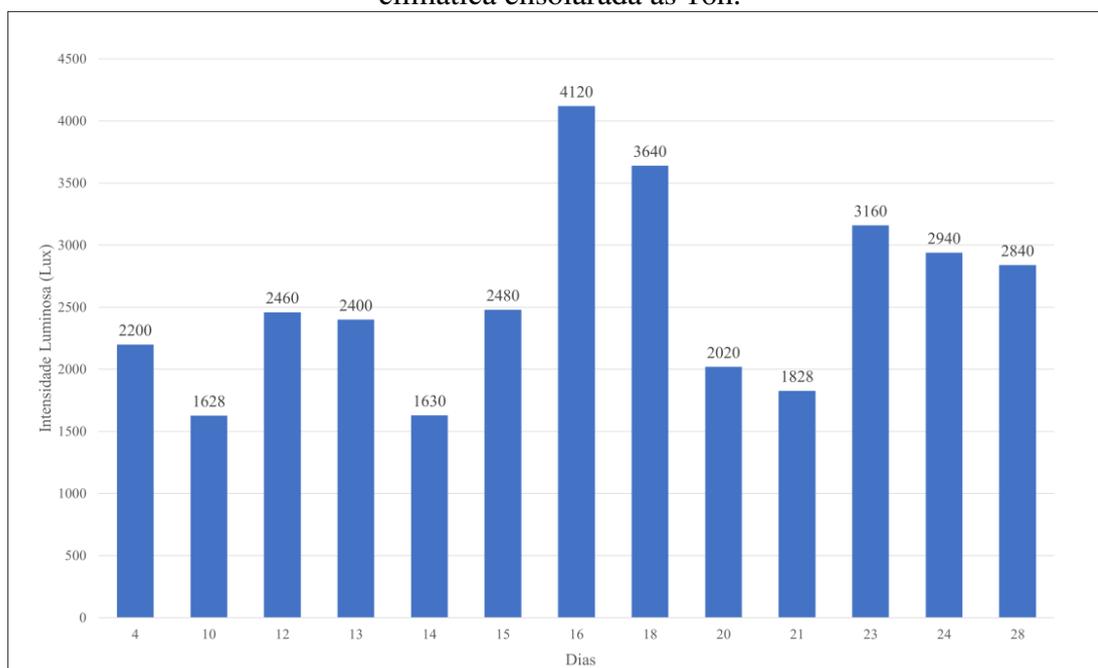
Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
7	3%	3%	5%	3%	5%	5%
16	4%	3%	5%	3%	4%	4%
17	3%	3%	5%	3%	5%	4%
21	4%	4%	5%	3%	5%	4%
24	3%	2%	4%	2%	4%	4%
27	4%	3%	4%	3%	4%	3%
Média (Lux)	3%	3%	4%	3%	5%	4%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	18%	15%	15%	12%	10%	16%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	3%		4%		4%	

Fonte: Autor (2024).

As informações contidas na referida tabela permitem inferir que, para a referida condição climática e horário mencionados, os resultados percentuais de transmissão luminosa permanecem baixos, no qual o maior percentual refere-se à face B da FOP de Ø1,00mm (5%) e seguido de ambas as faces (A e B) da FOP de Ø3,00mm (4%). Ademais, para os resultados gerais nota-se valores iguais para as FOP de Ø3,00mm e Ø1,00mm no qual ambas atingem 4%, enquanto o menor resultado pertence à FOP de Ø0,75mm (3%).

No que diz respeito ao último horário de registro (16h), a Figura 64 apresenta os resultados de intensidade luminosa obtidos ao longo dos 13 dias que apresentaram a condição climática ensolarada no referido horário.

Figura 64 – Representação gráfica das intensidades luminosas registradas na condição climática ensolarada às 16h.

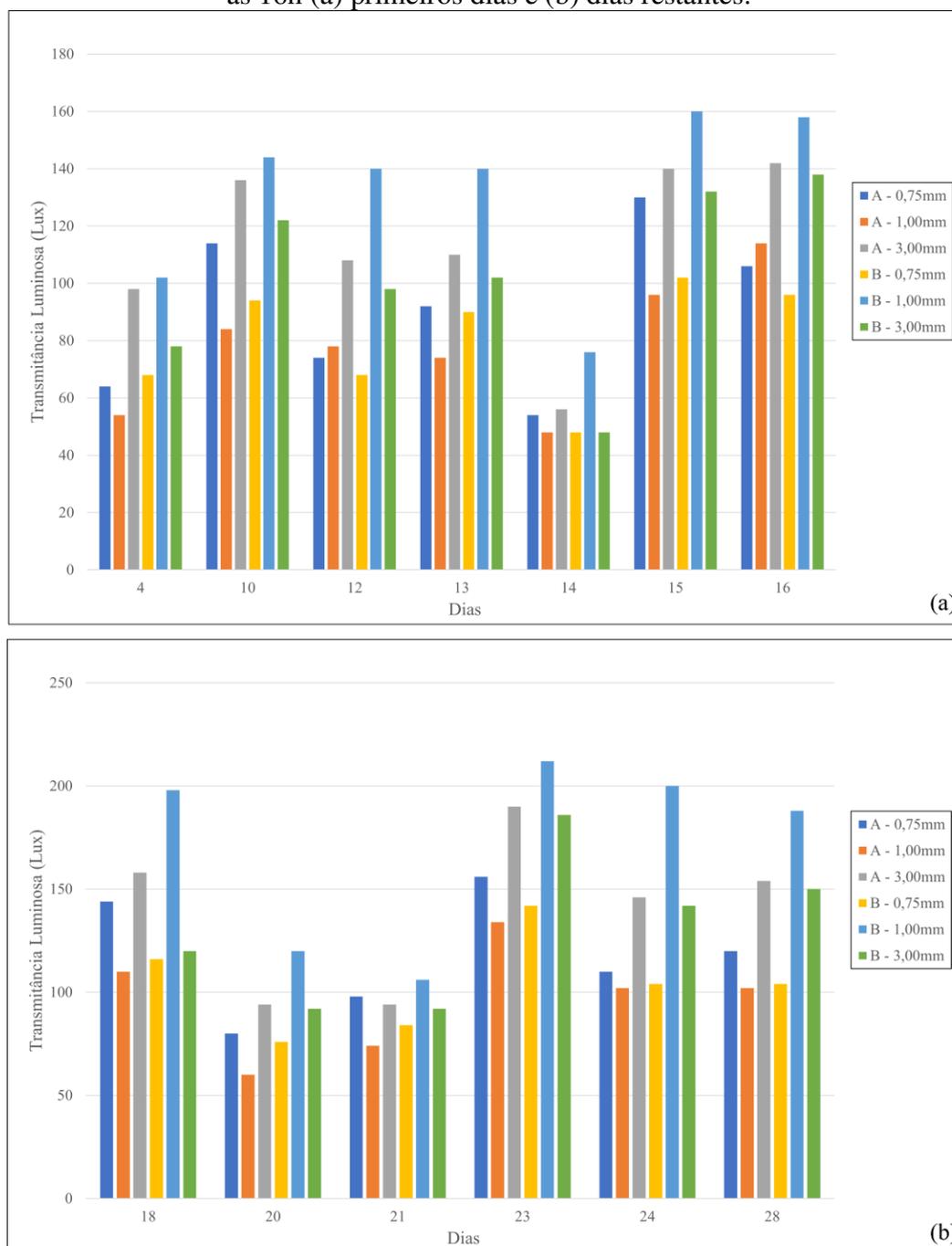


Fonte: Autor (2024).

Através da Figura 64 é possível visualizar que a amplitude de intensidade luminosa se compreende entre 1628 e 4120 Lux, no qual os dias (16) e (18) apresentam os maiores valores registrados e os dias (10) e (14) compreendem os dias com menor intensidade. Cabe ainda evidenciar que, em relação aos demais horários ensaiados (10h, 12h e 14h) os resultados para a referida condição climática e horário mantem-se expressivamente abaixo dos demais, com diferenças que podem ultrapassar os 78.000 Lux.

Adiante, na Figura 65, estão ilustrados os resultados relativos à transmitância luminosa dos painéis na condição climática ensolarada às 16h.

Figura 65 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática ensolarada às 16h (a) primeiros dias e (b) dias restantes.



Fonte: Autor (2024).

Observa-se que, ao longo dos 13 dias em que a condição ensolarada foi registrada às 16h, apenas no dia (14) os resultados ficaram, em sua totalidade, abaixo dos 100 Lux, enquanto que apenas no dia (23) os resultados ultrapassam os 200 Lux de transmitância luminosa. É válido salientar também que, de um modo geral, os resultados obtidos às 16h são substancialmente inferiores quando comparados aos demais horários ensaiados (10h, 12h e 14h), demonstrando menor eficiência dos painéis no referido horário, mesmo sob a condição

climática de maior intensidade luminosa. Por fim, os dados relativos às médias por face e por painel estão expressos na Tabela 21.

Tabela 21 – Resultado das médias por face e geral, e do desvio padrão para a condição climática ensolarada às 16h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
4	64	54	98	68	102	78
10	114	84	136	94	144	122
12	74	78	108	68	140	98
13	92	74	110	90	140	102
14	54	48	56	48	76	48
15	130	96	140	102	160	132
16	106	114	142	96	158	138
18	144	110	158	116	198	120
20	80	60	94	76	120	92
21	98	74	94	84	106	92
23	156	134	190	142	212	186
24	110	102	146	104	200	142
28	120	102	154	104	188	150
Média (Lux)	103,23	86,92	125,08	91,69	149,54	115,38
Desvio Padrão	30	25	36	24	42	36
Coef. Variação	29%	29%	28%	26%	28%	31%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	97,46		118,23		120,23	

Fonte: Autor (2024).

Na Tabela 21 é possível visualizar que o comportamento da face A das FOP de Ø1,00mm (86,92 Lux) permanece inferior quando comparado com a face B das FOP de Ø1,00mm (149,54 Lux), no qual os resultados são superiores em 62,62 Lux (-41,87%), demonstrando assim que, o referente painel é menos eficiente, quando comparado com o painel fabricado com FOP de Ø3,00mm, no qual o painel com maior diâmetro (Ø3,00mm) apresentou 149,54 Lux e o painel com diâmetro intermediário (Ø1,00mm) apresentou 120,23 Lux, já por último tem-se o painel com FOP de Ø0,75mm (97,46 Lux), que apresentou resultados por painel inferiores às demais FOP, superando apenas a face A nos resultados por face. Portanto, conclui-se que de acordo com a discussão apresentada referente ao horário das

16h na respectiva condição climática, o painel com maior diâmetro ($\text{Ø}3,00\text{mm}$) apresentou maior eficiência no tocante à transmitância luminosa.

Os resultados apresentados tanto de intensidade, quanto de transmitância luminosa permitem chegar aos valores referentes ao percentual de luz passante. A Tabela 22 apresentam os resultados percentuais para todas as faces, bem como as médias por face e totais sob a condição climática ensolarada às 16h.

Tabela 22 – Percentual de luz passante para a condição climática ensolarada 16h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	$\text{Ø}0,75\text{mm}$	$\text{Ø}1,00\text{mm}$	$\text{Ø}3,00\text{mm}$	$\text{Ø}0,75\text{mm}$	$\text{Ø}1,00\text{mm}$	$\text{Ø}3,00\text{mm}$
4	3%	2%	4%	3%	5%	4%
10	7%	5%	8%	6%	9%	7%
12	3%	3%	4%	3%	6%	4%
13	4%	3%	5%	4%	6%	4%
14	3%	3%	3%	3%	5%	3%
15	5%	4%	6%	4%	6%	5%
16	3%	3%	3%	2%	4%	3%
18	4%	3%	4%	3%	5%	3%
20	4%	3%	5%	4%	6%	5%
21	5%	4%	5%	5%	6%	5%
23	5%	4%	6%	4%	7%	6%
24	4%	3%	5%	4%	7%	5%
28	4%	4%	5%	4%	7%	5%
Média (Lux)	4%	3%	5%	4%	6%	5%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	29%	21%	25%	25%	21%	27%
FOP	$\text{Ø}0,75\text{mm}$	$\text{Ø}1,00\text{mm}$	$\text{Ø}3,00\text{mm}$			
Média/FOP (Lux)	4%	5%	5%			

Fonte: Autor (2024).

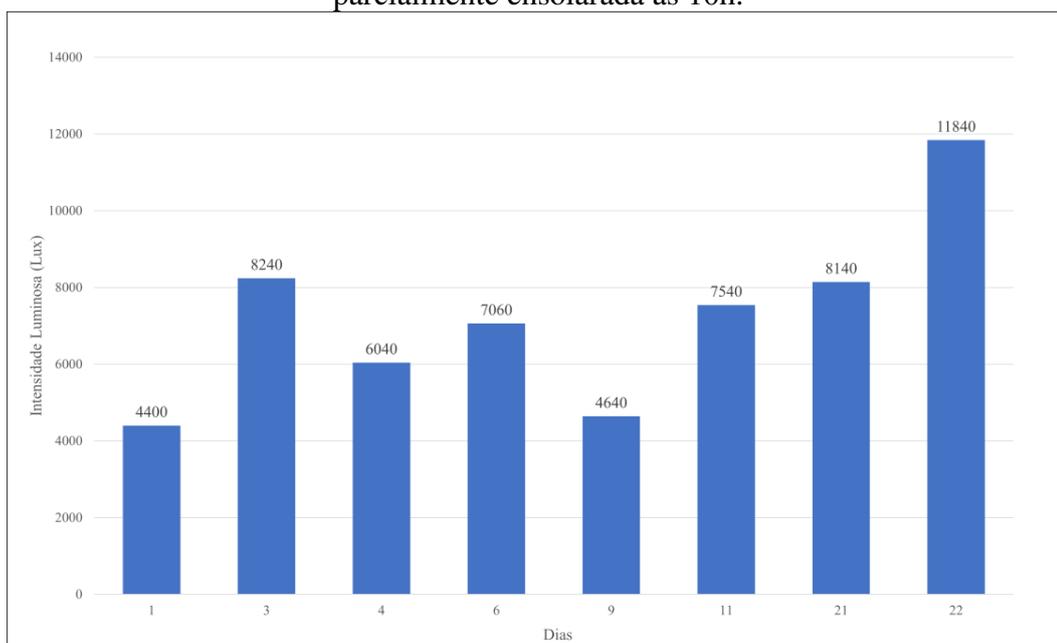
No que diz respeito aos percentuais apresentados na Tabela 22, observa-se que, nos resultados por face, o painel fabricado com FOP de $\text{Ø}1,00\text{mm}$ alcança o maior percentual, com 6% de transmissão a partir da face B. Em contrapartida, o referido painel apresenta o menor percentual de transmissão em sua face A (3%). Já no que concerne os resultados totais, nota-se que os valores são iguais para as FOP de $\text{Ø}3,00\text{mm}$ e $\text{Ø}1,00\text{mm}$, no qual ambas

alcançaram 5% de transmissão, indicando eficiência semelhante em termos de percentual de luz passante.

6.2.1.2 Condição climática parcialmente ensolarada

A Respeito da condição climática parcialmente ensolarada, nota-se uma maior incidência de nuvens, a qual impacta diretamente na propagação da radiação solar, resultando assim em valores de intensidade luminosa e transmitância luminosa inferiores, quando comparados com os dados obtidos na condição climática ensolarada. Portanto, tem-se a seguir na Figura 66 uma ilustração gráfica acerca dos dados de intensidade luminosa coletados às 10h na condição parcialmente ensolarada.

Figura 66 – Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática parcialmente ensolarada às 10h.

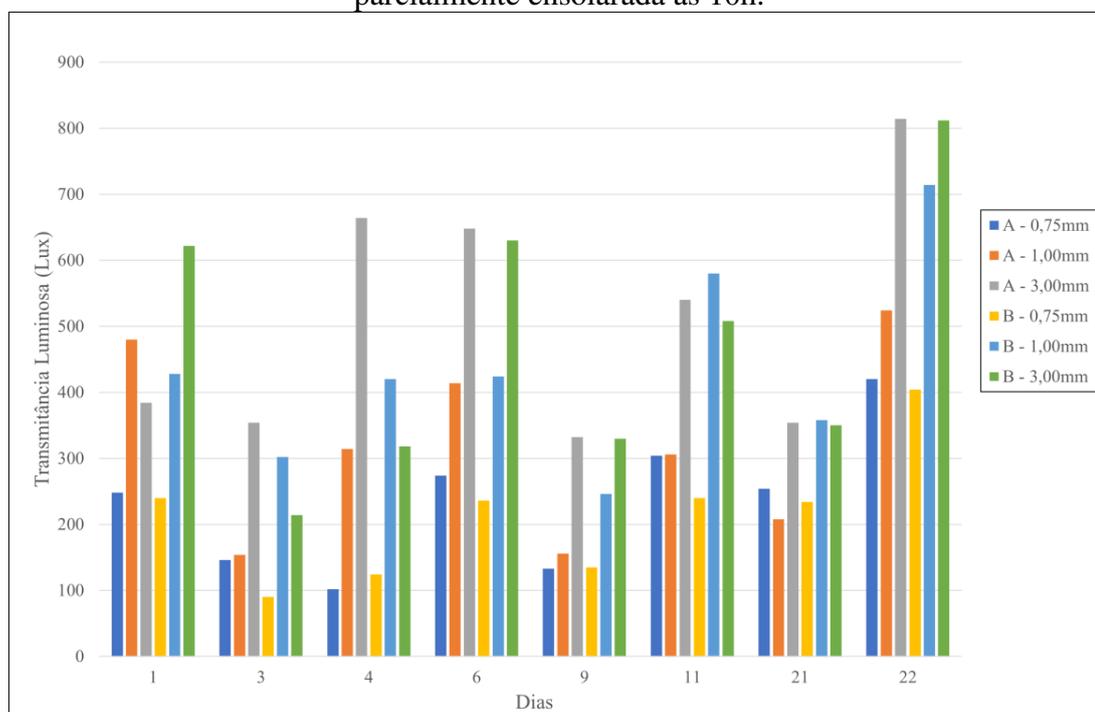


Fonte: Autor (2024).

Para a referida condição climática e horário (10h), nota-se uma redução substancial na intensidade luminosa, com diferenças que chegam a 60.400 Lux quando comparada à mesma condição climática e horário de ensaio, em diferentes dias de ensaio. Ressalta-se ainda que, para a condição parcialmente ensolarada às 10h, os valores de intensidade luminosa variam entre 4.400 e 11.840 Lux ao longo dos 8 registrados, apresentando uma amplitude máxima de 7.440 Lux entre os dias (1) e (22).

Tem-se a seguir na Figura 67 uma ilustração acerca da transmitância luminosa na condição parcialmente ensolarada às 10h para todas as FOP ($\varnothing 3,00\text{mm}$, $\varnothing 1,00\text{mm}$ e $\varnothing 0,75\text{mm}$), bem como para ambas as faces (A e B).

Figura 67 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 10h.



Fonte: Autor (2024).

Os resultados apresentados permitem inferir que, ao longo dos 8 dias registrados sob a respectiva condição climática e horário, apenas em 1 dia o painel com FOP de $\varnothing 0,75\text{mm}$ conseguiu alcançar resultados de transmitância superior a uma das faces do painel com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$. Já quando comparado ao painel com FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$, o painel com FOP de $\varnothing 0,75\text{mm}$ não apresentou valores de transmitância superiores. A seguir, tem-se na Tabela 23 os resultados das médias obtidas em cada face, além das médias gerais atingidas por cada painel.

Tabela 23 – Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática parcialmente ensolarada às 10h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
1	248	480	384	240	428	622
3	146	154	354	90	302	214
4	102	314	664	124	420	318
6	274	414	648	236	424	630
9	133	156	332	135	246	330
11	304	306	540	240	580	508
21	254	208	354	234	358	350
22	420	524	814	404	714	812
Média (Lux)	235,13	319,50	511,25	212,88	434,00	473,00
Desvio Padrão	105	143	182	99	151	203
Coef. Variação	45%	45%	36%	46%	35%	43%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	224,00		376,75		492,13	

Fonte: Autor (2024).

As informações contidas na referente tabela permitem afirmar que, sob a condição climática parcialmente ensolarada, as médias de transmitância por face das FOP de Ø0,75mm foram inferiores às demais, com 235,13 Lux para a face A e 212,88 Lux para a face B. Ademais, os resultados indicam que tanto os valores por face quanto os valores por painel relativo à FOP de Ø3,00mm foi significativamente superior em comparação às demais FOP (Ø0,75mm e Ø1,00mm), alcançando 492,13 Lux de transmitância e apresentou uma diferença média geral por painel de 127,25 Lux em relação à FOP com diâmetro intermediário (Ø1,00mm) e de 280,00 Lux quando comparado com o painel com FOP de Ø0,75mm.

Diante dos resultados apresentados torna-se possível determinar os percentuais de luz transmitidos para os referidos dias, tanto para ambas as faces (A e B) dos painéis, quanto para as médias por face e totais. Esses dados estão detalhados na Tabela 24.

Tabela 24 – Percentual de luz passante para a condição climática parcialmente ensolarada 10h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
1	6%	11%	9%	5%	10%	14%
3	2%	2%	4%	1%	4%	3%
4	2%	5%	11%	2%	7%	5%
6	4%	6%	9%	3%	6%	9%
9	3%	3%	7%	3%	5%	7%
11	4%	4%	7%	3%	8%	7%
21	3%	3%	4%	3%	4%	4%
22	4%	4%	7%	3%	6%	7%
Média (Lux)	3%	5%	7%	3%	6%	7%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	39%	59%	31%	41%	31%	50%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	3%		6%		7%	

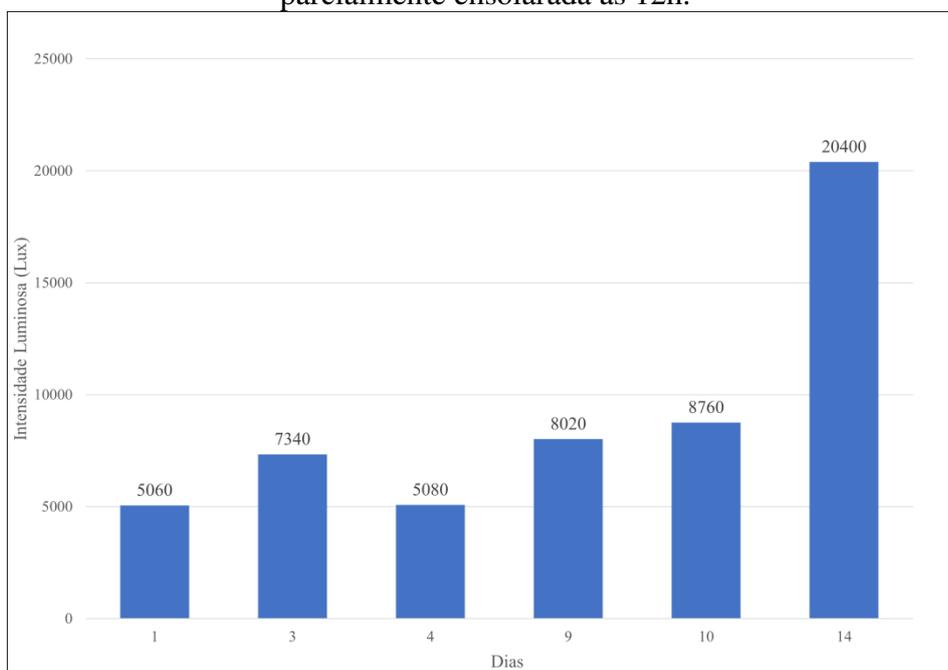
Fonte: Autor (2024).

A análise dos respectivos percentuais mostra que, a condição parcialmente ensolarada apresentou percentuais mais expressivos para os painéis com FOP de Ø3,00mm e Ø1,00mm, alcançando para a primeira citada o percentual de 7% em ambas as faces e para a segunda o percentual de 5% para a face A e 6% para a face B. É importante evidenciar ainda que, as FOP de Ø0,75mm não apresentaram resultados expressivos, com exceção para o dia (1) no qual o menor valor dentre as faces da referida FOP atingiu 5%.

Especula-se que o motivo destas variações mais incidentes tenha origem da condição climática ensaiada (parcialmente ensolarada), uma vez que, a presença de nuvens de forma variada ao longo do ensaio pode ter causado flutuações significativas nos resultados de incidência e transmitância luminosa.

Quanto ao horário de 12h na condição climática parcialmente ensolarada, observa-se a seguir na Figura 68 os resultados de intensidade luminosa obtidos ao longo dos 28 dias.

Figura 68 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 12h.

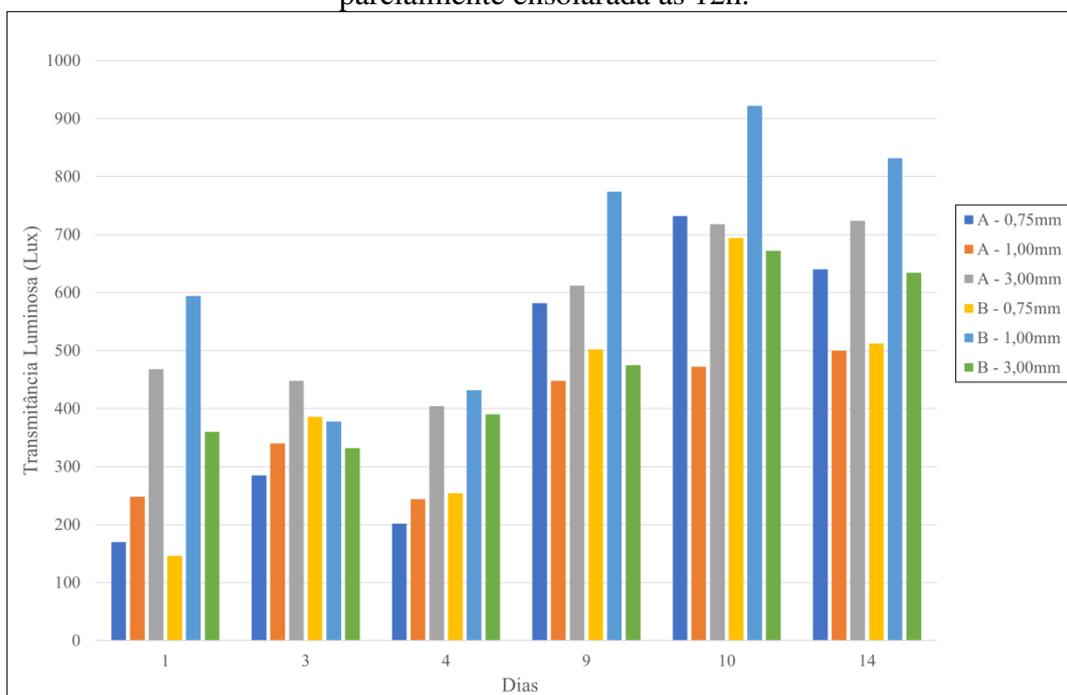


Fonte: Autor (2024).

Os resultados apresentados mostram que, de um modo geral, os resultados compreendem-se entre a faixa de 5.000 a 8.700 Lux, com exceção para o dia (14) no qual presenciou-se maior incidência solar, alcançando, portanto, 20.400 Lux. Este resultado aproxima-se dos valores de intensidade observados nos ensaios realizados na condição ensolarado, demonstrando que a incidência desordenada de nuvens pode demonstrar resultados que contemplem as faixas alcançadas por uma outra condição climática estabelecida.

No que diz respeito à transmitância luminosa relativa ao segundo horário registrado (12h), tem-se a seguir na Figura 69 a ilustração gráfica para a condição climática parcialmente ensolarada.

Figura 69 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 12h.



Fonte: Autor (2024).

Para o referido horário (12h) registraram-se 7 dias na condição parcialmente ensolarada, ao qual para todos os dias não houve resultados de transmitância superiores à 1000 Lux, entretanto a face B da FOP de Ø1,00mm alcançou o valor máximo de transmitância registrado (acima de 900 Lux). Na Tabela 25, serão apresentados os dados coletados em cada dia, as médias alcançadas em cada face, o desvio padrão e a média geral por painel translúcido.

Tabela 25 – Resultado das médias por face e geral, e do desvio padrão para a condição climática parcialmente ensolarada às 12h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
1	170	248	468	146	594	360
3	285	340	448	386	378	332
4	202	244	404	254	432	390
9	582	448	612	502	774	475
10	732	472	718	694	922	672
14	640	500	724	512	832	634
Média (Lux)	435,17	375,33	562,33	415,67	655,33	477,17
Desvio Padrão	244	114	141	197	222	145
Coef. Variação	56%	30%	25%	47%	34%	30%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	425,42		515,33		519,75	

Fonte: Autor (2024).

Comparando os resultados obtidos, nota-se uma grande proximidade entre as médias totais obtidas através das FOP de Ø1,00mm e Ø3,00mm, ocorrendo para este dado uma diferença de apenas 4,42 Lux. Entretanto, apesar da reduzida diferença, o painel com FOP de Ø3,00mm mantém-se com os resultados mais eficientes (519,75 Lux), seguido do painel com FOP de Ø1,00mm (515,33 Lux) e por último as FOP de Ø0,75mm (425,424 Lux).

A partir dos dados apresentados procede-se com os valores percentuais de transmissão luminosa, que estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Percentual de luz passante para a condição climática parcialmente ensolarada 12h.

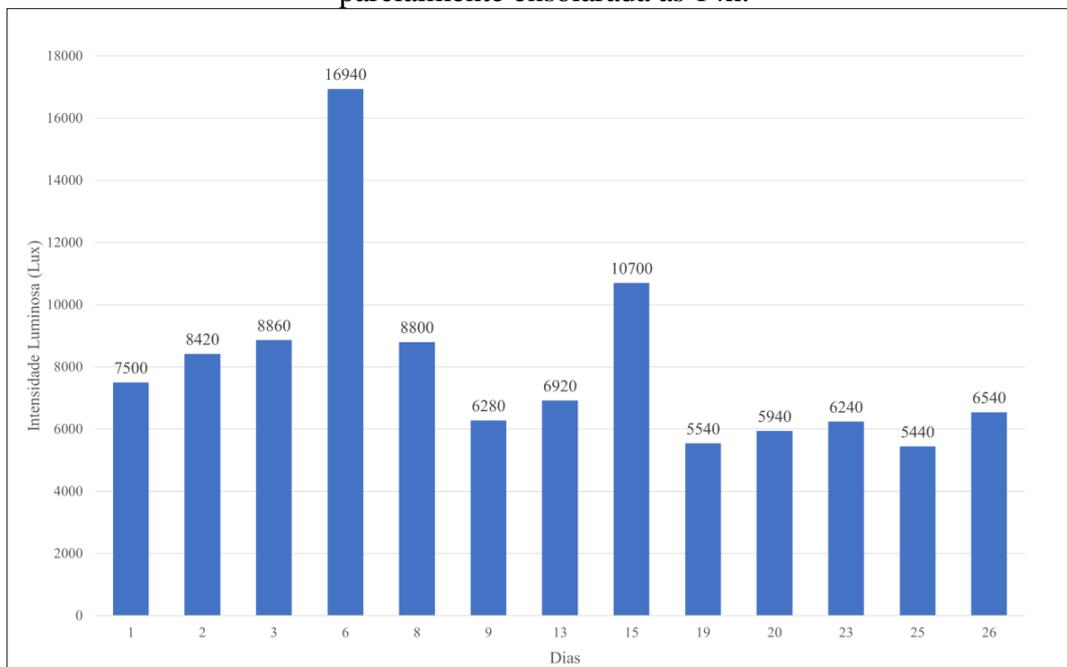
Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
1	3%	5%	9%	3%	12%	7%
3	4%	5%	6%	5%	5%	5%
4	4%	5%	8%	5%	9%	8%
9	7%	6%	8%	6%	10%	6%
10	8%	5%	8%	8%	11%	8%
14	3%	2%	4%	3%	4%	3%
Média (Lux)	5%	5%	7%	5%	8%	6%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	45%	24%	28%	41%	37%	31%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	5%		6%		7%	

Fonte: Autor (2024).

Os dados apresentados mostram que, em suma, o maior percentual de dentre as faces pertence à face B do painel com FOP de Ø1,00mm com uma média dentre os dias ensaiados de 8%, seguido da face A do painel com FOP de Ø3,00mm com 7% de transmitância. Já para os resultados totais, o painel com FOP de Ø3,00mm atingiu o maior valor dentre os demais, com 7% de transmitância, seguido do painel com FOP de Ø1,00mm, atingindo 6% e, por fim, o painel com FOP de Ø0,75mm apresentando 5% de transmitância luminosa.

Para os ensaios experimentais realizados às 14h na condição climática parcialmente ensolarada, está apresentada a seguir na Figura 70 os resultados de intensidade luminosa registrados.

Figura 70 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 14h.

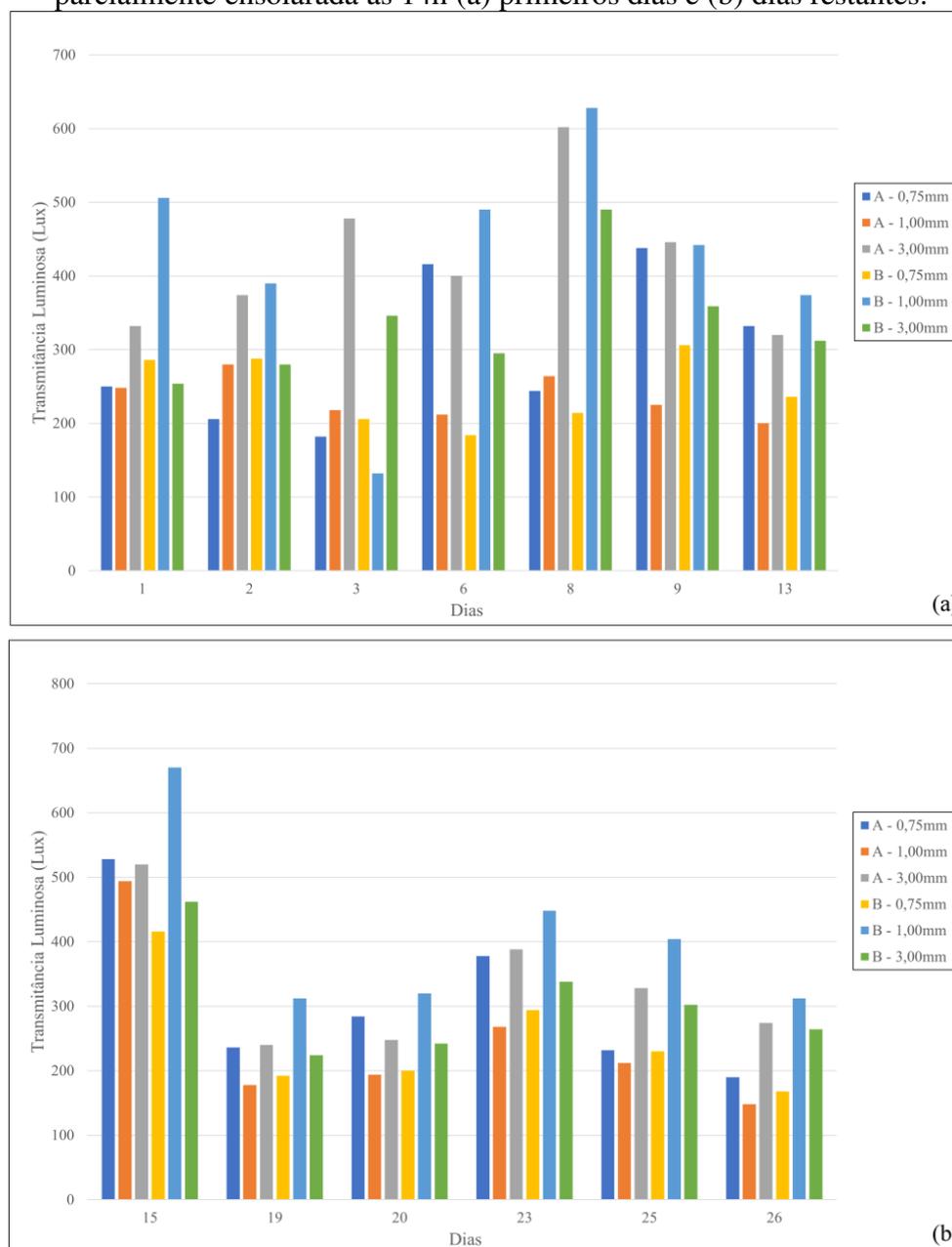


Fonte: Autor (2024).

Os resultados apresentados indicam que, para a condição climática parcialmente ensolarada às 14h, os resultados, com exceção dos dias (6) e (15), demonstram maior uniformidade de intensidade luminosa. Os valores variam entre 5440 e 8860 Lux e a média, incluindo os resultados mais expressivos, para a referida condição climática e horário é de 8009 Lux.

Durante os ensaios realizados às 14h, a condição climática parcialmente ensolarada evidenciou-se com o maior número de dados obtidos (13 dias) ao qual estão ilustrados graficamente na Figura 71 os resultados de transmitância luminosa.

Figura 71 – Representação gráfica da transmitância luminosa na condição climática parcialmente ensolarada às 14h (a) primeiros dias e (b) dias restantes.



Fonte: Autor (2024).

Para os dados apresentados na Figura 63a é possível visualizar no dia (3) que, o menor valor de transmitância luminosa (resultados inferiores à 150 Lux), é resultado da face A do painel fabricado com FOP de Ø1,00mm. Esse valor alcançado pode ser proveniente tanto da presença de nuvens durante o ensaio experimental, dado a condição climática determinada quanto devido aos impactos nas extremidades das FOP voltadas para o fotossensor. Além disso, é importante ressaltar que outros fatores externos podem estar envolvidos na variação do respectivo resultado.

Ademais, na Figura 63b é possível visualizar que no dia (15) atingiu-se o valor máximo registrado (acima de 650 Lux) referente à face oposta do mesmo painel que apresentou os resultados inferiores supracitados. As conclusões para cada dia de ensaio experimental estão apresentadas na Tabela 21.

Tabela 27 – Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática parcialmente ensolarada às 14h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
1	250	248	332	286	506	254
2	206	280	374	288	390	280
3	182	218	478	206	132	346
6	416	212	400	184	490	295
8	244	264	602	214	628	490
9	438	225	446	306	442	359
13	332	200	320	236	374	312
15	528	494	520	416	670	462
19	236	178	240	192	312	224
20	284	194	248	200	320	242
23	378	268	388	294	448	338
25	232	212	328	230	404	302
26	190	148	274	168	312	264
Média (Lux)	301,23	241,62	380,77	247,69	417,54	320,62
Desvio Padrão	108	85	108	68	141	80
Coef. Variação	36%	35%	28%	28%	34%	25%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	274,46		329,58		350,69	

Fonte: Autor (2024).

Ao analisar os referidos resultados observa-se que, os valores médios por face em todas as FOP foram abaixo de 400 Lux, apesar de em determinados dias os valores superarem até mesmo os 600 Lux de transmitância luminosa. Cabe ainda salientar que, os resultados médios totais permitem afirmar que o painel confeccionado com FOP de Ø3,00mm apresentou resultados superiores (337,57 Lux) em relação às demais. Notou-se também que, as FOP de Ø1,00mm e Ø0,75mm apresentaram uma redução de 6,59% e 22,19%, respectivamente, no tocante à eficiência luminosa total.

Os resultados percentuais de transmitância luminosa atingido pelas faces dos painéis em todos os dias de ensaios experimentais, assim como as médias por face e totais, estão expressos na Tabela 27.

Tabela 27 – Percentual de luz passante para a condição climática parcialmente ensolarada 14h.

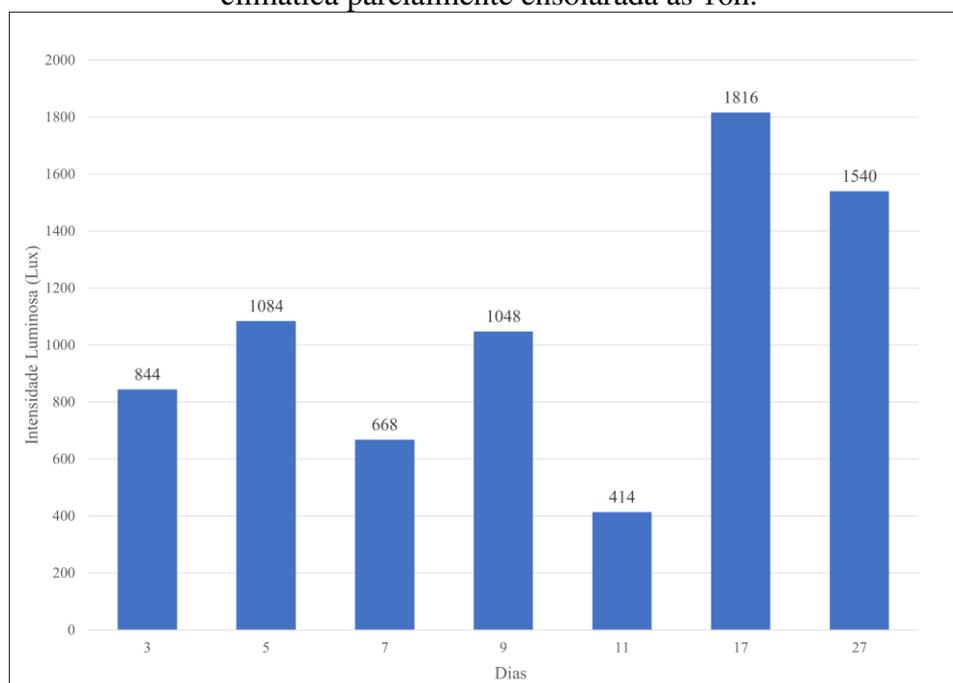
Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
1	3%	3%	4%	4%	7%	3%
2	2%	3%	4%	3%	5%	3%
3	2%	2%	5%	2%	1%	4%
6	2%	1%	2%	1%	3%	2%
8	3%	3%	7%	2%	7%	6%
9	7%	4%	7%	5%	7%	6%
13	5%	3%	5%	3%	5%	5%
15	5%	5%	5%	4%	6%	4%
19	4%	3%	4%	3%	6%	4%
20	5%	3%	4%	3%	5%	4%
23	6%	4%	6%	5%	7%	5%
25	4%	4%	6%	4%	7%	6%
26	3%	2%	4%	3%	5%	4%
Média (Lux)	4%	3%	5%	3%	6%	4%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	38%	28%	26%	31%	32%	26%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	4%		4%		5%	

Fonte: Autor (2024).

Os resultados para a condição climática parcialmente ensolarada mostram que, a média percentual por face se mostra mais eficiente na face B da FOP de Ø1,00mm (6%) e em seguida da face A da FOP de Ø3,00mm (5%). Cabe ainda evidenciar que os valores máximos atingidos são de 7%, no qual todas os painéis alcançaram o referido percentual. Ademais, nota-se que nos resultados de Média/FOP (totais) o painel fabricado com FOP de Ø3,00mm demonstram maior efetividade (5%), seguido dos painéis com FOP de Ø1,00mm e Ø0,75mm com percentuais iguais de 4%.

Por fim, tem-se os resultados na condição climática parcialmente ensolarada às 16h. A Figura 72 ilustra graficamente os dados de intensidade luminosa obtidos para as condição e horário mencionados.

Figura 72 – Representação gráfica dos resultados de intensidade luminosa na condição climática parcialmente ensolarada às 16h.

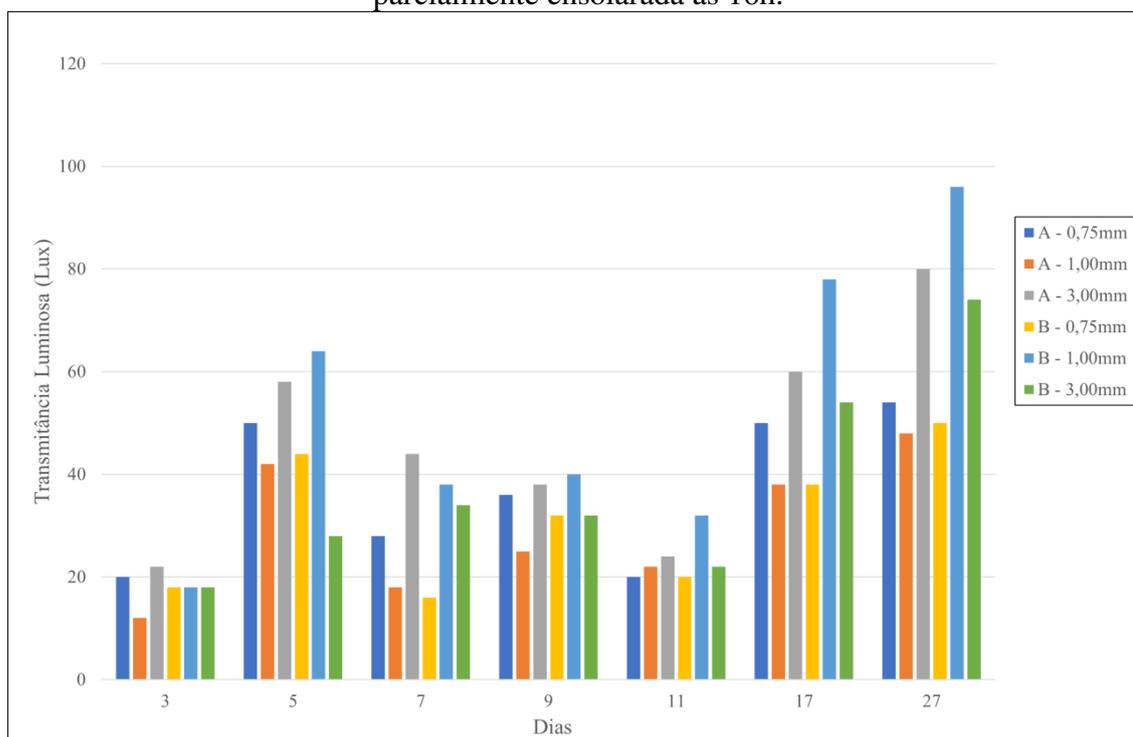


Fonte: Autor (2024).

Os resultados coletados apontam uma redução expressiva nos valores de intensidade luminosa para a referida condição climática e horário (16h). Nota-se através da figura, que o valor máximo registrado foi de 1816 Lux no dia (17), enquanto o valor mínimo foi de 414 Lux no dia (11). Esses resultados permitem inferir que, com a redução da intensidade luminosa, os valores de transmitância luminosa também apresentarão reduções expressivas em comparação com os demais horários de ensaio (10h, 12h e 14h).

A seguir na Figura 73 estão apresentados os resultados de transmitância luminosa em todas os painéis e faces para a condição climática parcialmente ensolarada às 16h.

Figura 73 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática parcialmente ensolarada às 16h.



Fonte: Autor (2024).

Os resultados obtidos nos dias (3) e (11) apresentam valores de transmitância luminosa inferiores quando comparados aos demais dias, no qual em nenhum dos dias mencionados há resultados acima de 35 Lux. Já para os dias (17) e (27) notam-se resultados acima de 70 Lux, no qual este valor foi alcançado apenas pelos painéis com FOP de Ø3,00mm e Ø1,00mm. A seguir na Tabela 28 estão apresentados os dados de forma detalhada, bem como as médias por face e geral para os referidos blocos na condição climática parcialmente ensolarada às 16h.

Tabela 28 – Resultado das médias por face e geral, e do desvio padrão para a condição climática parcialmente ensolarada às 16h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
3	20	12	22	18	18	18
5	50	42	58	44	64	28
7	28	18	44	16	38	34
9	36	25	38	32	40	32
11	20	22	24	20	32	22
17	50	38	60	38	78	54
27	54	48	80	50	96	74
Média (Lux)	36,86	29,29	46,57	31,14	52,29	37,43
Desvio Padrão	15	13	21	14	28	20
Coef. Variação	40%	46%	45%	43%	53%	53%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	34,00		40,79		42,00	

Fonte: Autor (2024).

Diante destes dados obtidos, é possível inferir que os resultados mais favoráveis no referido horário (16h) são provenientes das FOP de Ø3,00mm, atingindo uma média de 42 Lux. Cabe evidenciar, que este valor apesar de ser o maior dentre as três FOP, ainda sim é consideravelmente inferior quando comparado com os resultados obtidos nos demais horários (10h, 12h e 14h). Cabe salientar ainda que, não houve registros de transmitância luminosa acima de 100 Lux, demonstrando assim que os resultados para a condição ensolarada possuem maior eficiência luminosa, em relação às obtidas na condição parcialmente ensolarada, com reduções que podem chegar a 77%.

Após a análise dos resultados de intensidade luminosa e transmitância luminosa, a Tabela 29 apresenta os resultados para os percentuais obtidos em todas os painéis e faces ao longo dos 7 dias que apresentaram a condição climática parcialmente ensolarada no horário de 16h.

Tabela 29 – Percentual de luz passante para a condição climática parcialmente ensolarada 16h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
3	2%	1%	3%	2%	2%	2%
5	5%	4%	5%	4%	6%	3%
7	4%	3%	7%	2%	6%	5%
9	3%	2%	4%	3%	4%	3%
11	5%	5%	6%	5%	8%	5%
17	3%	2%	3%	2%	4%	3%
27	4%	3%	5%	3%	6%	5%
Média (Lux)	4%	3%	5%	3%	5%	4%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	25%	43%	32%	33%	36%	36%

FOP	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
Média/FOP (Lux)	3%	4%	4%

Fonte: Autor (2024).

Os valores percentuais atingidos ao longo dos ensaios, permitem inferir que os percentuais não foram afetados, uma vez que a redução de intensidade e transmitância mantiveram uma proporcionalidade, dessa forma, ao equacionar os respectivos valores, os resultados percentuais mostraram-se coerentes aos demais horários. Nota-se através da referida tabela, que o dia (11) apresentou o maior percentual de transmitância, com 8% para o painel com FOP de Ø1,00mm. Destaca-se ainda que o mesmo painel, juntamente com o painel confeccionado com FOP de Ø3,00mm apresentaram os maiores resultados por face, alcançando o resultado de 5%.

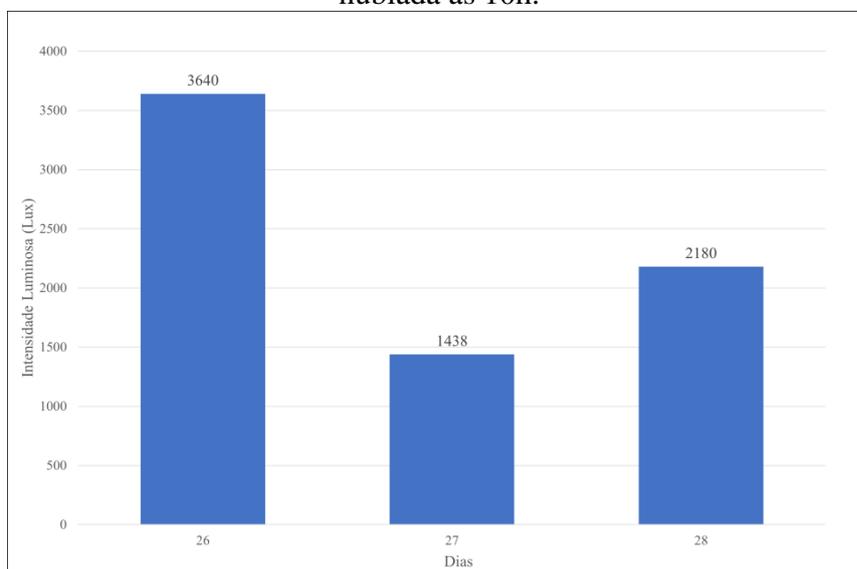
Por último, para o resultado de Média/FOP (total) os painéis com FOP de Ø3,00mm e Ø1,00mm apresentaram o mesmo percentual de eficiência (4%), seguido do painel com FOP de Ø0,75mm (3%).

6.2.1.3 Condição climática nublada

A classificação para a condição nublada, baseia-se na presença predominante de nuvens em quase toda a totalidade dos ensaios experimentais, acarretando, dessa maneira, na redução nos resultados de intensidade e transmitância luminosa em todos os horários registrados (10h, 12h, 14h e 16h) quando comparados com as demais condições climáticas já

mencionadas. Na Figura 74 tem-se os resultados de intensidade luminosa para o primeiro horário de registro (10h) na referida condição climática.

Figura 74 – Representação gráfica dos resultados de intensidade luminosa na condição nublada às 10h.

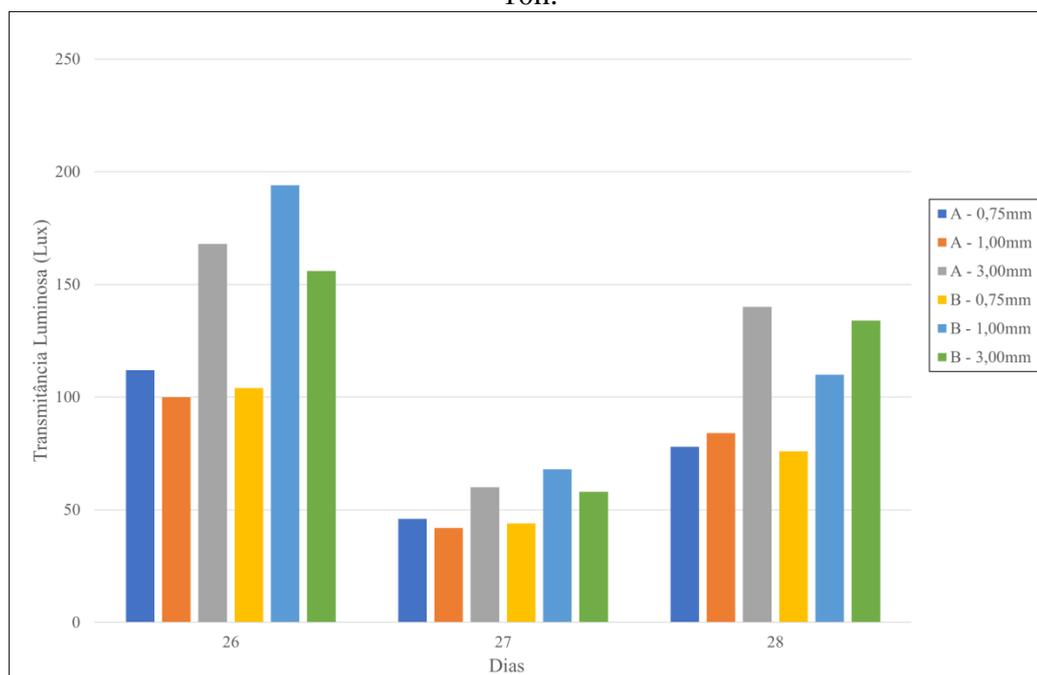


Fonte: Autor (2024).

Os resultados de intensidade luminosa, em suma, indicam que a condição climática nublada apresenta valores inferiores em comparação às demais condições climáticas anteriormente apresentadas (ensolarada e parcialmente ensolarada). no qual para o referido horário 10h, a intensidade luminosa máxima atinge apenas 3640 Lux, enquanto o valor mínimo captado é de 1438 Lux. Supõe-se ainda que, apesar do reduzido número de dias registrados, os resultados devem estar próximos aos limites apresentados através dos ensaios, exceto para casos excepcionais.

Para os valores de transmitância luminosa ensaiados a Figura 75 apresenta graficamente os resultados obtidos para a condição climática nublada às 10h.

Figura 75 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática nublada às 10h.



Fonte: Autor (2024).

Através da referida figura é possível visualizar uma redução considerável na quantidade de dias registrados, esta redução pode ocorrer em razão do período no qual os ensaios experimentais foram realizados (junho), havendo maior ocorrência de registros para as condições ensolarada e parcialmente ensolarada. Diante da referida condição climática e horário, notam-se resultados de transmitância luminosa abaixo de 200 Lux para todos os dias. Os resultados mais favoráveis referem-se às FOP de Ø3,00mm e Ø1,00mm. Estes dados de transmitância luminosa, bem como as médias por face e geral estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática nublada às 10h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
26	112	100	168	104	194	156
27	46	42	60	44	68	58
28	78	84	140	76	110	134
Média (Lux)	78,67	75,33	122,67	74,67	124,00	116,00
Desvio Padrão	33	30	56	30	64	51
Coef. Variação	42%	40%	46%	40%	52%	44%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	76,67		99,67		119,33	

Fonte: Autor (2024).

Os valores de transmitância luminosa atingem médias inferiores a 150 Lux para as respectivas faces. Em relação a face B da FOP de Ø1,00mm é possível inferir que esta registrou a maior média (124 Lux), enquanto a face B da FOP de Ø0,75mm atingiu a menor média (74,67 Lux). Já no tocante aos resultados totais, nota-se que o painel fabricado com FOP de Ø3,00mm atinge o maior valor dentre os demais, alcançando 119,33 Lux de transmitância, seguido do painel com FOP de Ø1,00mm (99,67 Lux) e das FOP de Ø0,75mm (76,76 Lux).

Dado os valores de intensidade e transmitância luminosa alcançados, tem-se a seguir na Tabela 31 os resultados percentuais para todas as faces, bem como as medias por face e totais calculadas.

Tabela 31 – Dados e resultados do percentual de luz passante para a condição climática nublada 10h.

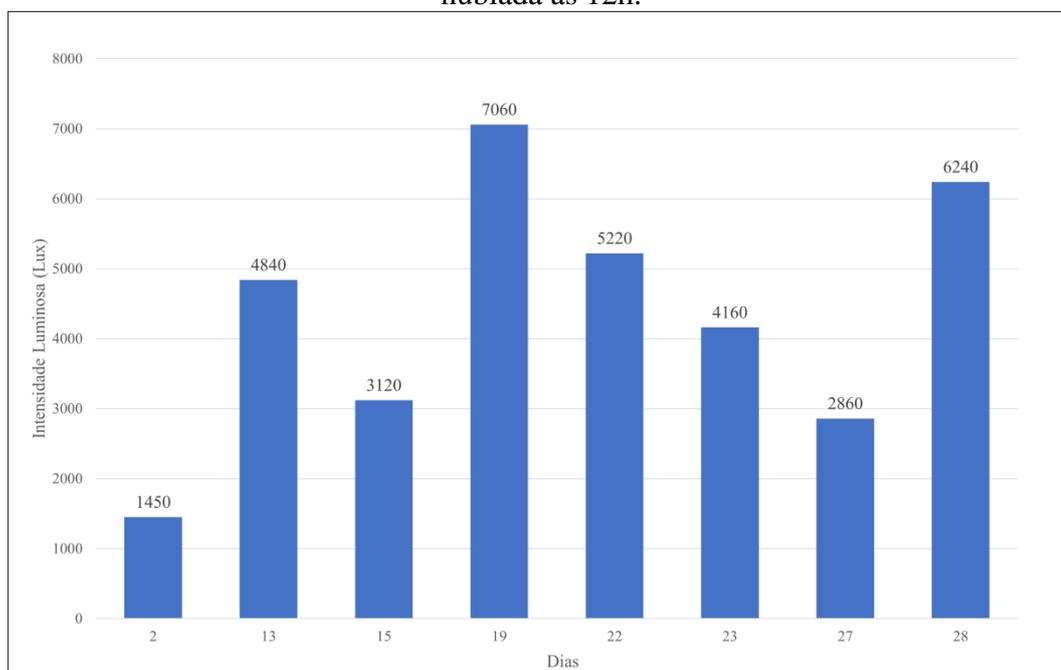
Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
26	3%	3%	5%	3%	5%	4%
27	3%	3%	4%	3%	5%	4%
28	4%	4%	6%	3%	5%	6%
Média (Lux)	3%	3%	5%	3%	5%	5%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	8%	19%	24%	10%	6%	24%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	3%		4%		5%	

Fonte: Autor (2024).

Constata-se através da referida tabela que, os resultados de transmitância percentual máximos por face alcançaram 5% com a face B do painel fabricado com FOP de Ø1,00mm e ambas as faces do painel com FOP de Ø3,00mm alcançaram o mesmo resultado percentual. No que diz respeito ao resultado total, o painel com FOP de Ø3,00mm apresentou o maior valor com 5% de transmitância luminosa, seguido do painel com FOP de Ø1,00mm com 4% e posteriormente o painel com FOP de Ø0,75mm, que obteve 3%.

Para o seguinte horário registrado (12h) visualiza-se através da Figura 76 uma maior incidência luminosa da referida condição climática em comparação com o primeiro horário ensaiado (10h). Além disso, observa-se um maior número de dias registrados, com um total de 8 dias para a condição nublada às 12h.

Figura 76 – Representação gráfica dos resultados de intensidade luminosa na condição nublada às 12h.

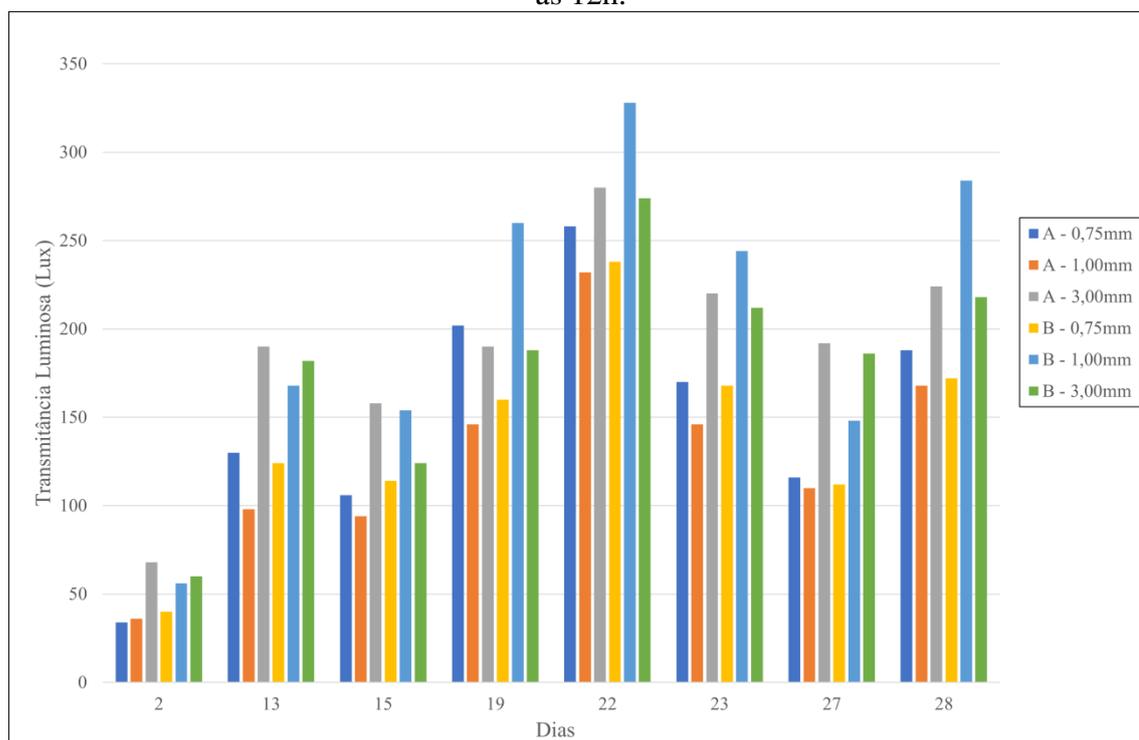


Fonte: Autor (2024).

Os ensaios realizados às 12h para a condição nublada revelam resultados mais expressivos em relação à intensidade luminosa registrada, quando comparados ao primeiro horário (10h). A referida figura permite inferir ainda que, o valor máximo alcançou os 7060 Lux no dia (19), enquanto o resultado mínimo foi de 1450 Lux no dia (2). Os demais resultados encontram-se entre 2860 e 6240 Lux.

Os resultados de transmitância luminosa para a condição climática nublada às 12h estão ilustrados graficamente na Figura 77.

Figura 77 – Representação gráfica da transmitância luminosa na condição climática nublada às 12h.



Fonte: Autor (2024).

Os ensaios demonstram para o referido horário (12h), variações de transmitância mínimas inferiores a 50 Lux, como pode ser visualizado no dia (2), em contrapartida, para o dia (22) tem-se os valores máximos, que ultrapassam os 300 Lux com a face B do painel fabricado com FOP de Ø1,00mm. A seguir na Tabela 32 estão apresentados os registros para cada dia, bem como as médias atingidas por face, bem como as médias totais por painel.

Tabela 32 – Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática nublada às 12h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
2	34	36	68	40	56	60
13	130	98	190	124	168	182
15	106	94	158	114	154	124
19	202	146	190	160	260	188
22	258	232	280	238	328	274
23	170	146	220	168	244	212
27	116	110	192	112	148	186
28	188	168	224	172	284	218
Média (Lux)	150,50	128,75	190,25	141,00	205,25	180,50
Desvio Padrão	69	58	61	58	89	64
Coef. Variação	46%	45%	32%	41%	43%	36%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	145,75		167,00		185,38	

Fonte: Autor (2024).

Os dados registrados permitem inferir que, os valores de transmitância luminosa em dias nublados podem ter variações significativas devido às condições climáticas presenciadas, no qual para o dia (2) notam-se resultados inferiores a 70 Lux, enquanto para o dia (22) os resultados ultrapassam os 300 Lux de transmitância. Isso pode se dever, principalmente pelas variações quanto à quantidade nuvens e de radiação solar incidente nos respectivos dias. Podendo haver demais fatores que podem interferir nos resultados obtidos. Assim, por consequência, são observadas grandes amplitudes nos resultados.

No tocante às faces que apresentaram maior eficiência, tem-se primeiramente a face B relativa às FOP de Ø1,00mm (205,25 Lux) e em seguida a face A referente às FOP de Ø3,00mm (190,25 Lux). No entanto, para a análise relativa a maior eficiência total dos painéis, tem-se o painel com FOP de Ø3,00mm com o maior resultado de transmitância luminosa (185,38 Lux), posteriormente o painel com FOP de Ø1,00mm (167,00 Lux) e por último o painel com FOP de Ø0,75mm (145,75 Lux).

No tocante aos valores percentuais relativos aos painéis translúcidos, a Tabela 33 ilustra os resultados obtidos em cada dia por face, bem como as médias por face e totais.

Tabela 33 - Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática nublada 12h.

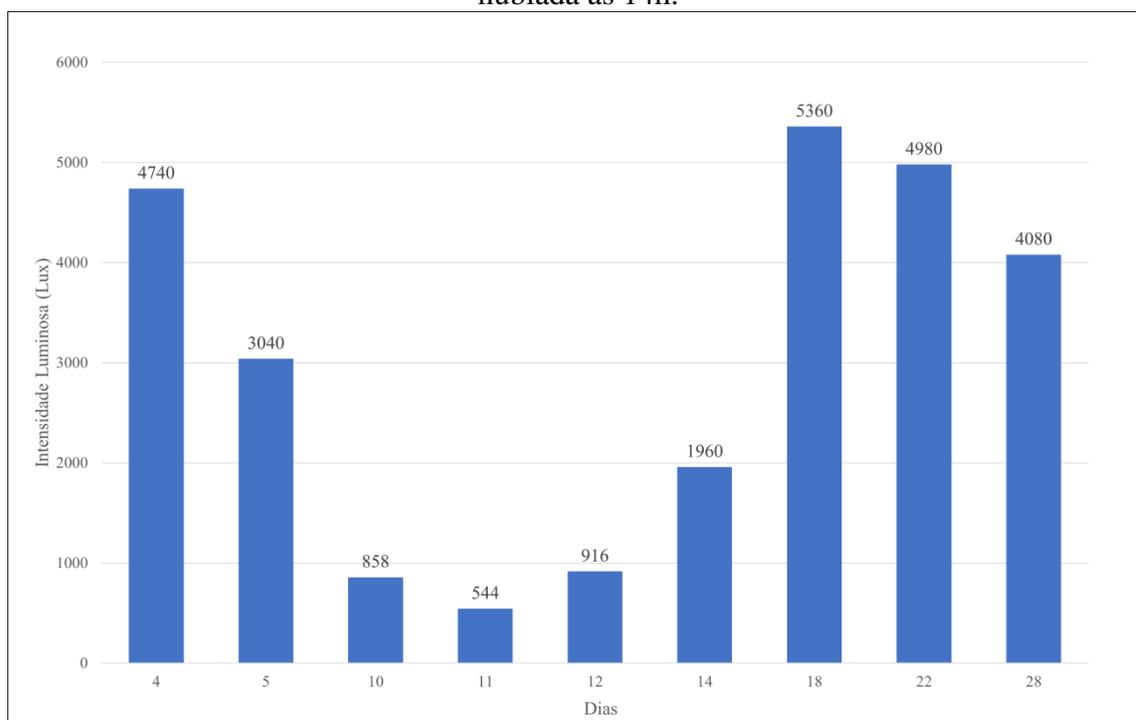
Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
2	2%	2%	5%	3%	4%	4%
13	3%	2%	4%	3%	3%	4%
15	3%	3%	5%	4%	5%	4%
19	3%	2%	3%	2%	4%	3%
22	5%	4%	5%	5%	6%	5%
23	4%	4%	5%	4%	6%	5%
27	4%	4%	7%	4%	5%	7%
28	3%	3%	4%	3%	5%	3%
Média (Lux)	3%	3%	5%	3%	5%	4%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	26%	29%	27%	25%	22%	28%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	3%		4%		5%	

Fonte: Autor (2024).

Para os 8 dias ensaiados, apenas o dia (27) apresentou percentuais com 7% de transmitância, no qual apenas o painel com FOP de Ø3,00mm alcançou este resultado. Ademais, nos resultados médios por face, nota-se que a face B do painel com FOP de Ø1,00mm e a face A do painel com FOP de Ø3,00mm alcançaram os maiores valores percentuais, com 5% para ambas. Já para a Média/FOP (total) o painel com FOP de Ø3,00mm mostrou-se mais eficiente com 5% de transmitância luminosa, seguido do painel com FOP de Ø1,00mm com 4% e por último o painel fabricado com FOP de Ø0,75mm alcançando 3% de transmitância luminosa.

Para o penúltimo horário de captação (14h) na condição climática nublada, está ilustrada graficamente na Figura 78 os resultados de intensidade luminosa obtidos.

Figura 78 – Representação gráfica dos resultados de intensidade luminosa na condição nublada às 14h.

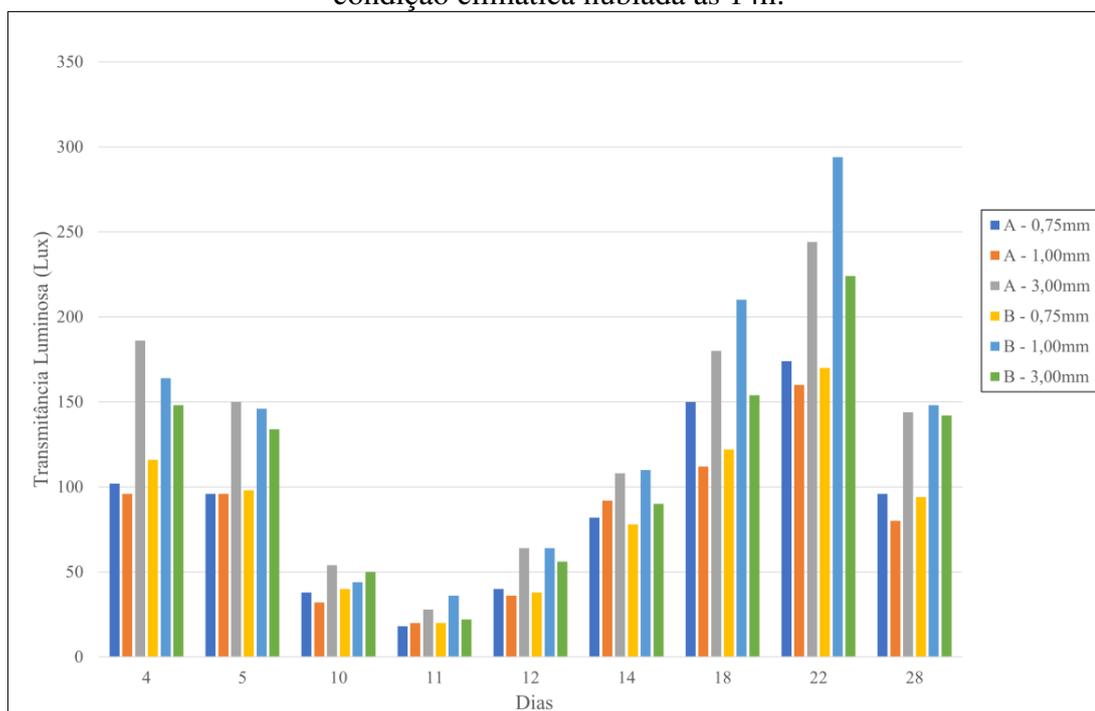


Fonte: Autor (2024).

Os dados apresentados na referida figura mostram o registro de valores expressivos, como para os dias (18) e (22) que apresentaram 5360 e 4980 Lux, respectivamente. Em contrapartida, nos dias (10) e (11) os resultados não ultrapassam a faixa de 1000 Lux, no qual para o primeiro citado registrou-se 858 Lux e para o segundo mencionado 544 Lux, sendo este último resultado de intensidade luminosa, o menor dentre os 9 dias para a condição nublada às 14h.

Na Figura 79 estão apresentados de forma gráfica os resultados de transmitância luminosa obtidos através dos painéis na condição climática nublada às 14h.

Figura 79 – Representação gráfica da transmitância luminosa nos painéis translúcidos na condição climática nublada às 14h.



Fonte: Autor (2024).

Através da Figura 79 é possível observar tanto os resultados mais expressivos (22), quanto os menos expressivos (11), em termos de transmitância luminosa ao longo dos 8 dias de ensaios experimentais. Nota-se também que, o valor máximo atingido se refere à face B do painel fabricado com FOP de Ø1,00mm, seguido pela face A do painel com FOP de Ø3,00mm. A seguir na Tabela 34 estão apresentados os dados para o referido horário e condição climática, além das médias por face e por painel.

Tabela 34 – Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática nublada às 14h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
4	102	96	186	116	164	148
5	96	96	150	98	146	134
10	38	32	54	40	44	50
11	18	20	28	20	36	22
12	40	36	64	38	64	56
14	82	92	108	78	110	90
18	150	112	180	122	210	154
22	174	160	244	170	294	224
28	96	80	144	94	148	142
Média (Lux)	88,44	80,44	128,67	86,22	135,11	113,33
Desvio Padrão	52	45	71	48	84	64
Coef. Variação	58%	55%	55%	55%	62%	56%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	87,33		107,78		121,00	

Fonte: Autor (2024).

Os dados obtidos apresentam resultados inferiores na classificação por face, bem como na classificação por painel, quando comparados ao segundo horário de ensaio (12h). Vale ainda destacar que, todos os valores médios por face no referido horário (14h) são inferiores a 150 Lux, no qual, o menor valor atingido é referente a face A do painel com FOP de Ø1,00mm (80,44 Lux) e o maior valor pertence à face B do mesmo painel (135,11 Lux).

No que se refere às médias totais, nota-se a prevalência do painel com FOP de Ø3,00mm nos resultados totais (121,00 Lux), em seguida o painel fabricado com FOP de Ø1,00mm (107,78 Lux) e por último as FOP de Ø0,75mm (87,44 Lux). Permitindo mencionar, dessa maneira, que o painel fabricado com FOP de Ø3,00mm possui maior eficiência no que concerne as medias totais.

A seguir estão expressos na Tabela 35 os percentuais de transmitância luminosa individual e médio em cada face, bem como os resultados totais obtidos por cada painel.

Tabela 35 - Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática nublada 14h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
4	2%	2%	4%	2%	3%	3%
5	3%	3%	5%	3%	5%	4%
10	4%	4%	6%	5%	5%	6%
11	3%	4%	5%	4%	7%	4%
12	4%	4%	7%	4%	7%	6%
14	4%	5%	6%	4%	6%	5%
18	3%	2%	3%	2%	4%	3%
22	3%	3%	5%	3%	6%	4%
28	2%	2%	4%	2%	4%	3%
Média (Lux)	3%	3%	5%	3%	5%	4%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	25%	30%	25%	26%	25%	26%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	3%		4%		5%	

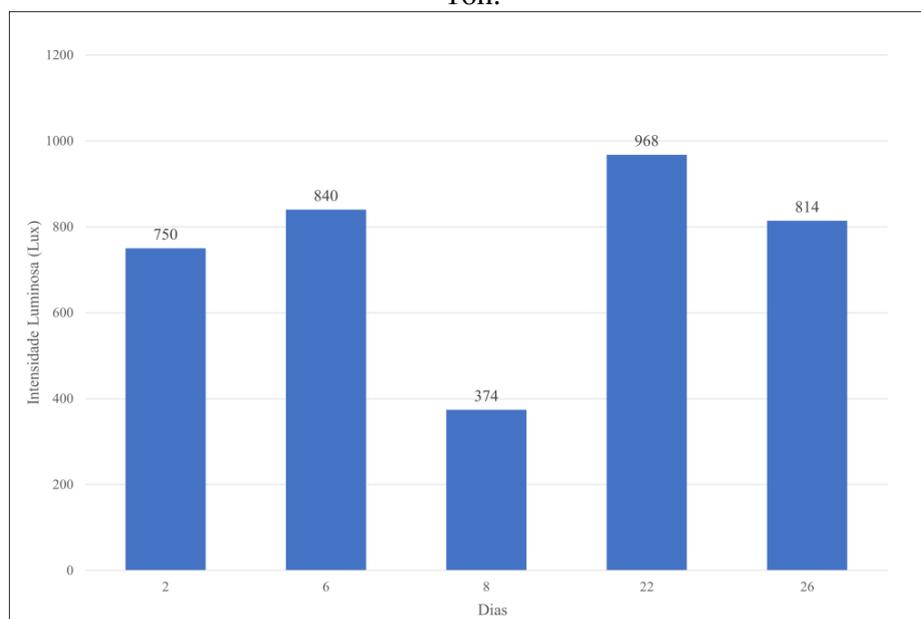
Fonte: Autor (2024).

A referida tabela mostra que os valores médios por face estão entre 3% e 5%, no qual o menor percentual refere-se às faces A e B do painel fabricado com FOP de Ø0,75mm e à face A do painel com FOP de Ø1,00mm, já os maiores percentuais pertencem à face A do painel com FOP de Ø3,00mm e à face B do painel confeccionado com FOP de Ø1,00mm.

Para os resultados totais, constata-se que o painel com FOP de Ø3,00mm apresenta o maior percentual de transmitância, alcançando 5%, o que o torna o mais eficiente para a referida condição climática (nublada) e horário (14h), dentre os demais painéis ensaiados. Em seguida, o painel com FOP de Ø1,00mm registrou 4% e, por fim, o painel com FOP de Ø0,75mm apresentou 3% de média total.

Para o último horário de ensaio experimental (16h) na condição nublada, os resultados de intensidade luminosa estão apresentados graficamente na Figura 80.

Figura 80 – Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática nublada às 16h.

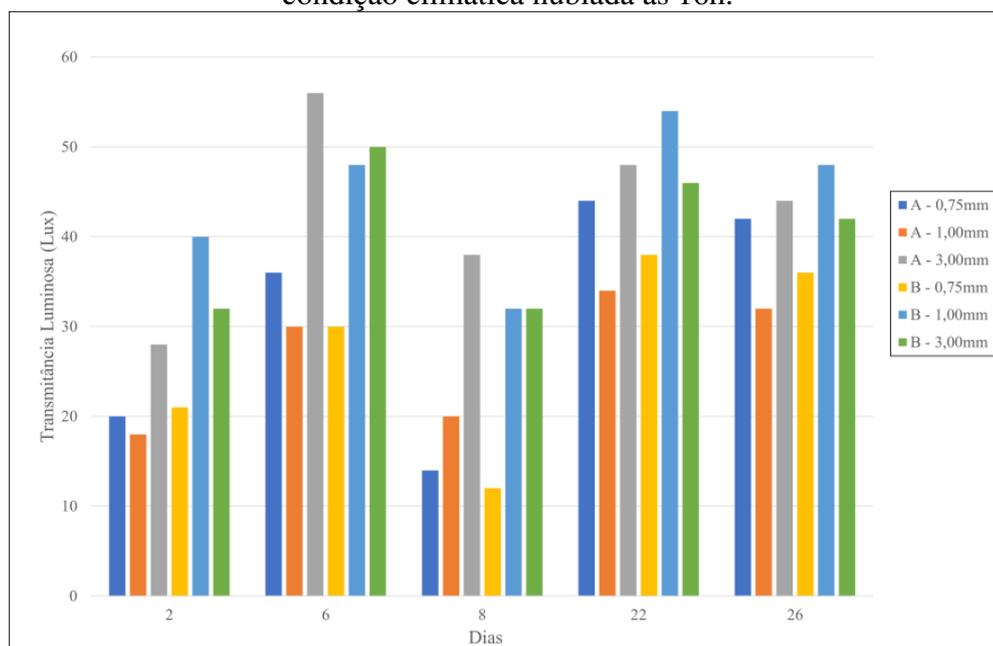


Fonte: Autor (2024).

Os resultados de intensidade luminosa para a condição climática nublada às 16h, apresenta valores compreendidos entre 374 e 968 Lux. Dessa forma, pode-se inferir que em nenhum dos dias ensaiados houve-se registros acima de 1000 Lux. Diante desses dados especula-se que, os resultados para a referida condição climática e horário (16h) podem ter sido afetados, principalmente, pela menor incidência de radiação solar, em razão do horário de ensaio, quanto pela quantidade de nuvens em função da condição climática.

A seguir, na Figura 81 estão apresentados graficamente os resultados de transmitância luminosa correspondentes à condição climática nublada às 16h.

Figura 81 – Representação gráfica da transmitância luminosa nos painéis translúcidos na condição climática nublada às 16h.



Fonte: Autor (2024).

Para o horário das 16h, conforme ilustrado na Figura 81, verifica-se que os ensaios ocorreram em apenas 5 dias, o qual no dia (6) a face A do painel com FOP de $\text{Ø}3,00\text{mm}$ apresentou o maior resultado registrado, seguido pelo dia (22) com a face B do painel fabricado com FOP de $\text{Ø}1,00\text{mm}$. A seguir, a Tabela 36 apresenta detalhadamente os dados coletados no referido horário e condição climática mencionados, bem como as médias por face e médias gerais.

Tabela 36 – Médias por face e geral, e desvio padrão para a condição climática nublada às 16h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
2	20	18	28	21	40	32
6	36	30	56	30	48	50
8	14	20	38	12	32	32
22	44	34	48	38	54	46
26	42	32	44	36	48	42
Média (Lux)	31,20	26,80	42,80	27,40	44,40	40,40
Desvio Padrão	13	7	11	11	9	8
Coef. Variação	43%	27%	25%	40%	19%	20%

FOP	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
Média/FOP (Lux)	29,30	35,60	41,60

Fonte: Autor (2024).

A Tabela 36 demonstra que os resultados obtidos no referido horário (16h) são significativamente inferiores quando comparados aos demais horários ensaiados (10h, 12h e 14h), tendo em vista que o maior resultado médio por face alcançou apenas 44,40 Lux, referente à face B do painel fabricado com FOP de Ø1,00mm. Já na análise das medias totais, o painel confeccionado com FOP de Ø3,00mm apresentou o maior resultado, alcançando 41,60 Lux de transmitância luminosa. Portanto, é possível constatar que a eficiência dos painéis sofre uma queda expressiva quando comparada aos demais horários do dia sob a mesma condição climática. Essa redução é ainda mais acentuada quando relacionada às condições climáticas ensolarada e parcialmente ensolarada.

Os valores percentuais de transmitância luminosa, incluindo os resultados individuais, as médias por face, bem como os resultados totais por painel, estão detalhados na Tabela 37.

Tabela 37 Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática nublada 16h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
2	3%	2%	4%	3%	5%	4%
6	4%	4%	7%	4%	6%	6%
8	4%	5%	10%	3%	9%	9%
22	5%	4%	5%	4%	6%	5%
26	5%	4%	5%	4%	6%	5%
Média (Lux)	4%	4%	6%	4%	6%	6%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	23%	28%	40%	18%	21%	30%

FOP	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
Média/FOP (Lux)	4%	5%	6%

Fonte: Autor (2024).

Observa-se na referida tabela que, o resultado individual mais expressivo foi de 10% no dia (8) para a face A do painel com FOP de Ø3,00mm, um resultado expressivo em termos percentuais, embora corresponda a apenas 38 Lux de transmitância, conforme apresentado na Tabela 37.

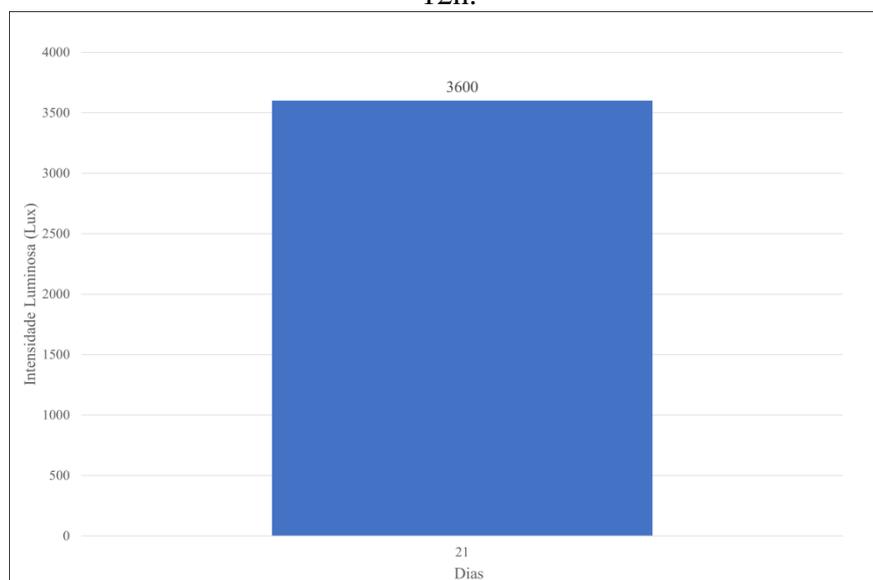
Ademais, os resultados médios por face demonstram que as faces A e B do painel com FOP de Ø3,00mm, juntamente com a face B do painel com FOP de Ø1,00mm, apresentaram resultados equivalentes a 6% de transmitância. Contudo, os resultados totais demonstram que o painel com FOP de Ø3,00mm foi o mais eficiente, alcançando 6% de transmitância luminosa, seguido pelo painel com FOP de Ø1,00mm com 5% e pelo painel com FOP de Ø0,75mm, que alcançou 4% de transmitância luminosa.

6.2.1.4 Condição climática chuvosa

Para a condição climática chuvosa, é importante destacar que houve uma elevada redução na quantidade de dados coletados, tendo em vista o mês no qual realizaram-se os ensaios experimentais (junho). Dessa forma, para os horários de 10h e 14h é possível afirmar que não houve ocorrências da referida condição climática, entretanto para os demais horários (12h e 16h), houve ocorrência de dias chuvosos, permitindo assim a realização dos ensaios para aferição da transmitância luminosa.

É importante destacar que, nos ensaios realizados sob a condição climática chuvosa, além de fatores inerentes à radiação solar e a incidência de nuvens, a presença de gotículas de água destaca-se como um fator determinante, impactando negativamente nos resultados de intensidade, transmitância e percentual passante de luz. Na Figura 82 é possível visualizar graficamente os resultados de intensidade luminosa para a referida condição climática no horário das 12h.

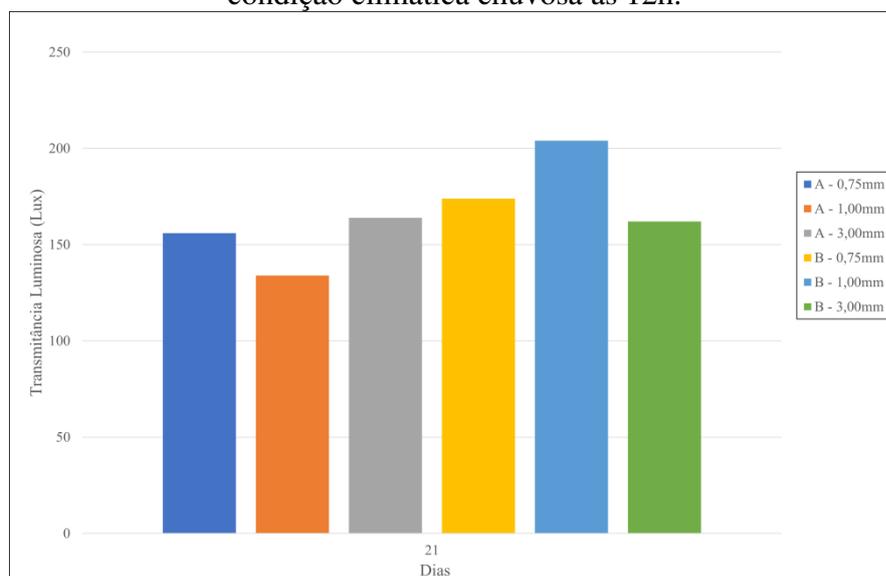
Figura 82 – Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática chuvosa às 12h.



Fonte: Autor (2024).

Para o único dia de registro na referida condição climática e horário (12h), nota-se que apesar das interferências climáticas já mencionadas, o resultado mostrou-se compreendido na amplitude registrada no mesmo horário na condição nublada. Ademais, os resultados de transmitância luminosa para ambas as faces de todos os painéis translúcidos na condição climática chuvosa às 12h estão ilustrados na Figura 83.

Figura 83 – Representação gráfica da transmitância luminosa dos painéis translúcidos na condição climática chuvosa às 12h.



Fonte: Autor (2024).

Através da Figura 83, é possível inferir que apesar da influência das nuvens, bem como das gotas provenientes da chuva os resultados para as 12h mostraram-se satisfatórios no que diz respeito à transmitância luminosa em todas os painéis. É possível visualizar ainda, que para o menor resultado alcançado há valores superiores a 100 Lux, referente a face A do painel com FOP de Ø1,00mm. Já o maior resultado alcançado pertence ao mesmo painel, com valores de transmitância superiores a 200 Lux. A Tabela 38 detalha os resultados atingidos no referido horário e condição climática.

Tabela 38 – Dados obtidos e média geral para a condição climática chuvosa às 12h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
21	156	134	164	174	204	162
Média (Lux)	156,00	134,00	164,00	174,00	204,00	162,00
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	165,00		169,00		163,00	

Fonte: Autor (2024).

Nota-se através da Tabela 38 que, para os dados coletados há uma maior eficiência no painel fabricado com FOP de Ø1,00mm (169 Lux), seguido do painel com FOP

de Ø0,75mm (165 Lux) e por último o painel com FOP de Ø3,00mm (163 Lux). Esta ordem citada, diverge dos resultados atingidos pelas demais condições climáticas (ensolarada, parcialmente ensolarada e nublada), contudo as diferenças são ínfimas, divergindo em somente 2 Lux, quando relaciona-se o painel com FOP de Ø3,00mm com as FOP de Ø0,75mm, e de 7 lux quando relaciona-se o painel com FOP de Ø3,00mm com as FOP de Ø1,00mm, demonstrando, portanto, que estas variações podem ocorrer em razão das influências climáticas que ocorreram durante os ensaios experimentais.

A seguir na Tabela 39, estão apresentados os resultados percentuais de transmitância luminosa para as faces A e B, bem como as médias por face e total.

Tabela 39 Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática chuvosa 12h.

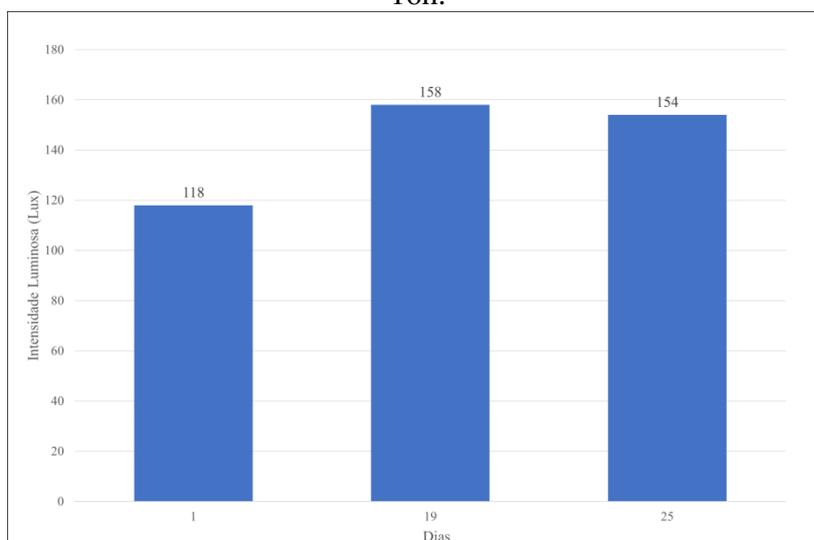
Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
21	4%	4%	5%	5%	6%	5%
Média (Lux)	4%	4%	5%	5%	6%	5%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	5%		5%		5%	

Fonte: Autor (2024).

Para a condição chuvosa às 12h nota-se maior equivalência nos resultados nos resultados totais, no qual todos os painéis alcançaram 5% de transmitância luminosa. Apesar dos resultados por face demonstrarem maior eficiência na face B do painel com FOP de Ø1,00mm com 6% e seguidamente de ambas as faces do painel com FOP de Ø3,00mm e da face A do painel com FOP de Ø0,75mm que atingiram 5% de eficiência.

Para o horário de 16h, no qual também se registraram dias na condição climática chuvosa, a Figura 84 apresenta os resultados referentes à intensidade luminosa para a referida condição climática e horário (16h).

Figura 84 – Representação gráfica da intensidade luminosa na condição climática chuvosa às 16h.

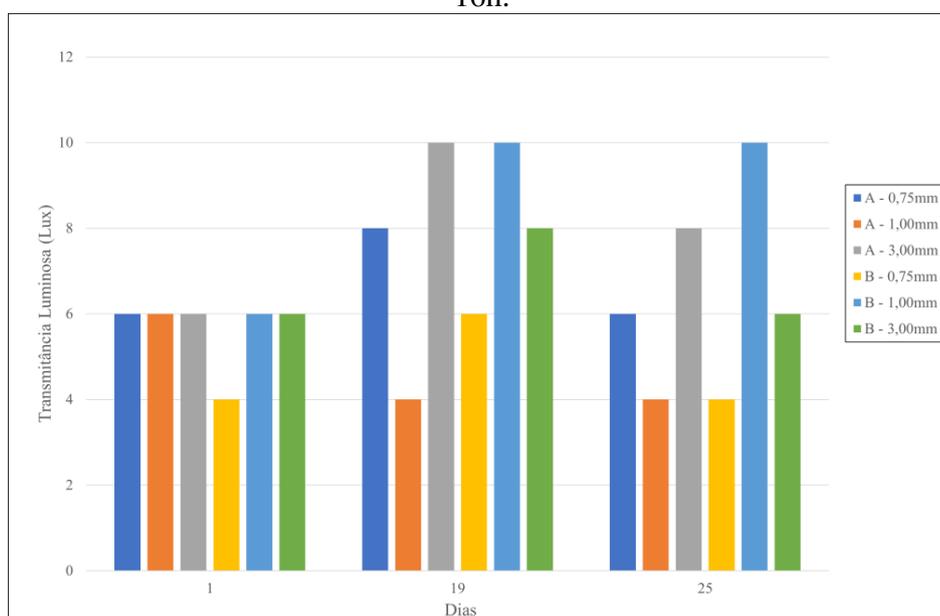


Fonte: Autor (2024).

Os resultados de intensidade luminosa para a condição climática chuvosa às 16h, demonstram que, os resultados compreendem-se entre as faixas de 100 Lux a 160 Lux, no qual o menor resultado registrado ocorreu no dia (1) com 118 Lux, enquanto o maior valor, de 158 Lux, ocorreu no dia (19). Esses dados permitem inferir que, embora os valores registrados se encontrem em faixas próximas, a intensidade luminosa captada não proporciona resultados adequados de iluminação.

A seguir estão apresentados graficamente na Figura 85 os resultados relativos à transmitância luminosa no horário de 16h.

Figura 85 – Representação gráfica dos painéis translúcidos na condição climática chuvosa às 16h.



Fonte: Autor (2024).

A ocorrência de chuva deu-se em 3 dias no horário de 16h, cabe ainda destacar de antemão que, os menores resultados atingiram 4 Lux, enquanto o maior resultado atingiu os 10 Lux de transmitância luminosa. Estes dados permitem inferir que, para o referido horário (16h) na condição chuvosa, os painéis, de um modo geral não proporcionaram resultados satisfatórios de transmitância de luz. Através da Tabela 40 é possível visualizar os dados, bem como as médias por face e gerais obtidas.

Tabela 40 – Médias por face e geral para a condição climática chuvosa às 16h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
1	6	6	6	4	6	6
19	8	4	10	6	10	8
25	6	4	8	4	10	6
Média (Lux)	6,67	4,67	8,00	4,67	8,67	6,67
Desvio Padrão	1	1	2	1	2	1
Coef. Variação	17%	25%	25%	25%	27%	17%
FOP	Ø0,75mm		Ø1,00mm		Ø3,00mm	
Média/FOP (Lux)	5,67		6,67		7,33	

Fonte: Autor (2024).

Para os resultados obtidos na condição climática chuvosa às 16h, nota-se que as médias por face não atingiram os 15 Lux de transmitância luminosa em nenhum dos painéis confeccionados. Cabe ainda destacar, que apesar dos resultados insatisfatórios, o painel com FOP de Ø3,00mm atingiu o resultado mais eficiente (7,33 Lux), seguido do painel com FOP de Ø1,00mm (6,67 Lux) e por último o painel com FOP de Ø0,75mm (5,67 Lux).

Por fim, estão apresentados na Tabela 41 os resultados percentuais individuais, as médias alcançadas por face e totais.

Tabela 41 - Resultados percentuais da transmitância luminosa obtida na condição climática chuvosa 16h.

Tempo (Dias)	Transmitância Luminosa (Lux)					
	Face A			Face B		
	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
1	6%	6%	6%	4%	6%	6%
19	5%	3%	6%	4%	9%	5%
25	4%	3%	5%	3%	6%	4%
Média (Lux)	5%	4%	6%	3%	7%	5%
Desvio Padrão	0	0	0	0	0	0
Coef. Variação	22%	55%	10%	23%	21%	22%

FOP	Ø0,75mm	Ø1,00mm	Ø3,00mm
Média/FOP (Lux)	4%	5%	5%

Fonte: Autor (2024).

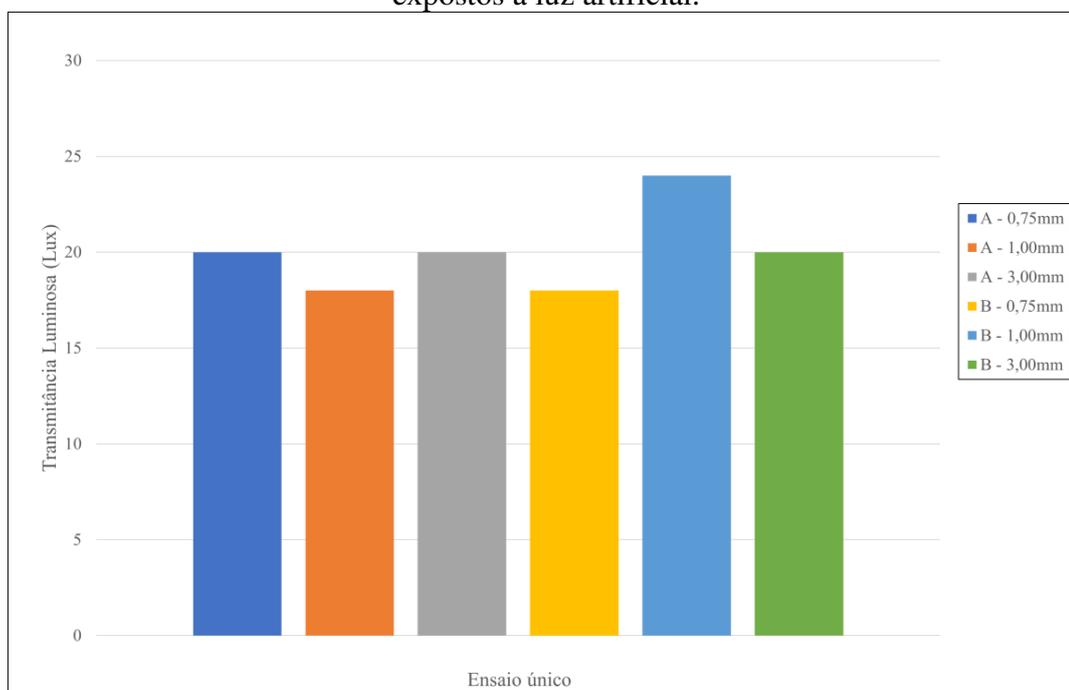
Os dados contidos na referida tabela, mostram que os percentuais por face se encontraram compreendidos entre 3% e 7%, no qual o primeiro citado (3%) refere-se à face B do painel com FOP de Ø0,75mm e o segundo citado (7%) faz referência à face B do painel fabricado com FOP de Ø1,00mm. No entanto, ao considerar os resultados de Média/FOP (total), os painéis os painéis confeccionados com FOP de Ø3,00mm e Ø1,00mm apresentaram melhor eficiência, ambos alcançando 5% de transmitância luminosa., seguidos pelo painel com FOP de Ø0,75mm, com 4% de eficiência luminosa.

6.2.2 Iluminação Artificial

Para os resultados de transmitância luminosa obtidos através da luz artificial, procedeu-se similarmente aos ensaios com fonte de luz natural. Cabe evidenciar que, o ensaio

experimental contou com uma fonte luz de 9W, não necessitando de repetitividade, diferenciando-se nesse aspecto dos ensaios experimentais com fonte natural de luz. Os dados obtidos através do referido ensaio estão ilustrados graficamente na Figura 86.

Figura 86 – Representação gráfica da transmitância luminosa dos painéis translúcidos expostos à luz artificial.



Fonte: Autor (2024).

Para o conjunto de dados relativos à iluminação artificial, nota-se que há maior proximidade nos resultados entre os painéis, quando comparados aos resultados com exposição à luz natural, podendo notar-se através da Figura 71 que, o maior resultado registrado distancia-se em poucas unidades do menor resultado. Já no tocante à eficiência entre as FOP, nota-se que a face B do painel fabricado com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$ alcançou o maior resultado, enquanto os menores resultados pertencem as faces A e B dos painéis fabricados com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$ e $\varnothing 0,75\text{mm}$, respectivamente, que obtiveram valores iguais. Os valores detalhados, relativos à exposição à luz, transmitância luminosa e percentual de luz passante estão apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 – Resultados dos ensaios com exposição à luz artificial.

Face	Intensidade Luminosa (Lux)	Composição	
		Painel com fibras óticas de Ø 0,75mm	
		Transmissão Luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
A	750	20	3%
B	750	18	2%
Face	Intensidade Luminosa (Lux)	Painel com fibras óticas de Ø 1,00mm	
		Transmissão Luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
		A	750
B	750	24	3%
Face	Intensidade Luminosa (Lux)	Painel com fibras óticas de Ø 3,00mm	
		Transmissão Luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
		A	750
B	750	20	3%

Fonte: Autor (2024).

A Tabela demonstra que, o ensaio experimental realizado através de luz artificial apresenta maior uniformidade em relação aos resultados obtidos com exposição à luz natural, apesar dos percentuais de transmitância serem, em suma, inferiores.

Para o conjunto de dados relativos à iluminação artificial, nota-se que há maior proximidade nos resultados entre os painéis, quando comparados aos resultados com exposição à luz natural, podendo notar-se através da Figura 71 que, o maior resultado registrado distancia-se em apenas 6 Lux do menor e que essa diferença ocorreu para as faces A e B do painel com FOP de Ø1,00mm. Destaca-se ainda que, de um modo geral, os resultados alcançados com luz artificial não demonstraram valores expressivos de transmitância, o que resultou, por consequência, em baixos resultados percentuais, atingindo o valor máximo de 3% para ambas as faces do painel com FOP de Ø3,00mm, face B do painel com FOP de Ø1,00mm e face A do painel com FOP de Ø0,75mm.

6.2.3 Análises sobre os resultados de transmitância luminosa

De um modo geral, os resultados das análises inerentes aos painéis translúcidos permitem afirmar que, dentre as faces ensaiadas experimentalmente (A e B), a que apresentou resultados mais satisfatórios, no tocante à transmitância e ao percentual de luz passante, foi a

face B do painel com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$, seguido da face A do painel com FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$. Contudo, os resultados médios para ambas as faces ou resultado total para o painel, mostraram-se mais favoráveis ao painel com FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$, uma vez que, os dados obtidos para ambas as faces apresentam maior proximidade de transmitância, bem como para os percentuais passante, quando comparados aos apresentados pela FOP com diâmetro intermediário.

No que diz respeito aos resultados de transmitância luminosa entre as faces para a FOP com diâmetro intermediário ($\varnothing 1,00\text{mm}$), nota-se diferenças entre ambas que, acarretaram em reduções na eficiência total do referido painel. Especula-se que o motivo deste acontecimento seja em razão da configuração no qual as FOP se deram na face B após alcançar o estado endurecido, uma vez que a posição das FOP apresentou direcionamentos distintos aos posicionados inicialmente, ainda no estado fresco. A Figura 87 apresenta o posicionamento das FOP ($\varnothing 1,00\text{mm}$) no estado endurecido.

Figura 87 – Posicionamento adquirido pelas FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$ na Face B do painel, no estado endurecido.

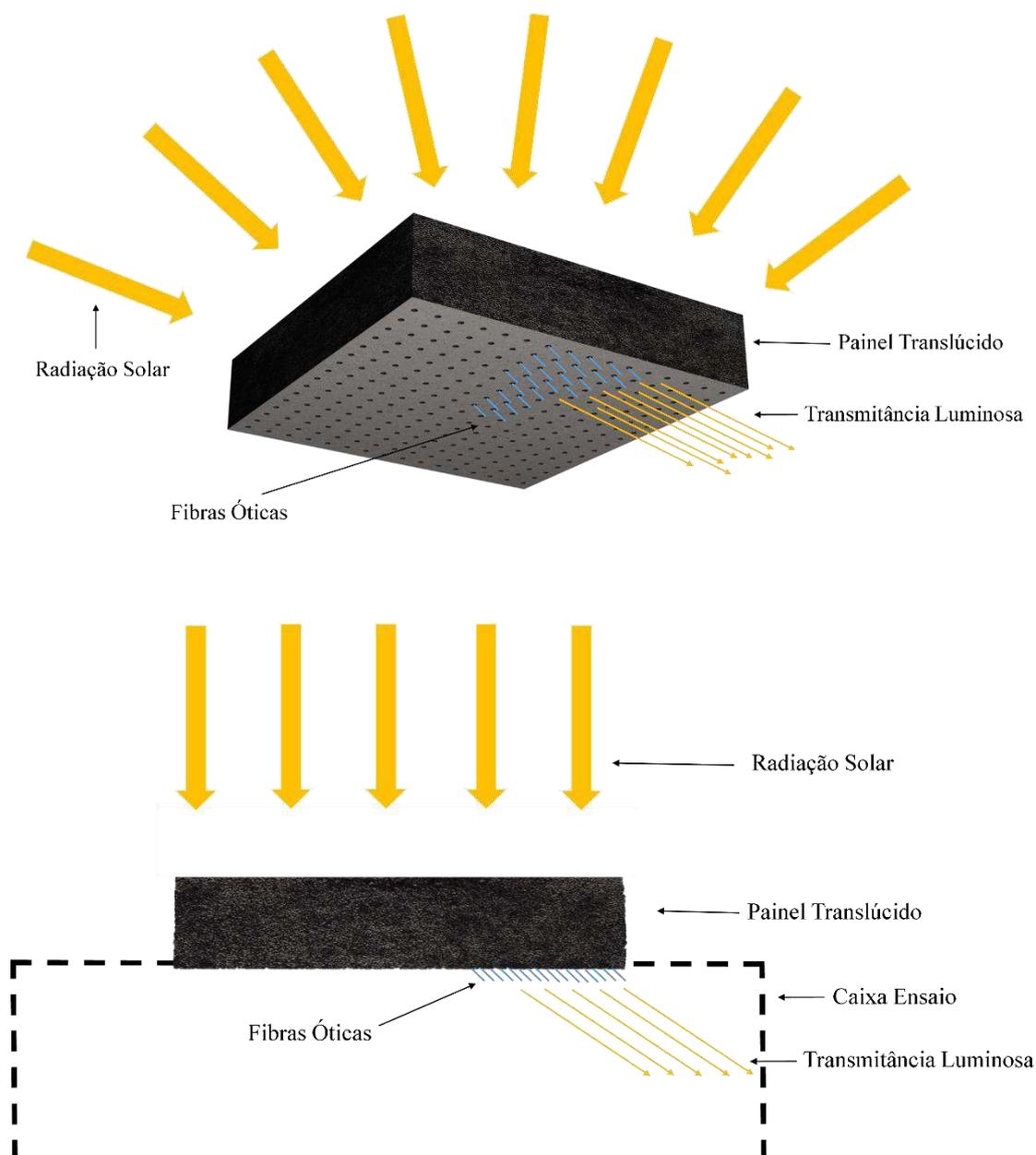


Fonte: Autor (2024).

De acordo com a referida figura, nota-se que algumas linhas de FOP foram afetadas durante o processo de confecção e cura do concreto. Dessa maneira, é possível visualizar que as FOP foram deslocadas e direcionadas de forma distinta ao posicionamento

inicial, afetando assim os resultados da respectiva face. A seguir na Figura 88 é possível verificar o impacto ocasionado pela mudança no direcionamento das FOP.

Figura 88 – Vista isométrica e lateral do efeito ocasionado pela mudança no direcionamento das FOP.



Fonte: Autor (2024).

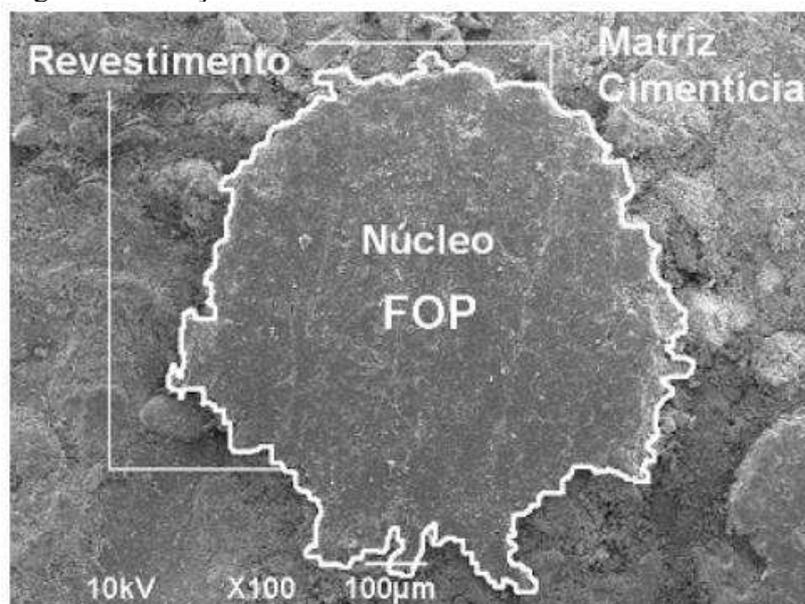
Através da vista lateral é possível verificar que os raios pertencentes à transmitância luminosa se deslocam em direção às paredes da caixa de ensaio. Nesse sentido, especula-se que estes raios tenham se dissipado ao tangenciarem tanto as faces da caixa, quanto o plano no qual a mesma está apoiada, havendo assim menor intensidade luminosa

captada pelo fotossensor do luxímetro e por conseguinte, resultados inferiores à face oposta (face B exposta à radiação solar).

Inferre-se também que, ao expor a face, no qual as fibras sofreram deslocamento, à radiação solar (face B), os raios atingem a superfície do painel em múltiplas direções e chegam à face A (face regular) com maiores resultados de transmitância luminosa, uma vez que os raios atingem o fotossensor com maior convergência, sem ocorrer mudanças em seu direcionamento e havendo assim menor perda de transmitância luminosa.

No que se refere aos resultados de percentuais passantes, notam-se valores reduzidos para todos os painéis translúcidos ($TL(\%) < 8\%$ para os resultados por face e $TL(\%) < 7\%$ nos resultados médios por painel). Especula-se que esse fato, seja tanto o arranjo no qual as FOP foram dispostas, quanto ao tipo de corte realizado nas FOP durante o processo de polimento e acabamento. O estudo apresentado por Uribe (2010) demonstra que o corte realizado com serra, o mesmo equipamento empregado no presente estudo, pode deformar a estrutura do núcleo, assim como do revestimento das FOP, reduzindo, dessa maneira, nos resultados de transmitância luminosa e por conseguinte, no percentual passante. A Figura 89 apresenta a imagem obtida através de microscopia eletrônica de varredura seção transversal da FOP ao receber o corte com serra.

Figura 89 – Seção transversal da FOP ao ser cortada com serra.



Fonte: Uribe (2010).

7 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo a comparação entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica, no qual buscou-se compreender aspectos inerentes à resistência à compressão e os resultados de transmitância luminosa com o emprego de 3 FOP com diâmetros distintos ($\emptyset 3,00\text{mm}$, $\emptyset 1,00\text{mm}$ e $\emptyset 0,75\text{mm}$).

Os resultados obtidos indicam que, no tocante à resistência à compressão o concreto de referência (convencional) apresentou resultados mais satisfatórios em relação aos concretos com adição de fibra ótica independente do diâmetro. Estes resultados concordam com as pesquisas de Tuum et al. (2019) e Salih, Joni e Mohamed (2014), que descrevem que o concreto de referência apresentou valores de resistência à compressão superiores aos concretos com adição de FOP aos 28 dias. No presente estudo, o concreto com FOP de maior diâmetro ($\emptyset 3,00\text{mm}$) registrou uma redução de 16,60% na resistência à compressão. Já para o diâmetro intermediário ($\emptyset 1,00\text{mm}$) houve uma redução de 36,44% em sua resistência e para o concreto fabricado com a FOP de menor diâmetro ($\emptyset 0,75\text{mm}$) ocorreu uma redução de 27,02%.

Os referidos resultados indicaram que todos os concretos com adição de FOP apresentaram resistências inferiores ao concreto convencional aos 28 dias. Ademais, é importante evidenciar que os resultados mais próximos ao concreto de referência pertencem ao concreto com FOP de $\emptyset 3,00\text{mm}$, concordando com os resultados de Bashbash et al. (2013), que constataram que maiores diâmetros de FOP, apresentam melhores resultados de resistência à compressão para o mesmo teor de fibra. Altomate et al. (2016) descrevem que esse fenômeno pode estar relacionado ao espaçamento relativamente menor entre as FOP com diâmetros inferiores em relação a FOP com diâmetro superior, o que pode resultar em menores interconexões da matriz cimentícia ao redor da superfície das FOP, acelerando, portanto, o processo de microfissuração ao ser submetido ao carregamento compressivo. Verificou-se, entretanto, que no presente estudo os resultados inerentes à FOP de $\emptyset 1,00\text{mm}$ apresentou valores reduzidos quando comparados à FOP de $\emptyset 0,75\text{mm}$. Especula-se que, a proximidade diametral apresentada entre ambas, torna a quantidade de FOP inseridas à mistura também próximas, podendo ocorrer, dessa maneira, divergências nos resultados de resistência à compressão.

No que diz respeito aos resultados obtidos através dos ensaios de transmitância luminosa, verificou-se que, para as análises sob condição de luz natural, os valores de transmitância foram superiores quando expostos à condição climática ensolarada. Para essa

condição citada, o horário de 12h apresentou os maiores resultados médios, tanto para os valores entre as faces (A e B) quanto para os valores inerentes aos painéis translúcidos. Vale destacar que, para todas as condições climáticas analisadas (ensolarada, parcialmente ensolarada, nublada e chuvosa), o horário das 16h apresentou os menores valores de transmitância luminosa em comparação aos demais horários em suas respectivas condições.

A análise comparativa dos resultados obtidos pelas FOP permite inferir que, entre as faces ensaiadas, a face B do painel com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$ apresentou os resultados mais favoráveis para às condições climáticas e horários estabelecidos para verificação em luz natural. No entanto, ao considerar os resultados médios por painel (análise de transmitância entre ambas as faces), observa-se que o painel com FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$ apresentou os resultados mais satisfatórios. Essa constatação alinha-se com os resultados apresentados por Chiew et al. (2022), que indicaram que os resultados mais satisfatórios de transmitância luminosa ocorrem com o emprego de diâmetros maiores. Os referidos autores relatam ainda que o diâmetro exerce maior influência nos resultados do que o espaçamento adotado entre as fibras.

Além da análise da transmitância luminosa, a análise quanto ao percentual de luz passante foi realizada para avaliar o melhor horário, bem como a condição climática de maior eficiência. Esta modalidade de análise indica que, no horário de 12h na condição climática parcialmente ensolarada observou-se os maiores percentuais de transmitância. O painel com FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$ apresentou uma média de 7% para o resultado médio entre as faces, seguido do painel com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$ com 6% e pelo painel com FOP de $\varnothing 0,75\text{mm}$ com 5%. Estes percentuais alcançados, apresentam consistência com os resultados obtidos por Kumar e Ahlawat (2016), que para um teor de fibras de 4% obtiveram-se percentuais de transmitância entre 4,78% e 5,62%. Cabe evidenciar ainda que, a condição climática parcialmente ensolarada apresentou as maiores variações climáticas, especialmente no que se refere à oscilação de nuvens, que, por sua vez, impactaram significativamente na radiação solar ao longo dos ensaios. A pesquisa de Mosalam e Modrego (2018), também descrevem que a presença de nuvens demonstrou ser uma limitação física encontrada ao longo dos ensaios, levando a busca pela captação em horários de maior incidência de luz solar.

No tocante aos resultados obtidos através dos ensaios experimentais com exposição à luz artificial, observa-se que de um modo geral, os resultados entre as faces apresentaram maior equivalência. Os valores encontrados indicam que, a face B do painel com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$ apresentou o maior resultado de transmitância (24 Lux) e o mesmo painel demonstrou o maior valor médio entre ambas as faces de ensaio, seguido do painel

confeccionado com FOP de Ø3,00mm, com ambas as faces alcançando 20 Lux. Já para os resultados percentuais, observa-se igualmente, uma maior equivalência nos valores obtidos, alcançando o valor máximo de 3% nas faces A e B do painel com FOP de Ø3,00mm, face A do painel com FOP de Ø1,00mm e face A do painel com FOP de Ø0,75mm. Já as faces A do painel com FOP de Ø1,00mm e B do painel com FOP de Ø0,75mm apresentaram 2% de percentual passante.

De um modo geral, tanto para os resultados inerentes de resistência à compressão, quanto para os resultados de transmitância luminosa e percentual passante sob exposição à luz natural é possível inferir que o concreto com adição de FOP de Ø3,00mm apresentou o desempenho mais satisfatório. Comparado às outras FOP empregadas (Ø1,00mm e Ø0,75mm), o referido concreto demonstrou superioridade nos critérios de resistência à compressão, bem como em relação à translucidez média total e em verificações pontuais por face avaliadas, indicando ser o concreto que proporcione as melhores aplicações.

Já na avaliação sob exposição à luz artificial, o painel com FOP de Ø1,00mm apresentou os resultados mais satisfatórios, tanto para a análise por face, quanto na análise média total do painel, seguido do painel com FOP de Ø3,00mm, com uma diferença média total de apenas 1 Lux.

Dessa forma, o presente estudo contribui para a área de materiais de construção ao analisar de forma comparativa os resultados de resistência à compressão entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra ótica, bem como os resultados de transmitância luminosa obtidos através de painéis translúcidos com diâmetros distintos. Essas verificações indicam que, embora o concreto com adição de fibra ótica apresente resultados de resistência à compressão inferiores ao concreto de referência, o mesmo pode ainda ser utilizado em diversas aplicações. Dentre essas, destacam-se as alvenarias residenciais, paredes arquitetônicas de edificações verdes, muros e fachadas residenciais, bancos de praças visando aumento na iluminação e, por conseguinte, a segurança local, em presídios tencionando melhorias relativas à fiscalização, assim como em demarcações rodoviárias com objetivo de aumentar a visibilidade em períodos noturnos.

No presente estudo também se identificou algumas limitações que podem ter interferido nos resultados obtidos, como a confecção de forma manual dos painéis translúcidos, no qual tanto no processo de concretagem dos painéis, quanto no processo de polimento e acabamento, especula-se que tenham reduzido os resultados percentuais passantes para todos os painéis. Destaca-se ainda que, o processo de corte das fibras tenha sido determinante, conforme citado no item 6.2.3, principalmente nas FOP de Ø1,00mm e

Ø0,75mm, uma vez que, ambas apresentam menores dimensões e, portanto, torna-se mais fácil a ocorrência de danos ao revestimento ou ao núcleo.

Futuros estudos na referida área de pesquisa, poderiam investigar o uso de fibras óticas com diâmetros ainda maiores, buscando avaliar possíveis melhorias nos resultados de resistência à compressão e de transmitância luminosa. Ademais, é pertinente também analisar a viabilidade do corte a laser nas seções das FOP ou explorar outras técnicas de corte que minimizem os danos ao núcleo e ao revestimento, assegurando maior transmitância luminosa aos painéis.

O presente estudo alcançou os objetivos ao analisar e comparar os resultados de resistência a compressão entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibras óticas, além da análise quanto à transmitância luminosa e os percentuais passantes, oferecendo novas perspectivas, além de contribuir para a engenharia civil. Esta pesquisa proporcionou um aprendizado significativo sobre o estudo comparativo entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibras óticas, e almeja-se que esse estudo contribua com futuras pesquisas e com a comunidade acadêmica.

REFERÊNCIAS

- AHUJAA, Aashish; MOSALAMB, Khalid M. Evaluating energy consumption saving from translucent concrete building envelope. **Energy and Buildings** [online]. v. 153, 2017. p. 448-460. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.062>>. Acesso em: 6 jan. 2024.
- ALI, M. A.; MAJUMDAR, A. J.; RAYMENT, D. L. Carbon Fibre Reinforcement of Cement. **Pergamon Press**. v. 2, 1972. p. 201-212.
- ALTLOMATE, Abdelmajeed; ALATSHAN, Faesal; MASHIRI, Fidelis et al. Experimental study of light-transmitting concrete. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development** [online]. v. 7, 2016. Disponível em: <[10.1080/2093761X.2016.1237396](https://doi.org/10.1080/2093761X.2016.1237396)>. Acesso em: 23 out. 2023.
- AMAT, T.; BLANCO, M. T.; PALORNO, A. Acrylic Fibres as Reinforcement for Cement Pastes. **Elsevier Science Limited** [online]. 1993 p. 31-37.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. 544.1 R **State-of-the-art report on fiber reinforced concrete**. ACI manual of concrete practice—Part, v. 5. Farmington Hills, 1996.
- ANDRADE, Bruno Souza Oliveira. **Concreto armado: um estudo sobre o Processo histórico, características, durabilidade, proteção e recuperação de suas estruturas**. Rio de Janeiro, 2016. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil). Rio de Janeiro: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- ARMAN, Beatriz. Transparent concrete. **Domus**. [Online]. 10 nov. 2004. Disponível em: <<https://www.domusweb.it/en/design/2004/11/10/transparent-concrete.html>>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- ARRUE; Joseba Zubia and Jon. Plastic Optical Fibers: An Introduction to Their Technological Processes and Applications. **Ideal: Optical Fiber Technology** [online]. v. 7, 2001. p. 101-140. Disponível em: <[10.1006/ofte.2000.0355](https://doi.org/10.1006/ofte.2000.0355)>. Acesso em: 2 abr. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16886: **Concreto - Amostragem de concreto fresco**. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16917: **Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concretos. – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: **Concreto para fins estruturais – Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: **Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco de Chapman. – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2001.

BACHMANN, Graça. A sustentabilidade do Betão. **Artitextos** [online]. 2007. p. 33-37. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10400.5/1837>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

BALLESTE, Samantha; BRANDELLI, Taís; CORREA, Celina. Concreto translúcido: uma análise da sua capacidade de difusão da luz natural. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 18, 2020, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

BARBARÁN, Johanna. Materiales no tradicionales: concreto translúcido. **Revista Civilzate.** n. 3, p. 57-58, 2013. Disponível em: <revistas.pucp.edu.pe/imagenes/civilzate/civilzate_003.html>. Acesso em: 12 jun. 2023.

BARRIOS, Alicia. **Análisis y evaluación de la percepción del confort en bibliotecas: aplicación.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Edificação. Universidade Politécnica de Valencia, Valencia, 2011. Disponível em: <<https://riunet.upv.es/handle/10251/13750>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Avaliação do comportamento de vigas de concreto auto-adensável reforçado com fibras de aço.** Maceió, 2009, 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

BARROS, Joaquim António Oliveira de. **Comportamento de Betão Reforçado com Fibras.** Porto, 1995. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Porto, Porto, 1995.

BARTOS, P. J. M. Glassfibre Reinforced Concrete: a Review. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** [online]. v. 246, 2017. p 13–16. Disponível em: <[10.1088/1757-899X/246/1/012002](https://doi.org/10.1088/1757-899X/246/1/012002)>. Acesso em: 26 abr. 2024.

BASHBASH, Basma F.; HAJRUS, Roaa M.; WAFI, Doaa F et al. Basics of Light Transmitting Concrete. **Global Advanced Research Journal of Engineering** [online]. v. 2, 2013. p. 76-83. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/330193141>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

BUDINSKI, Kenneth G. **Engineering Materials: Properties and Selection.** ed. 3, Nova Jersey: Prentice Hall, 1989.

CADAVID RESTREPO, Laura Margarita. **Concreto translúcido**: estudo experimental sobre a fabricação de painéis de concreto com fibra ótica e as suas aplicações na arquitetura. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/14390>>. Acesso em: 7 jun. 2023.

CAMPOS, Maria Helena A. C. **A construtibilidade em projectos de edifícios para o ensino superior público em Portugal**. Braga, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho, Braga, 2002.

CARVALHO, João Dirceu Nogueira de. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. **Revista Tecnológica** [online]. v. 17, p. 19-28, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.4025/revtecnol.v17i1.8169>>. Acesso em: 5 nov. 2023.

CHIEW, Shing Mei et al. Evaluation of light transmittance performance of light-transmitting concrete with optical fibre. **Construction and Building Materials**. v. 351, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822026058>>. Acesso em 10 de jul. 2024.

CHIEW, Shing Mei; IBRAHIM, Izni Syahrizal; ARIFFIN, Mohd Azreen Mohd et al. Development and properties of light-transmitting concrete (LTC) – A review. **Journal of Cleaner Production** [online]. v. 284, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124780>>. Acesso em: 2 jan. 2024.

CONDIT, Carl W. **The First Reinforced-Concrete Skyscraper: The Ingalls Building in Cincinnati and Its Place in Structural History**. v. 9, n. 1, 1968. Oxônia: Technology and Culture, 1968.

CORDON, H. C. F., TADINI, F. B., AKIYAMA, G. A., et al. Development of electrically conductive concrete. **Associação Brasileira de Cerâmica** [online]. v. 66, jan. 2020. p. 88–92. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0366-69132020663772775>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

COVALEOV, Georgia Alexandra. Translucent Concrete. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** [online]. v. 362, 2019. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/362/1/012144>>. Acesso em: 22 maio 2024.

DÜNDAR, Özgür. **L-band erbdyum katkili fdber yükselteç analıdđ ve Yapay sdndr ađlari dle kazanç tahmđnd**. Konya, 2007. Dissertação (Mestrado). Universidade Selcuk, Instituto de Ciência e Tecnologia, Konya, 2007.

ELLIOTT, Cecil D. **Technics and Architecture: The Development of Materials and Systems for Building**. Editora: The MIT Press, 1994.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. São Paulo, 2011, 248 p. Tese (Livre Docência na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FILHO, Romildo Dias Toledo; England, George Leslie; Ghavami, Khosrow. Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. v.1, 1997, p.79-88.

FRANÇA, Esdras Poty de. Tecnologia Básica do Concreto. **Apostila Curso Engenharia de Produção Civil**. Disciplina materiais de construção. CEFET. Belo Horizonte, 2004. p. 7-13.

FRANCO, Francisco José Patrício. **Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz de epóxi: Estudo do efeito do tratamento da fibra**. Natal, 2010, 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

GIACOMELLI, Anderson; MANTOVANI, Cristhian. Concreto translúcido: a nova tendência estética na construção. In: 12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2014, Cascavel. **Anais eletrônicos...** Cascavel: Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2014.

GUPTA, Saroj; KANTA RAO, V. V.L; SENGUPTA, Jayabrata. Evaluation of Polyester Fiber Reinforced Concrete for use in Cement Concrete Pavement Works. **Road Materials and Pavement Design** [online] v. 9, 2011. p. . 441-461. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2008.9690127>>. Acesso em: 5 dez. 2023.

HAN, Baoguo; ZHANG, Liqing; OU, Jinping. **Light-Transmitting Concrete**. Cap. 15. Editora: Springer, 2017.

HAWKINS, Michael L. **Uma Generalização da Lei de Snell**. Monterey, 1990, 82 p. Dissertação (Mestrado em ciência em matemática aplicada). Naval Postgraduate School, Monterey, 1990.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. ed. 2. Editora: IBRACON, 2010.

HENRIQUES, Thiago dos S. Optical fibers in cementitious composites (LTCM): Analysis and discussion of their influence when randomly arranged. **Construction and Building Materials** [online]. v. 244, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118406>>. Acesso em: 12 jan. 2024.

HUANG, Baofeng. Light transmission performance of translucent concrete building envelope. **Cogent Engineering: Civil & Environmental Engineering** [online]. v. 7, 2020. p. 2-18. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1756145>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

HULL, D.; CLYNE, T. W. **An introduction to composite materials**. ed. 2. Cambridge: Cambridge solid state science series, 1996.

HUONG, Ong Wei; KASSIM, Umar. Translucent Concrete by Plastics Fibre Optics as A Sustainable Material That Benefit to Residential Building. **Journal of Advanced Research in Engineering Knowledge** [online]. v. 6, 2019. p. 1-6. Disponível em: <www.akademiabaru.com/arek.html>. Acesso em: 6 jan. 2024.

IIISTON, J. M; DOMONE, P. L. J. **Materiais de Construção: sua natureza e comportamento**. ed. 3, London: Taylor & Francis e-Library, 2002.

ILLSTON, J.M.; DOMONE, P.L.J. **Construction materials: their nature and behaviour**. ed. 3. Nova York: Taylor & Francis e-Library, 2001.

JOHNSTON, Colin D. **Fiber-Reinforced Cements and Concretes**. vol. 2. Alberta: Taylor & Francis e-Library, 2010.

KAEFER, Luís Fernando. A evolução do concreto armado. **PEF 5707 Conceção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos**. 1998, São Paulo. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/107251547/pef-5707-concepcao-projeto-e-realizacao-das-estruturas-aspectos-historicos-1998>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

KOBAYASHI ,K; CHO, R. Flexural behaviour of polyethylene fibre reinforced concrete. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**. v. 3, n. 1, 1981.

KOIKE, Yasuhiro; KOIKE, Kotaro . Progress in Low-Loss and High-Bandwidth Plastic Optical Fibers. **Journal of Polymer Science: part b: Polymer Physics** [online]. v. 49, 2011. p. 2–17. Disponível em: <doi.org/10.1002/polb.22170>. Acesso em: 3 dez. 2023.

KUMAR, Awadhesh; AHLAWAT, Rahul. Experimental Study on Light Transmitting Concrete. **International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology** [online]. vol. 4, 2017.

KURIKI, Ken; KOIKE, Yasuhiro. Plastic Optical Fiber Lasers and Amplifiers Containing Lanthanide Complexes. **Faculty of Science and Technology** [online]. v. 102, 2002. p. 2347–2356. Disponível em: <[10.1021/cr010309g](https://doi.org/10.1021/cr010309g)>. Acesso em: 17 abr. 2024.

LANE, Callie. **Race to Refraction: The Repeated Discovery of Snell's Law**. Kansas City, 30 p. Dissertação. University of Missouri, Kansas City.

LARNER, L.J.; SPEAKMAN, K.; MAJUMDAR, A.J. Chemical interactions of glass fibres and cement. **Journal of Non.Crystalline Solids** [online]. v. 20, 1976. p. 43-74.

LEVY, Salomon Mony; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção** (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP). São Paulo: EPUSP, 2002.

LI, Yue; LI, Jiaqi; GUO, Hui. Preparation and study of light transmitting properties of sulfoaluminate cement-based materials. **Materials & Design** [online], v. 83, 2015, p. 185-192. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264127515003718>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

LOPES, Maira Moraes. **Substituição parcial de armadura de flexão por fibras de aço em vigas de concreto**. Rio de Janeiro, 2005, 155 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

LUHAR, Ismail.; LUHAR, Salmabanu.; SAVVA, Pericles et al. Transmitting Concrete: A Review. **Buildings** [online]. ed. 11, v. 480, out. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/buildings11100480>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

LUO, Yanhua; YAN, Binbin, ZHANG, Qijin et al. Fabrication of Polymer Optical Fibre (POF) Gratings. **Sensors** [online]. v. 17, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/s17030511>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

MACDONALD, Emily K; SHAVER, Michael P. Intrinsic high refractive index polymers. **Society of Chemical Industry** [online]. 2014. 9 p. Disponível em: <10.1002/pi.4821>. Acesso em: 2 dez. 2023.

MARTÍNEZ, Eduardo Javier Elizondo; VALERI, Valerio Carlos Andrés; ESPINO, Daniel Jato, et al. Review of porous concrete as multifunctional and sustainable pavement. **Journal of Building Engineering** [online]. v. 27, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100967>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO; Paulo J.M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.674 p.

MILLER, Sabbie A; HORVATH, Arpad; MONTEIRO, Paulo J M. Readily implementable techniques can cut annual CO2 emissions from the production of concrete by over 20%. **Environmental Research Letters** [online]. v 11, n. 7, 2016. Disponível em: <10.1088/1748-9326/11/7/074029>. Acesso em: 2 abr. 2024.

MOMIN, A.A.; KADIRANAİKAR, R.B.; JAGIRDAR, Vakeel.S. et al. Study on Light Transmittance of Concrete Using Optical Fibers and Glass Rods. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering** [online]. 2014. p. 67-72. Disponível em: <www.iosrjournals.org>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MOSALAM, K. Experimental investigation of sunlight permeability of translucent concrete panels as a building envelope. **Journal of Architectural Engineering** [online]. v. 24, 2018. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/7211n64f>>. Acesso em: 29 out. 2023.

MOSALAM, K. M.; CASQUERO-MODREGO, N.. Sunlight Permeability of Translucent Concrete Panels as a Building Envelope. **Journal of Architectural Engineering** [online]. v. 24, n. 3, 2018. Disponível em:<https://escholarship.org/content/qt7211n64f/qt7211n64f_noSplash_03fa304bbcbd330175a0021ac56c9da.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

NAAMAN, Antoine. Engineered Steel Fibers with Optimal Properties for Reinforcement of Cement Composites. **Journal of Advanced Concrete Technology** [online]. v. 1, n. 3, 241-252, agosto 2003. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/1/3/1_3_241/_article>. Acesso em: 24 set. 2023.

NAGABHUSHANAM, M; RAMAKRISHNAN, V.; VONDRAN, Gary. Fatigue Strength of Fibrillated Polypropylene Fiber Reinforced Concretes. **Transporta Tion Research Record** [online]. p. 36-47.

NANNI, Antonio. Properties of aramid-fiber reinforced concrete and sifcon. **Universidad Politecnica de Valencia**. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 2015.

NETO, Bernardo Nunes de Moraes. **Comportamento à punção de lajes lisas em concreto reforçado com fibras de aço sob carregamento simétrico**. Brasília, 2013, 363 p. Dissertação (Doutorado em estruturas e construção civil). Brasília: Universidade de Brasília, 2013.

OBATA, Sasquia Hizuru; MAGALHÃES, Isamar Marchini; ZEQUIN, Fernanda Porrino. Uso do dióxido de titânio e a sustentabilidade nos materiais de Construção civil. In: Health and Environment World Congress, 2012, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: SHEWC, 2012.

OLIVEIRA, Filipe Laranjeira de. **Design-oriented constitutive model for steel fiber reinforced concrete**. Barcelona, 2010, 218 p. Dissertação (Doutorado). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2010.

PERUZZI, Antônio de Paulo. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento portland modificada com látex e adição**. São Carlos, 2002, 111 p. Dissertação (Mestrado em arquitetura). São Carlos: Universidade de São Paulo, 2002.

PRASAD, C.Venkata Siva; REDDY, T. Siva; JOGI, Pavan. An Experimental Investigation on Light Emitting Concrete -Translucent Concrete. **Journal of Xi'an University of Architecture & Technology** [online]. 2020. p. 2747-2756. Disponível em: <10.37896/JXAT12.04/1008>. Acesso em: 17 abr. 2024.

RESTREPO, Laura Margarita Cadavid. **Concreto translúcido: estudo experimental sobre a fabricação de painéis de concreto com fibra ótica e as suas aplicações na arquitetura**. Brasília, 2013, 178 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

RIBEIRO, Carmen Couto. **Materiais de construção civil**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

RIBEIRO, Raquel de Macedo. **Concreto Aparente: Uma Contribuição para a Construção Sustentável**. Belo Horizonte, 2010. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil). Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2010. p. 112.

RODRIGUES, Púlio Penna Firme; MONTARDO, Julio P. A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto, 2022, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Concreto, 2022.

SALIH, Shakir Ahmed; JONI, Hasan Hamodi; MOHAMED, Safaa Adnan. **Effect of plastic optical fiber on some properties of translucent concrete**. v 32, n. 12, 2014. p. 2846-2861.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia**. Belo Horizonte, 2008. Dissertação (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SATISH ADDANKI, I.S. AMIRI, P. Yupapin. Review of optical fibers-introduction and applications in fiber lasers. **Results in Physics** [online]. v. 10, 2018. p. 743-750. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.07.028>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

SAWANT, A. B.; JUGDAR, R. V; SAWANT, S. G. Light Transmitting Concrete by using Optical Fiber. **International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES)** [online]. v. 3, 2014. p. 23-28.

SENIOR, John M. **Optical Fiber Communications Principles and Practice**. ed. 3, 2009. Edinburgh: Pearson Education Limited, 2009.

SOARES, Pedro Miguel Fernandes. **Avaliação do Desempenho de Fibras Óticas de Plástico**. Lisboa, 2012, 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletrônica e Telecomunicações). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012.

SONGA, P.S.; HWANGB, S; SHEUB, B.C. Strength properties of nylon- and polypropylene fiber-reinforced concretes. **Cement and Concrete Research** [online]. v. 35, 2004, p. 1546-1550.

SPIESZ, P.; ROUVAS, S.; BROUWERS, H.J.H. Utilization of waste glass in translucent and photocatalytic concrete. **Construction and Building Materials** [online]. v. 128, 2016. p. 436-448. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.063>>. Acesso em: 14 fev. 2024.

STERLING JR ,Donald J. **Technician's Guide to Fiber Optics**. ed. 4. Clifton Park: Delmar, Cengage Learning, 2004.

TAKEO, Takashi; HATTORI, Hajime. Optical Fiber Sensor for Measuring Refractive Index. **Japanese Journal of Applied Physics** [online]. v. 21, n. 10, 1982. Disponível em: <DOI 10.1143/JJAP.21.1509>. Acesso em: 6 ago. 2023.

TUAUM, Awetehagn; SHITOTE, Stanley; OYAWA, Walter; BIEDEBRHAN, Medhanye. Structural Performance of Translucent Concrete Façade Panels. **Advances In Civil Engineering**. v. 2019, n. 1, 2019. p. 1-10. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1155/2019/4604132>>. Acesso em: 8 jul. 2024.

TUTIKIAN, Bernardo; HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. **Concreto: Ciência e Tecnologia** (p. 415-452). ed. 1, jan. 2011. São Paulo: IbraconChapter: IbraconEditors. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/304628287_Dosagem_dos_concretos_de_cimento_Portland>. Acesso em: 7 fev. 2024.

TUTIKIAN, Bernardo; MARQUETTO, Leandro. Desenvolvimento de blocos translúcidos para utilização na construção civil. **Arquiteturarevista** [online]. v. 11, n. 1, 2015. p. 46-54. Disponível em: <10.4013/arq.2015.111.05>. Acesso em: 7 abr. 2024.

URIBE, Leonardo José Moncayo. **Desenvolvimento e Avaliação de Argamassa Translúcida com Fibra Ótica Polimérica**. Florianópolis, 2010, 174 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

WATANABE, Paula Sumie. **Concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações**. Bauru, 2008. Relatório final de pesquisa (Bolsa de Iniciação Científica FAPESP). Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008. p. 201.

WILLIAMSON, G. R. Response of Fibrous-Reinforced Concrete to Explosive Loading. **Technical Report**. 1966. p. 96.

YOO, Wook Jae; HEO, Ji; JANG, Kyoung et al. Measurements of Spectral Responses for Developing Fiber-Optic pH Sensor. **Optical Review** [online]. v. 18, n. 1, 2011. p. 139-143. Disponível em: <10.1007/s10043-011-0011-5>. Acesso em: 3 dez. 2023.

ZHAN, Pei-min; HE, Zhi-hai. Application of shrinkage reducing admixture in concrete: A review. **Construction and Building Materials** [online]. v. 201, 2019. p. 676-690. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.209>>. Acesso em: 3 fev. 2024.

ZHENG, Zhihong; FELDMAN, Dorel. Synthetic Fibre-Reinforced Concrete. **Progress in Polymer Science** [online]. v. 20, 1995. p. 185-210.

ZIELIŃSKA, Monika; CIESIELSKI, Albert. Analysis of Transparent Concrete as an Innovative Material Used in Civil Engineering. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** [online]. v. 245, 2017. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/245/2/022071>>. Acesso em: 3 abr. 2024.

ZIELIŃSKA, Monika; CIESIELSKI, Albert. Analysis of Transparent Concrete as an Innovative Material Used in Civil Engineering. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** [online]. v. 245, 2017. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/245/2/022071>>. Acesso em: 3 abr. 2024.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados experimentais de intensidade, transmitância luminosa e percentuais passantes dos painéis translúcidos

Neste item estão apresentados os resultados experimentais, dispostos em ordem cronológica de captação, do dia 1 ao 28, para cada face referente aos painéis translúcidos (FOP de Ø3,00mm, Ø1,00mm e Ø0,75mm).

Tabela A. 1 – Resultados experimentais relativos à face A do painel fabricado com FOP de Ø0,75mm

Dia	Horário	Condições Climáticas	Face	Intensidade Luminosa (Lux)	Composição	
					Painel com fibras óticas de Ø0,75mm	
					Transmissão Luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
1°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	4.460	248	6%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.060	170	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		7.500	250	3%
	16h	Chuvoso		118	6	5%
2°	10h	Ensolarado	A	12.280	258	2%
	12h	Nublado		1.450	34	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.420	206	2%
	16h	Nublado		750	20	3%
3°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	8.240	146	2%
	12h	Parcialmente Ensolarado		7.340	285	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.860	182	2%
	16h	Parcialmente Ensolarado		844	20	2%

Continua

4°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	6.040	102	2%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.080	202	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		4.740	102	2%
	16h	Ensolarado		2.200	64	3%
5°	10h	Ensolarado	A	14.280	406	3%
	12h	Ensolarado		18.580	404	2%
	14h	Nublado		3.040	96	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.084	50	5%
6°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	7.060	274	4%
	12h	Ensolarado		21.000	382	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		16.940	416	2%
	16h	Nublado		840	36	4%
7°	10h	Ensolarado	A	14.580	378	3%
	12h	Ensolarado		24.800	660	3%
	14h	Ensolarado		18.800	502	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		668	28	4%
8°	10h	Ensolarado	A	23.200	588	3%
	12h	Ensolarado		28.200	624	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.800	244	3%
	16h	Nublado		374	14	4%

Continua

9°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	4.640	133	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.020	582	7%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.280	438	7%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.048	36	3%
10°	10h	Ensolarado	A	40.000	750	2%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.760	732	8%
	14h	Nublado		858	38	4%
	16h	Ensolarado		1.628	114	7%
11°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	7.540	304	4%
	12h	Ensolarado		20.600	706	3%
	14h	Nublado		544	18	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		414	20	5%
12°	10h	Ensolarado	A	15.800	364	2%
	12h	Ensolarado		22.600	532	2%
	14h	Nublado		916	40	4%
	16h	Ensolarado		2.460	74	3%
13°	10h	Ensolarado	A	22.800	782	3%
	12h	Nublado		4.840	130	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.920	332	5%
	16h	Ensolarado		2.400	92	4%

Continua

14°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	18.600	378	2%
	12h	Parcialmente Ensolarado		20.400	640	3%
	14h	Nublado		1.960	82	4%
	16h	Ensolarado		1.630	54	3%
15°	10h	Ensolarado	A	20.200	486	2%
	12h	Nublado		3.120	106	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		10.700	528	5%
	16h	Ensolarado		2.480	130	5%
16°	10h	Ensolarado	A	21.400	448	2%
	12h	Ensolarado		19.800	818	4%
	14h	Ensolarado		16.220	588	4%
	16h	Ensolarado		4.120	106	3%
17°	10h	Ensolarado	A	18.440	414	2%
	12h	Ensolarado		15.200	658	4%
	14h	Ensolarado		21.400	702	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.816	50	3%
18°	10h	Ensolarado	A	68.400	938	1%
	12h	Ensolarado		16.680	590	4%
	14h	Nublado		5.360	150	3%
	16h	Ensolarado		3.530	144	4%

Continua

19°	10h	Ensolarado	A	28.200	746	3%
	12h	Nublado		7.060	202	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.540	236	4%
	16h	Chuvoso		158	8	5%
20°	10h	Ensolarado	A	36.200	746	2%
	12h	Ensolarado		74.200	1124	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.940	284	5%
	16h	Ensolarado		2.020	80	4%
21°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	8.140	254	3%
	12h	Chuvoso		3.600	156	4%
	14h	Ensolarado		17.980	754	4%
	16h	Ensolarado		1.828	98	5%
22°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	11.840	420	4%
	12h	Nublado		5.220	258	5%
	14h	Nublado		4.980	174	3%
	16h	Nublado		968	44	5%
23°	10h	Ensolarado	A	24.600	512	2%
	12h	Nublado		4.160	170	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.240	378	6%
	16h	Ensolarado		3.160	156	5%

Continua

Conclusão

25°	10h	Ensolarado	A	17.440	624	4%
	12h	Ensolarado		40.800	948	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.440	232	4%
	16h	Chuvoso		154	6	4%
26°	10h	Nublado	A	3.640	112	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		80.600	1248	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.540	190	3%
	16h	Nublado		814	42	5%
27°	10h	Nublado	A	1.438	46	3%
	12h	Nublado		2.860	116	4%
	14h	Ensolarado		18.420	668	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.540	54	4%
28°	10h	Nublado	A	2.180	78	4%
	12h	Nublado		6.240	188	3%
	14h	Nublado		4.080	96	2%
	16h	Ensolarado		2.840	120	4%

Fonte: Autor (2024).

Tabela A. 2 – Resultados experimentais relativos à face B do painel fabricado com FOP de $\varnothing 0,75\text{mm}$

Dia	Horário	Condições Climáticas	Face	Intensidade Luminosa (Lux)	Composição	
					Painel com fibras óticas de $\varnothing 0,75\text{mm}$	
					Transmissão luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
1°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	4.460	240	5%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.060	146	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		7.500	286	4%
	16h	Chuvoso		118	4	3%
2°	10h	Ensolarado	B	12.280	232	2%
	12h	Nublado		1.450	40	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.420	288	3%
	16h	Nublado		750	21	3%
3°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	8.240	90	1%
	12h	Parcialmente Ensolarado		7.340	386	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.860	206	2%
	16h	Parcialmente Ensolarado		844	18	2%
4°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	6.040	124	2%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.080	254	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		4.740	116	2%
	16h	Ensolarado		2.200	68	3%

Continua

5°	10h	Ensolarado	B	14.280	604	4%
	12h	Ensolarado		18.580	548	3%
	14h	Nublado		3.040	98	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.084	44	4%
6°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	7.060	236	3%
	12h	Ensolarado		21.000	505	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		16.940	184	1%
	16h	Nublado		840	30	4%
7°	10h	Ensolarado	B	14.580	464	3%
	12h	Ensolarado		24.800	724	3%
	14h	Ensolarado		18.800	608	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		668	16	2%
8°	10h	Ensolarado	B	23.200	654	3%
	12h	Ensolarado		28.200	718	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.800	214	2%
	16h	Nublado		374	12	3%
9°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	4.640	135	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.020	502	6%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.280	306	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.048	32	3%

Continua

10°	10h	Ensolarado	B	40.000	772	2%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.760	694	8%
	14h	Nublado		858	40	5%
	16h	Ensolarado		1.628	94	6%
11°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	7.540	240	3%
	12h	Ensolarado		20.600	612	3%
	14h	Nublado		544	20	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		414	20	5%
12°	10h	Ensolarado	B	15.800	486	3%
	12h	Ensolarado		22.600	692	3%
	14h	Nublado		916	38	4%
	16h	Ensolarado		2.460	68	3%
13°	10h	Ensolarado	B	22.800	792	3%
	12h	Nublado		4.840	124	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.920	236	3%
	16h	Ensolarado		2.400	90	4%
14°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	18.600	494	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		20.400	512	3%
	14h	Nublado		1.960	78	4%
	16h	Ensolarado		1.630	48	3%

Continua

15°	10h	Ensolarado	B	20.200	584	3%
	12h	Nublado		3.120	114	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		10.700	416	4%
	16h	Ensolarado		2.480	102	4%
16°	10h	Ensolarado	B	21.400	608	3%
	12h	Ensolarado		19.800	624	3%
	14h	Ensolarado		16.220	460	3%
	16h	Ensolarado		4.120	96	2%
17°	10h	Ensolarado	B	18.440	508	3%
	12h	Ensolarado		15.200	584	4%
	14h	Ensolarado		21.400	616	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.816	38	2%
18°	10h	Ensolarado	B	68.400	920	1%
	12h	Ensolarado		16.680	598	4%
	14h	Nublado		5.360	122	2%
	16h	Ensolarado		3.530	116	3%
19°	10h	Ensolarado	B	28.200	728	3%
	12h	Nublado		7.060	160	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.540	192	3%
	16h	Chuvoso		158	6	4%

Continua

20°	10h	Ensolarado	B	36.200	886	2%
	12h	Ensolarado		74.200	1020	1%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.940	200	3%
	16h	Ensolarado		2.020	76	4%
21°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	8.140	234	3%
	12h	Chuvoso		3.600	174	5%
	14h	Ensolarado		17.980	620	3%
	16h	Ensolarado		1.828	84	5%
22°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	11.840	404	3%
	12h	Nublado		5.220	238	5%
	14h	Nublado		4.980	170	3%
	16h	Nublado		968	38	4%
23°	10h	Ensolarado	B	24.600	514	2%
	12h	Nublado		4.160	168	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.240	294	5%
	16h	Ensolarado		3.160	142	4%
24°	10h	Ensolarado	B	18.560	410	2%
	12h	Ensolarado		20.200	516	3%
	14h	Ensolarado		19.280	474	2%
	16h	Ensolarado		2.940	104	4%

Continua

Conclusão

25°	10h	Ensolarado	B	17.440	592	3%
	12h	Ensolarado		40.800	946	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.440	230	4%
	16h	Chuvoso		154	4	3%
26°	10h	Nublado	B	3.640	104	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		80.600	1118	1%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.540	168	3%
	16h	Nublado		814	36	4%
27°	10h	Nublado	B	1.438	44	3%
	12h	Nublado		2.860	112	4%
	14h	Ensolarado		18.420	548	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.540	50	3%
28°	10h	Nublado	B	2.180	76	3%
	12h	Nublado		6.240	172	3%
	14h	Nublado		4.080	94	2%
	16h	Ensolarado		2.840	104	4%

Fonte: Autor (2024).

Tabela A. 3 – Resultados experimentais relativos à face A do painel fabricado com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$

Dia	Horário	Condições Climáticas	Face	Intensidade Luminosa (Lux)	Composição	
					Painel com fibras óticas de $\varnothing 1\text{mm}$	
					Transmissão Luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
1°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	4.460	480	11%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.060	248	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		7.500	248	3%
	16h	Chuvoso		118	6	5%
2°	10h	Ensolarado	A	12.280	422	3%
	12h	Nublado		1.450	36	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.420	280	3%
	16h	Nublado		750	18	2%
3°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	8.240	154	2%
	12h	Parcialmente Ensolarado		7.340	340	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.860	218	2%
	16h	Parcialmente Ensolarado		844	12	1%
4°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	6.040	314	5%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.080	244	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		4.740	96	2%
	16h	Ensolarado		2.200	54	2%

Continua

5°	10h	Ensolarado	A	14.280	574	4%
	12h	Ensolarado		18.580	534	3%
	14h	Nublado		3.040	96	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.084	42	4%
6°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	7.060	414	6%
	12h	Ensolarado		21.000	480	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		16.940	212	1%
	16h	Nublado		840	30	4%
7°	10h	Ensolarado	A	14.580	554	4%
	12h	Ensolarado		24.800	604	2%
	14h	Ensolarado		18.800	586	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		668	18	3%
8°	10h	Ensolarado	A	23.200	548	2%
	12h	Ensolarado		28.200	604	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.800	264	3%
	16h	Nublado		374	20	5%
9°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	4.640	156	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.020	448	6%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.280	225	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.048	25	2%

Continua

10°	10h	Ensolarado	A	40.000	680	2%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.760	472	5%
	14h	Nublado		858	32	4%
	16h	Ensolarado		1.628	84	5%
11°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	7.540	306	4%
	12h	Ensolarado		20.600	556	3%
	14h	Nublado		544	20	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		414	22	5%
12°	10h	Ensolarado	A	15.800	608	4%
	12h	Ensolarado		22.600	684	3%
	14h	Nublado		916	36	4%
	16h	Ensolarado		2.460	78	3%
13°	10h	Ensolarado	A	22.800	556	2%
	12h	Nublado		4.840	98	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.920	200	3%
	16h	Ensolarado		2.400	74	3%
14°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	18.600	512	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		20.400	500	2%
	14h	Nublado		1.960	92	5%
	16h	Ensolarado		1.630	48	3%

Continua

15°	10h	Ensolarado	A	20.200	612	3%
	12h	Nublado		3.120	94	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		10.700	494	5%
	16h	Ensolarado		2.480	96	4%
16°	10h	Ensolarado	A	21.400	550	3%
	12h	Ensolarado		19.800	550	3%
	14h	Ensolarado		16.220	446	3%
	16h	Ensolarado		4.120	114	3%
17°	10h	Ensolarado	A	18.440	488	3%
	12h	Ensolarado		15.200	524	3%
	14h	Ensolarado		21.400	648	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.816	38	2%
18°	10h	Ensolarado	A	68.400	884	1%
	12h	Ensolarado		16.680	494	3%
	14h	Nublado		5.360	112	2%
	16h	Ensolarado		3.530	110	3%
19°	10h	Ensolarado	A	28.200	732	3%
	12h	Nublado		7.060	146	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.540	178	3%
	16h	Chuvoso		158	4	3%

Continua

20°	10h	Ensolarado	A	36.200	728	2%
	12h	Ensolarado		74.200	1002	1%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.940	194	3%
	16h	Ensolarado		2.020	60	3%
21°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	8.140	208	3%
	12h	Chuvoso		3.600	134	4%
	14h	Ensolarado		17.980	634	4%
	16h	Ensolarado		1.828	74	4%
22°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	11.840	524	4%
	12h	Nublado		5.220	232	4%
	14h	Nublado		4.980	160	3%
	16h	Nublado		968	34	4%
23°	10h	Ensolarado	A	24.600	582	2%
	12h	Nublado		4.160	146	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.240	268	4%
	16h	Ensolarado		3.160	134	4%
24°	10h	Ensolarado	A	18.560	404	2%
	12h	Ensolarado		20.200	490	2%
	14h	Ensolarado		19.280	432	2%
	16h	Ensolarado		2.940	102	3%

Continua

Conclusão

25°	10h	Ensolarado	A	17.440	568	3%
	12h	Ensolarado		40.800	874	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.440	212	4%
	16h	Chuvoso		154	4	3%
26°	10h	Nublado	A	3.640	100	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		80.600	1088	1%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.540	148	2%
	16h	Nublado		814	32	4%
27°	10h	Nublado	A	1.438	42	3%
	12h	Nublado		2.860	110	4%
	14h	Ensolarado		18.420	484	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.540	48	3%
28°	10h	Nublado	A	2.180	84	4%
	12h	Nublado		6.240	168	3%
	14h	Nublado		4.080	80	2%
	16h	Ensolarado		2.840	102	4%

Fonte: Autor (2024).

Tabela A. 4 – Resultados experimentais relativos à face B do painel fabricado com FOP de $\varnothing 1,00\text{mm}$

Dia	Horário	Condições Climáticas	Face	Intensidade Luminosa (Lux)	Composição	
					Painel com fibras óticas de $\varnothing 1\text{mm}$	
					Transmissão luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
1°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	4.460	428	10%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.060	594	12%
	14h	Parcialmente Ensolarado		7.500	506	7%
	16h	Chuvoso		118	6	5%
2°	10h	Ensolarado	B	12.280	360	3%
	12h	Nublado		1.450	56	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.420	390	5%
	16h	Nublado		750	40	5%
3°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	8.240	302	4%
	12h	Parcialmente Ensolarado		7.340	378	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.860	132	1%
	16h	Parcialmente Ensolarado		844	18	2%
4°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	6.040	420	7%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.080	432	9%
	14h	Parcialmente Ensolarado		4.740	164	3%
	16h	Ensolarado		2.200	102	5%

Continua

5°	10h	Ensolarado	B	14.280	832	6%
	12h	Ensolarado		18.580	954	5%
	14h	Nublado		3.040	146	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.084	64	6%
6°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	7.060	424	6%
	12h	Ensolarado		21.000	904	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		16.940	490	3%
	16h	Nublado		840	48	6%
7°	10h	Ensolarado	B	14.580	722	5%
	12h	Ensolarado		24.800	908	4%
	14h	Ensolarado		18.800	980	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		668	38	6%
8°	10h	Ensolarado	B	23.200	794	3%
	12h	Ensolarado		28.200	918	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.800	628	7%
	16h	Nublado		374	32	9%
9°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	4.640	246	5%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.020	774	10%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.280	442	7%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.048	40	4%

Continua

10°	10h	Ensolarado	B	40.000	1254	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.760	922	11%
	14h	Nublado		858	44	5%
	16h	Ensolarado		1.628	144	9%
11°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	7.540	580	8%
	12h	Ensolarado		20.600	1118	5%
	14h	Nublado		544	36	7%
	16h	Parcialmente Ensolarado		414	32	8%
12°	10h	Ensolarado	B	15.800	674	4%
	12h	Ensolarado		22.600	818	4%
	14h	Nublado		916	64	7%
	16h	Ensolarado		2.460	140	6%
13°	10h	Ensolarado	B	22.800	942	4%
	12h	Nublado		4.840	168	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.920	374	5%
	16h	Ensolarado		2.400	140	6%
14°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	18.600	570	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		20.400	832	4%
	14h	Nublado		1.960	110	6%
	16h	Ensolarado		1.630	76	5%

Continua

15°	10h	Ensolarado	B	20.200	750	4%
	12h	Nublado		3.120	154	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		10.700	670	6%
	16h	Ensolarado		2.480	160	6%
16°	10h	Ensolarado	B	21.400	764	4%
	12h	Ensolarado		19.800	984	5%
	14h	Ensolarado		16.220	658	4%
	16h	Ensolarado		4.120	158	4%
17°	10h	Ensolarado	B	18.440	658	4%
	12h	Ensolarado		15.200	928	6%
	14h	Ensolarado		21.400	970	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.816	78	4%
18°	10h	Ensolarado	B	68.400	1442	2%
	12h	Ensolarado		16.680	722	4%
	14h	Nublado		5.360	210	4%
	16h	Ensolarado		3.530	198	6%
19°	10h	Ensolarado	B	28.200	1040	4%
	12h	Nublado		7.060	260	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.540	312	6%
	16h	Chuvoso		158	10	6%

Continua

20°	10h	Ensolarado	B	36.200	1090	3%
	12h	Ensolarado		74.200	1648	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.940	320	5%
	16h	Ensolarado		2.020	120	6%
21°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	8.140	358	4%
	12h	Chuvoso		3.600	204	6%
	14h	Ensolarado		17.980	900	5%
	16h	Ensolarado		1.828	106	6%
22°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	11.840	714	6%
	12h	Nublado		5.220	328	6%
	14h	Nublado		4.980	294	6%
	16h	Nublado		968	58	6%
23°	10h	Ensolarado	B	24.600	880	4%
	12h	Nublado		4.160	244	6%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.240	448	7%
	16h	Ensolarado		3.160	212	7%
24°	10h	Ensolarado	B	18.560	738	4%
	12h	Ensolarado		20.200	886	4%
	14h	Ensolarado		19.280	820	4%
	16h	Ensolarado		2.940	200	7%

Continua

Conclusão

25°	10h	Ensolarado	B	17.440	742	4%
	12h	Ensolarado		40.800	1188	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.440	404	7%
	16h	Chuvoso		154	10	6%
26°	10h	Nublado	B	3.640	194	5%
	12h	Parcialmente Ensolarado		80.600	1658	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.540	312	5%
	16h	Nublado		814	48	6%
27°	10h	Nublado	B	1.438	68	5%
	12h	Nublado		2.860	148	5%
	14h	Ensolarado		18.420	780	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.540	96	6%
28°	10h	Nublado	B	2.180	110	5%
	12h	Nublado		6.240	284	5%
	14h	Nublado		4.080	148	4%
	16h	Ensolarado		2.840	188	7%

Fonte: Autor (2024).

Tabela A. 5 – Resultados experimentais relativos à face A do painel fabricado com FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$

Dia	Horário	Condições Climáticas	Face	Intensidade luminosa (Lux)	Composição	
					Painel com fibras óticas de $\varnothing 3\text{mm}$	
					Transmissão luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
1°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	4.460	384	9%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.060	468	9%
	14h	Parcialmente Ensolarado		7.500	332	4%
	16h	Chuvoso		118	6	5%
2°	10h	Ensolarado	A	12.280	688	6%
	12h	Nublado		1.450	68	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.420	374	4%
	16h	Nublado		750	28	4%
3°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	8.240	354	4%
	12h	Parcialmente Ensolarado		7.340	448	6%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.860	478	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		844	22	3%
4°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	6.040	664	11%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.080	404	8%
	14h	Parcialmente Ensolarado		4.740	186	4%
	16h	Ensolarado		2.200	98	4%

Continua

5°	10h	Ensolarado	A	14.280	958	7%
	12h	Ensolarado		18.580	882	5%
	14h	Nublado		3.040	150	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.084	58	5%
6°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	7.060	648	9%
	12h	Ensolarado		21.000	690	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		16.940	400	2%
	16h	Nublado		840	56	7%
7°	10h	Ensolarado	A	14.580	840	6%
	12h	Ensolarado		24.800	1028	4%
	14h	Ensolarado		18.800	998	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		668	44	7%
8°	10h	Ensolarado	A	23.200	1080	5%
	12h	Ensolarado		28.200	1088	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.800	602	7%
	16h	Nublado		374	38	10%
9°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	4.640	332	7%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.020	612	8%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.280	446	7%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.048	38	4%

Continua

10°	10h	Ensolarado	A	40.000	1106	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.760	718	8%
	14h	Nublado		858	54	6%
	16h	Ensolarado		1.628	136	8%
11°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	7.540	540	7%
	12h	Ensolarado		20.600	864	4%
	14h	Nublado		544	28	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		414	24	6%
12°	10h	Ensolarado	A	15.800	808	5%
	12h	Ensolarado		22.600	1040	5%
	14h	Nublado		916	64	7%
	16h	Ensolarado		2.460	108	4%
13°	10h	Ensolarado	A	22.800	964	4%
	12h	Nublado		4.840	190	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.920	320	5%
	16h	Ensolarado		2.400	110	5%
14°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	18.600	792	4%
	12h	Parcialmente Ensolarado		20.400	724	4%
	14h	Nublado		1.960	108	6%
	16h	Ensolarado		1.630	56	3%

Continua

15°	10h	Ensolarado	A	20.200	942	5%
	12h	Nublado		3.120	158	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		10.700	520	5%
	16h	Ensolarado		2.480	140	6%
16°	10h	Ensolarado	A	21.400	924	4%
	12h	Ensolarado		19.800	724	4%
	14h	Ensolarado		16.220	780	5%
	16h	Ensolarado		4.120	142	3%
17°	10h	Ensolarado	A	18.440	768	4%
	12h	Ensolarado		15.200	648	4%
	14h	Ensolarado		21.400	964	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.816	60	3%
18°	10h	Ensolarado	A	68.400	1264	2%
	12h	Ensolarado		16.680	690	4%
	14h	Nublado		5.360	180	3%
	16h	Ensolarado		3.530	158	4%
19°	10h	Ensolarado	A	28.200	1122	4%
	12h	Nublado		7.060	190	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.540	240	4%
	16h	Chuvoso		158	10	6%

Continua

20°	10h	Ensolarado	A	36.200	1286	4%
	12h	Ensolarado		74.200	1228	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.940	248	4%
	16h	Ensolarado		2.020	94	5%
21°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	8.140	354	4%
	12h	Chuvoso		3.600	164	5%
	14h	Ensolarado		17.980	884	5%
	16h	Ensolarado		1.828	94	5%
22°	10h	Parcialmente Ensolarado	A	11.840	814	7%
	12h	Nublado		5.220	280	5%
	14h	Nublado		4.980	244	5%
	16h	Nublado		968	48	5%
23°	10h	Ensolarado	A	24.600	908	4%
	12h	Nublado		4.160	220	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.240	388	6%
	16h	Ensolarado		3.160	190	6%
24°	10h	Ensolarado	A	18.560	680	4%
	12h	Ensolarado		20.200	760	4%
	14h	Ensolarado		19.280	724	4%
	16h	Ensolarado		2.940	146	5%

Continua

Conclusão

25°	10h	Ensolarado	A	17.440	870	5%
	12h	Ensolarado		40.800	1060	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.440	328	6%
	16h	Chuvoso		154	8	5%
26°	10h	Nublado	A	3.640	168	5%
	12h	Parcialmente Ensolarado		80.600	1408	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.540	274	4%
	16h	Nublado		814	44	5%
27°	10h	Nublado	A	1.438	60	4%
	12h	Nublado		2.860	192	7%
	14h	Ensolarado		18.420	674	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.540	80	5%
28°	10h	Nublado	A	2.180	140	6%
	12h	Nublado		6.240	224	4%
	14h	Nublado		4.080	144	4%
	16h	Ensolarado		2.840	154	5%

Fonte: Autor (2024).

Tabela A. 6 – Resultados experimentais relativos à face B do painel fabricado com FOP de $\varnothing 3,00\text{mm}$

Dia	Horário	Condições Climáticas	Face	Intensidade luminosa (Lux)	Composição	
					Painel com fibras óticas de $\varnothing 3\text{mm}$	
					Transmissão luminosa (Lux)	Percentual Passante (%)
1°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	4.460	622	14%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.060	360	7%
	14h	Parcialmente Ensolarado		7.500	254	3%
	16h	Chuvoso		118	6	5%
2°	10h	Ensolarado	B	12.280	446	4%
	12h	Nublado		1.450	60	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.420	280	3%
	16h	Nublado		750	32	4%
3°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	8.240	214	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		7.340	332	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.860	346	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		844	18	2%
4°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	6.040	318	5%
	12h	Parcialmente Ensolarado		5.080	390	8%
	14h	Parcialmente Ensolarado		4.740	148	3%
	16h	Ensolarado		2.200	78	4%

Continua

5°	10h	Ensolarado	B	14.280	898	6%
	12h	Ensolarado		18.580	880	5%
	14h	Nublado		3.040	134	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.084	28	3%
6°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	7.060	630	9%
	12h	Ensolarado		21.000	684	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		16.940	295	2%
	16h	Nublado		840	50	6%
7°	10h	Ensolarado	B	14.580	611	4%
	12h	Ensolarado		24.800	1014	4%
	14h	Ensolarado		18.800	984	5%
	16h	Parcialmente Ensolarado		668	34	5%
8°	10h	Ensolarado	B	23.200	1048	5%
	12h	Ensolarado		28.200	1012	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		8.800	490	6%
	16h	Nublado		374	32	9%
9°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	4.640	330	7%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.020	475	6%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.280	359	6%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.048	32	3%

Continua

10°	10h	Ensolarado	B	40.000	1102	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		8.760	672	8%
	14h	Nublado		858	50	6%
	16h	Ensolarado		1.628	122	7%
11°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	7.540	508	7%
	12h	Ensolarado		20.600	762	4%
	14h	Nublado		544	22	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		414	22	5%
12°	10h	Ensolarado	B	15.800	640	4%
	12h	Ensolarado		22.600	810	4%
	14h	Nublado		916	56	6%
	16h	Ensolarado		2.460	98	4%
13°	10h	Ensolarado	B	22.800	930	4%
	12h	Nublado		4.840	182	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.920	312	5%
	16h	Ensolarado		2.400	102	4%
14°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	18.600	608	3%
	12h	Parcialmente Ensolarado		20.400	634	3%
	14h	Nublado		1.960	90	5%
	16h	Ensolarado		1.630	48	3%

Continua

15°	10h	Ensolarado	B	20.200	724	4%
	12h	Nublado		3.120	124	4%
	14h	Parcialmente Ensolarado		10.700	462	4%
	16h	Ensolarado		2.480	132	5%
16°	10h	Ensolarado	B	21.400	802	4%
	12h	Ensolarado		19.800	710	4%
	14h	Ensolarado		16.220	724	4%
	16h	Ensolarado		4.120	138	3%
17°	10h	Ensolarado	B	18.440	602	3%
	12h	Ensolarado		15.200	600	4%
	14h	Ensolarado		21.400	832	4%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.816	54	3%
18°	10h	Ensolarado	B	68.400	1248	2%
	12h	Ensolarado		16.680	638	4%
	14h	Nublado		5.360	140	3%
	16h	Ensolarado		3.530	120	3%
19°	10h	Ensolarado	B	28.200	1024	4%
	12h	Nublado		7.060	188	3%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.540	224	4%
	16h	Chuvoso		158	8	5%

Continua

20°	10h	Ensolarado	B	36.200	1128	3%
	12h	Ensolarado		74.200	1196	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.940	242	4%
	16h	Ensolarado		2.020	92	5%
21°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	8.140	350	4%
	12h	Chuvoso		3.600	162	5%
	14h	Ensolarado		17.980	768	4%
	16h	Ensolarado		1.828	92	5%
22°	10h	Parcialmente Ensolarado	B	11.840	812	7%
	12h	Nublado		5.220	274	5%
	14h	Nublado		4.980	224	4%
	16h	Nublado		968	46	5%
23°	10h	Ensolarado	B	24.600	858	3%
	12h	Nublado		4.160	212	5%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.240	338	5%
	16h	Ensolarado		3.160	186	6%
24°	10h	Ensolarado	B	18.560	624	3%
	12h	Ensolarado		20.200	746	4%
	14h	Ensolarado		19.280	716	4%
	16h	Ensolarado		2.940	142	5%

Continua

Conclusão

25°	10h	Ensolarado	B	17.440	824	5%
	12h	Ensolarado		40.800	1018	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		5.440	302	6%
	16h	Chuvoso		154	6	4%
26°	10h	Nublado	B	3.640	156	4%
	12h	Parcialmente Ensolarado		80.600	1402	2%
	14h	Parcialmente Ensolarado		6.540	264	4%
	16h	Nublado		814	42	5%
27°	10h	Nublado	B	1.438	58	4%
	12h	Nublado		2.860	186	7%
	14h	Ensolarado		18.420	624	3%
	16h	Parcialmente Ensolarado		1.540	74	5%
28°	10h	Nublado	B	2.180	134	6%
	12h	Nublado		6.240	218	3%
	14h	Nublado		4.080	142	3%
	16h	Ensolarado		2.840	150	5%

Fonte: Autor (2024).