

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

PEDRO MATIAZZI DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RETRAÇÃO PLÁSTICA E FISSURAÇÃO DE
PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO COM FIBRAS DE POLIPROPILENO (PP)
EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CURA**

São Leopoldo

2024

PEDRO MATIAZZI DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RETRAÇÃO PLÁSTICA E FISSURAÇÃO DE
PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO COM FIBRAS DE POLIPROPILENO (PP)
EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CURA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian

Coorientador: Prof. Dr. Hinoel Zamis Ehrenbring

São Leopoldo

2024

S586a

Silva, Pedro Matiazzi da.

Avaliação do potencial de retração plástica e fissuração de pisos industriais de concreto reforçado com fibras de polipropileno (CRF-PP) em diferentes condições de cura / por Pedro Matiazzi da Silva. – São Leopoldo, 2024.

99 f. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, RS, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian;
Coorientação: Prof. Dr. Hinoel Zamis Ehrenbring, Escola Politécnica.

1.Concreto. 2.Concreto – Aditivos. 3.Concreto – Mistura. 4.Agregados (Materiais de construção). 5.Pisos de concreto. 6.Polipropileno. 7.Resistência de materiais. I.Tutikian, Bernardo Fonseca. II.Ehrenbring, Hinoel Zamis. III.Título.

CDU 691.322
692.522

Catálogo na publicação:
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

PEDRO MATIAZZI DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RETRAÇÃO PLÁSTICA E FISSURAÇÃO DE
PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO COM FIBRAS DE POLIPROPILENO (PP)
EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CURA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Aprovado em 30 de Outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian (Orientador) - UNISINOS

Prof. Dr. Hinoel Zamis Ehrenbring (Presidente da Banca Coorientador) - UNISINOS

Profa. Dra. Alessandra Teribele (Avaliadora) - UNISINOS

Prof. Dr. Uziel Cavalcanti de Medeiros Quinino (Avaliador) - UNISINOS

Me. Fábio André Viecili (Avaliador) - BUILDER

Dedico esse trabalho à Deus,
que me dá forças para atingir meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Bárbara, que me apoiou em todos os momentos, com companheirismo, paciência e sempre esteve ao meu lado, amo você.

Ao meu pai, Valdir, um exemplo pra mim, que me ensinou como devo ter foco e determinação em todas as etapas da vida. À minha mãe, pela educação, conversas e sensibilidade, e por todo amor depositado em tudo que faz. À minha irmã pela amizade e apoio. Por todo apoio que me deram em toda a minha carreira profissional, sem vocês não seria possível.

Agradeço aos meus orientadores prof. Bernardo Fonseca Tutikian e prof. Hinoel Zamis Ehrenbring, pela orientação, conhecimento e toda amizade construída nesse período, me inspiro em vocês.

A todos meus familiares, amigos, e professores, que de alguma forma me apoiaram durante toda a minha jornada profissional, meu muito muito obrigado.

“A persistência é o menor caminho para o êxito.”

Charles Chaplin

RESUMO

O concreto é amplamente utilizado na construção civil devido ao seu custo e versatilidade. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados para evitar o surgimento de manifestações patológicas, como, por exemplo, a fissuração por retração plástica, ocasionada pela perda de água por evaporação. Para mitigar esse problema, a cura é essencial, destacando-se a cura úmida e a cura química. Outra possibilidade é a utilização de fibras de polipropileno, amplamente aplicadas em pisos industriais. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de fissuração por retração plástica em pisos industriais de concretos com e sem fibras de polipropileno (PP), com e sem cura úmida, bem como a aplicação de cura química. Os teores de adição das fibras de PP foram de 0,07%, 0,10% e 0,13%. Foram produzidas placas em escala real para a análise da fissuração por retração plástica, simulando as condições de pisos industriais. Para a análise do concreto de referência e do compósito, foram realizados ensaios no estado fresco desses materiais, analisando-se a consistência pelo abatimento do tronco de cone, o fator de exsudação e a densidade dos materiais. Em relação aos ensaios no estado endurecido, além de analisar o potencial de fissuração nas placas, verificaram-se a resistência mecânica à compressão, a resistência à tração (medida por compressão diametral) e o módulo de elasticidade. No estado fresco, os ensaios indicaram perda de abatimento à medida que se aumentava o teor de fibras. Já a exsudação reduziu com o aumento do teor de fibras. As resistências mecânicas foram reduzidas com o aumento da proporção de fibras. Em relação às fissurações, houve uma redução de cerca de 94% no compósito com 0,10% de fibras sem cura em relação ao concreto de referência sem cura. Porém, o único material que não apresentou nenhum tipo de fissura foi o com cura química, demonstrando que essa solução é eficaz. Assim, conclui-se que as fibras de polipropileno ajudam a mitigar as fissuras por retração plástica, mas não as eliminam por completo.

Palavras-chave: placas; compósitos; cura química.

ABSTRACT

Concrete is widely used in civil construction due to its cost and versatility. However, some precautions must be taken to avoid pathological issues, such as plastic shrinkage cracking, caused by water loss through evaporation. To mitigate this problem, curing is essential, with wet curing and chemical curing standing out. Another possibility is the use of polypropylene fibers, which are widely applied in industrial floors. Thus, this study aimed to evaluate the potential for plastic shrinkage cracking in industrial concrete floors with and without polypropylene (PP) fibers, with and without wet curing, as well as the application of chemical curing. The PP fiber contents used were 0.07%, 0.10%, and 0.13%. Real-scale plates were produced to analyze plastic shrinkage cracking, simulating industrial floor conditions. For the analysis of the reference concrete and the composite, tests were carried out on the fresh state of these materials, analyzing the consistency through the slump test, the bleeding factor, and the material density. Regarding the tests on the hardened state, in addition to analyzing the cracking potential in the plates, compressive strength, tensile strength (measured by splitting tensile strength), and modulus of elasticity were also evaluated. In the fresh state, the tests indicated a loss of slump as the fiber content increased. Additionally, bleeding was reduced as the fiber content increased. Mechanical strengths were reduced with the increase in fiber proportion. Regarding cracking, there was a reduction of about 94% in the composite with 0.10% fibers without curing compared to the reference concrete without curing. However, the only material that showed no cracks was the one with chemical curing, proving that this solution is effective. Thus, it is concluded that polypropylene fibers help mitigate plastic shrinkage cracking, but they do not eliminate it completely.

Key words: plates; composites; chemical curing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dispositivo de mensuração das deformações pelo efeito da retração plástica	28
Figura 2 – Câmara ambiental instrumentada para a realização de ensaios de retração plástica	29
Figura 3 – Esquema do ensaio do anel	30
Figura 4 – Seção transversal da forma para moldagem das placas para o ensaio desenvolvido por Kraai (1985).....	31
Figura 5 – Painel com seções metálicas em formato de “U” para restrição interna – Barluenga e Hernandez (2007)	32
Figura 6 – Câmara climática para ensaio de retração	33
Figura 7 – Aspersão de cura química em placa de concreto	35
Figura 8 – Ábaco de Petrucci para a obtenção da taxa de evaporação de água do concreto.....	36
Figura 9 – Esquema de concentração de tensões para um concreto sem (a) e com reforço de fibra (b)	38
Figura 10 – Diagrama de tensão por deformação elástica de matriz e fibras de alto e baixo módulo de elasticidade trabalhando em conjunto	39
Figura 11 – Fibras de aço soltas e coladas	40
Figura 12 – Fibras de polipropileno	41
Figura 13 – Feixes de macrofibras de polipropileno	41
Figura 14 – Sistema piso industrial	47
Figura 15 – Fluxograma do programa experimental da pesquisa	51
Figura 16 – Fibra de Polipropileno	57
Figura 17 – Sequência de materiais na mistura	59
Figura 18 – Recipiente para ensaio de exsudação	61
Figura 19 – Chapas metálicas utilizadas nas placas para forçar a retração	62
Figura 20 – Placa pronta para execução do concreto	63
Figura 21 – Separação dos materiais para elaboração do concreto	64
Figura 22 – Condições das placas de concreto.....	66
Figura 23 – Placa concreto referência.....	67
Figura 24 – Placa de CRF 1,2.....	67
Figura 25 – Diferentes exsudações nos concretos.....	70

Figura 26 – Concreto referencial sem cura	75
Figura 27 – Concreto referência com cura úmida	76
Figura 28 – Compósito com CRF 0,6 sem cura	77
Figura 29 – Compósito CRF 0,6 com cura	78
Figura 30 – Compósito CRF 0,9 sem cura	79
Figura 31 – Compósito CRF 0,9 com cura	80
Figura 32 – Compósito CRF 1,2 sem cura	81
Figura 33 – Compósito CRF 1,2 com cura	82
Figura 34 – Fissuras de 1mm encontrada em placas de concreto	83
Figura 35 – Dessecação superficial por retração plástica	84
Figura 36 – Concreto Referência com cura química	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Mescla granulométrica de areia.....	54
Gráfico 2 – Faixa granulométrica utilizada de agregado graúdo	56
Gráfico 3 – Quantidade de fissuras por placas.....	86
Gráfico 4 – Comprimento de fissuras por metro linear nas diferentes placas	87
Gráfico 5 – Índice de fissuração por m/mm nas diferentes placas	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos rompimentos em função da espessura das aberturas	23
Tabela 2 – Condições de teste desenvolvido por Paul Kraai (1985)	31
Tabela 3 – Valores de resistência mecânica, módulo de elasticidade e dimensão para diversos tipos de fibras e matrizes	42
Tabela 4 – Comparação de números de fissuras entre concreto referência e fibras de polipropileno através do ensaio do anel	45
Tabela 5 – Comparação entre taxa de redução de fissuração para placas de 300 x 300 mm com diferentes proporções de fibras de polipropileno para concreto autoadensável	45
Tabela 6 – Classes de consistências do concreto	48
Tabela 7 – Programa experimental para caracterização mecânica dos compósitos	52
Tabela 8 – Composição granulométrica de um agregado miúdo	53
Tabela 9 – Caracterização dos agregados	55
Tabela 10 – Composição granulométrica Brita 6,3mm	55
Tabela 11 – Composição granulométrica Brita 12,5mm	55
Tabela 12 – Porporção de fibras em porcentagem	57
Tabela 13 – Especificação fibra de polipropileno (PP)	57
Tabela 14 – Traço da matriz cimentícia utilizada para a produção das placas	59
Tabela 15 – Condições de teste a desenvolver	63
Tabela 16 – Resultados obtidos por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa	65
Tabela 17 – Condições ambientais de exposição das placas	65
Tabela 18 – Condições de aplicação das placas de concreto	68
Tabela 19 – Resultados obtidos pelos concretos no estado fresco	69
Tabela 20 – Resistência mecânica à compressão	71
Tabela 21 – Resistência mecânica à tração por compressão diametral	72
Tabela 22 – Módulo de Elasticidade segundo ABNT NBR 6118 (2024)	73
Tabela 23 – Resultados REF sem cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa	74
Tabela 24 – Resultados REF com cura úmida, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa	75

Tabela 25 – Resultados CRF 0,6 sem cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa.....	76
Tabela 26 – Resultados CRF 0,6 com cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa.....	77
Tabela 27 – Resultados CRF 0,9 sem cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa.....	78
Tabela 28 – Resultados CRF 0,9 com cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa.....	79
Tabela 29 – Resultados CRF 1,2 sem cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa.....	80
Tabela 30 – Resultados CRF 1,2 com cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa.....	81
Tabela 31 – Resultados CRF com cura química, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa.....	84
Tabela 32 – Quantidade e comprimento de fissuras nas diferentes placas com diferentes proporções de fibras de polipropileno	86

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Água/ Cimento
ACI	American Concrete Institute
A/F	Água/Finos
AR	Álcali-resistente
CCV	Concreto Convencional
CP	Cimento Portland
CRF	Concreto Reforçado com Fibras
CRF 0,6	Concreto Reforçado com 600g de Microfibras de Polipropileno
CRF 0,9	Concreto Reforçado com 900g de Microfibras de Polipropileno
CRF 1,2	Concreto Reforçado com 1200g de Microfibras de Polipropileno
CRFPP	Concreto Reforçado com Fibras de Polipropileno
ECC	Engineered Cementitious Composites
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NM	Norma Mercosul
PCA	The Portland Cement Association
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de vinila
REF	Concreto referência
VU	Vida útil
ZTI	Zona de transição interfacial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	20
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1 Retração em Concretos	22
2.1.1 Tecnologia do Concreto	22
2.1.2 Fatores que Influenciam na Retração	24
2.1.3 Consequências da Retração	26
2.1.4 Ensaios de retração restringida no concreto	27
2.1.5 Ensaio de retração livre no concreto	32
2.1.6 Condições de Cura para o concreto	33
2.2 Concreto reforçado com fibras	36
2.2.1 Pesquisas sobre eficiência das fibras em relação a retração	44
2.3 Piso Industrial	46
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	50
3.1 Estratégia de pesquisa	50
3.2 Seleção de materiais	52
3.2.1 Cimento	53
3.2.2 Agregado miúdo	53
3.2.3 Agregado graúdo.....	54
3.2.4 Fibras de polipropileno (PP)	56
3.2.5 Aditivo químico	58
3.3 Mistura e proporção dos materiais	58
3.4 Ensaios de caracterização no estado fresco	60
3.4.1 Abatimento pelo método de tronco de cone	60
3.4.2 Taxa de exsudação	60
3.4.3 Massa específica do concreto	61
3.5 Moldagem, adensamento e cura dos corpos de prova	61
3.6 Ensaio de retração restringida pelo método de placas	62

3.7 Condições de cura	65
3.8 Concretagem e condições	66
4 RESULTADOS.....	69
4.1 Etapa I.....	69
4.2 Etapa II.....	71
4.3 Etapa III.....	74
5 CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, diante do grande investimento em projetos de infraestrutura, destaca-se o uso do concreto, sendo o material de construção mais utilizado no mundo (PEREIRA, 2018; LOPES; PEÇANHA; CASTRO, 2020). Segundo a ABNT NBR 6118:2024, as estruturas de concreto necessitam ser projetadas e executadas respeitando as condições do local para que estas se mantenham conservadas por longos períodos sem intervenções significativas.

As características que justificam sua larga aplicação são, por exemplo, a possibilidade de assumir diferentes formas geométricas, uma vez que o concreto convencional possui uma fase plástica e, posteriormente, endurecida. Outra importante característica é a disponibilidade de seus componentes no mercado, viabilizando a redução do custo desse produto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Após o século XIX, a produção de concreto foi sendo aprimorada, viabilizando altas resistências, trabalhabilidade e características relacionadas à durabilidade, entre outras (SCARI; SANTOS, 2021). Segundo Neville (2016), o concreto para ser considerado durável, é necessário que resista aos agentes de deterioração que atuam sobre ele. Estes agentes variam de acordo com o ambiente. Cabe salientar que o fato de o concreto ser um material durável, não significa que ele tenha vida infinita.

A durabilidade projetada pode não ser atingida por consequência de fatores externos e internos do concreto. As ações que podem atingir o concreto são divididas em: física, mecânica ou química. Sendo os danos mecânicos causados por impacto (capacidade de o elemento suportar golpes repetidos e absorver energia), abrasão (desgaste que ocorre devido ao atrito por arraste), erosão (ação de materiais abrasivos carregados pela água) e cavitação (danos ao concreto em água corrente). O ataque químico pode ser álcali-silica, álcali-carbonato, cloretos, sulfatos e dióxido de carbono. Já as causas físicas têm-se os efeitos de altas temperaturas, diferença entre os coeficientes de dilatação térmica do agregado e da pasta de cimento endurecida (NEVILLE, 2016).

Diante das vantagens de utilização do concreto, uma das importantes aplicações é em pisos industriais. A utilização desse material começou na década de 1920 nos Estados Unidos, mas sem parâmetros de dimensionamento. A evolução dos pisos industriais e do concreto fez com que aumentassem o rigor para projetos com critérios de dimensionamento. (RODRIGUES, 2022).

Segundo o mesmo autor, possuem alguns problemas que precisam ser evitados para que se tenha o piso de boa qualidade, destacam: a exsudação, que é o excesso de água no concreto recém lançado; e a retração plástica, que ocorre uma dessecação (extrema secagem do pavimento) perdendo água para o ambiente externo, causando aberturas (fissuras) curtas no piso.

Esses problemas não ocorrem apenas nos pisos, mas sim em outros elementos construtivos, podendo ser chamados de manifestações patológicas (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). Entre as manifestações patológicas existentes, destacam-se as fissuras, que, segundo a ABNT NBR 15575-2:2013, é classificada como seccionamento (separação) na superfície da estrutura ou em toda a seção transversal, podendo ser isolada ou múltipla, ativa ou passiva. Como as fissuras podem aparecer nas primeiras idades do concreto, há uma necessidade de controle das estruturas, para que as deformações sejam impedidas, impossibilitando grandes variações, tanto de espessura, quanto de superfície livre (PEDROSO, 2019).

As fissuras são manifestações patológicas que se apresentam nas estruturas de concreto sempre que ocorram tensões de tração que excedam a resistência do concreto, podendo ocorrer ainda no estado fresco ou no estado endurecido do material (AZEVEDO, 2011).

Segundo Thomaz (2020), entre os mecanismos que possibilitam a formação de fissuras, vale destacar as variações de temperaturas que os componentes de construção estão expostos, provocando tensões pelo movimento de dilatação e contração, causando o surgimento de fissuras. Essas movimentações térmicas estão também relacionadas à propriedade física do material, sendo levado em consideração a magnitude das tensões desenvolvidas e o grau de restrição imposto.

Nas primeiras horas, após o lançamento do concreto, pode ocorrer a fissuração fato esse muito comum em pisos industriais, pois os materiais que compõe o concreto tendem a se acomodar, isso é gerado pela ação da gravidade e às diferenças de densidade dos materiais (BIANCHIN, 2018). Com isso, a necessidade de controle dessas fissuras passa pela impossibilidade de variações de espessura e superfícies livres (PEDROSO, 2019).

As fissuras que ocorrem no concreto, ao longo do seu endurecimento, podem ser formadas pela combinação da retração do volume por perda de água de amassamento do concreto, ocorrida por evaporação e restrições de movimentação

(AZEVEDO,2011). Segundo Giroto (2012), a retração plástica é o processo de redução de volume que ocorre no concreto, gerada pela saída de água da mistura.

Realizar estudos e trabalhos relacionados à retração do concreto se torna complexo, pelo fato do número de variáveis que influenciam no fenômeno e suas consequências (GIROTO, 2012). Entende-se como retração o fenômeno que caracteriza a diminuição do volume de um material (GIROTO; BARBOSA; MACIEL, 2014). No concreto, a retração está relacionada às movimentações da pasta de cimento e argamassa, sem que haja carregamento ou variações térmicas (DINIZ; FERNANDES; KUPERMAN, 2011). Esta ocorre, principalmente, devido à saída de água dos poros capilares, em função do consumo de água para hidratação do cimento anidro ou a saída de água do concreto para o ambiente (NEVILLE, 2016).

A retração está diretamente ligada a uma contração volumétrica da pasta de cimento, consequência de fenômenos de diferentes naturezas, como a autógena, química, por carbonatação, entre outros (GIROTO, 2012). No entanto, as maiores incidências de retração são oriundas da perda de água por secagem ou à retração autógena (consumo de água pelas reações químicas de hidratação) (RODRIGUES, 2010).

A retração no material, quando restringida, gera fissuras nos elementos e estrutura de concreto (PERES; BASSI; FILHO, 2009). As fissuras são manifestações patológicas que se manifestam quando as tensões de tração superam a capacidade resistente do concreto no estado endurecido (AZEVEDO, 2011).

Diante de algumas deficiências apresentadas pelo concreto, há algumas tecnologias para complementar suas características, como é o uso de fibras no reforço do concreto, resultando no concreto reforçado com fibras (CRF). O CRF pode ser constituído por diferentes fibras, tendo destaque no mercado as fibras de: vidro, polipropileno, carbono, nylon, polietileno, sisal e aço. (SILVA et al, 2022).

A função que a fibra irá exercer no concreto depende de características, como o módulo de elasticidade e a resistência mecânica; sendo estas as propriedades que mais influenciam na eficiência da fibra no concreto. Estas duas características definirão o tipo de uso da fibra na matriz, ou seja, com função estrutural ou não. As fibras de polipropileno e náilon possuem o módulo de elasticidade menor que o do concreto, sendo, portanto, denominadas fibras de baixo módulo. Essas fibras não terão a capacidade de reforçar, estruturalmente, a matriz do concreto, mas atuarão nos esforços de segunda ordem, controlando a fissuração plástica em pavimentos.

Todavia, seu uso não exclui a realização de uma cura adequada (FIGUEIREDO, 2011).

A utilização de fibras em concretos tem aumentado nos últimos anos. Um exemplo disto é a sua aplicação em paredes de concreto moldadas in loco, pisos industriais e pavimentos. As construtoras têm adotado cada vez mais esse material, devido às diversas vantagens que proporciona no concreto (BORGES; MOTTA; PINTO, 2019).

No caso dos pisos industriais, nos quais as características mais relevantes são as resistências mecânicas e a dureza superficial, as fibras têm sido aplicadas no concreto com função estrutural e no combate à formação de fissuras por retração. Tanto a resistência mecânica quanto a abrasão dos pisos de concreto podem se afetadas pelas variações da agressividade do local onde será executada essa peça, a seleção e dosagem dos materiais, alto consumo de água, condições de cura limitadas e outras falhas relacionadas à execução (GOLFETTO et al., 2019).

As fissuras por retração são muito comuns em pisos industriais de concreto (GOLFETTO et al., 2019). Alguns estudos anteriores analisaram ensaios de retração com diferentes metodologias, como não havia um método normatizado, foi gerado resultados diferentes, não chegando a uma conclusão exata (TANESI, 1999). Girotto (2014), pesquisou o deslocamento de placas através de sensores, verificando a retração do concreto.

Grupta e Biparva (2017) em placas com dimensões reduzidas, verificaram a retração do material, havendo moldes que induziam a retração desse material. Outro ensaio realizado através de verificação de placas foi o de Paul Kraai (1985), tendo como objetiva a fissuração por retração restringida. Ensaio esse que sofreu uma adaptação realizada por Barluenga e Hernandez (2007), adicionando restrições internas com chapas metálicas de formato de “U” na placa de concreto.

Essas manifestações patológicas estão relacionadas ao processo de cura. Visto a relevância deste fato, tem aumentado o número de estudos científicos com o objetivo verificar e quantificar as consequências de uma cura indevida. O processo de cura influencia diretamente as propriedades do concreto endurecido, entre elas: resistência à tração, à compressão, módulo de elasticidade, permeabilidade, retração e resistência à abrasão. Dependendo do clima do ambiente onde será executado o piso, a cura terá importância ainda maior, levando em consideração altas temperaturas, vento e baixa umidade relativa do ar (SILVA, 2015).

Dentro das limitações do concreto em relação a retração alguns estudos apuraram a eficiência da fibra de polipropileno o caso de Borges, Motta, Pinto (2019), que não chegaram a um resultado conclusivo em relação a eficácia das fibras de polipropileno em relação a fissuração.

Pereira (2020), realizou uma análise de controle de fissuras para microfibras de polipropileno em concreto autoadensável, concluindo a mitigação de fissuras nesses novos materiais.

Segundo Silva (2015), a cura do concreto é a principal condicionante para que se tenha um piso de concreto de qualidade, sem levar em consideração o lançamento e acabamento do concreto. O primeiro propósito da cura é tornar lenta a perda de umidade no piso de concreto.

A película proporcionada por produtos químicos utilizadas no concreto que impermeabilizam a superfície, que impedem a saída de água por evaporação, é uma importante alternativa de cura. (RECENA; PEREIRA, 2022)

Diante da problemática, é importante destacar que o uso de fibras pode evitar ou diminuir a formação de fissuras na superfície dos pisos industriais de concreto. Segundo Junior (2010), a cura úmida é fundamental para durabilidade do concreto. Quando executada, haveria necessidade de outro tipo de cura ou a cura úmida seria suficiente? E quanto as fibras de polipropilenos, com grande utilização no mercado, haveria necessidade da sua utilização?

Diante das informações apresentadas neste item, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de retração plástica e fissuração de concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFPP) utilizados em pisos industriais em diferentes condições de cura, sendo avaliados cura úmida e cura química.

1.1 Objetivos

A seguir são descritos os objetivos do trabalho, sendo dividido em objetivo geral e objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial de retração plástica e fissuração de concretos com diferentes condições de cura (úmida e química) e concretos reforçados com fibras de polipropileno (PP).

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da pesquisa serão:

- a) Comparar o índice de fissuração em cada uma das misturas por meio do ensaio de retração restringida;
- b) Analisar, comparativamente, o impacto das fibras e das condições de cura dos concretos na incidência de retração e índice de fissuração;
- c) Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos concretos utilizados neste estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Retração em Concretos

2.1.1 Tecnologia do Concreto

A evolução da tecnologia do concreto é nítida, representada pelo surgimento de vários tipos de concretos, destacam-se: concreto reforçado com fibras, concreto autoadensável, concreto ECC, entre outros. (CHRIST; TUTIKIAN; HELENE, 2022). O concreto reforçado com fibras é uma contribuição para as propriedades do material, substituindo a taxa de armadura de forma parcial ou total do concreto, ou controlando fissuras e microfissuras sendo de maior relevância as que surgem por retração plástica (FIGUEIREDO, 2011).

Estes avanços só foram possíveis com o desenvolvimento da indústria do cimento, pozolanas, a indústria de aditivos químicos, reforços no formato de malhas e fibras, entre outros. O desenvolvimento desses materiais possibilitou produtos de melhor qualidade e desempenho, sendo contínua com o propósito de buscar novas soluções (CHRIST; TUTIKIAN; HELENE, 2022).

Concreto possui uma microestrutura complexa e heterogênea. É um material composto por diferentes fases: entre pasta cimentícia, agregados e zona de transição interfacial (ZTI), sendo este último localizado no campo de interação entre a pasta de cimento e o agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2014)

A mistura da pasta de cimento Portland hidratada possui silicatos e aluminatos, o quais, com a adição de água que formam produtos hidratados, sendo os principais compostos hidratados, os silicatos de cálcio hidratado e aluminato tricálcico, resultando em uma massa firme e resistente. A massa específica dos compostos hidratados ocupa um volume maior que o volume absoluto do cimento anidro (cimento não hidratado), mostrando a variação e possibilidade de retração do material cimentício. (NEVILLE, 2016)

A fase dos agregados é responsável por cerca de 60% a 80% do volume do concreto, tendo influência direta na resistência à compressão, módulo de elasticidade, durabilidade e desempenho estrutural do concreto. Suas propriedades físicas, térmicas e químicas influenciam nesse desempenho do concreto, estando diretamente ligado a retração e durabilidade, por isso a qualidade desse material é de suma

importância. Os agregados, para serem inseridos no concreto, devem ter sua natureza e composição analisadas, bem como a massa específica, dureza, resistência e estrutura de poros. (NEVILLE; BROOKS, 2013)

O concreto é um material suscetível a ocorrência de anomalias e manifestações patológicas, caso haja erros na dosagem, mistura, manuseio, transporte, adensamento, cura, estanqueidade das formas, eficiência dos escoramentos, qualidade dos materiais incorporadas. As manifestações patológicas geradas podem ser exemplificadas como fissuras, rupturas, vazios de concretagem, manchas de superfícies, entre outras (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019)

Diante dos problemas que esse material pode ter, há uma preocupação acentuada em relação à degradação prematura de estruturas de concreto. Durante sua vida útil (VU), o qual é o período em que a estrutura cumpre a função projetada, deve suportar as ações externas. (RIGO; OLIVEIRA; POSSAN, 2018)

Entre as diversas manifestações patológicas existentes em elementos de concreto, as fissuras se destacam. As fissuras em estruturas de concreto é um problema não apenas econômico pelo fato de da recuperação das estruturas e a diminuição da sua vida útil, mas ela afeta o psicológico do usuário, que não sabe de fato o que o problema que essa manifestação pode causar na estrutura. O termo fissura, pode ser usado de forma genérica para indicar aberturas de forma geral em uma estrutura (MOLIN, 1988). Gato et al. (2021) faz uma classificação de aberturas com base na sua espessura, conforme mostra a Tabela 1. Estas aberturas, podem ser pequenas ocasionadas por tensões de tração maiores àquelas de resistência à tração do concreto (RESENDE; MARTINS; FREITAS, 2018).

Tabela 1 – Classificação dos rompimentos em função da espessura das aberturas

Classificação	Espessura de abertura (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	Maior que 0,5 até 1,5
Rachadura	Maior que 1,5 até 5,0
Fenda	Maior que 5,0 até 10
Brecha	Maior que 10

Fonte: Gato (2021, p. 3; adaptado pelo autor.)

Caso as fissuras surjam ainda no estado viscoelástico, podem ser resultados de: assentamento plástico, retração da superfície ocasionada pela rápida evaporação de água, dessecação superficial, ou ainda movimentação de fôrmas (DAL MOLIN, 1988).

Ainda, Dal Molin (1988) apresenta que as fissuras formadas no estado endurecido são provenientes de fenômenos físicos, térmicos, químicos ou estruturais, podendo aparecer em poucas semanas ou depois de um longo período após o lançamento. Entre as que se destacam são: retração por secagem (contração volumétrica da pasta, pela saída de água do material), movimentação térmica (mudança nas condições do ambiente, incêndio, calor de hidratação do cimento), reações expansivas com sulfatos, reação álcalis dos agregados, sobrecargas e fundações.

A grande preocupação com a retração no concreto, alerta para cuidados com dias e horários com menor temperatura, menor incidência de vento e maior umidade para as concretagens. Outras formas de mitigar os riscos de retração é molhar os agregados na central de concreto, umedecer a forma, utilizar o concreto de forma rápida, uso de aditivos estabilizadores e/ou retardadores de pega, podendo até usar gelo como parte da água de amassamento (BOLINA, TUTIKIAN, HELENE, 2019)

Segundo o mesmo autor as mudanças de temperatura nas estruturas de concreto, geram alterações de volume. Essa situação ocorre com qualquer outro sólido, quando submetido ao calor se expande, e quando submetida ao frio, se retrai. No caso a retração e expansão volumétrica das estruturas de concreto, possuem sua origem na mudança de temperatura do ambiente. O concreto possui sua dilatação natural, mas quando restringido por armaduras (de forma interna) e/ou vinculações (de forma externa), são produzidas tensões no material, ocasionando o surgimento de fissuras por retração.

2.1.2 Fatores que Influenciam na Retração

A retração pode ocorrer nas primeiras horas após mistura do concreto ou ao longo da vida estrutura. Por haver diferentes tipos de retração, esse tema se torna complexo, dificultando a avaliação das causas e consequências das estruturas expostas a essa manifestação patológica. As propriedades que em conjunto levam o

concreto a retrair são: geometria da estrutura, dosagem do material e condições climáticas (GIROTTTO; BARBOSA; MACIEL, 2014).

Algumas retrações, entre elas as retrações plásticas são originadas nas primeiras idades do concreto, podendo definir o momento e intensidade desse fenômeno nas primeiras 24 horas após o lançamento do concreto. Ela pode ser originada de diferentes fatores, tendo destaque a evaporação de água para o ambiente externo, as alternâncias de temperaturas externas, as reações iniciais de hidratação do cimento gerado pelo calor das reações químicas (SENISSE, 2010).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a quantidade de retração e microfissuras depende de diversos fatores, entre eles a dimensão do agregado, a distribuição na granulometria no concreto, o consumo de cimento, relação água/cimento, a temperatura do concreto, umidade do ambiente.

Segundo Cabral et. al. (2010) a retração plástica é um fenômeno que está relacionado à perda de água de amassamento do concreto. Deste modo, quanto mais água esse material tiver, maior será o potencial de retração do compósito cimentício. O fato da grande maioria das estruturas de concretos estarem inseridas em ambientes expostos a um ambiente de umidade abaixo da condição de saturação, a retração se torna um fenômeno inevitável.

Analisar alguns fatores do concreto como a quantidade de materiais finos, a baixa relação água/finos (a/f), a dosagem de aditivos superplastificante e a relação água/cimento (a/c) é de extrema importância para evitar a retração nas estruturas de concreto. O fato do concreto nas primeiras idades apresentar baixíssima resistência à tração, contribuem para o aparecimento de fissuras por retração plástica. (GIROTTTO; BARBOSA; MACIEL, 2014)

Essa manifestação é uma característica constante na estrutura de concreto. A granulometria, a dimensão máxima, a forma e a textura do agregado são fatores que influenciam na retração do concreto (CABRAL et al., 2010). Porém, o módulo de deformação (deformação que o material sofre sobre ação de tensões) do agregado é o fator mais importante (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Em relação ao agregado, sua dimensão e granulometria não influenciam na relevância da retração, mas o fato de agregados maiores possibilitarem dosagens com menores consumos de cimento, gerando assim um concreto com menor probabilidade de retração. Assim como concreto para uma resistência determinada, o produto que

possui mais agregados, possui também menor tendência para retração (NEVILLE, 2016).

Os agregados por conta da sua grande proporção no concreto são analisados em diversas circunstâncias como material de enchimento, por ser em sua grande maioria custo baixo (havendo suas exceções), em relação ao valor total do material. As características dos agregados interferem o comportamento do concreto no estado fresco e endurecido, sendo elas: massa específica, resistência, absorção de água, módulo de elasticidade, dureza, tamanho, forma, textura, substâncias deletérias presentes. (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Segundo Rebmann (2011), a natureza mineralógica do agregado influencia na retração do concreto. Assim como o volume de agregados, também terá um aspecto direto, onde maior o volume de agregados, ou seja, menor a pasta de cimento, menor a incidência de retração. Algumas das soluções apresentadas nesses aspectos é bom esqueleto granular, tendo um bom empacotamento e baixíssimos consumo de cimento.

2.1.3 Consequências da Retração

Estas aberturas podem se conectar com o decorrer do tempo, fazendo com que as fissuras se tornem contínuas e reduzindo a proteção (durabilidade) e qualidade da estrutura de concreto. Essas microfissuras são consequências da evaporação inicial da água, visto que é formada uma rede complexa de meniscos originando pressões negativas, ocasionado pelo aumento na tensão superficial dos capilares, como resultado gerando a contração do volume da pasta de cimento (SENISSE, 2010).

Segundo Giroto (2012), as fissuras de retração plástica são superficiais, com espessura inferior a 0,5mm e comprimento limitado. A ocorrência desse fenômeno é aleatória, formando ângulo de 45° e 60° em relação ao eixo longitudinal da placa. Segundo Petrucci (1973), quando a taxa de evaporação do concreto excede 1 l/m²*h, possuem precauções para mitigar a existência de retração plástica, sendo destacado: umedecimento da sub-base e fôrmas, umedecer agregados, manter baixa a temperatura do concreto fresco, proteger o concreto com mantas, reduzir o tempo entre lançamento e início a cura, aspergir água após acabamento, ou ter outro composto de cura.

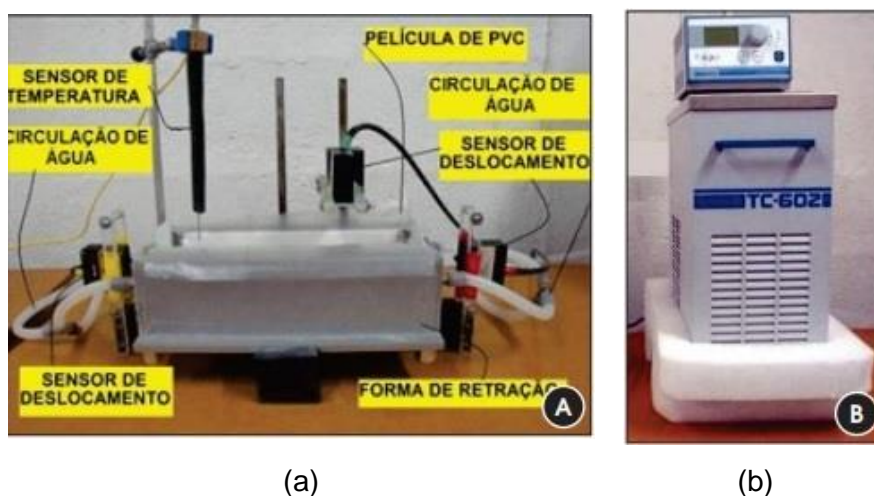
2.1.4 Ensaio de retração restringida no concreto

O método de ensaio de retração restringida que permite a avaliação do potencial de fissuração do material. (PEÑA, 2004) Em diferentes ensaios, é possível realizar análises da retração no concreto. A ABNT NBR 16834:2020 especifica os procedimentos de ensaio para determinar a variação de retração ou expansão volumétrica do concreto excluindo as aplicações de forças externas, sendo de grande valia para comparar fenômeno para diferentes dosagens de concretos. A ABNT NM 131:1997 determina a redução volumétrica no concreto, exposto a condições especiais de cura.

Tanesi (1999) fez uma análise de diferentes métodos para realização de ensaios de retração restringida para concreto, obteve a conclusão de que há uma ausência de um método normatizado entre os diversos pesquisadores. Outro fator importante, são as dificuldades de reprodução dos ensaios propostos na literatura, levando-se a questionar os resultados dos ensaios.

O estudo de Giroto (2014) baseou-se no equipamento desenvolvido por Turcry (2004), com o objetivo de mensurar as deformações verticais e horizontais por retração plástica de concreto. Esse ensaio consiste em uma caixa retangular de aço com dimensões internas de 7cm de largura por 7cm de comprimento e 28cm de altura perfuradas em sua extremidade, conforme mostra a Figura 1a. Internamente, o molde é envolvido por PVC com espessura de 3 mm e uma cobertura plástica de polietileno de 21 x 28 cm. Na Figura 1b é apresentado o molde metálico utilizado para esse ensaio. Este permite que haja circulação de água, a qual é controlada ao banho térmico com controle digital da temperatura, entre suas paredes.

Figura 1 – Dispositivo de mensuração das deformações pelo efeito da retração plástica

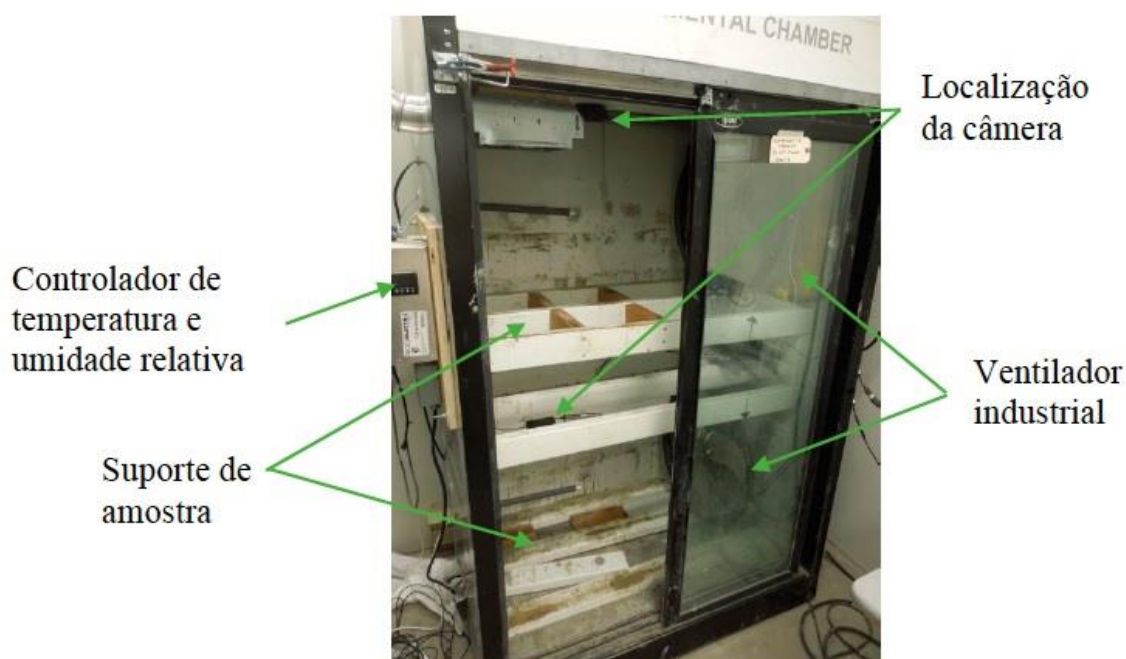


Fonte: Giroto (2014, p.41).

Nesse ensaio, a retração plástica é dada pela somatória do deslocamento vertical e dos deslocamentos horizontais. O deslocamento horizontal é medido que lançado o concreto no molde. As placas laterais do molde se deslocam na medida que ocorre à retração, sendo captada pelos sensores laterais.

Outro ensaio para verificação da retração plástica é especificado pelo ASTM-C1579-21, e utilizado por Grupta e Biparva (2017) com o objetivo de induzir uma fissura ao longo do centro da laje. As dimensões das lajes eram 335 mm x 560 mm x 100 mm, com uma placa metálica de aumento de tensão, parafusado no fundo molde. Essas placas de aumento de tensão teve o intuito de induzir uma fissura no concreto nas primeiras idades, conforme mostra Figura 2. As condições ambientais foram reguladas através de m controlador de temperatura e umidade.

Figura 2 – Câmara ambiental instrumentada para a realização de ensaios de retração plástica

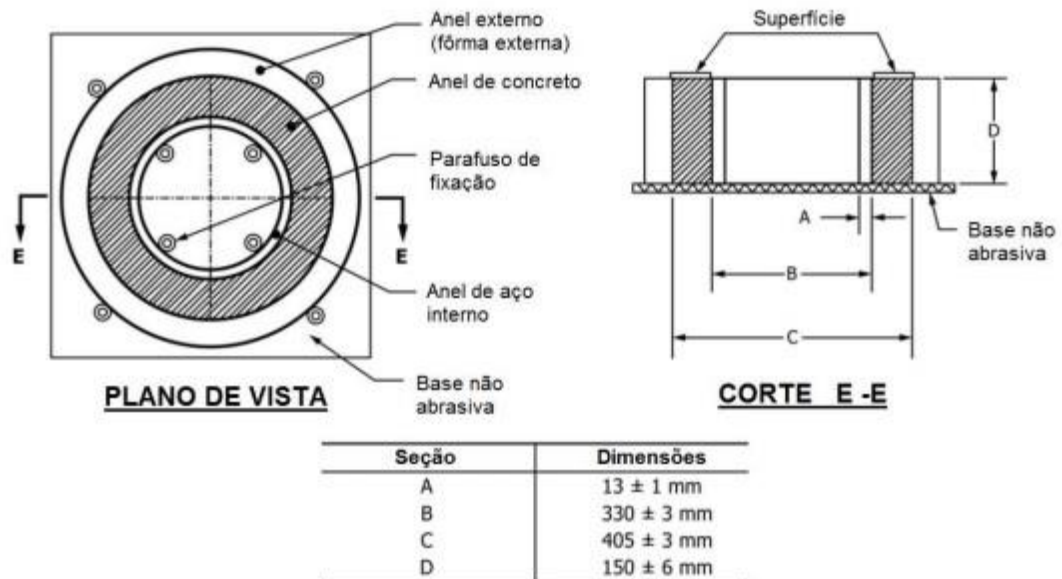


Fonte: Grupta; Biparva (2017, p.18)

Para retração restringida há uma divisão de três métodos: ensaio de anel, ensaio de placas e ensaio lineares. Dentro dessa divisão há uma diferença de métodos para cada uma delas (NUNES; FIGUEIREDO, 2007).

O ensaio do anel (ver Figura 3) foi desenvolvido por Coutinho (1954) e utilizado em diversos trabalhos, entre eles destaca-se Tanesi e Figueiredo (1999) e Ehrenbring (2017). Nesse ensaio é destacado o desenvolvimento de modelo numérico com base em mecânica da fratura não-linear para prevenir fissuração por retração restringida. O ensaio é baseado na medida de tensões num anel metálico, provocadas pela contração de um anel de concreto à sua volta. O conjunto é mantido em temperatura e umidade controladas. (EHRENBRING, 2017)

Figura 3 – Esquema do ensaio do anel



Fonte: ASTM C1581M (2009, p.3); adaptado EHRENBRING (2017, p.81)

A dificuldade desse ensaio é que a desforma e início das condições de secagem sejam feitas após 24 horas da moldagem do concreto, fazendo com que nessa idade o concreto já possa ter desenvolvido rigidez e resistência suficiente para suportar as tensões de retração restringida. Além dessa dificuldade apresentada, o balanceamento da rigidez do anel metálico deve ser pequeno, possibilitando acuidade de medida das deformações e grande a ponto de minimizar a transferência de tensão para o concreto no momento da desforma.

O ensaio de placas de concreto foi desenvolvido por Kraai (1985) com o objetivo de avaliar o potencial de fissuração devido à retração restringida. Sendo duas amostras moldadas e posicionadas à frente de ventiladores. As recomendações para execução do teste são demonstradas na Tabela 2. (SILVA, 2018)

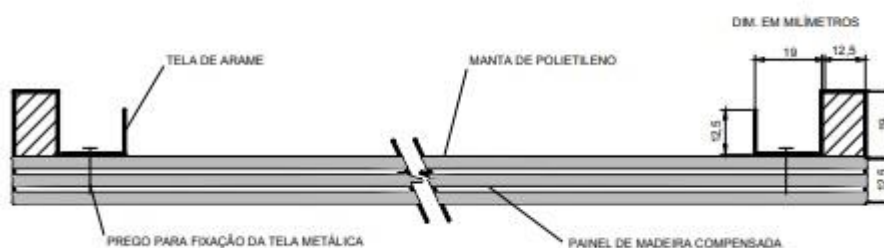
Tabela 2 – Condições de teste desenvolvido por Paul Kraai (1985)

Condições Aplicadas	Características
Amostra de pequenas espessura e alta área superficial	610 x 920 x 19,05 mm
Sem Agregados	Taxa de cimento/agregado 1:4 (retirado após mistura)
Movimento da água livre apenas para cima	A parte de baixo é coberta com filme plástico
Ausência de restrição da superfície de base	Por causa da presença do plástico
Restrição perimetral	Faixa de 12,7 mm x 25,4 mm em formato "L"
Exposição ao vento	16,1 km/h a 19,3 km/h

Fonte: Adaptado Silva (2018, p.34)

Nesse ensaio é mensurado a o grau de fissuração de cada uma das placas conforme ilustrado na Figura 4, medindo o comprimento e abertura das fissuras. Entre as limitações desse ensaio, destaca-se o efeito da escala do protótipo de concretos em modelos reduzidos, devendo haver uma compatibilização entre a granulometria do concreto com as dimensões da placa, sendo um ensaio cujo resultado é afetado de acordo com a porosidade do agregado. Com a granulometria, sendo esse agravante, fica complicado fazer análises em espessuras de apenas 20 mm. (NUNES; FIGUEIREDO, 2007)

Figura 4 – Seção transversal da forma para moldagem das placas para o ensaio desenvolvido por Kraai (1985)

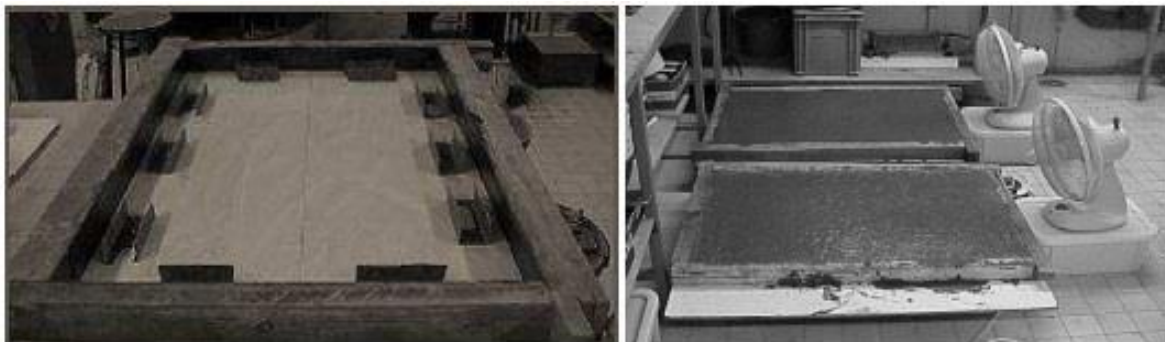


Fonte: Nunes; Figueiredo (2007, p.26)

Barluenga e Hernandez (2007) repetiram o ensaio proposto por Kraai (1985), com a diferença da restrição imposta. No ensaio do Kraai (1985), as amostras restritas com auxílio de seções em forma de "L", Barluenga e Hernandez (2007) trabalharam com uma restrição interna a partir do posicionamento de seções metálicas interna do

molde em formato de “U”, mas as outras características mantiveram similares da primeira proposição conforme Figura 5. (SILVA, 2018)

Figura 5 – Painel com seções metálicas em formato de “U” para restrição interna – Barluenga e Hernandez (2007)



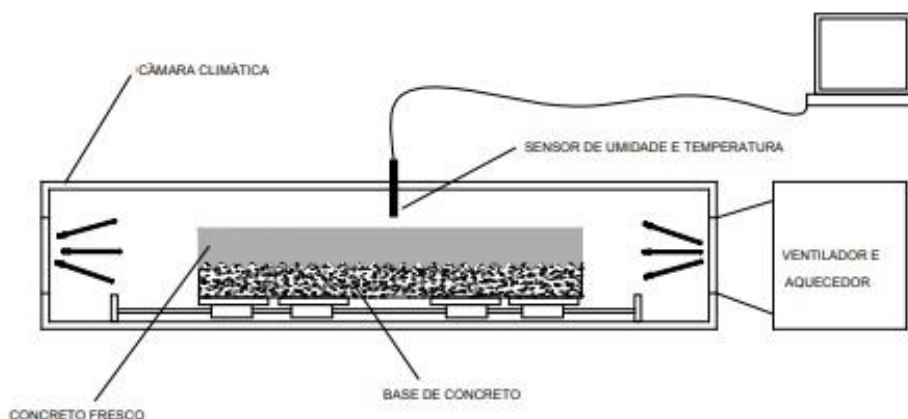
Fonte: Silva (2018, p.36)

2.1.5 Ensaio de retração livre no concreto

O ensaio o de retração livre verificam a variação da dimensão do material não incluindo as possíveis causas de variações térmicas e existência de tensões que podem ser causa de restrições. (PEÑA, 2004)

Os ensaios lineares, foram desenvolvidos com o propósito de avaliar as propriedades de retração livre do material (NUNES; FIGUEIREDO, 2007). Para esse ensaio, vale destaque para o estudo do Banthia, Yan e Mindess (1996), que propõe como método de ensaio com prisma com grande relação comprimento/espessura restringidos em toda a superfície inferior, conforme protótipo da Figura 6. A vantagem é o grau de proximidade do grau de restrição do corpo de prova com as restrições em campo. A limitação que merece ensaio é a pouca área do corpo de prova exposta à secagem.

Figura 6 – Câmara climática para ensaio de retração



Fonte: Nunes; Figueiredo (2007, p.30)

2.1.6 Condições de Cura para o concreto

Cura é o termo utilizado aos procedimentos que se realizam para promover a hidratação controlada e contínua do cimento e, conseqüentemente, desenvolvimento de suas características e diminuição de manifestações patológicas. Os objetivos principais da cura, são inibir a perda de umidade e controle da temperatura até que o concreto atinja o nível de resistência desejado, dentro de um certo período do tempo. (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo os autores, com o intuito de ter um material de boa qualidade, o lançamento do concreto deve ser seguido pela cura, em um local adequado para os primeiros períodos de endurecimento. Esses procedimentos consistem em controlar a temperatura, do movimento de água de dentro para fora do concreto, pois as conseqüências de uma boa cura não são somente o ganho de resistência, mas também aumenta a durabilidade da estrutura de concreto

Entre os procedimentos satisfatórios a prevenção de perda de umidade da superfície do concreto pode ser realizada de diversas maneiras: molhagem direta da superfície após o enrijecimento do concreto, mantendo-a permanentemente molhada através de mangueiras; outro método é baseado na vedação por meio da aplicação de manta de papel impermeável, manta de polietileno; produtos químicos também é uma solução, pois forma uma película impermeabilizante na superfície. (MEHTA; MONTEIRO, 2014); (RECENA; PEREIRA, 2022).

A cura é necessária pois a hidratação do cimento somente pode ocorrer em capilares preenchidos com água, por isso é necessário prevenir a perda de água pelos poros. Os métodos de cura variam largamente, dependendo das condições do canteiro, dimensão da peça, por isso a necessidade se avaliar caso a caso. Para elementos de pequena relação superfície/volume, a lubrificação e umedecimento das fôrmas favorecem a cura. Caso as fôrmas sejam removidas precocemente, deve ser aspergida água sobre a superfície do elemento de concreto e, posteriormente, cobri-lo com mantas impermeáveis de polietileno. Já para grandes superfícies de concreto, a prevenção deve ser planejada a ponto de evitar a perda de água antes da pega, o concreto nessa fase possui uma resistência mecânica baixa é necessário usar uma cobertura suspensa sobre a superfície (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo Neville (2016), a cura úmida é realizada através do contato permanente da água com a superfície do concreto por um período especificado, esse processo é iniciado assim que a superfície do concreto não tenha possibilidade de danos. Essa condição é atingida através de aspersão contínua de água.

O mesmo autor descreve a outra técnica para evitar a evaporação de água para o meio externo a aplicação por aspersão de agentes de cura formando uma película. Segundo Zanella (2014), esse processo é conhecido como cura química. Esses agentes normalmente são resinas sintéticas de hidrocarbonetos com solventes bastante voláteis à base de resinas, como acrílicas, vinil ou estireno-butadieno, borracha clorada, à base de cera também possui grande utilização. Esse tipo de cura é indicado quando não é possível garantir a regularidade da cura úmida, entretanto deve ser bem executada. A aspersão desse material é um momento crítico, o tempo ótimo é o momento que não tem água livre na superfície, conforme figura 7.

Figura 7 – Aspersão de cura química em placa de concreto



Acervo do autor

A cura em elevadas temperaturas, acima de 21 °C afeta diretamente o tamanho dos cristais de C-S-H, aumentam a proporção de hidróxido de cálcio, ao contrário da estrutura de concreto curada em temperatura ambiente de 21 °C. A elevação da temperatura do concreto, aumenta a probabilidade de fissura térmica, sendo ainda mais importante a cura desse material com a diminuição do fator água/cimento. (HOFFMAN, 2001);

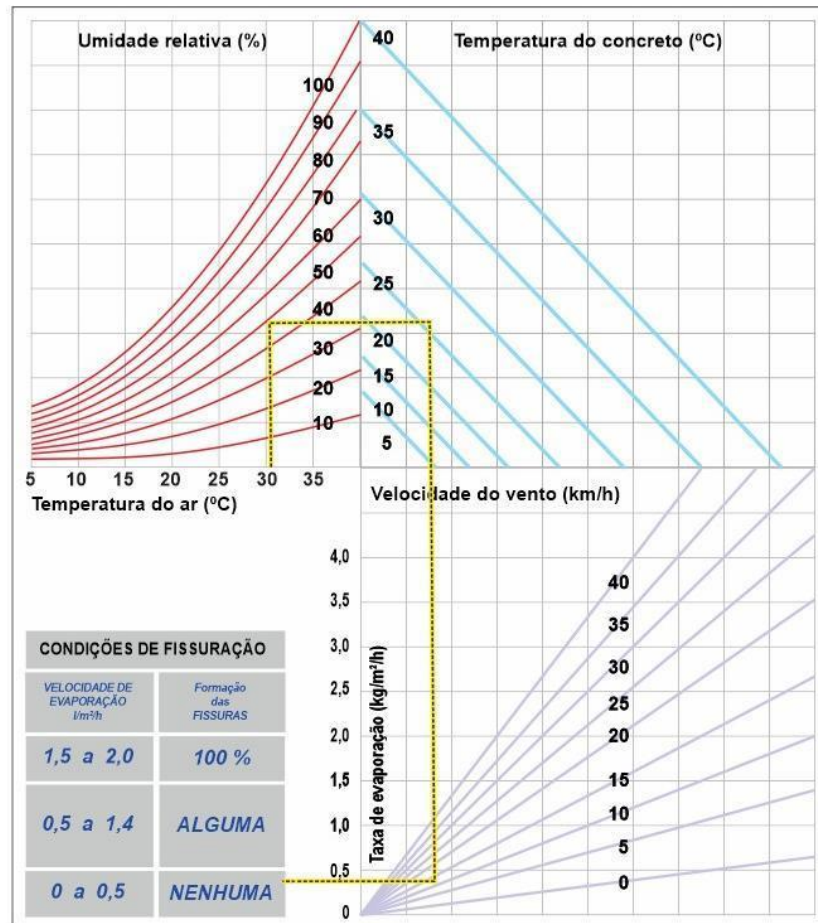
Temperaturas abaixo de 5 °C, próximo ao congelamento, as resistências do concreto há uma queda próxima da metade, se comparadas a concretos curados em temperaturas ambiente. Por esse motivo é necessário que se proteja o concreto dos efeitos causados pelo tempo seco, quente e frio extremo. (MEHTA; MONTEIRO, 2014)

A ABNT NBR 14931:2023 descreve que o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais, até atingir o endurecimento satisfatório. Elementos estruturais de superfície devem ser curados até apresentar resistência característica à compressão igual ou superior a 15 MPa.

Entre as formas de evitar a fissuração, Petrucci (1973) aponta que os fatores externos que influenciam diretamente na taxa de evaporação de água são temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do concreto e a velocidade do vento

conforme já demonstrado na figura 8. Conforme ábaco, ao obter-se taxa de evaporação de água superior a 1,2 l/m³/h a probabilidade de fissuração é de 100%. Entretanto, com uma taxa de evaporação inferior a 0,5 l/m³/h não se tem fissuração. (KOPPE, 2016)

Figura 8 – Ábaco de Petrucci para a obtenção da taxa de evaporação de água do concreto



Fonte: Petrucci (1973); adaptado por Romero (2017, p. 56).

2.2 Concreto reforçado com fibras

As fibras são componentes que podem ser constituídos por tecido animal, vegetal, orgânica ou inorgânica (MICHAELIS, 2022). Com a inserção das fibras no concreto, cria-se o concreto reforçado com fibras (CRF), classificando-se como um material compósito. Um compósito é a junção de dois ou mais materiais, que se unem para produzir apenas um material, com características aprimoradas, sendo possível

identificar visualmente as diferentes fases (RIBEIRO, 2022). O CRF é um compósito cuja fase principal é a matriz de concreto e as fibras são os elementos de reforço. Estas podem ter diferentes composições, como: aço, vidro, polipropileno, náilon. (LIMA, 2020)

O fato de o concreto ter resistência à tração limitada e ruptura frágil torna, é de suma importância a busca de reforços, como as fibras. O CRF é um incremento alternativo, buscando corrigir algumas fragilidades do concreto (EHRENBRING, 2017). Segundo a ACI 544.1R (2018), O CRF é a combinação de um aglomerante hidráulico, no caso o cimento, com a junção de agregados graúdos e miúdos, além de fibras descontínuas dispersas de forma aleatória na mistura.

Segundo Quinino (2015), as fibras possuem vantagens na utilização de matrizes frágeis, como benefício para o compósito maior tenacidade e ductibilidade. O fato de apresentarem mitigação de fissuras, e maior capacidade portante com a adição do reforço, esses elementos apresentam maior durabilidade, implicando maior vida útil da estrutura.

O uso de fibras no concreto é eficiente para conter a propagação de fissuras originadas pela retração da matriz (EHRENBRING, 2017). Entretanto, nem sempre a inserção de fibras está diretamente correlacionada a ganhos de resistência ou tenacidade. (TANESI; FIGUEIREDO, 1999)

Dentro da evolução da tecnologia dos concretos, segundo Ribeiro (2022) um dos materiais que mais tem se destacado é o CRF, onde a fibra atua como reforço estrutural eficaz promovendo ganho de ductilidade, durabilidade até mesmo maior capacidade de carga.

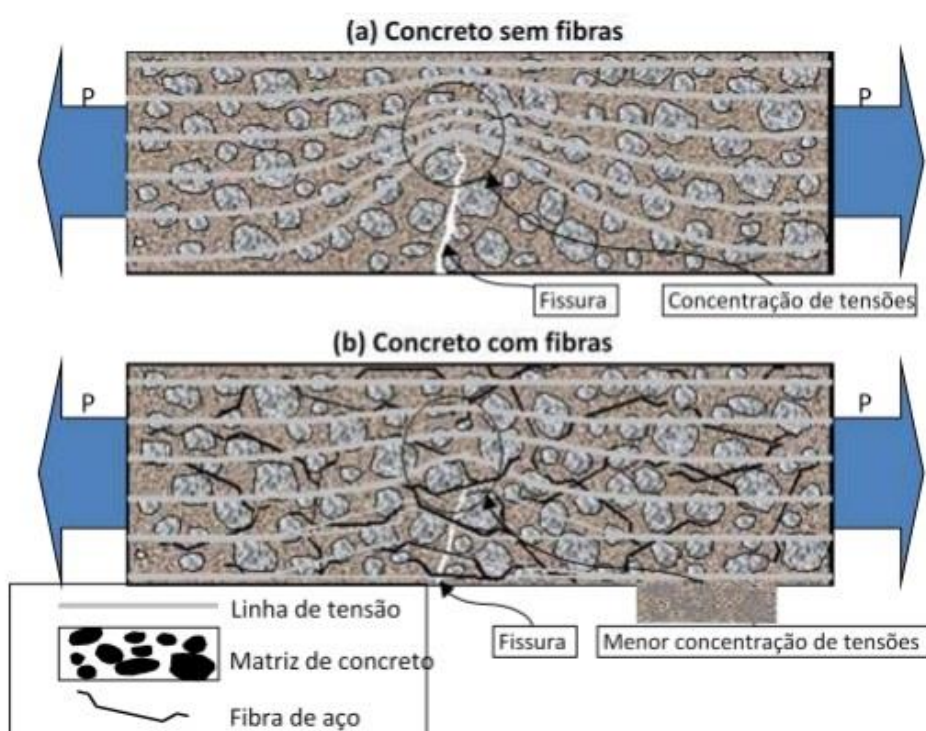
Segundo Ribeiro (2022) a técnica de utilização de fibras como reforço esteve presente em obras históricas da civilização, como exemplo a Muralha da China. Naaman (2003) descreve que no século XIX surgiu a primeira patente de concreto reforçado com fibras por Berard em 1874.

Para que a adição de fibras no concreto tivesse um resultado satisfatório, iniciou os estudos no final da década de 50 nos Estados Unidos, pela The Portland Cement Association (PCA). Entretanto os resultados eficazes apareceram no final da década de 60 e 70 com o desenvolvimento de fios metálicos com pequeno espaçamento entre si e fibras metálicas aleatoriamente distribuídas.

Nos Estados Unidos, nesse período foram realizadas demonstrações de adição de fibras no concreto em pavimentação, lajes, materiais refratários e produção de

concreto, até que em 1971 a primeira aplicação comercial de CRF em uma estação de pesagem de caminhões em Ohio. Nesse caso houve aumento da tenacidade e resistência à fissuração do concreto (LIMA, 2020). Segundo Jansson (2011), o aumento de tenacidade ocorre quando o volume de fibras conforme demonstra a Figura 9, tem maior capacidade de interromper a propagação de fissuras. Estas agem como pontes de transferência de tensão entre as faces da abertura.

Figura 9 – Esquema de concentração de tensões para um concreto sem (a) e com reforço de fibra (b)



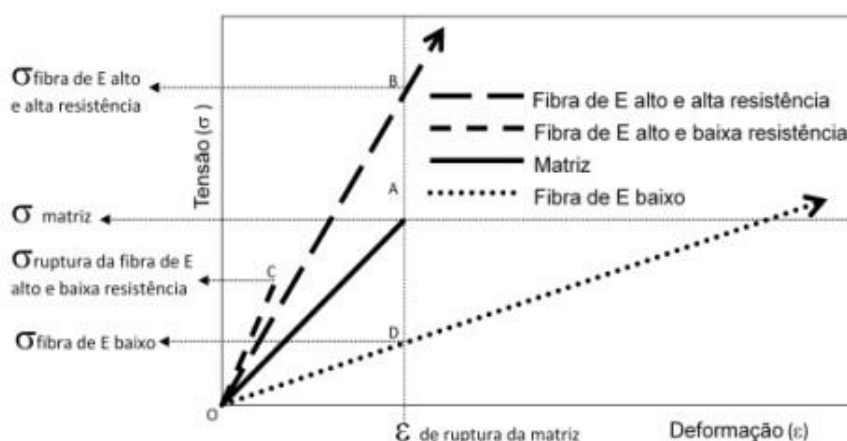
Fonte: Figueiredo (2011, p.30)

Segundo Figueiredo (2011), as fibras em sua grande maioria, são elementos descontínuos cujo comprimento é bem maior que as dimensões da seção transversal. O material que constitui a fibra irá definir o módulo de elasticidade e resistência dela, essas propriedades influenciam na capacidade de reforço que a fibra proporcionará no concreto.

O CRF proporciona uma ruptura prolongada e suavizada da peça, o que caracteriza um comportamento pseudo-dúctil. Este fato é possível, pois esse compósito trabalha como uma ponte de aderência das tensões que originam as fissuras, diminuindo as tensões nos limites das fissuras. (SILVA et al, 2019).

Aquelas que possuem módulo de elasticidade menor que o do concreto são denominadas fibras de baixo módulo, como exemplo são as fibras de polipropileno. Já as fibras que apresentam módulo de elasticidade superior ao do concreto como as fibras de aço, são denominadas fibras de alto módulo. Para ilustrar isso, a Figura 10 mostra uma relação entre três fibras de diferentes módulos de elasticidade, sendo uma fibra de baixo módulo, e duas de alto módulo sendo uma de alta resistência mecânica e outra baixa resistência mecânica, sendo as fases desse compósito consideradas como perfeito o comportamento elástico. (FIGUEIREDO, 2011)

Figura 10 – Diagrama de tensão por deformação elástica de matriz e fibras de alto e baixo módulo de elasticidade trabalhando em conjunto



Fonte: Figueiredo (2011, p.16)

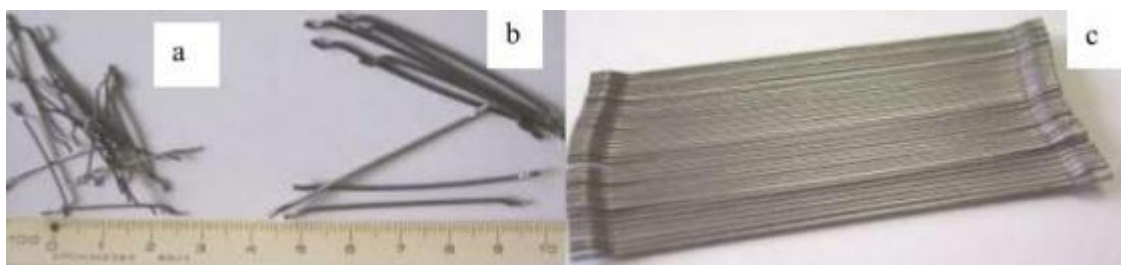
As fibras de baixo módulo possuem a capacidade de reforço da matriz restringida as primeiras horas após o lançamento do concreto, quando esse material possui baixa resistência mecânica e baixo módulo de elasticidade. Essas fibras controlarão a de abertura de fissuras nas idades iniciais do material, comparando com as fibras de alto módulo de elasticidade, caso de a solicitação do conjunto matriz-fibra. (FIGUEIREDO; TANESI; NICE, 2002)

A resistência à fissuração do concreto reforçado com microfibras está atrelada ao mecanismo similar ao envolvimento do agregado pela pasta de cimento no concreto convencional. As microfibras reforçam as propriedades elásticas do compósito, sendo a eficiência ligada a relação com a matriz e o potencial de absorção de energia da fibra, podendo haver variação de acordo com o teor de fibras, da superfície específica e da orientação destas no interior da matriz. (VIEIRA, 2010)

Entre os exemplos dos tipos de fibras temos as de aço, que de forma geral possuem um gancho na sua extremidade para aumentar a sua ancoragem, sendo as fibras curtas variando de 25mm e em torno de 60mm as fibras, podendo ser comercializadas soltas conforme Figura 11, a e b (da esquerda) ou coladas em pentes conforme Figura 10 c (da direita), fato esse que facilita durante a mistura e homogeneização do material.

(FIGUEIREDO, 2011)

Figura 11 – Fibras de aço soltas e coladas



Fonte: Figueiredo (2011, p.10)

Já as fibras de polipropileno, segundo a ABNT NBR 16942 (2021), são divididas em microfibras – Classe I onde o diâmetro dessa fibra é menor que 0,30 mm e as macrofibras – Classe II com diâmetro igual ou maior que 0,30 mm. As microfibras possuem ainda a divisão entre monofilamentos que consistem em fios cortados em comprimentos padronizados conforme Figura 12 (b), e fibriladas que se apresentam com uma malha de finos filamentos de seção retangular, conforme Figura 12 (a), sendo essa estrutura por conta do seu intertravamento, aumentar a adesão entre fibra e matriz (FIGUEIREDO, 2011). Segundo Leite (2018), as microfibras de polipropileno são utilizadas no concreto desde 1980, tendo como finalidade melhorar as propriedades do estado fresco, entre elas reduzir a exsudação e fissuração por retração plástica.

Figura 12 – Fibras de polipropileno



Fonte: Figueiredo (2011 p.1328)

As macrofibras poliméricas possuem dimensões próximas às fibras de aço. Estas tiveram sua comercialização iniciada nos anos 2000 no Brasil com a finalidade de aumentar a resistência pós-fissuração do concreto, ou seja, característica similar as fibras de aço (LEITE, 2018). Na Figura 13 são apresentadas macrofibras de polipropileno na forma de multifilamentos (feixes).

Figura 13 – Feixes de macrofibras de polipropileno



Fonte: Figueiredo (2011, p.15)

Segundo Bentur e Mindess (2007), a orientação das fibras pode ser unidirecional, bidirecional e tridimensional, visto que todos esses formatos são aplicados na construção civil. Porém, para a adição em concretos, é utilizada em larga escala as fibras de forma descontínua e unidirecional. Esse mesmo autor mostra a comparação entre as diferentes fibras, e as especificações de cada uma, de acordo com a utilização delas no concreto, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de resistência mecânica, módulo de elasticidade e dimensão para diversos tipos de fibras e matrizes

Fibra	Massa Específica (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento máximo (%)
Aço	7,84	200	500 - 2000	0,5 - 3,5
Acrílico	1,18	14 - 19,5	400 - 1000	3
Aramida (kevlar)	1,44	63 – 120	2300 - 3500	2 - 4,5
Carbono (alta resistência)	1,6 - 1,7	230 – 380	2500 - 4000	0,5 -1,5
Celulose	1,2	10	300 - 500	-
Madeira	1,5	71	900	-
Nylon	1,14	4,1 - 5,2	750 - 1000	16 – 20
Poliéster	1,4	8	700 - 870	11 – 13
PVA	1,3	39	1600	-
Polietileno	0,92 - 0,96	5	80 - 600	3 – 100
Polipropileno	0,90 - 0,95	3,5 – 10	450 - 760	15 – 25
Sisal	1,5	-	800	3
Vidro	2,6	70 – 80	2000 - 4000	2 - 3,5
Matriz Cimentícia (comparação)	1,5 - 2,5	10 – 45	3 - 7	0,02

Fonte: BENTUR; MINDESS adaptado pelo autor (2017)

Para a ABNT NBR 16935:2021 o concreto sem adição de fibras, ou também conhecido como concreto convencional (CCV) apresenta comportamento frágil. Já os CRFs apresentam forma de ruptura pseudo-dúctil ou até dúctil, dependendo do tipo de reforço utilizado, bem como teor de adição. Ainda nessa Norma, o CRF é classificado como um material compósito, com uma matriz cimentícia com fibras irregulares estáveis em meio alcalino. As fibras utilizadas como reforço estrutural, podem ser reforçadas totalmente ou serem utilizadas em conjunto com armadura passiva ou ativa, melhorando o comportamento do concreto no estado-limite último e no estado limite de serviço.

A ABNT NBR 16938:2021 especifica o controle de qualidade para CRF, ela também inclui a aceitação desse concreto em obra, incluindo CRF para finalidades estruturais ou não. Os ensaios relacionados nessa Norma já são utilizados para concretos convencionais como: resistência à compressão, abatimento, resistência à tração na flexão e resistência à fissuração e residuais à tração por duplo punção.

A ABNT NBR 16941:2021 prescreve os requisitos e método de ensaio para as fibras poliméricas para concreto, sendo para fins estruturais ou não. Em relação ao

polímero-base ou as misturas de polímeros que terá no CRF, devem ser declarados pelo fornecedor ou fabricante.

A ABNT NBR 15530:2019 prescreve os requisitos e método de ensaio para as fibras de aço para concretos. A Norma faz uma divisão entre as formas geométricas das fibras, como: com ancoragem, corruga e reta. Outra divisão são os tipos de aços que deram origem às fibras, arame trefilado a frio, chapa lâmina cortada a frio, arame escarificado. Outra separação importante o nível de resistência de cada fibra de acordo com sua geometria e origem. Essa norma procura garanti os fatores de forma (λ), fator esse importante para minimizar comportamento pós fissuração (FIGUEIREDO, 2011).

Já a ABNT NBR 16941:2021 prescreve requisitos e método de ensaio para as fibras de vidro álcali-resistentes (AR), para concreto e argamassa, podendo ser utilizadas para finalidades estruturais ou não. O vidro AR deve conter pelo menos 16% de dióxido de zircônia (ZrO_2). Podendo ter sua forma lisa e reta ou ainda apresentar conformação específica.

Segundo Mehta e Monteiro (2014) o CRF é usualmente especificado pela resistência e pela quantidade de fibra. Para pavimentos é especificado a resistência à tração na flexão, já para fins estruturais a resistência à compressão. Para concretos de densidade normal com aproximadamente 2.400 kg/m^3 os limites usuais de utilização de fibra, sendo as primeiras utilizações, sendo a fibra de aço, na proporção de 95 a 120 kg/m^3 (1,2 a 1,5% em volume), segundo Figueiredo, Monte e Bitencourt (2022) utiliza-se em pisos industriais, revestimentos de túneis, parede e fundação, barragens.

No trabalho publicado por Montardo e Rodrigues (2002), mostrou que o concreto utilizado na Rua Dr. Salvador França e Av. Cel. Aparecido Borges em Porto Alegre, foi utilizado uma quantidade de 600 g de fibras de polipropileno em 1 m^3 no concreto, tendo desempenho convincente em relação a fissuras, e não teve na superfície do concreto fibras aparentes, uma preocupação na utilização desse material.

O teor de fibras caracteriza-se pelo volume de fibras a ser inserida na matriz cimentícia, sendo ligado diretamente à densidade do material do reforço e da matriz cimentícia. Sabe-se que o volume crítico corresponde pela capacidade de suporte do compósito fissurado sendo a mesma da matriz. Esta relação é equivalente à resistência da matriz, determinando o aparecimento da primeira fissura. O volume

crítico das microfibras é maior, se comparados com as macrofibras (TANESI, FIGUEIREDO, 1999).

No trabalho de Borges, Motta e Pinto (2019) foi feita uma comparação entre fibras vegetais e polipropileno para paredes estruturais, para fibras de polipropileno foi utilizado 0,25% e 0,5% de fibras em relação ao volume do concreto, a segunda opção pela quantidade de material utilizado, mesmo com a utilização acentuada de aditivo superplastificante, obteve-se um concreto com baixa trabalhabilidade, sem utilização prática, sendo descartado sua utilização. Já no trabalho Ehrenbring (2022), a porcentagem de 0,5% de fibras foi utilizada sem problemas de aplicação. No trabalho de Ritt e Gauer (2021), foi utilizada uma recomendação da empresa TecMachine Fibras Estruturais, fornecedora desse material, para fibras de polipropileno é necessário no mínimo ter adição de 600 g/m³, sendo a utilização máxima 800 g/m³ devido à formação de grumos de das fibras, prejudicando a qualidade do produto.

O uso de quantidades elevadas de fibras, indicadas pelo autor a proporção limite de 0,4% em relação a massa do concreto, dando em torno de 96 kg/m³ como uso máximo de fibras, pode produzir grumos no concreto, causando heterogeneidade na sua composição. Os grumos de fibras, denominados no mercado como “ouriços”, podem influenciar também no índice de vazios, e modificar as propriedades mecânicas do compósito. (JOENCK; CARPIO; MELO, 2020)

Além dos teores das fibras, o comprimento da fibra não traz o benefício do aumento da resistência pós-fissuração, isso acontece se ultrapassa o denominado comprimento crítico da fibra (L_c). Ela baseia-se no modelo que prevê a tensão entre a matriz e a fibra aumentando de forma linear dos extremos para o centro dela. (FIGUEIREDO, 2011).

2.2.1 Pesquisas sobre eficiência das fibras em relação a retração

Alguns pesquisadores buscando como alternativa para mitigação da retração no concreto, analisaram a eficiência das fibras como reforço no concreto. Borges, Motta e Pinto (2019) observaram as propriedades do concreto com reforço de fibras vegetais e de polipropileno. Para verificação da retração do concreto, com proporção limitada do uso de fibra, foi realizado o ensaio do anel, obtendo os resultados descritos na tabela 4.

Tabela 4 – Comparação de números de fissuras entre concreto referência e fibras de polipropileno através do ensaio do anel

CONCRETO REFERÊNCIA	PROPORÇÃO DE FIBRAS	QUANTIDADE DE FISSURAS	
		Ensaio 1 hora	Ensaio 2 horas
CONCRETO REFERÊNCIA	sem fibra	143	145,33
COMPÓSITO POLIPROPILENO	96 kg/m ³	105	-

Fonte: Borges; Motta; Pinto adaptado pelo autor (2019)

Esse trabalho citado, obteve-se a conclusão que é necessário realizar mais ensaios, para verificar menores teores de fibras de polipropileno, comprovando ou não a sua eficácia na redução de fissuras no concreto.

Enquanto isso, Pereira (2020), realizou um estudo com o objetivo de avaliar a adição de fibras de polipropileno como elemento mitigador em relação a retração para concretos autoadensável conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Comparação entre taxa de redução de fissuração para placas de 300 x 300 mm com diferentes proporções de fibras de polipropileno para concreto autoadensável

COMPÓSITOS DIFERENTES PROPORÇÕES	TAXA DE REDUÇÃO DA ÁREA DE FISSURAÇÃO (mm ²) PLACA 300 X 300 mm (%)			
	0,05%	0,10%	0,15%	0,20%
FIBRA DE POLIPROPILENO DE 6 mm	40,80	44,64	64,75	66
FIBRA DE POLIPROPILENO DE 12 mm	81,16	86,06	89,55	91,01
FIBRA DE POLIPROPILENO DE 24 mm	94,63	96,24	97,27	99,05

Fonte: Pereira adaptado pelo autor (2020)

Os resultados apresentados mostraram que todos os compósitos com o reforço de fibras de polipropileno houve redução de fissuração, mostrando a eficácia do material, e revelando nessa pesquisa que a porcentagem de reforço e a dimensão da fibra, diminuem o índice de fissuração dessa placa.

2.3 Piso Industrial

Os pisos industriais são sistemas construtivos de grande relevância na indústria da construção civil, uma vez que são aplicados em obras de infraestrutura, produção ou logística, em que qualquer interrupção gera grande prejuízo. (RODRIGUES, 2007).

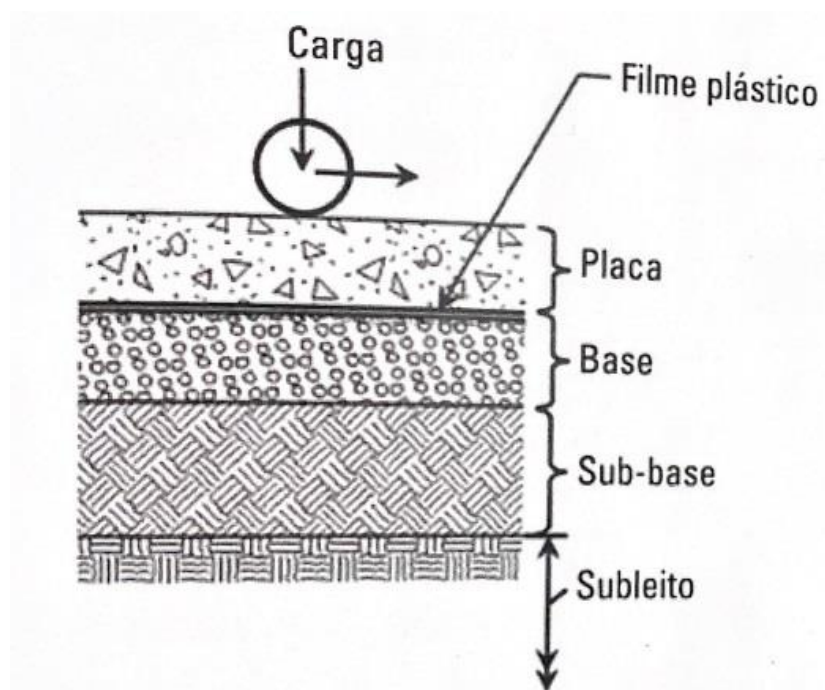
A ACI 302.1R (2015) faz uma separação em relação ao piso industrial, separando entre os utilizados para fábricas em geral, onde é citado a necessidade de utilização de juntas, de ter uma boa resistência à abrasão e um cuidado com a cura desse piso. E o outro piso são os sujeitos à tráfego intenso, também deve apresentar os mesmos cuidados do outro tipo de piso, além de ter o cuidado com a transferência de carga, e seu acabamento deve ter um endurecedor de superfície.

A história de dimensionamento de pisos industriais iniciou na década de 1920, com os trabalhos desenvolvidos por Harold M. Westergaard, onde foi proposto soluções analíticas para indicação de esforços em placas apoiadas em meio elástico, servindo como base para dimensionar pavimentos no regime elástico do concreto. Apenas na década de 1960 os estudos de Anders Losberg que conduziram para “escola europeia de dimensionamento de pisos”, lançou a base teórica para dimensionar placas apoiadas em meio elástico, possibilitando o dimensionamento no meio plástico dos pisos. (RODRIGUES, 2022)

No Brasil, antes da década de 1980, não se encontravam informações sobre dimensionamento de pisos industriais, sendo a grande preocupação resistência de desgaste superficial, pois era pouco solicitado estruturalmente. (RODRIGUES, 2022) Esses pisos tornaram-se cada vez mais relevantes, principalmente, a partir de década de 1990. As formas de execução desses pisos têm aprimorado, sendo a história da pavimentação industrial no Brasil um capítulo recente. (PINHEIRO, 2009)

Com a evolução de dimensionamento, o Brasil tem acompanhado a escola europeia de dimensionamento, onde é priorizado pisos mais delgados, placas de dimensões elevadas, superiores a 100m² com reforço estrutural, sendo com fibras ou telas de aço. Em relação a fundação os pisos industriais podem ser classificados com fundação direta, sendo a grande maioria dos casos ou fundação profunda (pisos estaqueados). O piso industrial deve ser analisado como um sistema, conforme apresentado na Figura 14, cabendo ao projetista estrutural dimensionar cada camada, para que as partes sejam harmônicas entre si. A eficácia do piso, está na capacidade de absorver cargas. (RODRIGUES, 2022)

Figura 14 – Sistema piso industrial



Fonte: Rodrigues (2022, p.1.671)

O concreto de forma geral apresenta variações ao longo do tempo, essas variações diferentemente de concretos estruturais, para pisos implica diretamente nas fases executivas e são de extrema importância. O comportamento inicial do concreto de um fluido viscoso, ficando dessa forma por um período, pode influenciar diretamente no desempenho, nas idades mais avançadas. (RODRIGUES, 2022)

Segundo Pinheiro (2009), podemos destacar as seguintes finalidades em relação ao piso de concreto: resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo carregamento, gerar perfeito rolamento, conforto, limpeza e segura, das cargas móveis, resistir aos esforços mecânicos, ataques químicos e/ou biológicos.

Para esse detalhamento esse tipo de estrutura, não apresenta tantos problemas quando se compara com o desempenho superficial, que pode ser causado pela baixa característica à abrasão dos agregados graúdos. Para não tornar uma manifestação patológica no piso, pode ser realizada a redução da relação água/cimento, além de obter uma maior resistência mecânica do concreto. Outra forma de mitigar, com custo final menor é o tratamento superficial, com endurecedores cimentícios. (VIECILI,2004)

O concreto para piso, diferente do material para estrutura, deve haver características distintas, vale destacar o abatimento e teor de argamassa. O teor de

argamassa deve estar na faixa de 49% a 52%, podendo sofrer alteração de acordo com a granulometria da areia, levando em consideração a quantidade de materiais finos que o agregado miúdo pode conter. Teores muito baixos possibilitam manchas superficiais, em consequência das condições diferenciadas de hidratação do cimento. Entretanto teores de argamassa acima de 55% podem levar a delaminação, espessura muito elevada para acabamento superficial, impossibilitando a passagem de água por exsudação. (RODRIGUES, 2022)

A trabalhabilidade também é um fator que deve ter um cuidado especial. Deve-se trabalhar com o ensaio do tronco de cone realizado pela ABNT NBR 16889:2020. Para a execução de pavimento, conforme Tabela 6, é indicado para pisos concretos as classes S50 e S100, ABNT NBR 8953:2015. Misturas com baixo consumo de cimento resultam em pisos de concreto com superfícies rugosas. Aditivos químicos de concreto, utilizados em pisos são aqueles que alteram a fluidez, dando destaque para redutores de água, redutores de retração e aditivos expansores. (RODRIGUES, 2022)

Tabela 6 – Classes de consistências do concreto

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional de concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: ABNT NBR 8953:2015, adaptado pelo autor.

A utilização de fibras em pisos e pavimentos, trazem algumas vantagens, primeira a ser ressaltada é eliminar a colocação de armaduras, que reduz o tempo total de execução da obra e operários para colocação das telas. A eliminação de espaçadores, com a utilização de fibras em pisos, caso o concreto seja lançado no abatimento desejado e não houver excesso de vibração. Todo o piso terá o reforço por inteiro, caso que não ocorre com as telas, podendo ser deslocados com carrilhas e saindo da posição prevista em projeto. Outra vantagem que deve ser ressaltada são os cortes de juntas de dilatação, sem a necessidade de barra de transferência pré-instaladas. (FIGUEIREDO, 2011)

Segundo o mesmo autor, o CRFs também possui limitações como toda tecnologia. O fato de a fibra mitigar a fissuração dos pisos, em contrapartida a fibra aumenta a probabilidade de empenamento do piso por retração diferencial que

segundo Perius (2009) isso ocorre pela perda de umidade que ocorre apenas na superfície de maneira que forma um gradiente de umidade entre o interior da peça e da superfície. Por esse motivo é importantíssimo a cura bem realizada desse piso.

As manifestações patológicas também são problemas de pisos de concreto, onde a existência desses fenômenos pode estar ligada ao processo de cura, sendo necessário que essa etapa seja executada de maneira correta. (GOLFETTO et al, 2019). Segundo Teixeira, Andrade e Bonifácio (2015), a importância da cura do concreto fica evidente quando realizado o comparativo de resistência mecânica à compressão de corpos de provas cilíndricos entre cura úmida e cura seca, obtendo a maior resistência os corpos de provas curados de forma úmida, deixando claro a importância da execução desse processo.

Segundo Golfetto et al (2019), as microfibras de polipropileno aumentam de forma significativa a resistência mecânica à compressão, quando comparado a concreto sem reforço. Segundo Enrenbring (2017), o concreto reforçado com microfibra aumentou de forma sensível a resistência mecânica à compressão, entretanto elevou a retração do concreto em relação ao concreto sem reforço. Segundo Senisse (2010) concretos reforçados com 450g/m³ de microfibras de polipropileno não mitigaram a tendência de fissuração do concreto ensaiado. Deixando claro as características já abordadas desse material.

Segundo a mesma autora, em pisos de concreto há uma tendência maior de fissuração, resultado da retração do concreto gerando variação volumétrica, tornando-se assim uma manifestação patológica preocupante. Segundo Portela e Sobrinho (2016), a grande preocupação dos projetistas e executores de pisos, são fissuras de caráter estrutural, mesmo sendo uma proporção menor em relação a fissuras geradas por retração plástica.

Segundo Santiago e Beck (2018), os concretos realizados no Brasil, necessitam de uma maior fiscalização no controle tecnológico, isso se justifica pelo fato de haver dificuldade em se cumprir a resistência solicitada em projeto. Segundo Romano e Pileggi (2011) o desempenho final do concreto é de grande complexidade, sendo fundamental entender a reologia adequada às condições expostas, ou seja, entender o fluxo e deformação dos materiais submetidos a uma determinada tensão. Assim como, falhas de dosagem ou de moldagem de concreto fresco, são problemas tradicionais que decorrem de falhas primárias na execução do concreto, independente da peça em questão.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo apresenta os procedimentos adotados para avaliar o potencial de retração plástica e fissuração de concretos reforçados com fibras de polipropileno em diferentes condições de cura. Foram utilizados métodos experimentais para as placas de concreto, que simularam pisos industriais, analisando o comportamento do concreto com e sem utilização de fibras, bem como as propriedades mecânicas e físicas dos compósitos. Nos CRFs foram empregados diferentes teores de fibras. Deste modo, o programa experimental utilizado será detalhado a seguir, descrevendo os procedimentos de instrumentação, ensaios e materiais utilizados, bem como as respectivas normas relacionadas ao estudo.

3.1 Estratégia de pesquisa

Como critério de análise, foi utilizado o teor de fibras como reforço na matriz cimentícia dentro dos teores utilizados pelo mercado nacional, levando em consideração as fibras de polipropileno mais utilizadas, e dois tipos de curas utilizados para piso industrial

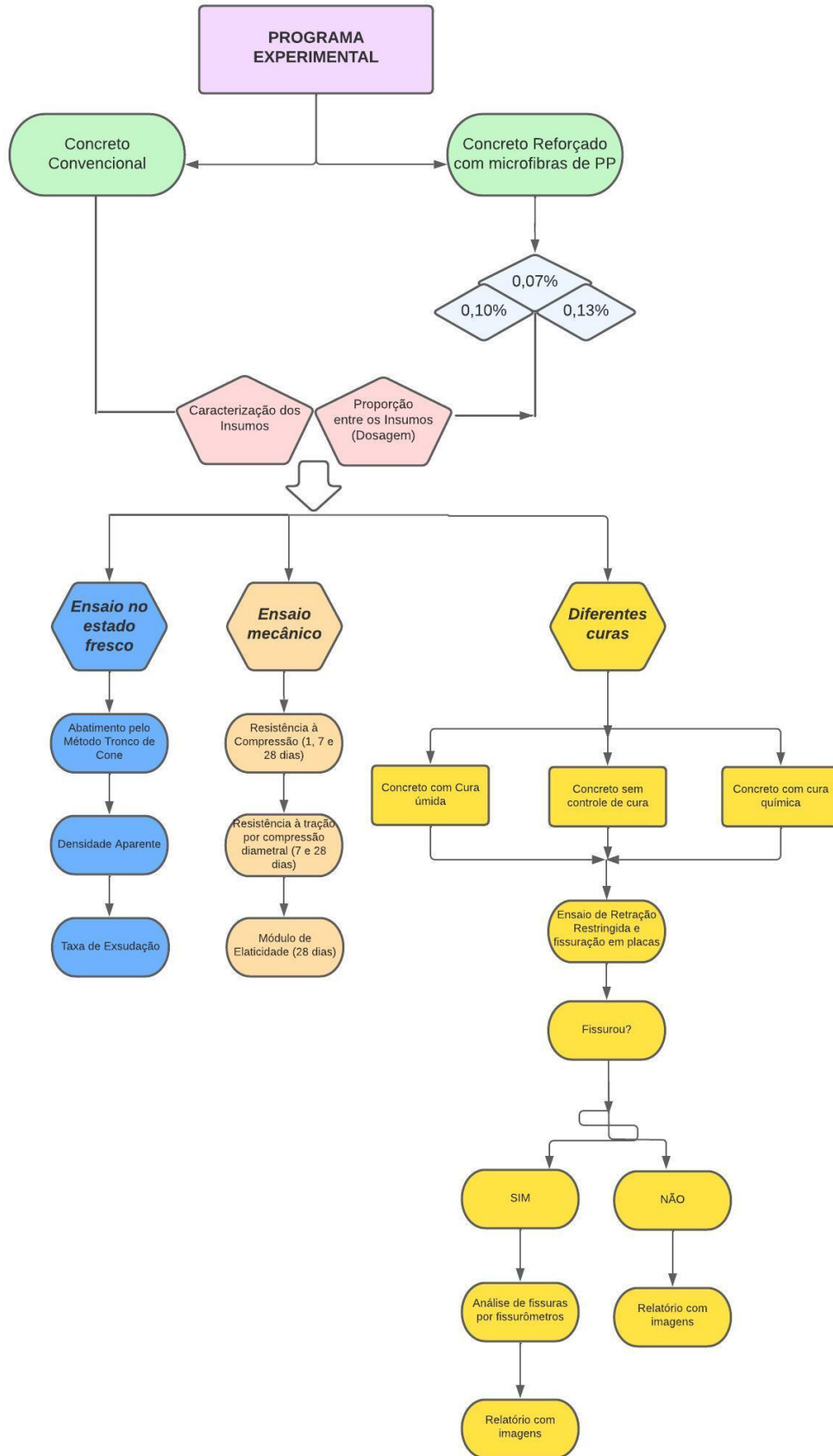
Com a dosagem do concreto, teores de fibras e tipos de cura pré-estabelecidos, foram analisadas as dimensões das placas de concreto que simularam os pisos industriais, juntamente com as características que induziram a placa a desenvolver fissuras por retração. Esse ensaio teve como base as placas desenvolvidas por Kraai (1985) e adaptada por Barluenga e Hernandez (2007), sofrendo algumas alterações conforme serão descritos nesse capítulo.

Nessa pesquisa foram descritos e empregados os tipos de condições de ambiente, onde as placas estiveram expostas, observando o comportamento dos elementos concretados no meio externo.

A caracterização dos materiais utilizados para dosagem das misturas foi realizada por meio dos ensaios descritos por normas nacionais. Sendo assim, o resultado da caracterização de todos os insumos do compósito, não implicaram em mudanças nas dosagens que foram estabelecidas respeitando a utilização do mercado nacional.

Na Figura 15 é apresentado o fluxograma da pesquisa, indicando todas as etapas do estudo.

Figura 15 – Fluxograma do programa experimental da pesquisa



Na pesquisa foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido para verificação das propriedades mecânicas do concreto sem reforço e do concreto com fibras com diferentes proporções. No estado fresco foram analisados os impactos da adição dos reforços, em diferentes teores, no abatimento, na densidade de massa e taxa de exsudação.

Em relação aos ensaios mecânicos, verificação de cada uma das misturas em relação a resistência mecânica à compressão, tração na flexão e módulo de elasticidade, conforme demonstrado na Tabela 7. O concreto e os CRFs foram analisados em diferentes tipos de curas, em placa, sendo o concreto referência sem reforço de fibras também analisado por cura química.

Tabela 7 – Programa experimental para caracterização mecânica dos compósitos

Mistura	Teor de Fibras %	Siglas	Corpos de Prova total			Ensaio (dias)		
			Cilind.	Cilind. p/ tração	Placas	1, 7 e 28 dias		
Concreto Referência	0	REF	7	4	3*	Resistência à Compressão	Tração por compressão diametral	Módulo de Elasticidade
Concreto Fibras PP	0,07	CRF 0,6	7	4	2			
	0,10	CRF 0,9	7	4	2			
	0,13	CRF 1,2	7	4	2			

Legenda: * a terceira placa para o concreto referência é para o material onde foi utilizado a cura química.

3.2 Seleção de materiais

Os materiais para esta pesquisa foram adquiridos na região norte do estado do Mato Grosso, tendo como referências os materiais que atendem a região de Sinop-MT. Por tanto, o cimento utilizado foi da cidade de Cuiabá, fábrica mais próxima da região. Já a microfibras foi originária do estado de São Paulo, pois não há fabricação desse material no estado do Mato Grosso. O agregado miúdo é de origem natural proveniente de rio, já os agregados graúdos, apesar de ser de origem de rochas, são artificiais, por passarem por processo de britagem.

3.2.1 Cimento

O cimento aplicado foi o Cimento Portland composto com material carbonático (CP II-F 40), cuja classe de resistência é 40 MPa, o qual é produzido pela Votorantim Cimentos Ltda, na cidade de Cuiabá-MT. As características desse material garantem resistências à compressão mais elevadas, aos 28 dias, quando comparado ao CP II-F 32, o fato de ser um cimento com cujo Blaine era de 4938 cm²/g, ensaio que determina a finura segundo a ABNT NM 76:1996, possibilita ter a resistência maior do que 40,0 MPa aos 28 dias.

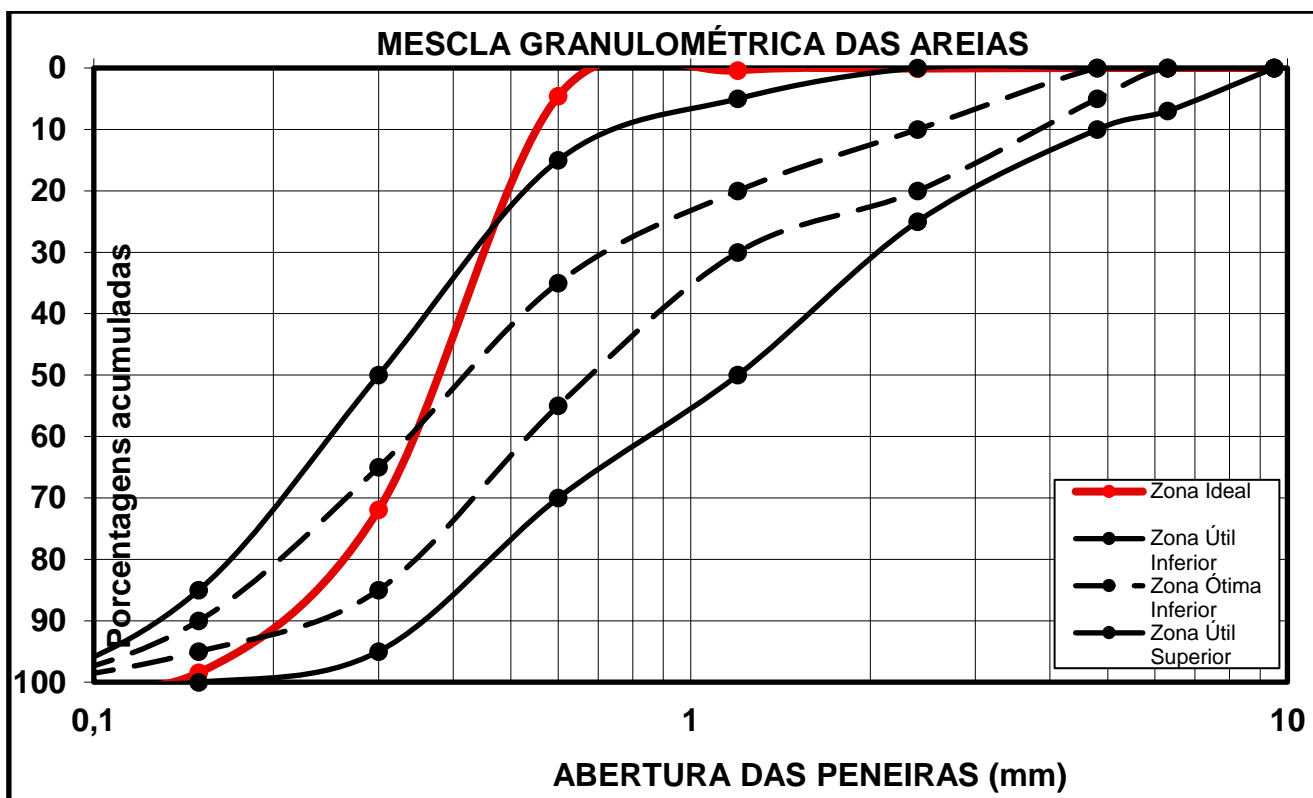
3.2.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado era natural extraído de rio. Foi utilizado areia média para composição do traço. A extração da areia foi efetuada no rio Teles Pires –MT na cidade de Sinop-MT. A caracterização do agregado miúdo foi realizada pela ABNT NBR 16916:2021. Para a areia média sendo o módulo de finura de 1,75. Sendo a sua composição granulométrica indicada na tabela 8, com o resultado no gráfico 1.

Tabela 8 – Composição granulométrica de um agregado miúdo

Abertura das peneiras	Areia regular				%, em massa, retida acumulada			
	Ensaio	Média	Retido (%)	Acum. (%)	Limites Inf.		Limites Sup.	
					Zona util	Zona ótima	Zona ótima	Zona util
9,5		0	0,0	0,0	0	0	0	0
6,3		0	0,0	0,0	0	0	0	7
4,8	0	0	0,0	0,0	0	0	5	10
2,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0	10	20	25
1,2	0,29	0,29	0,3	0,4	5	20	30	50
0,6	4,19	4,19	4,2	4,6	15	35	55	70
0,3	67,35	67,35	67,4	71,9	50	65	85	95
0,15	26,53	26,53	26,5	98,5	85	90	95	100
0,075	1,53	1,53	1,5	100,0	100	100	100	100
0,0375	0,01	0,01	0,0	100,0	100	100	100	100
	100	100	100,0		100	100	100	100
Mód Finura	1,75				1,55	2,20	2,90	3,50

Gráfico 1 – Mescla granulométrica de areia



3.2.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo que será utilizado na pesquisa é granítico. Foram empregados a Brita 12,5 mm e Brita 6,3 mm havendo uma mesclagem para obter o melhor empacotamento entre os materiais, sendo respectivamente 80/20. O material será produzido e coletado na cidade de Nova Santa Helena-MT, pedra mais próxima de Sinop-MT.

A densidade específica dos materiais seguiu a ABNT NBR 16917:2021. A densidade aparente solta dos agregados foi realizada conforme métodos da ABNT NBR 16972:2021, sendo esses ensaios demonstrados na tabela 9. A composição granulométrica do agregado foi baseada na ABNT NM 248:2003 e ABNT NBR 7211:2009, sendo demonstrada do agregado graúdo na tabela 10 e 11, e a faixa da composição dos dois agregados graúdos, demonstradas no gráfico 2.

Tabela 9 – Caracterização dos agregados

	Densidade dos grãos ABNT NBR 16917: 2021	Densidade natural ABNT NBR 16972: 2021	Densidade dos grãos ABNT NBR 16972: 2021
Areia	2,64	1,53	não se aplica
Brita 9,5 mm	2,52	1,39	1,58
Brita 19mm	2,73	1,3	1,433

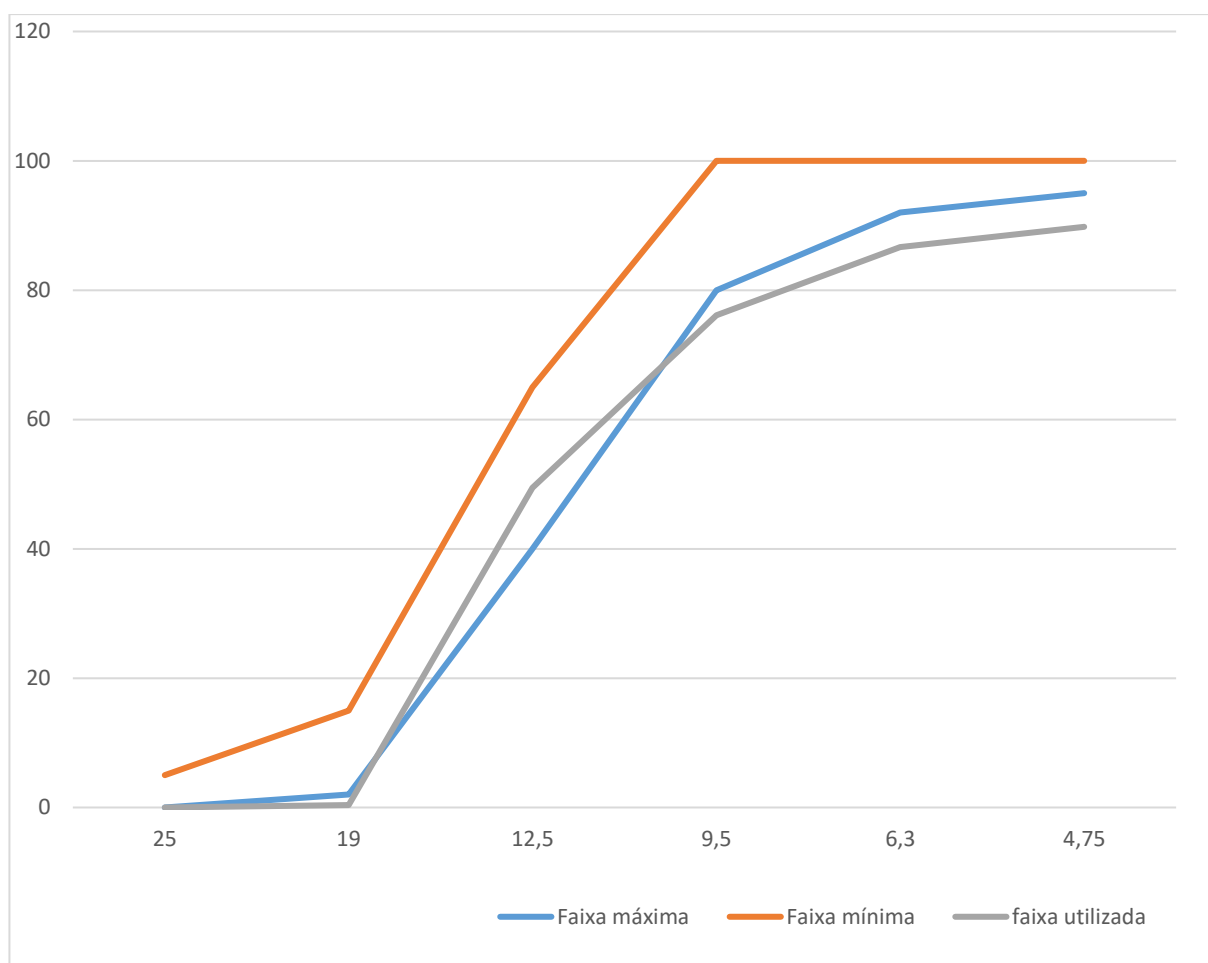
Tabela 10 – Composição granulométrica Brita 6,3mm

Peneiras Aberturas (mm)	Pesos Retidos (g)	Individual	Acumulado
12,5	0	0,00%	0,00%
9,5	65,7	3,29%	3,29%
6,3	619,1	31,01%	34,30%
4,75	302,95	15,17%	49,48%
2,36	744,1	37,27%	86,75%
Resíduo	264,55	13,25%	100,00%

Tabela 11 – Composição granulométrica Brita 12,5mm

Peneiras Aberturas (mm)	Pesos Retidos (g)	Individual	Acumulado
25	0	0,00%	0,00%
19	99,36	0,50%	0,50%
12,5	12254	61,28%	61,78%
9,5	6508,4	32,55%	94,33%
6,3	1085	5,43%	99,76%
4,75	22,4	0,11%	99,87%
Resíduo	26,4	0,13%	100,00%

Gráfico 2 – Faixa granulométrica utilizada de agregado graúdo



3.2.4 Fibras de polipropileno (PP)

Foram utilizadas as fibras polipropileno, com as seguintes proporções: 600g, 900g e 1.200g/m³, sendo respectivamente 0,07%, 0,1% e 0,13%, conforme demonstrados na tabela 12 as quais são produzidas e comercializadas pela empresa Neomatex de Taboão da Serra -SP, conforme demonstrada na Figura 16. As especificações da fibra utilizada estão na tabela 13. Os reforços utilizados serão empregados solto para melhorar sua dispersão foi utilizado ar. A superfície das fibras é lisa e de formato reto.

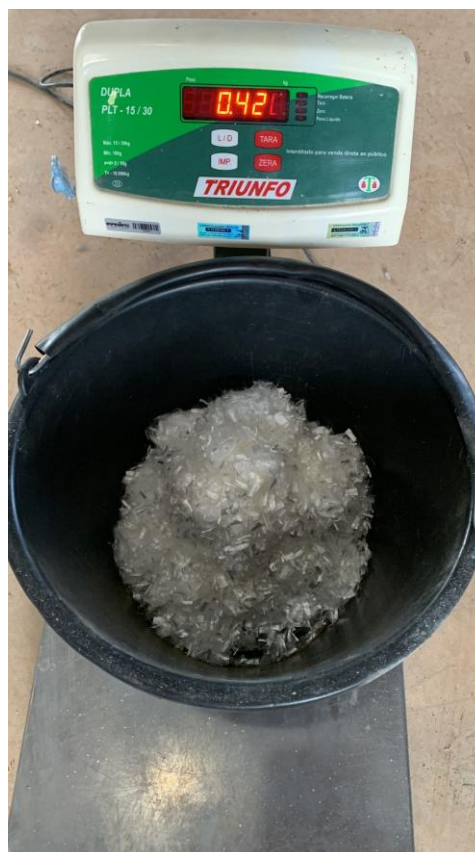
Tabela 12 – Porporção de fibras em porcentagem

PORCENTAGEM EM RELAÇÃO 1M ³	PROPORÇÃO DE FIBRAS
0,07%	600g
0,10%	900g
0,13%	1200g

Tabela 13 – Especificação fibra de polipropileno (PP)

Matéria prima	100% polipropileno
Massa específica	0,91 g/cm³
Diâmetro	12 µm
Comprimento	12 mm
Frequência de fibras	810 milhões / kg
Alongamento	22%
Tenacidade	865 MPa
Módulo de Elasticidade	9 GPa
Teor de ensimagem	0,65%

Figura 16 – Fibra de Polipropileno



Acervo do autor.

3.2.5 Aditivo químico

Na pesquisa foi utilizado aditivo químico redutor de água tipo 1, a fim de reduzir o consumo de água no traço dos concretos, mantendo sua consistência. O produto a ser utilizado é denominado PAV 139 e fabricado pela empresa Erca Indústria e Comércio de Produtos Químicos. A caracterização do aditivo foi realizada por meio dos métodos apresentados na ABNT NBR 11768-1:2019. O aditivo químico é comumente utilizado na região e recomendado pela fabricante para utilização de pisos industriais na região norte de Mato Grosso uma vez que é compatível com o cimento CP II-F 40 a ser empregado.

Esse aditivo é uma dispersão aquosa de retardadores, lignossulfonatos e policarboxilato modificado, possui uma densidade entre 1,05 a 1,09 (g/cm³), o seu aspecto temperatura de 25 °C é líquido marrom, o pH varia entre 7,0 a 9,0, sendo utilizado 0,8% desse aditivo, em relação ao consumo de cimento.

3.3 Mistura e proporção dos materiais

A proporção de cada material (traço) para a matriz referência foi baseada no método de dosagem do IBRACON (TUTIKIAN; HELENE, 2011), e para definição dos pontos de obrigações de determinados concretos estruturais foi utilizado a ABNT NBR 12655:2022.

A proporção de cada material conforme tabela 14, foi definida no decorrer da pesquisa, havendo a fixação do teor de argamassa de 53%, relação água/cimento 0,55, com o consumo de cimento de 313 kg/m³ e a quantidade de água estabelecida em 173L. A proporção entre as britas de acordo com o gráfico 2, classe de abatimento S100 e a classe de resistência C30. A proporção de fibras de polipropileno será de acordo indicado no item 3.3.4, sendo baseada nos consumos praticados pelo mercado.

Tabela 14 – Traço da matriz cimentícia utilizada para a produção das placas

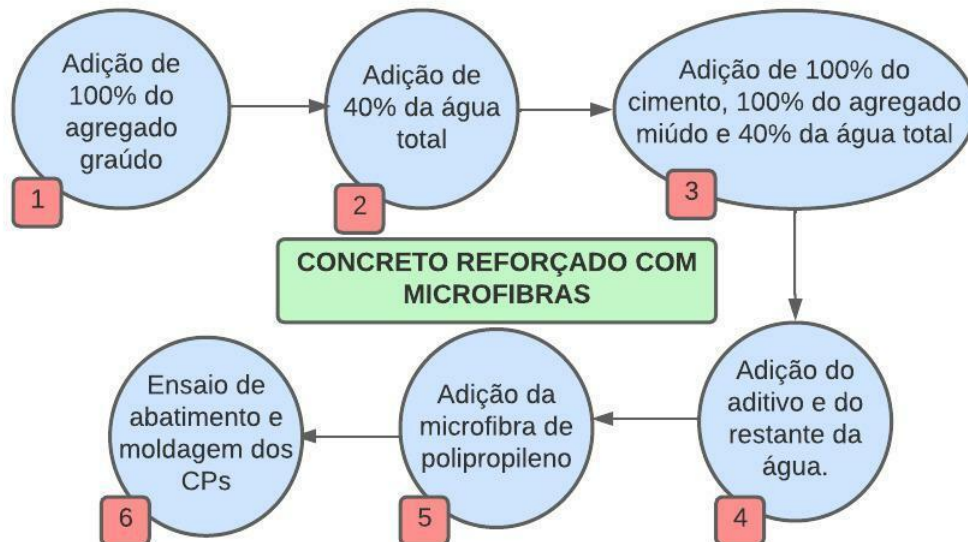
TRAÇO - PLACAS DE CONCRETO		
MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE
CIMENTO	313	kg
BRITA 19 mm	830	kg
BRITA 9,5 mm	207	kg
AREIA MÉDIA	857	kg
ÁGUA	173	kg
ADITIVO	0,8*	%

*Sobre o consumo de cimento

Para o concreto referência foi exigido que o concreto atendesse a classe de abatimento S100. Nos compósitos onde há fibras, foi solicitado a mesma classe de consistência.

A mistura dos materiais da pesquisa foi realizada em betoneira de tombar com capacidade 450 litros, tendo uma homogeneização similar à de um caminhão betoneira. A sequência da mistura foi demonstrada na Figura 17.

Figura 17 – Sequência de materiais na mistura



Acervo do autor

3.4 Ensaios de caracterização no estado fresco

3.4.1 Abatimento pelo método de tronco de cone

Para definir a classe de consistência dos concretos, foi realizado o ensaio de abatimento pelo método do tronco de cone, conforme ABNT NBR 16889:2020.

3.4.2 Taxa de exsudação

A exsudação dos concretos foi medida seguindo os procedimentos indicados na ABNT NBR 15558:2008. É utilizado um recipiente cilíndrico, cuja o volume é de 14,2 litros, conforme apresentado na Figura 18. Após a realização das etapas de pesagem e enchimento do recipiente, sendo a sua compactação realizada como base a ABNT NBR 9833:2008, utilizando-se um vibrador, em três pontos uniformemente distribuídos, com três camadas, penetrando cerca de 20mm na camada inferior. Realizado esse procedimento, coleta-se a água exsudada por meio de uma pipeta para verificar a quantidade de água exsudada nesse concreto. Para encontrar a taxa de exsudação é utilizada a seguinte fórmula:

$$m_{ar} = (m_{am}/m_t) * m_e$$

$$E = (m_{ae}/m_{ar}) * 100$$

Onde:

E: é a quantidade de água exsudada, expressa em porcentagem (%);

m_{ar} : é a massa de água do concreto do recipiente, expressa em gramas (g);

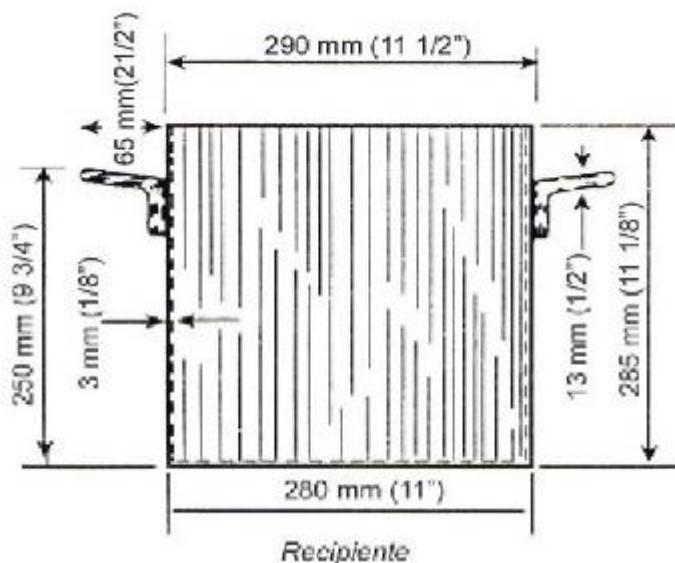
m_t : é a massa total do traço, expressa em gramas (g);

m_{am} : é a água da mistura do traço, ou seja, a massa de água expressa em gramas (g);

m_e : é a massa da amostra ensaiada, expressa em gramas (g);

m_{ae} : é a massa de água exsudada, expressa em gramas (g), ou o volume total de água retirado do corpo-de-prova, expresso em centímetros cúbicos (cm³), multiplicado por 1 g/cm³.

Figura 18 – Recipiente para ensaio de exsudação



Fonte: ABNT NBR 15558:2008

3.4.3 Massa específica do concreto

Em relação a massa específica das diferentes dosagens dessa pesquisa, serão realizadas através do ensaio da ABNT NBR 9833:2009, sendo verificado as diferentes massas específicas desses compósitos com diferentes proporções. Utiliza-se um recipiente cilíndrico, haste e balança para essa verificação.

3.5 Moldagem, adensamento e cura dos corpos de prova

Os corpos de prova cilíndricos de concreto foram moldados seguindo os procedimentos descritos na ABNT NBR 5738:2016, tendo altura de 20 cm e o diâmetro de 10 cm. Após a moldagem dos corpos de provas, foi realizado o processo de cura estabelecido na ABNT NBR 5738:2016.

3.7 Ensaio de caracterização no estado endurecido

3.7.1 Compressão, Tração e Módulo de elasticidade

O rompimento seguiu a ABNT NBR 5739:2018. O módulo de elasticidade tangente inicial dos concretos foi obtido por meio dos cálculos recomendados na ABNT NBR 6118:2024.

3.6 Ensaio de retração restringida pelo método de placas

Identificados os resultados dos materiais no estado fresco e endurecido, foram demonstrados os resultados obtidos nas placas, analisando o comportamento do concreto referencial e dos compósitos com diferentes proporções de fibras de polipropileno com cura e sem cura, sendo controlado temperatura e vento do ambiente.

O ensaio de retração por placas foi baseado nos estudos anteriormente citados, como do Kraai (1985) e Barluenga e Hernandez (2007), sofrendo algumas adaptações para se adequar ao agregado graúdo utilizado. As dimensões das placas foram maiores em razão de se aproximar com a placas de pisos industriais. O fato de unir as características das placas dos dois trabalhos é forçar a retração ao máximo com diferentes tipos de curas, levando ao estado limite do compósito em relação a fissuração.

Alguns padrões foram tomados durante os processos de execução das placas, em diferentes dias. Primeira etapa foi a fabricação das chapas metálicas demonstrada na figura 19, sendo utilizado aço carbono utilizadas na placa com o intuito de obter maior retração, conforme citado no capítulo anterior.

Figura 19 – Chapas metálicas utilizadas nas placas para forçar a retração



Sendo a dimensão das chapas e da restrição, descrita na tabela 15.

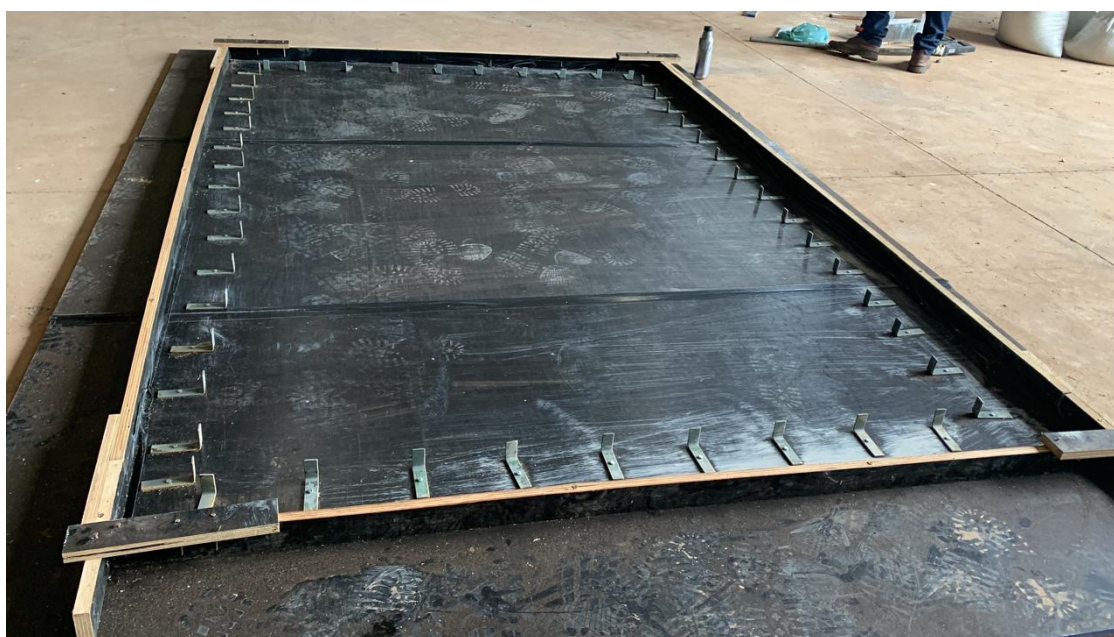
Tabela 15 – Condições de teste a desenvolver

Condições aplicadas	Características
Dimensão das placas	1830 x 2760 x 57,15 mm
Restrição perimetral	Faixa de 38,1 mm x 76,2 mm em formato "L"

Acervo do autor

Após, foi realizada a fixação das restrições metálicas, sendo um total de 50 restrições por placa, sendo cerca de 15cm de distância entre elas, nas fôrmas das placas, conforme Figura 20.

Figura 20 – Placa pronta para execução do concreto



Acervo do autor

Para evitar qualquer outra restrição na placa, foi utilizada fitas silver tape, e foi utilizado desmoldantes, com o intuito de evitar qualquer restrição que não fosse as restrições com chapas em L.

Todas as placas foram adensadas com o uso de vibradores mecânicos, para melhorar a homogeneização da pasta. Foi levando em consideração que o excesso de vibração é prejudicial ao concreto e compósitos, tomando esse devido cuidado.

Com as fôrmas preparadas, todos os materiais foram separados conforme figura 21, sendo retirado a umidade através do método da frigideira (não normatizado), e foram pesados através de balança, para a realização da concretagem, conforme traço.

Figura 21 – Separação dos materiais para elaboração do concreto



Acervo do autor

O monitoramento das fissuras será por meio da inspeção visual com auxílio de um fissurômetro, onde através dele também foi medido a espessura das fissuras. As medições foram feitas na face superior das placas de concreto 12 horas após o lançamento do concreto durante 7 e depois, uma vez ao dia, durante 28 dias, sendo analisadas todas as placas, com diferentes dosagens do concreto referência e dos compósitos. O procedimento foi feito traçando um sistema de eixo ortogonal à fissura, posteriormente mediu-se a espessura da fissura. Sendo usado a tabela 16 como referência para verificação das placas.

Tabela 16 – Resultados obtidos por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
Fissurou ou não?	Espessura média da fissura	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras	Índice de fissuração (m/m ²)

3.7 Condições de cura

As placas de concreto foram analisadas em diferentes condições de cura: úmida, química e seca. A cura úmida levou em consideração as indicações do ábaco de Petrucci (1973) demonstrado na Figura 8, no qual é indicada a quantidade de água necessária para que o surgimento de fissuras por retração plástica seja evitado.

Também, foi aplicada a cura química em uma placa com concreto convencional. A cura química foi realizada apenas no concreto referência. O material utilizado apenas em uma placa no concreto referência é a base de parafina emulsionada em meio aquoso, cuja a densidade é 0,99 kg/L, e a recomendação do de consumo é de 300 a 400 g/m², sendo utilizado o teor máximo na pesquisa em questão.

Dessa forma, foi realizado placas de concretos sem cura alguma, no trabalho também denominado de cura seca, e foi verificado o comportamento do material. Em outra placa, foi realizada a cura recomendada no ábaco. Na Tabela 17 são apresentadas as condições de cura média do estudo.

Tabela 17 – Condições ambientais de exposição das placas

Condição	Parâmetros		
	Temperatura	Umidade relativa	Vento
Laboratório	23 +/- 2 °C	> 80%	6 km/h – 12km/h

Durante a execução foi necessário o controle de temperatura do concreto como exemplo da Figura 22a, e temperatura ambiente, controle do vento e umidade relativa

do ar mostrados na Figura 22b, sendo o vento forçado por ventilado para realização da cura das placas através do ábaco de Petrucci (1973), importante parâmetro conforme citado.

Figura 22 – Condições das placas de concreto



(a) Temperatura do concreto



(b) Velocidade do vento

Acervo do autor

3.8 Concretagem e condições

Com os processos que antecedem a execução realizados, foram concretadas as placas ilustradas na figura 23 e 24, respeitando as ordens de concreto referencial até o compósito com maior proporção de fibras de polipropileno.

Figura 23 – Placa concreto referência



Acervo do autor

Figura 24 – Placa de CRF 1,2



Acervo do autor

A proporção de fibras foi pensada justamente para não haver a existência de ouriços e grumos, como percebe-se no concreto com maior proporção, não há fibras

na superfície, com o concreto ainda no estado fresco, caso esse que se repetiu nas placas com menores proporções.

Todos os concretos foram adensados com vibradores, de forma com que não vibrassem em excesso justamente para evitar a exsudação do material e heterogeneização do mesmo. Percebendo pelas imagens o concreto sem exsudação na superfície, evitando as manifestações patológicas já citadas.

Durante as concretagens houve a tentativa de aproximação com a temperatura ambiente, velocidade do vento e umidade relativa do ar, mesmo assim sofrendo algumas alterações durante as diferentes concretagens, levando em considerações os diferentes dias de execuções.

Na tabela 18 é identificado as condições dos concretos para as diferentes placas, e conseqüentemente qual o volume de água indicado pelo ábaco de Petrucci (1973) para a realização da cura do concreto que foi realizada por 7 dias, respeitando a ABNT NBR 14931:2023 que pede cura até atingir pelo menos 15 MPa, pelos resultados encontrados no ensaio de resistência mecânica à compressão, 7 dias foram mais do que os suficientes.

Tabela 18 – Condições de aplicação das placas de concreto

CONCRETO	TEMPERATURA DO CONCRETO °C	TEMPERATURA AMBIENTE °C	VELOCIDADE DO VENTO km/h	UMIDADE RELATIVA DO AR %	Taxa de evaporação de água L/m ² /h	Volume de água p/h (L)
REF	32,0	30,9	11,52	65	0,6	3,03
CRF 0,6	33,3	29,3	10,44	69	0,6	3,03
CRF 0,9	33,3	30	10,08	70	0,6	3,03
CRF 1,2	32,8	30	10,08	70	0,6	3,03
REF C/ CURA QUÍMICA	31,2	31	9,72	38	-	-

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa.

4.1 Etapa I

Na Tabela 19 são apresentados os resultados de abatimento por tronco de cone, o fator de exsudação e a densidade de massa no estado fresco dos concretos analisados.

Tabela 19 – Resultados obtidos pelos concretos no estado fresco

Concreto	Abatimento placas (mm)	Exsudação (%)	Densidade (kg/m ³)
REF	135	0,60	2379
CRF 0,6	120	0,52	2365
CRF 0,9	110	0,20	2422
CRF 1,2	160	0,15	2489

As fibras tiveram influências no abatimento do material, em relação ao concreto referência. Segundo Quinino (2015), quanto maior a proporção de fibras, pode ser causado problemas na homogeneidade da matriz, trazendo dificuldade na trabalhabilidade. Sendo do concreto referência para o compósito com teor de 0,10%, houve uma queda de 63%, antes do acréscimo final de água. Essa situação deixa claro o cuidado com a dosagem em situações de adição de fibras, pois com a queda de abatimento tão expressiva, teremos problemas na resistência à compressão e execução das placas, que será discutido adiante.

Os teores de fibras não apresentaram como problema a formação de grumos ou ouriços, o cuidado na colocação do material de forma contínua nos agregados, sendo dispostos de pequenas quantidades por vez, foram os suficientes para que os compósitos ficassem homogêneos.

Em relação a exsudação, como o concreto referência apresentou um fator de 0,6%, não foi possível fazer um comparativo mais evidente entre a proporção de fibras e o teor de exsudação, apesar de apresentar resultados ainda menores, isso ocorre porque segundo Figueiredo, Tanesi e Nince (2002) parte de água da mistura é absorvida por essas fibras. Como houve o cuidado com o estudo de dosagem inicial

com a utilização de aditivos já conhecidos, proporcionaram que o concreto obtivesse o resultado desejado em relação a essa característica.

O aumento da densidade foi maior, quanto maior a proporção de fibras, isso não é comum segundo Figueiredo (2022), mas pode ser um erro de execução de ensaio.

Esse fato é de extrema importante para mitigação de manifestações patológicas, que segundo Golfetto et al (2019), o excesso pode causar desgaste superficial na estrutura, e fissuração do concreto segundo Montardo e Rodrigues (2022) consequência da retração plástica que segundo Silva et al (2017) são as principais manifestações causadas pelo excesso de exsudação. Na figura 25 observa-se o ensaio de exsudação realizado no concreto referência do lado esquerdo concreto com maior proporção de fibras, sendo o CRF 1,2 e do lado direito o concreto referência.

Figura 25 – Diferentes exsudações nos concretos



Acervo do autor

4.2 Etapa II

Na Tabela 20 são apresentados os resultados de resistência à compressão dos concretos analisados na pesquisa.

Tabela 20 – Resistência mecânica à compressão

IDADES (dias)	REF			CRF 0,6			CRF 0,9			CRF 1,2		
	fc (MPa)	fck, med (MPa)	fck, pot (MPa)	fc (MPa)	fck, med (MPa)	fck, pot (MPa)	fc (MPa)	fck, med (MPa)	fck, pot (MPa)	fc (MPa)	fck, med (MPa)	fck, pot (MPa)
1	19,1	19,2	19,3	13,4	12,5	13,4	15,2	14,6	15,2	11,0	10,6	11,0
	19,3			11,6			14,1			10,2		
7	33,5	33,8	34,1	23,1	22,2	23,1	23,5	23,2	23,5	20,5	19,4	20,5
	34,1			21,3			23,0			18,2		
28	36,1	36,6	37,2	30,1	28,4	30,1	27,9	27,9	27,9	24,0	22,6	24,0
	37,2			26,6			27,9			21,1		

Com base nos resultados apresentados na Tabela 9, constata-se que ocorreu um crescimento de 18%, em média, na resistência à compressão entre os 7 e 28 dias, o qual é justificado pelo tipo de cimento utilizado (CP II-F40). Sendo esse crescimento comprovado na pesquisa realizada por Padilha, Paliga e Torres (2017), não havendo interferência com o uso de fibras no concreto. Segundo Quinino (2015), as fibras de polipropileno apresentam ganho na resistência à compressão, quando associados a outras fibras, como a de aço por exemplo,

Por outro lado, as resistências à compressão médias e potenciais dos concretos foram decrescendo à medida que o teor de adição de fibras foi aumentado. Assim, quanto maior o teor de fibras, menor a resistência potencial à compressão, fato explicado pela perda de abatimento gerado pelo reforço desse material, sendo necessário aumentar alterar a relação água/cimento dos materiais, confirmando a Lei de Abrams que segundo Neville (2016), diminuindo a resistência mecânica à compressão. Isso também pode ocorrer, pelo fato de a fibra ocupar um espaço que antes era ocupado pelos agregados, gerando uma falha induzida no compósito.

Havia a possibilidade de aumentar a dosagem de aditivos para que a relação água/cimento não fosse alterada, não foi realizado dessa forma, pois o aditivo é a base de lignossulfonato e estava no limite de dosagem que segundo Ferraz e Venancio (2022) esse aditivo contém açúcares na composição que,

consequentemente, retardam a pega do cimento, além de aumentar a incorporação de ar no concreto.

Aumentar o retardo da pega não era uma opção, segundo Rodrigues (2022) o tempo de pega para acabamentos de piso é importante, pois influencia o tempo de espera para entrar com a acabadora para fazer a finalização do mesmo, sendo desejado o início de pega de três a quatro horas, para que toda operação finalize de oito a dez horas.

Em relação a incorporação de ar, segundo Ferraz e Venancio (2022) o excesso faz com que diminua a resistência mecânica. Segundo Rodrigues (2022), o incorporador de ar não deve ser utilizado por ser causador de delaminação que segundo Pereira, Leocádio e Pinheiro (2022) é uma manifestação patológica onde ocorre o deslocamento da camada superficial do concreto.

A queda de resistência a compressão também pode ser explicada segundo Ehrenbring (2017), a inserção de fibras diminui a capacidade de carga matriz, não havendo possibilidade de aumentar a resistência à compressão. Segundo Mehta e Monteiro (2014) a contribuição do reforço com fibras não é a resistência.

Dentro dos ensaios foi verificada a resistência à tração dos materiais conforme tabela 21, fato esse importante segundo Andrade e Tutikian (2022), apesar da tração aplicada neles sejam baixas em relação a outros materiais, as falhas inerentes do material que existem no concreto e compósitos faz com que a propagação de fissuras seja elevada, pois a propagação delas são transversais à direção principal do esforço, podendo gerar a ruptura do concreto ou compósitos.

Tabela 21 – Resistência mecânica à tração por compressão diametral

IDADES (dias)	REF			CRF 0,6			CRF 0,9			CRF 1,2		
	f_c (MPa)	$f_{ct, med}$ (MPa)	$f_{ct, pot}$ (MPa)	f_c (MPa)	$f_{ct, med}$ (MPa)	$f_{ct, pot}$ (MPa)	f_c (MPa)	$f_{ct, med}$ (MPa)	$f_{ct, pot}$ (MPa)	f_c (MPa)	$f_{ct, med}$ (MPa)	$f_{ct, pot}$ (MPa)
7	2,7	2,3	2,7	1,9	2,0	2,1	1,7	1,8	1,8	1,7	1,9	2,1
	1,9			2,1			1,8			2,1		
28	3,1	2,7	3,1	2,4	2,6	2,7	2,1	2,1	2,1	2,2	2,4	2,6
	2,3			2,7			2,1			2,6		

A resistência à tração seguiu a grandeza indicada na bibliografia a relação que a resistência a tração possui sobre a compressão, segundo Rodrigues (2022) é em média em torno de 10 a 15% do resultado à compressão, ficando em torno de 8 a 11% a relação entre eles. O ensaio de tração à compressão diametral, segundo Quinino (2015), não é recomendado, pois esse método além de não levar em consideração o

rearranjo causado pelas fissuras iniciais da matriz, as matrizes com fibras não apresentam ruptura frágil, o qual determina a resistência à tração no concreto.

A pesquisa de Júnior, Silva e Moravia (2017), apresentou crescimento de 9,3% na tração para o concreto com adição de fibra de polipropileno, é importante afirmar que a proporção utilizada foi na grandeza de 20 vezes mais do que a proporção utilizada neste estudo.

A falta de crescimento na resistência mecânica à tração para os compósitos com diferentes proporções de fibras, segundo Figueiredo (2011) acontece por conta do módulo de elasticidade do material de reforço não ser acima de 160 GPa. A fibra de aço é um exemplo, por servir como ponte de transferência de tensões. No trabalho em questão a fibra utilizada possui um módulo de elasticidade de 9GPa, sendo a sua utilização recomendada para a mitigação de fissuração por retração plástica.

A última análise do concreto e compósitos no estado endurecido verificou-se o módulo de elasticidade, ilustrado na tabela 22. Resultados esses obtidos através da equação existente na ABNT NBR 6118 (2024)

Tabela 22 – Módulo de Elasticidade segundo ABNT NBR 6118 (2024)

IDADES (dias)	REF			CRF 0,6			CRF 0,9			CRF 1,2		
	E (GPa)	E, med (GPa)	E, pot (GPa)	E (MPa)	E, med (MPa)	E, pot (MPa)	E (MPa)	E, med (MPa)	E, pot (MPa)	E (MPa)	E, med (MPa)	E, pot (MPa)
28	33,6			30,7			29,6			27,4		
	34,1	33,9	34,1	28,9	29,8	30,7	29,6	29,6	29,6	25,7	26,6	27,4

Para realizar a equação foi necessário identificar a natureza do agregado, visto que na região de Sinop – MT as jazidas de britas são de origem de Granito, sendo assim os resultados foram de acordo com os supracitados. Foi feita a tentativa de realizar o ensaio, mas o relógio sendo analógico dificultou a obtenção dos resultados, como os valores encontrados não foram de acordo com a bibliografia, foi preferível apresentar os resultados da tabela 16.

Por ser uma fibra de baixo módulo, para apresentar as propriedades indicadas para retração plástica o indicado seria um concreto com baixo módulo, sendo o caso desse compósito analisado, por isso a escolha dessas fibras para essa pesquisa, pois as fibras de aço que também possuem grande utilização no mercado, apresentam outras finalidades.

Na pesquisa do Júnior, Silva e Moraiva (2017), apesar da proporção ser de 24 kg/m³, houve uma queda em relação ao módulo de elasticidade do concreto referência

3,9%, mostrando que a fibra de polipropileno não apresenta impacto ao módulo de elasticidade do concreto, levando em consideração o módulo de elasticidade tangente sendo ele teórico, segundo a ABNT NBR 6118:2024.

Para pisos segundo Rodrigues (2022), o módulo de elasticidade tem importância secundária, pois não há impacto no comportamento estrutural das placas o fato de estarem apoiadas em meio elástico, pelo contrário é preferível módulos menores, pois conseguem se acomodar melhor na fundação dos terrenos

4.3 Etapa III

Nas condições apresentadas o concreto referencial ilustrada na figura 26 não teve qualquer tipo de cura, foram detectados o total de 306 fissuras, as demais informações estão descritas na tabela 23.

Tabela 23 – Resultados REF sem cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
Fissurou ou não?	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)	Índice de fissuração (m/m ²)
Sim	0,1	Primeiras 48h	17,920	3,55

Figura 26 – Concreto referencial sem cura



Acervo do autor

O outro concreto demonstrado na figura 27, com as características de dosagem idênticas do concreto anterior, e sem nenhuma alteração apenas com a cura na placa, foi apresentado 356 fissuras, e os outros resultados encontrados nesta placa estão na tabela 24.

Tabela 24 – Resultados REF com cura úmida, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
Fissurou ou não?	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)	Índice de fissuração (m/m ²)
Sim	0,1	Primeiras 48h	12,460	2,47

Figura 27 – Concreto referência com cura úmida



Acervo do autor

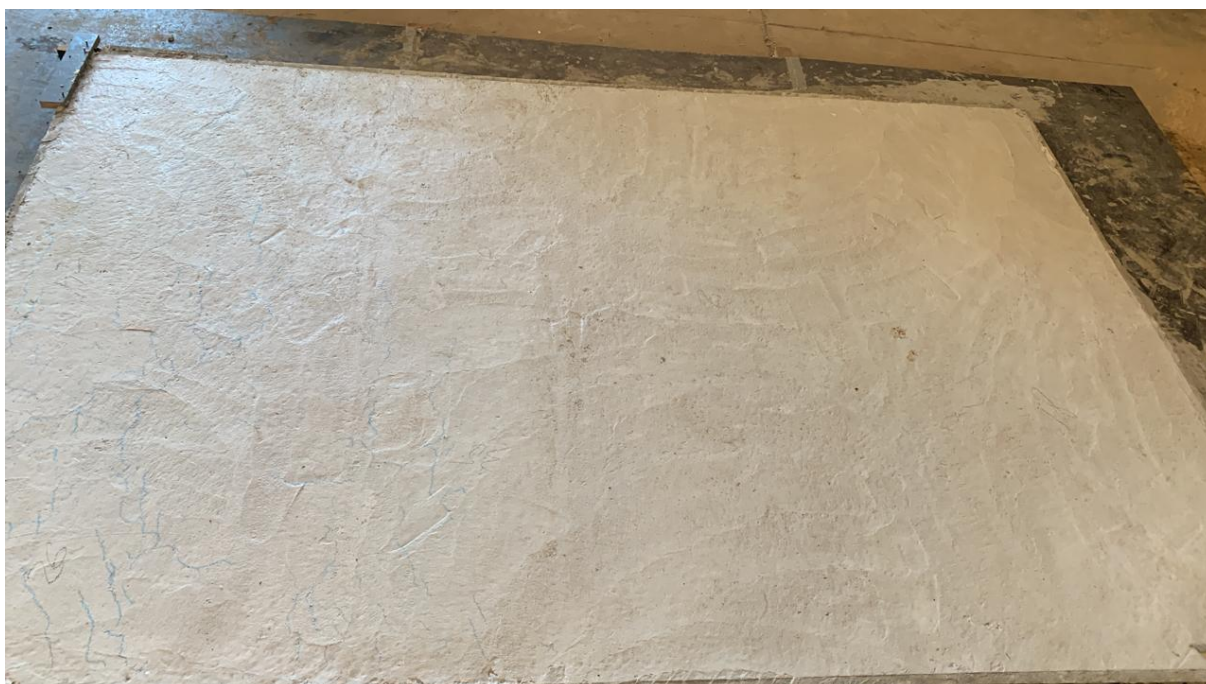
Feito o concreto referência nas duas situações distintas, foi dado início a análise com as diferentes proporções de fibras de polipropileno. As diferentes proporções foram pesadas conforme figura 28 e colocadas na mistura através dos agregados de forma contínua, para evitar os ouriços.

O compósito com reforço de 600 g considerando um concreto referencial de 1m^3 , sem cura alguma, foram encontradas 136 fissuras, conforme figura 29. Nessa placa houve uma característica específica dessas fissuras, sendo 35 delas maiores de 10cm de comprimento, sendo os resultados apontados na tabela 25.

Tabela 25 – Resultados CRF 0,6 sem cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)	Índice de fissuração (m/m^2)
Fissurou ou não?				
Sim	0,1	Primeiras 48h	15,38	3,05

Figura 28 – Compósito com CRF 0,6 sem cura



Acervo do autor

O compósito com 600g de material com cura foram detectadas 532 fissuras gerando um total de 60,30m de fissuras lineares, conforme demonstrado as características na figura 29, e na tabela 26.

Tabela 26 – Resultados CRF 0,6 com cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
Fissurou ou não?	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)	Índice de fissuração (m/m ²)
Sim	0,3	Primeiras 48h	60,30	11,94

Figura 29 – Compósito CRF 0,6 com cura



Acervo do autor

O compósito com 900g de fibras de polipropileno sem cura, apresentou 27 fissuras, apresentadas na figura 30 e na tabela 27.

Tabela 27 – Resultados CRF 0,9 sem cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)	Índice de fissuração (m/m ²)
Fissurou ou não?				
Sim	0,1	Primeiras 48h	1,13	0,22

Figura 30 – Compósito CRF 0,9 sem cura



Acervo do autor

A placa contendo o compósito de 900g com cura obteve o resultado de 34 fissura sendo 2,28m de microfissuras lineares, apresentando 3 fissuras maiores de 100mm, conforme ilustrada na figura 31 e na tabela 28.

Tabela 28 – Resultados CRF 0,9 com cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)	Índice de fissuração (m/m ²)
Fissurou ou não?				
Sim	0,1	Primeiras 48h	2,28	0,45

Figura 31 – Compósito CRF 0,9 com cura



Acervo do autor

A última proporção de microfibras utilizada realizou-se com 1.200g considerando um traço de 1m³ de concreto. Na placa sem cura desse compósito ilustrada na figura 32, obteve-se a 55 fissuras, com as demais informações na tabela 29, sendo 10 delas maiores que 100mm.

Tabela 29 – Resultados CRF 1,2 sem cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
	Fissurou ou não?	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)
Sim	0,1	Primeiras 48h	3,97	0,78

Figura 32 – Compósito CRF 1,2 sem cura



Acervo do autor

Na placa com as mesmas características do compósito anterior, apenas com a diferença da placa ter recebido cura conforme figura 33, resultando em 11 fissuras, obtendo um total de 13,75m de fissuras, sendo 21 delas maiores do que 100mm. Conforme tabela 30.

Tabela 30 – Resultados CRF 1,2 com cura, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
Fissurou ou não?	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)	Índice de fissuração (m/m ²)
Sim	0,1	Primeiras 48h	13,75	2,72

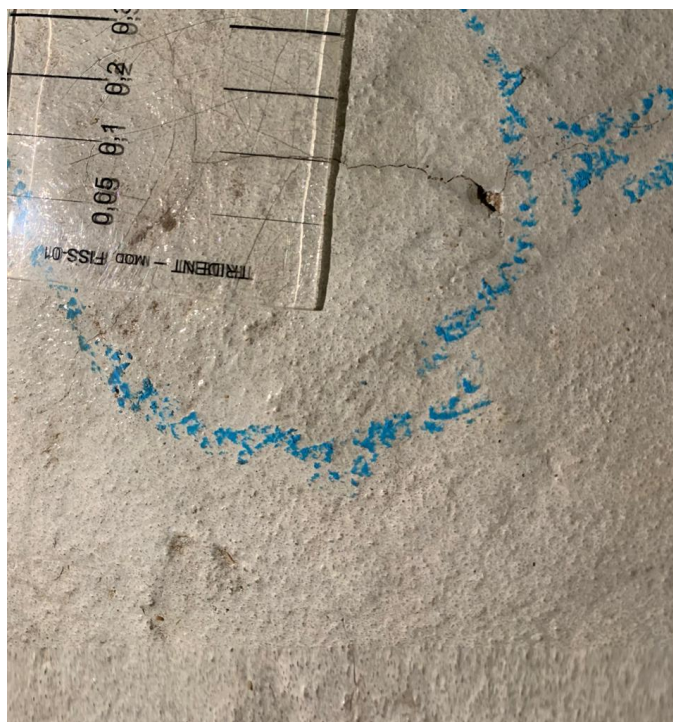
Figura 33 – Compósito CRF 1,2 com cura



Acervo do autor

As fissuras encontradas apresentaram algumas características similares entre elas importantes. A espessura das fissuras de maneira geral eram em torno de 0,1mm, conforme demonstra a figura 34.

Figura 34 – Fissuras de 1mm encontrada em placas de concreto



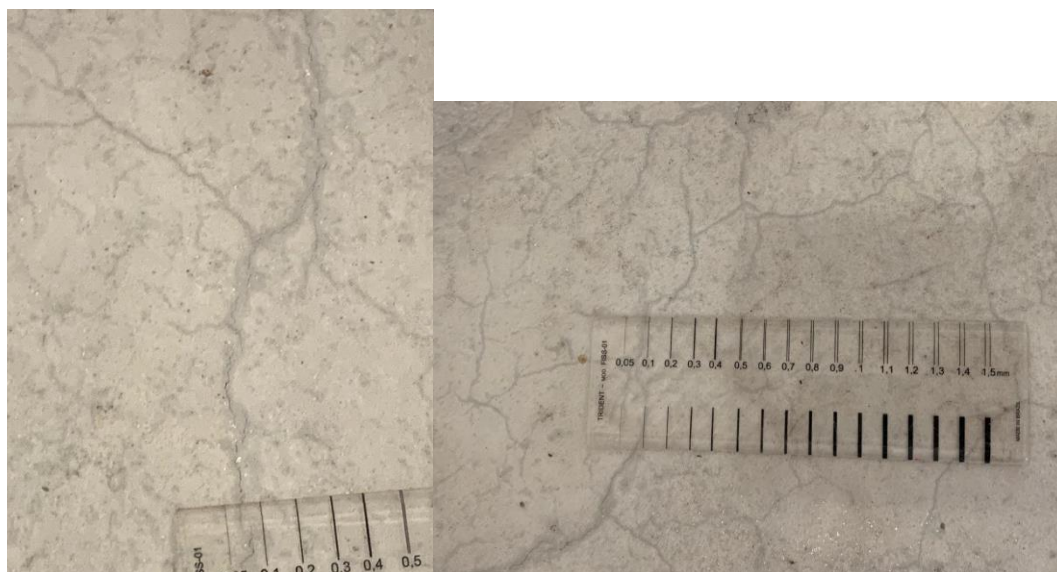
Acervo do autor

As fissuras geradas por retração plástica do trabalho foi próximo resultados entrado na pesquisa de Giroto, Barbosa e Maciel (2014), onde grande parte das fissuras eram menores que 0,25mm. Nesse trabalho as maiores fibras encontradas foi de 0,3mm.

Outro resultado importante que seguiu em todas as placas em relação ao surgimento das fissuras, foram o momento delas, sendo nas primeiras 48 horas após a concretagem da placa, sendo todas elas estabilizadas após esse período.

Aspecto importante a ser considerado é que as fissuras apresentaram a característica de dessecação superficial conforme figura 35, que segundo Cardoso (2023) ocorre entre o concreto fresco e as idades iniciais do concreto. Essas fissuras segundo Molin (1988) possuem aspecto de mapeamento ou pele de crocodilo, fenômeno repetido nas placas concretadas.

Figura 35 – Dessecação superficial por retração plástica



Acervo do autor

Dentro das análises apresentadas, e sem uma solução encontrada para a resolução das fissuras, desenrolou-se a concretagem da placa com cura química apresentada na figura 36, com o intuito de verificar, mas uma forma de cura, sendo como resultado a placa concretada, nenhuma microfissura encontrada superficialmente. Conforme descrita tabela 31.

Tabela 31 – Resultados CRF com cura química, por meio do ensaio de retração restringida pelo método da placa

Qualitativo	Quantitativos			
Fissurou ou não?	Espessura média da fissura (mm)	Aumento da fissura por dia	Comprimento total de fissuras (m)	Índice de fissuração (m/m ²)
Não	-	-	-	-

Figura 36 – Concreto Referência com cura química



Acervo do autor

A cura química além de mitigar as possíveis fissuras por retração plástica, segundo a pesquisa de Santos e Polesello (2022), apresenta também maior resistência mecânica à compressão, como o agente químico evita a evaporação precoce da água no concreto, ele garante o crescimento gradativo de resistência. Esse mesmo estudo constatou que quando o concreto está submetido à cura química não há permeabilidade para dentro do material concreto, ou seja, a película impede a entrada e saída de água para o meio externo.

A ausência de pesquisas de trabalhos sobre eficiências da cura química impede mais comparativos, que comprovem a sua eficácia nos materiais.

Dentro das análises das diferentes placas com as diferentes proporções de fibras, obtivemos a tabela 32, que resume os resultados encontrados.

Tabela 32 – Quantidade e comprimento de fissuras nas diferentes placas com diferentes proporções de fibras de polipropileno

	REF		CRF 0,6		CRF 0,9		CRF 1,2	
	S/ CURA	CURA	S/ CURA	CURA	S/ CURA	CURA	S/ CURA	CURA
QUANTIDADE DE FISSURAS	306	356	136	532	27	34	55	111
COMPRIMENTO DE FISSURAS M.	17,92	12,46	15,38	60,297	1,13	2,28	3,97	13,75

A quantidade de fissuras fica clara quando demonstrado no gráfico 1, mostrando as quantidades encontradas e no gráfico 2 na sequência demonstra quantas fissuras teve por metro linear, dentro das placas e por fim o gráfico 3 com o índice de fissuração.

Gráfico 3 – Quantidade de fissuras por placas

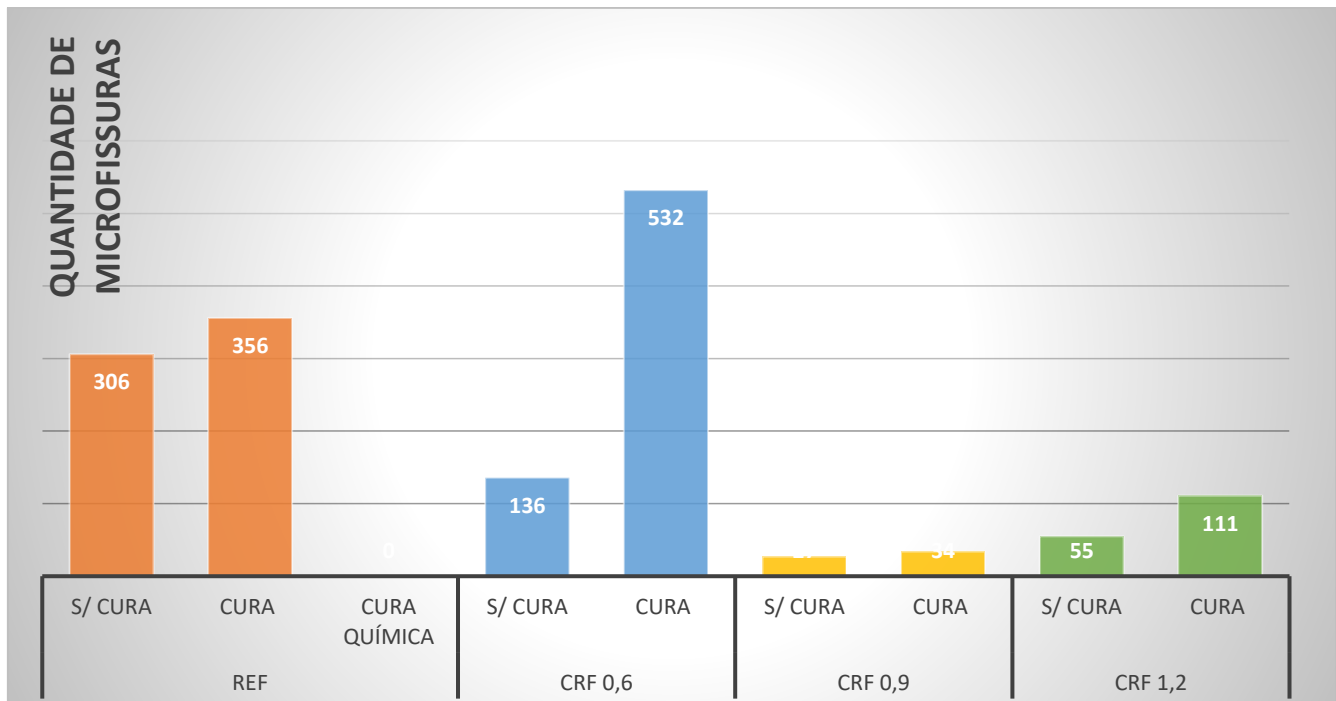


Gráfico 4 – Comprimento de fissuras por metro linear nas diferentes placas

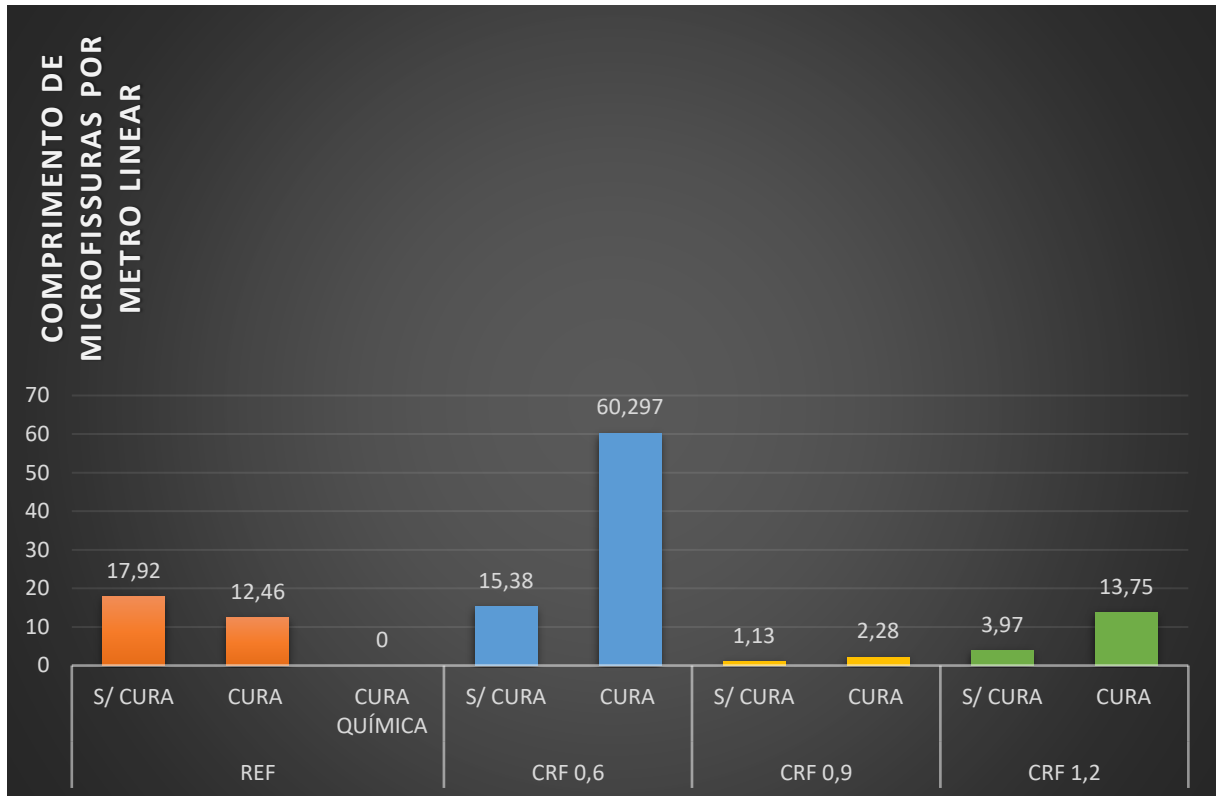
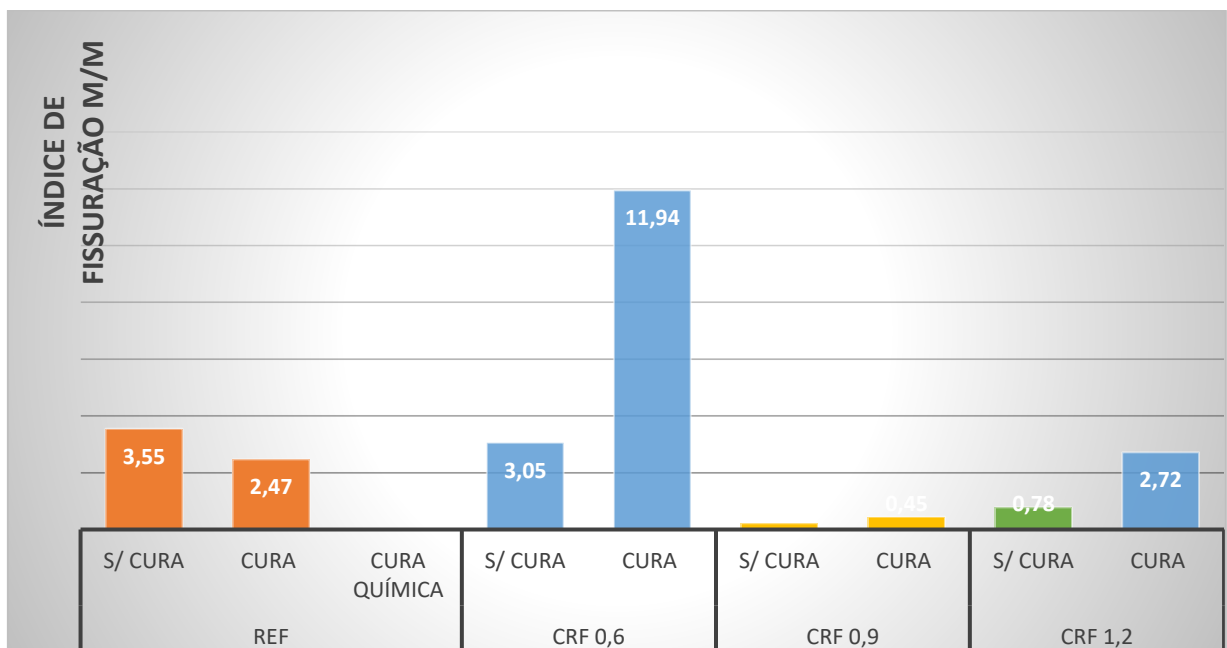


Gráfico 5 – Índice de fissuração por m/mm nas diferentes placas



Nas informações coletadas fica evidente que há fissuração nas placas em que há pouca quantidade de fibras ou nenhuma quantidade como o concreto referência.

Fato a destacar que a quantidade de fibras impacta na quantidade de fissuras que podem surgir nos pisos industriais.

O comportamento das fibras em uma certa proporção responde a bibliografia citada, onde de fato mitiga o surgimento de fissuras, mas não resolve o problema.

Insta salientar que a cura úmida diminuiu em 30% a proporção de fissuras em relação as fissuras por metro linear entre a placa sem cura e com cura úmida.

Detalhe importante extraído desses dados é que em determinada proporção as fibras não desempenham a mesma função, sendo o quase ponto ótimo com 900g de fibras para 1m³ de concreto, cerca de 0,04% do volume total do material. Nessas placas também houve mais fissuras quando se teve cura, ocasionado por possíveis choques entre a placa e água, essa diferença de temperaturas não foram positivas, visto que a temperatura ambiente era acima de 30 °C e da água a temperatura não foi modificada, e sim utilizando água do sistema operacional, ou seja, com temperatura controlada.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste estudo, conclui-se que:

- a. A inserção de fibras de polipropileno tem um impacto considerável na redução da fissuração por retração plástica. Ao comparar as diferentes dosagens de fibras (600g, 900g e 1200g/m³), observou-se que o teor de 900g/m³ apresentou uma redução de 94% na ocorrência de fissuras em relação ao concreto de referência sem fibras. Esse resultado demonstra que, mesmo com o aumento da concentração de fibras, a eficiência na mitigação da retração se estabiliza em torno dessa dosagem, sugerindo que teores superiores podem não trazer benefícios adicionais.
- b. A cura química, tradicionalmente utilizada, foi a única que preveniu completamente a formação de fissuras, criando uma barreira eficaz contra a evaporação precoce de água, fator crítico na retração plástica. A cura úmida, embora útil em algumas situações, não demonstrou a mesma eficácia quando comparada à cura química, especialmente em ambientes com alta exposição a variações climáticas.
- c. As propriedades mecânicas foram afetadas negativamente a medida em que a adição de fibras de polipropileno aumentou. Ou seja, não contribuiu para o aumento das resistências à compressão e à tração diametral, confirmando que o principal benefício das dessas fibras está na sua capacidade de controlar a fissuração nas idades iniciais, e não como reforço estrutural.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante explorar outras combinações de materiais para cura, como novos tipos de produtos químicos que aumentem a durabilidade do concreto sem interferir nas propriedades de resistência mecânica. Além disso, a investigação de outros tipos de fibras, e sua aplicação em diferentes proporções, pode oferecer insights sobre soluções ainda mais eficientes para o controle de fissuras. A análise de custos e benefícios associados à substituição parcial ou total das fibras, em conjunto com o desenvolvimento de novas tecnologias de cura, pode abrir novas frentes de pesquisa, focando na otimização dos recursos e maior durabilidade dos pisos industriais de concreto.

Por fim, pesquisas mais aprofundadas sobre o comportamento do concreto em diferentes condições ambientais, incluindo o impacto de fatores como vento e variações de temperatura, podem fornecer diretrizes mais robustas para a aplicação prática das técnicas de cura e utilização de fibras. Esse conhecimento permitirá um desenvolvimento mais seguro e eficiente de pisos industriais, minimizando patologias e maximizando sua vida útil.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 302.1 R-15 **Guide to Concrete Floor and Slab Construction**. ACI Committee 302, Detroit , USA, 2015.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.1R-96 **Report on Fiber Reinforced Concrete**. ACI Committee 544 (Reaprovado 2018), Detroit, USA, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage**. C1581/1581M, ASTM, Pennsylvania, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert)**. C1579, ASTM, Pennsylvania, 2021.

Andrade, J. J. O., Tutikian, B. F., **Resistência Mecânica do Concreto**, Ibracon, Concreto Ciências e Tecnologia, São Paulo, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Aditivos químicos para concreto de cimento Portland*. **NBR 11768-1**, ABNT, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água*. **NBR 16917**, ABNT, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água*. **NBR 16916**, ABNT, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Agregados – Determinação da massa unitária e índice de vazios*. **NBR 16972**, ABNT, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Agregados para concreto - Especificação*. **NBR 7211**, ABNT, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. **NBR 12655**, ABNT, Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. **NBR 16889**, ABNT, Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto – Determinação da exsudação*. **NBR 15558**, ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão*. **NBR 8522-1**, ABNT, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. **NBR 5739, ABNT**, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico*. **NBR 9833, ABNT**, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto Para Fins Estruturais – Classificação Pela Massa Específica, Por Grupos de Resistência e Consistência*. **NBR 8953, ABNT**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. **NBR 5738, ABNT**, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Concreto Reforçado com Fibras – Controle de qualidade*. **NBR 16938, ABNT**, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)*. **NBR 16834, ABNT**, Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais*. **NBR 15575-2, ABNT**, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Execução de estruturas de concreto - Procedimento*. **NBR 14931, ABNT**, Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Fibras de aço para Concreto – Requisitos*. **NBR 15530, ABNT**, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Fibras de Vidro álcali resistentes (AR) para concreto e argamassa – Requisitos e Métodos de ensaio* **NBR 16941, ABNT**, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Fibras Poliméricas para concreto – Requisitos e métodos de ensaio* **NBR 16942, ABNT**, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de Estruturas de Concreto Procedimento*. **NBR 6118, ABNT**, Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras – Procedimento*. **NBR 16935, ABNT**, Rio de Janeiro, 2021.

CARDOSO, B. H. **Avaliação da Utilização de Polímeros Superabsorventes Residuais com Fibra Celulósica como Agente de Cura Interna em Concretos: Ensaio Laboratoriais e Aplicação em Escala Real**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2023.

COMITÊ MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. *Agregados – Determinação da composição granulométrica*. **NM 248**, MERCOSUL, 2001.

COMITÊ MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. *Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)*. **NM 76**, MERCOSUL, 1996.

AZEVEDO, M. T., **Concreto: Ciência e Tecnologia: Retração e Fluência**. IBRACON: Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 2011.

BAUER, L. A. F., **Materiais de Construção**, v.1, 6ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2019.

BANTHIA, N; YAN, C. ; MINDESS, S. **Restrained Shrinkage Cracking in Fiber Reinforced Concrete: a Novel Test Technique**. *Cement and Concrete Research*, v.26, n.1, p.9-14, 1996

BARLUENGA, G.; HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. **Cracking control of concretes modified with short AR-glass fibers at early age. Experimental results on standard concrete and SCC**. *Cement and Concrete Research*, v. 37, n. 1, p. 1624-1638, 2007

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. Taylor & F ed. New York: Taylor & Francis, 2007.

BIANCHIN, F. H., **Avaliação da Autocicatrização em Concretos Produzidos com Aditivo Cristalizante em Concretos Produzidos com Aditivo Cristalizante e Fissurados nas Primeiras Idades**, Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Porto Alegre, 2018.

BOLINA, F. L, TUTIKIAN, B. F., HELENE, P. **Patologia de Estruturas**. Oficina de Textos, São Paulo, 2019.

BORGES, A. P. S. N., MOTTA, L. A. C., PINTO, E. B. **Estudo das Propriedades de Concretos com Adição de Fibras Vegetais e de Polipropileno para uso em Paredes Estruturais**, ISSN 1517-7076 artigos e-12364, Rio de Janeiro, 2019.

CABRAL, A. E. B., et. al., **Modelagem da Retração por Secagem de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados**, *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v.3, n. 1, IBRACON, São Paulo, 2010.

CHRIST, R., TUTIKIAN, B. F., HELENE, P., **Concreto de Ultra Alto Desempenho**, Livraria e Editora Universitária de Direito, São Paulo, 2022.

COMITÊ MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. *Concreto Endurecido – Determinação da Retração Hidráulica ou Higrométrica do Concreto*. **NM 131**, MERCOSUL, 1997.

COUTINHO, A.S. **A fissurabilidade dos cimentos, argamassas e betões por efeito da sua contração**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, P. 137, Publicação n.57, 1954

DINIZ, J. Z. F., FERNANDES, J. F. e KUPERMAN, S. C., **Concreto: Ciência e Tecnologia: Retração e Fluência**. IBRACON: Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 2011.

EHRENBRING, H.Z., **Comportamento de Concretos Reforçados com Microfibras de Polipropileno (PP), Álcool, Polivinílico (PVA) e Recicladas de Poliéster (POL) em Relação à Retração por Secagem Restringida e às Propriedades Mecânicas**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Unisinos, São Leopoldo, 2017.

EHRENBRING, H. Z., et. al., **Bending Behavior of Engineered Cementitious Composites (ECC) with Different Recycled and Virgin Polymer Fibers**, v. 346, Construction and Building Materials. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128355>. 2022. Acesso em: 17 de out. 2022.

FERRAZ, D. F., VENANCIO, R. J., **Aditivos para Concreto**, IBRACON: Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 2022.

FIGUEIREDO, A.D., **Concreto Reforçado com Fibras**. Tese (Livre Docente), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, A. D., MONTE, R., GUIMARÃES, L. A., **Concreto com Fibras**, IBRACON: Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, A. D., TANESI, J., NICE, A. A. **Concreto com Fibras de Polipropileno**. Técnica, São Paulo, v. 10, n. 66, p. 48-51, 2002

GATO, M. C. S., et al., **Autorregeneração de Fissuras em Concreto a partir de uma Cultura de Bactérias**, v. 10, n. 6, p. e31510615734, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15734, 2021 Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15734>. Acesso em: 20 jul. 2022.

GIROTTTO, L. S., BARBOSA, M. P., MACIEL, G. F., **Avaliação do comportamento reológico na retração plástica e na fissuração de argamassas de concreto auto-adensável**, Revista Ibracon de Estruturas e Metais, v.7, n. 1, p. 24-52, fev. Ibracon, São Paulo, 2014

GIROTTTO, L. S., **Investigação da Retração Plástica e da Fissuração da Argamassa do Concreto Auto-Adensável**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), UNESP, Ilha Solteira, 2012.

GOLFETTO, J. M., et. al., **Estudo Experimental da Influência da Adição de Microfibras de Polipropileno e da Cura na Dureza Superficial de Pisos de Concreto**, Revista Matéria, v. 24, n. 03, Rio de Janeiro, 2019.

GRUPTA, R., BIPARVA, A., **As Adições Cristalinas Impermeabilizantes Afetam o Comportamento da Retração Plástica do Concreto?** Rev. ALCONPAT, vol. 7 n. 1, jan- abr, 2017.

- HOFFMANN, A. T., **Influência da Adição de Sílica Ativa, Relação Água/Aglomerante, Temperatura, e Tempo de Cura no Coeficiente de Difusão de Cloretos em Concretos**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFRGS, Porto Alegre, 2001.
- JANSSON, A. **Effects of Steel Fibres on Cracking in Reinforced Concrete**. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of technology. Gothenburg, Sweden, 2011.
- JOENCK, V. B. C.; CARPIO, J. A. V. D.; MELO, J. V. S. **Avaliação do Desempenho Mecânico de Misturas Asfálticas Autorregenerativas com Adição de Fibras de Aço, Escória de Alto Forno e Pó de Grafite**, Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 11, p. 88967–88984, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-352, 2020.
- JUNIOR, M. P. C.; **Avaliação da Durabilidade em Vigas de Concreto sob Diferentes Condições de Cura e Carregamento**, Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- JÚNIOR, J. C. A.; SILVA, L. C. F; MORAIVA, W. G. **Análise Experimental da Adição de Fibras Poliméricas nas Propriedades Mecânicas do Concreto**, Revista Matéria, v. 22, n.01, Rio de Janeiro, 2017
- KOPPE, A. **Utilização de Resíduo à Base de Polímero Superabsorvente e Fibra Celulósica como Agente de Cura Interna em Matrizes de Cimento Portland**. Dissertação, (Mestrado em Engenharia Civil), Unisinos, São Leopoldo, 2016.
- KRAAI, P. P. **A proposed Test to Determine the Cracking Potential due to Drying Shrinkage of Concrete**. Concrete Construction, v.30, n.9, p.775-778, Sept.,1985.
- LEITE, A. M., **Avaliação do Uso da Macrofibra Polimérica na Composição de Concreto para Fins Estruturais**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.
- LOPES, H. M. T., PEÇANHA, A. C. C., CASTRO, A. L., **Considerações Sobre Eficiência de Misturas de Concreto de Cimento Portland com Base no Conceito de Empacotamento de Partículas**, Revista Matéria, V. 25 N. 01, Rio de Janeiro, 2020.
- LIMA, I. E. P., **Estudo dos Aspectos de Dimensionamento de Elementos Estruturais de Concreto Reforçado com Fibras com Base na Teoria de Flexão em Vigas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Alagoas, Maceió, 2020.
- MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais Propriedades e Materiais**. IBRACON: Instituto Brasileiro do Concreto, 2014.
- MOLIN, D. C. C. D., **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado. Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UFRGS, Porto Alegre, 1988.

MONTARDO, J. P., RODRIGUES, P. P. F. **A Influência de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos**. 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, 2002.

NAAMAN, A.E. **Fiber reinforcements for Concrete: Looking back, Looking Ahead**. In: **RILEM Proceedings**. PRO 15, RILEM Publications SARL, 2003.

NEVILLE, A. M., BROOKS, J. J., **Tecnologia do Concreto**, 2ªed. Bookman, Porto Alegre, 2013.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016

NUNES, N. L.; FIGUEIREDO, A. D. **Retração do Concreto de Cimento Portland**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, v. 452, n. 1, 2007.

MICHAELIS, **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**, 2022.

PADILHA, S. A., PALIGA, C. M., TORRES, A. S., **Estudo Comparativo da Resistência à Compressão de Blocos de Concreto Produzidos com Diferentes Cimentos e Dosados em Ambiente de Fábricas**, Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v.13, n.2, Goiânia, 2017.

PEDROSO, M. G., **Autocicatrização do Concreto com Diferentes Tipos de Cimentos em Interação com Catalisador Cristalino**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UTFPR, Curitiba, 2019.

PEÑA, M. R. G., **Estudo da Fissuração Associada à Retração em Argamassas para Reparo em Estruturas de Concreto**, Dissertação (Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PEREIRA, A. K., **As Políticas de Infraestrutura no Brasil e o Paradoxo das Grandes Obras: Estudo de caso de Empreendimentos do Programa de Aceleração do Crescimento**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Rio de Janeiro, 2018.

PEREIRA, J. R., **Análise Comparativa Entre Métodos de Avaliação do Controle de Fissuras por Microfibras de Polipropileno em Concreto Autoadensável**, Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2020.

PERES, M. V. N. N., BASSI, M. R., FILHO, L. C. P., **Análise do Comportamento de um Compósito Reforçado com Fibra de Escória de Alto Forno Reciclada Através de um Ensaio de Retração Restringida**, 51º Congresso Brasileiro do Concreto, Curitiba, 2009.

PERIUS, G. R., **Influência das Propriedades Físicas de Agregados Reciclados sobre a Retração por Secagem em Concreto Auto-Adensável**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSC, Florianópolis-SC, 2009.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. Porto Alegre: Globo, 1973.

PEREIRA, T. A., LEOCÁDIO, A., PINHEIRO, E. C. N. M, **Soluções Adotadas para Manifestações Patológicas em um Piso Industrial – Estudo de Caso em um Galpão na Cidade de Manaus – AM**. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, may, Curitiba, 2022.

PINHEIRO, B. A. O. **Pisos Industriais de Concreto Reforçados com Fibras de Aço: Estado da Arte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Católica do Pernambuco, Recife, 2009.

PORTELA, M., SOBRINHO, P., C., **Patologias em Piso de Concreto Armado Polido: Um Estudo de Caso**. Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada, 3(1). <https://doi.org/10.25286/rep.v3i1.273>, 2016.

QUININO, U. C. M. **Investigação Experimental das Propriedades Mecânicas de Compósitos de Concreto com Adições Híbridas de Fibras**. Tese de Doutorado (Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

REBMANN, M. S., **Durabilidade de Concretos Estruturais Com Baixo Consumo de Cimento Portland e Alta Resistência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

RECENA, F. A. P., PEREIRA, F. M., **Produção e Controle de Concretos em Obras**, Ibracon, Concreto Ciências e Tecnologia, São Paulo, 2022.

RESENDE, P. B., MARTINS, R. J. F., FREITAS, M. S., **Fissuras Causadas por Movimentações térmicas no Concreto**, 5º Feira de Ciência, Tecnologia e Inovação, Unifemes, Mineiros-GO, 2018.

RIBEIRO, L. F. S., **Modelagem Mesclada do Dano e Fratura em Concreto Reforçado com Fibras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), PUC, Rio de Janeiro, 2022.

RIGO, E., OLIVEIRA, C. E.; POSSAN, E., **Aplicação de Modelagem matemática para fins de previsão de vida útil de estruturas de concreto sujeitas à ação de CO₂**, 3º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções, ISSN 2526-7248, N. 3SPPC1022, P. 245-256, Curitiba-PR, 2018.

RITT, D. J., GAUER, E. A. **Comportamento Mecânico do Concreto com a Adição de Fibras de Polipropileno e Submetido a Altas Temperaturas**. Revista Destaque Acadêmico, Lajeado, v. 13, n. 4, 2021.

RODRIGUES, G. S. S. **Contribuição ao Estudo da Retração e da Fluência e seus Mecanismos de Atuação a Baixas Idades em Concretos Estruturais**. Tese, Doutorado (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental), Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

RODRIGUES, P. P. F. **Pisos Industriais: conceitos e execução**. Revista: Concreto e Construções Ibracon, São Paulo, 2007.

RODRIGUES, P. P. F. **Pisos Industriais de Concreto**. Ibracon, Concreto Ciências e Tecnologia, São Paulo, 2022.

ROMANO, R. C. O., PILEGGI, F. A. C. R. **Propriedades do Concreto no Estado Fresco**. Concreto Ciência e Tecnologia, Ibracon, São Paulo, 2011.

ROMERO, J. R. H., **Patologia do Concreto: Fissuração em Pavimento de Concreto – Causas e Prevenção**, Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Patologia das Obras Civas), IDD, São Paulo, 2017.

SANTOS, R. V., POLESELLO, E. . **Estudo das propriedades do concreto quando submetido a diferentes tipos de cura . Conjecturas**, [S. l.], v. 22, n. 15, p. 487–498, 2022. DOI: 10.53660/CONJ-1888-2P20. Disponível em: <https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1888>. Acesso em: 16 jul. 2024.

SANTIAGO, W.C., BECK, A.T. **Um Estudo da Conformidade do Concreto de Resistência Moderada Produzido no Brasil**. 60º Congresso Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu, 2018.

SCARI, P., SANTOS, O., **Patologia em Estruturas de Concreto Armado**, Revista Boletim de Gerenciamento, v.24 n. 24, Politécnica UFRJ, Rio de Janeiro, 2021.

SCHNETZLER, R. P., SOUZA, T. A., **Proposições Didáticas Para o Formador Químico: A Importância do Triplete Químico, da Linguagem e da Experimentação Investigativa na Formação Docente em Química**. v. 42 n. 8, Revista Química Nova, São Paulo, 2019.

SENISSE, J. A. L., **Influência do Consumo de água, do Teor de Adição de Microfibras de Polipropileno, e do Tipo de Cimento no Fenômeno da Retração por Secagem em Concretos Empregado em Pisos**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do SUL, Porto Alegre, 2010.

SILVA, A. C., **Influência da Distribuição Granulométrica do Agregado na Exsudação de Água em Concretos destinados a Aplicação em Pisos**, 59º Congresso Brasileiro do Concreto, Bento Gonçalves – RS, 2017.

SILVA, C. V., **Estudo da Influência das Propriedades relacionadas à Superfície e à Matriz na Resistência à Abrasão de Concretos para Pisos**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015

SILVA, L. A., et al., **Modelagem Preditiva de Propriedades Mecânicas em Concretos Reforçados com Fibra de Aço Utilizando redes Neurais Artificiais**, Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 215-232, abr-jun, 2022.

SILVA, L., **Análise da Influência das Microfibras de Polipropileno no Controle da Retração Hidráulica no Concreto Autoadensável**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018

SILVA, V.A., et. al. **Análise do comportamento de estruturas de concreto com fibra de polipropileno sob flexão**, Revista Teccen, V.12, N. 2, p. 23-29, jul-dez, Vassouras -MG, 2019

TANESI, J., FIGUEIREDO, A.D, **Fissuração por Retração em concretos reforçado com Fibras de Polipropileno (CRFP)**, USP, São Paulo, 1999.

TANESI, J., FIGUEIREDO, A.D, NINCE, A. A., **Concreto com Fibras de Polipropileno (CFP)**, Revista Técnica, v.10, n.66, p.48-51, São Paulo, 2002

THOMAZ, E., **Trincas em Edifícios**. Oficina de Textos, 2ª ed., São Paulo, 2020.

TUTIKIAN, B., MOLIN, D. D., **Concreto Autoadensável**, 3ªed. Livraria e Editora Universitária de Direito, São Paulo, 2021.

VIECILI, F. A., **Influência da Utilização dos Endurecedores Superficiais Cimentícios na Resistência `Abrassão de Pisos Industriais de Concreto**, Dissertação (Mestrado em Engenharia na modalidade Profissional), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VIEIRA, D.V., **Comportamento Estrutural da Capa de Concreto Reforçado com Fibras de Polipropileno de um Sistema de Laje Mista a Sob Ação de Cargas Concentradas**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ZANELLA, A. K., **Análise das Propriedades Mecânicas de Concretos para Pavimentação Empregando Diferentes Processos de Cura**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.