



2024

## Estudo da caracterização mecânica e retração do concreto autoadensável

Brenda Cavalcante Tavares Frangueli <sup>a</sup>; Andrés Batista Cheung <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Aluna de Graduação em Engenharia Civil, [brenda\\_frangueli@ufms.br](mailto:brenda_frangueli@ufms.br)

<sup>b</sup> Professor Orientador, Doutor, [andres.cheung@ufms.br](mailto:andres.cheung@ufms.br)

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

---

### RESUMO

O concreto autoadensável (CAA) desenvolvido no Japão em 1988 é uma inovação na construção civil que dispensa a necessidade de vibração externa durante o processo de concretagem, preenchendo as formas de maneira autônoma. Esse tipo de concreto tem se tornado uma opção popular para a execução de estruturas monolíticas, como paredes de concreto e peças pré-fabricadas. No entanto, a retração é um desafio significativo enfrentado durante o uso do concreto autoadensável, uma vez que esse problema pode ser causado por diversos fatores, incluindo retração plástica, química, térmica e hidráulica. O objetivo desse trabalho é avaliar o comportamento de diferentes tipos de concreto autoadensável utilizando o traço de referência comumente empregado em obras de parede de concreto. Esse estudo irá analisar o comportamento mecânico e a retração do concreto no traço referência, bem como sua resposta quando adicionado fibras e o aditivo redutor de retração (RR). Os ensaios que foram realizados são: compressão axial, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, absorção, duplo puncionamento e retração. Todos os resultados desses ensaios se mostraram semelhantes, exceto o de retração e imersão. O aditivo RR se mostrou eficaz para combater a retração, tendo uma melhora de 36% em comparação com o traço referência. Enquanto com a fibra de polipropileno, devido à sua baixa dosagem no traço e a seu baixo módulo de elasticidade não obteve resultados significantes, chegando a uma melhora de 12,48% no combate a retração.

**Palavras-chave:** Concreto autoadensável, retração, fibras, dosagem, ensaio, parede de concreto, redutor de retração.

### ABSTRACT

Self-compacting concrete (SCC), developed in Japan in 1988, is an innovation in the construction industry that eliminates the need for external vibration during the concreting process and fills the forms autonomously. This type of concrete has become a popular option for the execution of monolithic structures, such as concrete walls and prefabricated parts. However, shrinkage is a significant challenge faced when using self-compacting concrete, as this problem can be caused by a number of factors, including plastic, chemical, thermal and hydraulic shrinkage. The aim of this work is to evaluate the behavior of different types of self-compacting concrete using the reference mix commonly used in concrete wall construction. This study will analyze the mechanical behavior and shrinkage of the concrete in the reference mix, as well as its response when fibers and the shrinkage-reducing additive (RR) are added. The tests carried out are: axial compression, diametral compression tensile, modulus of elasticity, absorption, double punching and shrinkage. All the results of these tests were similar, except for shrinkage and immersion. The RR additive proved effective in combating shrinkage, with a 36% improvement compared to the reference mix. The polypropylene fiber, due to its low dosage in the mix and its low modulus of elasticity, did not obtain significant results, but only a 12.48% improvement in combating shrinkage.

**Keywords:** Self-compacting concrete, shrinkage, fibers, dosage, testing, concrete wall, shrinkage reducer.

## 1. INTRODUÇÃO

O Concreto Autoadensável (CAA) teve sua origem no Japão, em 1988. Conforme o próprio nome sugere, o CAA tem a capacidade de se moldar e preencher as fôrmas sem assistência externa. Assim, dispensa completamente a necessidade de vibração ou compactação de qualquer tipo. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

As empresas de construção estão buscando praticidade e rapidez na execução de grandes obras, e é por isso que o CAA tem sido amplamente utilizado na construção de paredes de concreto (Figura 1). No entanto, segundo Tutikian (2008) sua aplicação requer um controle de qualidade mais rigoroso, uma vez que o concreto precisa ter boa fluidez para preencher as fôrmas, prevenindo segregações. Um desafio recorrente nesse processo é a formação de fissuras devido às restrições, especialmente causadas pelo efeito de retração (Figura 2).

Figura 1 – Obra vertical realizada em paredes de concreto.



Fonte: Autor

Figura 2 – Fissura causada por retração do concreto.



Fonte: Autor

De acordo com Zych (2023), as deformações impostas representam um elemento crítico na ocorrência de fissuras prematuras em estruturas de concreto maciças e semi-maciças. Assim, a questão primordial é determinar qual fração das tensões aplicadas será efetivamente limitada por restrições externas. Este aspecto é de suma importância, visto que a parcela das deformações que é restringida influencia diretamente nas variações de tensão durante o processo de endurecimento do concreto e, conseqüentemente, determina a extensão e a magnitude da fissuração.

Os exemplos de estruturas suscetíveis a fissuras de retração são: paredes de apoio de pontes, paredes de tanques retangulares ou cilíndricos, paredes de túneis rodoviários, paredes de metrô, muros de contenção, reservatórios de proteção de instalações nucleares e pisos de concreto. (JEDRZEJEWSKA et al, 2020).

Logo, entende-se que o fator de restrição define o grau de restrição das deformações impostas em um determinado elemento estrutural. Isso depende da geometria da barra, do esquema de restrição, da fluência do concreto, bem como da rigidez resultante não apenas da geometria, mas das propriedades mecânicas atuais do concreto em uma barra restringida e no elemento de restrição de deformação. (AL-GBURI, 2014).

Contudo, ao empregar altos teores de argamassa na fabricação do CAA, as retrações químicas e por secagem tendem a crescer, assim como a retração térmica aumenta com o uso elevado de cimento e adições quimicamente ativas (MEHTA e MONTEIRO, 2006). Da mesma forma, o módulo de elasticidade tende a diminuir, visto que os agregados graúdos são os principais contribuintes dessa característica.

Vale ressaltar que certos aditivos são incorporados durante a produção do concreto para mitigar a retração. Sua formulação é em pó, livre de cloretos, sulfoaluminato e outros elementos prejudiciais ao concreto. Ele garante estabilidade volumétrica, com micro expansão inicial e mínima retração a longo prazo, melhorando a estrutura de concreto sem alterações volumétricas e efeitos relacionados. (CHIMICA EDILE, 2024).

O objetivo do estudo é analisar o desempenho de diferentes tipos de concreto autoadensável (CAA) utilizando o traço de referência comumente empregado em obras de parede de concreto na cidade de Campo Grande, MS. Serão investigados o comportamento mecânico e a retração do concreto no

traço de referência, bem como sua resposta quando adicionado fibras e o redutor de retração (RR).

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Concreto autoadensável

De acordo com Efnarc (2002), um concreto é classificado como autoadensável somente quando consegue simultaneamente atender a três características essenciais: fluidez, coesão suficiente para permitir que a mistura se desloque sem interrupções entre as barras de aço (ou capacidade de passagem) e resistência à segregação. As vantagens de se utilizar o concreto autoadensável são: permitir grande variedade de fôrmas e dimensões; permitir concretagem em peças de seções reduzidas; elimina barulho de vibração; aumenta a durabilidade, uma vez que é fácil de adensar, evitando assim falhas de concretagem; entre outros.

O Concreto Autoadensável (CAA) pode ser empregado tanto *in loco*, moldado no local, quanto na indústria de pré-moldados. Ele pode ser dosado no canteiro de obras ou em centrais de concreto, e posteriormente transportado por caminhões-betoneira para as construções. Além disso, é possível lançá-lo utilizando bombas de concreto, guias ou simplesmente espalhá-lo. Assim, o CAA demonstra uma versatilidade maior quando comparado à do Concreto Convencional Vibrado (CCV).

Manuel (2005) conduziu uma pesquisa para examinar o impacto do teor de argamassa em concretos autoadensáveis. O estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, os ajustes para converter o concreto convencional (CCV) em concreto autoadensável (CAA) foram realizados no traço mais pobre (1:7,5). Foram avaliados os traços 1:3, 1:4,5, 1:6 e 1:7,5, com teores de argamassa variando de 55 a 75%. Na segunda etapa, os ajustes para transformar o CCV em CAA foram feitos no traço intermediário, avaliando os traços 1:3, 1:4,5 e 1:6. Nesta etapa, foram analisados os teores de argamassa que apresentaram melhor desempenho na etapa I (55 e 60%), exceto no estudo do módulo de elasticidade, onde foram avaliados teores de argamassa variando de 54 a 75% para o traço 1:4,5. Assim, os resultados deste estudo demonstraram o seguinte:

Resistência à compressão

Na etapa I do estudo:

- O CAA-55 demonstrou resistência à compressão superior ao CCV-REF em todos os traços (m=3, m=4,5, m=6, m=7,5), com aumentos variando de 5,9% a 52,3%.

- O CAA-65 mostrou uma resistência 25,7% maior que o CCV-REF.
- Houve resultados semelhantes entre os teores de argamassa de 60%, 70% e 75%, com diferenças de até 3% para idade de 28 dias no mesmo traço.
- No traço m=3, o CAA-60 foi 8,5% superior ao CAA-55; no traço m=6, o CAA-55 foi 9,5% superior ao CAA-60.

Na etapa II do estudo:

- Os CAA's mostraram uma evolução superior à resistência do CCV-REF nos traços 1:3 e 1:4,5.
- No traço 1:6, ambos apresentaram comportamento similar em relação à resistência à compressão.

Resistência à tração

- No traço m=4,5, o CAA-54 foi o superior em resistência à compressão entre os concretos estudados na etapa II. O CAA-60 foi o segundo melhor, sendo superado pelo CAA-54 em 17,5%. Os demais concretos tiveram resistências similares entre si.
- Os dados de resistência à tração da etapa II mostraram-se similares para CAA-54 e CAA-60 nos traços m=3 e m=6. No traço m=4,5, CAA-54 e CAA-75 foram os melhores, com o CAA-54 superando o CAA-60 em 27%.
- O quociente da relação entre resistência à tração e resistência à compressão para os CAA's foi similar ao do concreto convencional (CCV).
- A avaliação da segregação do concreto endurecido, através da observação de corpos-de-prova rompidos por compressão diametral, mostrou uniformidade na distribuição do agregado graúdo ao longo do corpo-de-prova, reproduzindo a realidade do estado fresco.

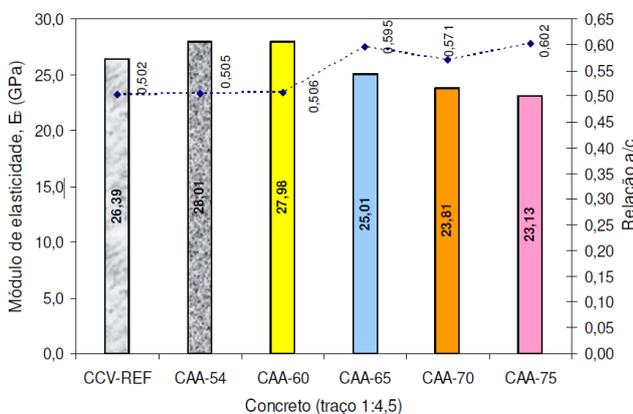
Módulo de elasticidade

- Como previsto, o teor de argamassa influenciou o módulo de deformação, diminuindo conforme o teor de argamassa aumentava.
- Ao comparar os CAA's produzidos na etapa II (CAA-54, CAA-60, CAA-65, CAA-70 e CAA-75), notou-se um desempenho superior nos CAA-54 e CAA-60, com um módulo de elasticidade cerca de 6% maior do que o do concreto convencional (CCV-54), evidenciando uma vantagem técnica do CAA.
- Numericamente, considerando as relações água/cimento do estudo, o módulo do CAA-

54 superou o do CAA-65, CAA-70 e CAA-75 em 12%, 18% e 21%, respectivamente.

- A figura 3 revela o impacto do aumento do teor de argamassa, variando de 54% a 75% no módulo de elasticidade do CAA, confirmando a diminuição da propriedade a partir de teores de 65%. Em comparação com o Concreto Convencional Vibrado (CCV), ambos com teores de argamassa de 54%, o CAA teve um desempenho ligeiramente superior, possivelmente devido ao melhor adensamento e empacotamento devido à presença dos finos (MANUEL, 2005).

Figura 3 – Módulo de elasticidade do CAA e CCV em função do teor de argamassa.



Fonte: Manuel (2005)

Portanto, deve-se ajustar o CAA para obter teores de argamassa próximos aos do CCV e relações pasta de cimento/agregado não excessivamente altas. Assim, é crucial considerar que o CAA deve ser pelo menos tão eficiente quanto o CCV quando está endurecido, e suas propriedades são influenciadas pela dosagem. Logo, é recomendado evitar misturas com altos teores de argamassa ou aditivos superplastificante (MANUEL, 2005).

## 2.2 Retração no concreto

A retração do concreto ocorre quando seu volume diminui, geralmente devido à perda de água que estava contida em seu interior (exsudação). Além da exsudação, outros fatores como condições climáticas, características do concreto e o método de preparação também podem desencadear esse processo (TECNOSIL, 2022).

Essa característica pode ser causada pela qualidade e tipo de cimento utilizado, características e dimensões dos agregados, proporção água/cimento na mistura, entre outros fatores. Esses elementos podem comprometer a qualidade do material e, conseqüentemente, a integridade de toda a estrutura

construída. As principais retrações que podem ocorrer no concreto são (TECNOSIL,2022):

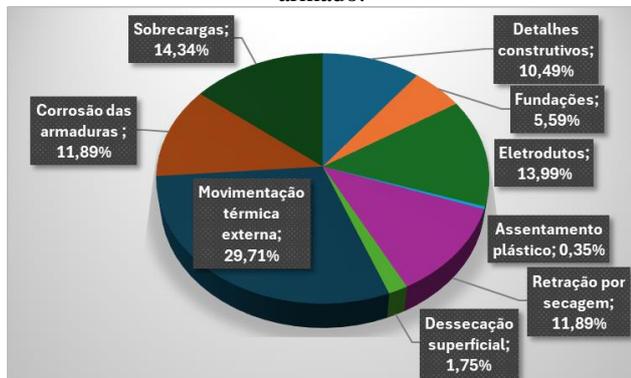
- **Retração plástica:** É a forma mais comum de retração. Consiste na perda de água através do processo de exsudação ("suor do concreto"), que ocorre pouco antes do início da pega ou endurecimento. Fatores como exposição excessiva ao calor, ventos fortes, baixa umidade relativa do ar, entre outros, podem desencadear esse fenômeno. Nestes casos, a adição adequada de sílica ativa pode mitigar o problema, pois reduz a evaporação da água no concreto, diminuindo assim o risco de retração.
- **Retração química:** Durante a fase de hidratação do concreto, que é o período de endurecimento, ocorre um fenômeno associado à diferença de volume entre os componentes: cimento, água e os produtos resultantes da hidratação. Durante essa etapa, compostos como hidróxido de cálcio, etringita e silicato de cálcio hidratado são gerados. Devido ao seu volume reduzido em comparação com o cimento e a água, esses compostos acabam por reduzir o volume total do concreto.
- **Retração hidráulica:** Uma outra forma de retração do concreto é a chamada "retração hidráulica ou por secagem". Essa retração é caracterizada pela redução do volume do concreto devido à perda de água após o material ter atingido o estado sólido. Esta perda ocorre porque, mesmo durante o processo de hidratação, a água ainda não está completamente integrada ao concreto devido a processos físico-químicos em andamento. Além disso, erros na dosagem do concreto podem desencadear reações que liberam grandes quantidades de água, intensificando o fenômeno.
- **Retração térmica:** A retração térmica ocorre devido à liberação de calor durante o endurecimento do concreto. Inicialmente, há um aumento de volume seguido por uma redução durante o resfriamento. Esse fenômeno é também chamado de "retração exotérmica", pois envolve uma reação química que transfere calor do interior do objeto para o ambiente.

## 2.3 Fissuras

Dal Molin (1998), realizou um estudo sobre as principais causas de fissuras em estruturas de concreto

armado, a figura 4 ilustra os resultados obtidos por ela.

Figura 4 – Tipos e incidência de fissuras em concreto armado.



Fonte: Dal Molin (1988)

As fissuras que podem ocorrer no concreto fresco (não endurecido) são:

- Fissuras por assentamento plástico: Ocorre nas primeiras horas após o lançamento e adensamento do concreto, quando as partículas sólidas da mistura tendem a se mover para baixo devido à ação da gravidade (sedimentação). Esse movimento provoca o deslocamento do ar aprisionado e da água para a superfície (exsudação). A perda de ar e água pode resultar em uma redução do volume da massa ainda em estado plástico (não endurecido), que se desloca para baixo na forma. Se houver qualquer obstáculo que impeça a homogeneidade desse assentamento, podem surgir fissuras.
- Retração da superfície causada pela rápida evaporação da água - dessecação superficial: Essas fissuras ocorrem devido à evaporação excessiva da água de amassamento do concreto ou à absorção exagerada pelos agregados ou pelas formas. Como o efeito causado pela absorção dos agregados e das formas pode ser facilmente eliminado com a simples saturação destes, pode-se considerar que as fissuras ocorrem quando a velocidade de evaporação da água de amassamento é maior que a velocidade de percolação da água até a superfície do concreto (exsudação). Esse grau de evaporação depende da temperatura, da velocidade e umidade relativa do ar, da qualidade da cura realizada e da temperatura superficial do concreto.
- Movimentação das formas: Qualquer movimento das formas ocorrido entre o lançamento do concreto e o início da pega pode causar fissuras. As razões para esse

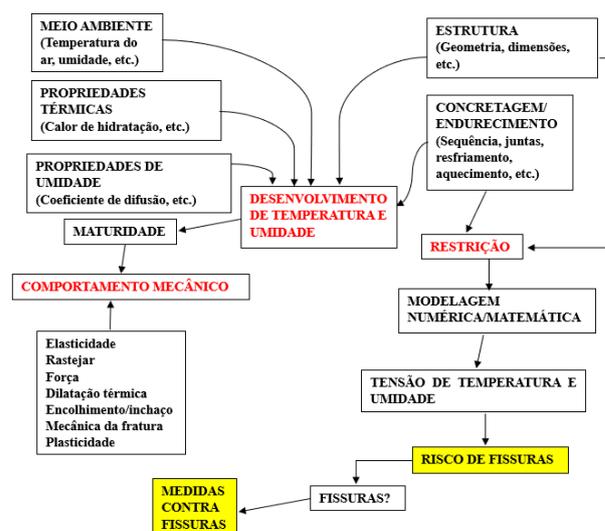
movimento podem incluir diversos fatores, tais como: sobrecargas, escoramento, detalhes construtivos, mão de obra e o próprio processo de lançamento do concreto.

Entretanto, as fissuras no concreto endurecido geralmente resultam de fenômenos físicos, térmicos, químicos e estruturais. Elas podem surgir nas primeiras semanas após a aplicação do concreto ou após longos períodos.

Segundo Gburi (2015), as mudanças de volume restringidas associadas ao calor de hidratação e à retração são as principais fontes de fissuras no concreto em estágios iniciais. O estado de fissuração tem sido intensamente estudado, mas, como muitos fatores influenciam os processos complexos envolvidos, ainda não são completamente compreendidos.

Além disso, diversos pesquisadores, como Emborg e Bernander (1994), Nilsson (2003) e Bofang (2014), demonstraram que o movimento relacionado à temperatura não é o único fator responsável pelas fissuras no concreto em estágios iniciais. Outros fatores importantes que contribuem para essas fissuras incluem a retração autógena e as mudanças nas propriedades mecânicas do concreto, bem como as restrições. A figura 5 ilustra os principais fatores influentes e como suas interações provocam fissuras no concreto jovem. Conforme mostrado na figura, há três aspectos a serem considerados ao modelar tensões e riscos de fissura no concreto em estágios iniciais: seu comportamento mecânico, as variações de temperatura e umidade, e a restrição.

Figura 5 – “Fluxo” geral de planejamento sem fissuras.



Fonte: Adaptado de Jonassan et al., 2009 – Modificado de Emborg e Bernander, (1994a)

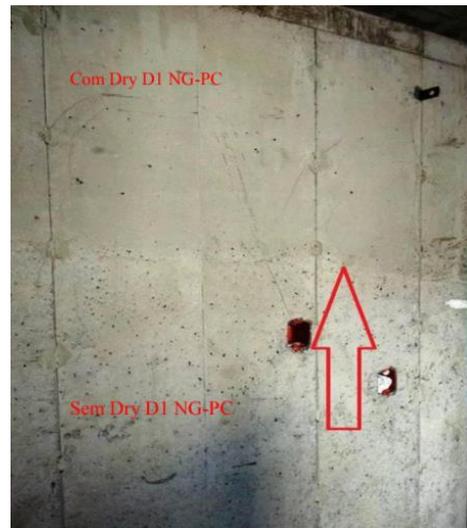
## 2.4 Aditivo redutor de retração (RR)

O aditivo redutor de retração (RR) é um óxido de cálcio tratado termicamente em modo especial e selecionado granulometricamente. Esse redutor de retração é amplamente empregado em uma variedade de aplicações, como pisos industriais, lajes, capeamentos, peças pré-moldadas, tubos e paredes de concreto. Suas principais vantagens são:

- As dosagens mínimas de aditivo de 8 a 10Kg/m<sup>3</sup> de concreto;
- Garantia da durabilidade do concreto de acordo com os requisitos internacionais;
- Total impermeabilização estável do concreto;
- Excelente resistência a ataques químicos;
- Boa proteção de barras de reforço;
- Controle volumétrico da retração;
- Maior resistência mecânica, levando a uma otimização de custos, reduzindo a dosagem de cimento de 10 a 20%;
- Fácil aplicação em usinas, sendo um produto em pó;
- Processo de cura simplificado e menor;
- Melhor acabamento superficial da parede, reduzindo consumo de revestimento (Figura 6);
- Melhor acabamento da quina parede.

O processo de combate à retração funciona da seguinte maneira: o compensador busca naturalmente a água durante as fases de mistura da massa de concreto e se fixa nas áreas com excesso de água, penetrando nos capilares saturados. Sua granulometria fina reage rapidamente com a água, transformando-se em uma matéria estável e, conforme a água evapora gradualmente, contrasta as forças de atração das moléculas de silicato de cálcio hidratado, modulando o fenômeno de evaporação da água no interior do concreto. A granulometria mais grossa tem uma maior capacidade de resistência ao fenômeno de hidratação das moléculas de água em excesso, reagindo de forma muito mais lenta com a água. Sua curva granulométrica foi especificamente projetada para se adaptar às fases de pega e endurecimento das pastas de cimento, bem como aos vários estágios de evaporação da água. Durante a hidratação, sua formulação em pó captura as moléculas de água, resultando em um leve aumento de volume (em nível de microns), o que cria tensões superficiais que auto compactam o concreto e contrastam o fenômeno de retração (CHIMICA EDILE, 2013).

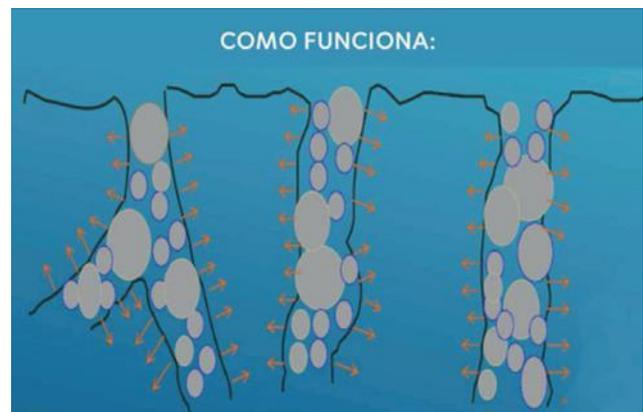
Figura 6 – Melhor acabamento superficial da parede.



Fonte: Chimica Edile - folder Dry: Paredes de concreto, (2024)

Portanto, o RR reduz trincas e fissuras ao fornecer uma microexpansão inicial controlada (Figura 7), resultando em praticamente nenhuma retração a longo prazo.

Figura 7 – Funcionamento do aditivo redutor de retração.



Fonte: Chimica Edile - folder Dry, (2024)

Segundo Chimica Edile (2024), a dosagem (Figura 8) varia de acordo com as especificações de desempenho exigidas para o concreto, normalmente entre 2,5% e 3,5% da massa de cimento, equivalente a 8 - 15 kg/m<sup>3</sup> de concreto. Pode ser adicionado juntamente com os agregados na central de dosagem ou diretamente no local da obra, sendo compatível com todos os componentes e aditivos utilizados na mistura.

Figura 8 – Dosagem de acordo com especificação em projeto.

Dosagem aconselhada de acordo com a especificação de retração do concreto do projeto de piso industrial			
Retração do concreto especificada em Projeto			Dosagem Dry D1 NG
28 dias	≤ 240	micro/mêtro	8 kg/m <sup>3</sup> de concreto
28 dias	≤ 190	micro/mêtro	da 10 a 12,5 kg/m <sup>3</sup> de concreto
28 dias	≤ 150	micro/mêtro	15 kg/m <sup>3</sup> de concreto
Dosagem aconselhada de acordo com a especificação de retração do concreto do projeto de piso industrial			
Retração do concreto especificada em Projeto			Dosagem Dry D1 NG
56 dias	≤ 400	micro/mêtro	8 kg/m <sup>3</sup> de concreto
56 dias	≤ 350	micro/mêtro	da 10 a 12,5 kg/m <sup>3</sup> de concreto
56 dias	≤ 250	micro/mêtro	15 kg/m <sup>3</sup> de concreto

Fonte: Chimica Edile - folder Dry, (2024)

Tabela 1 – Propriedades química e física do produto DRY D1 NG.

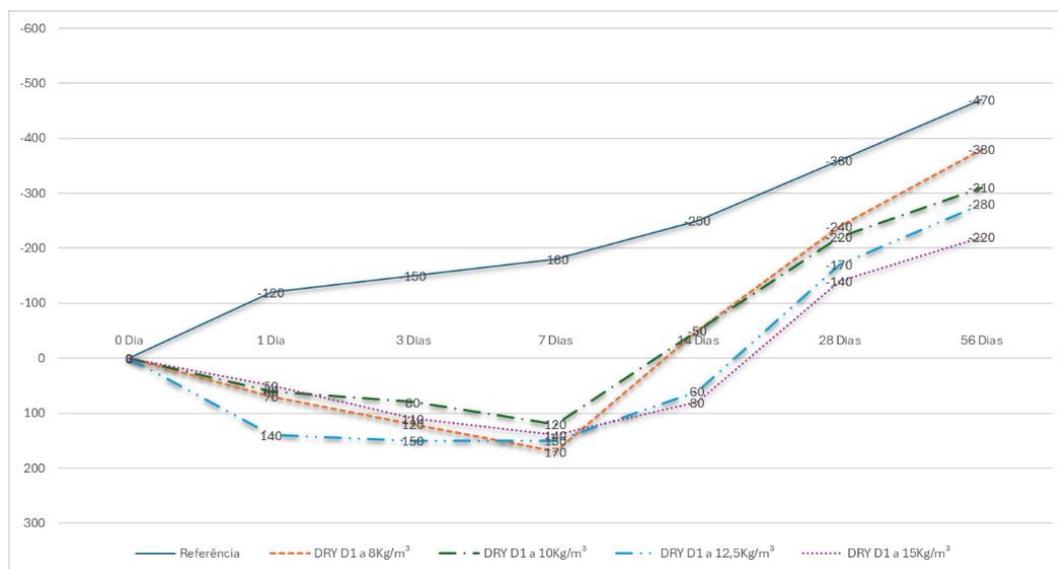
Propriedades Química e Física do DRY D1 NG		
Característica/propriedade	Especificação ABNT NBR 11768-1	Resultados DRY D1
Homogeneidade	Homogêneo no momento de sua utilização não apresentando separação ou sedimentação	Homogêneo, sem separação ou sedimentação
Cor	Uniforme e similar à descrição informada pelo fabricante	Branco uniforme
Aspecto visual	Pó	Pó
Teor de álcalis totais	< 1% em massa	0,03% em massa
Teor de sulfatos	< 1% em massa	0,07% em massa
Óxido de cálcio	> 88% em massa	90,5% em massa
Perda ao fogo	< 5% em massa	4,5% em massa
Massa específica	≥ 3,1g/cm <sup>3</sup>	3,13g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado de Chimica Edile - folder Dry, (2024)

A Chimica Edile conduziu ensaios de retração de acordo com a norma NBR 16834 (ABNT, 2020), abrangendo mais de 35 traços de concreto em diversas regiões do Brasil: Nordeste, Centro, Centro-Oeste, Centro-Sul e Sul, utilizando materiais distintos de

cada estado. Os resultados serão apresentados na figura 9. Logo, obteve com 56 dias para as dosagens de 8 a 15kg/m<sup>3</sup> de concreto, valores de retração bem menores que o traço referência, mostrando a eficiência do compensador de retração.

Figura 9 – Resultados dos ensaios de retração.



Fonte: Chimica Edile - folder Dry, (2024)

## 2.5 Concreto com fibras

O concreto reforçado com Fibras surgiu em 1847, quando o inventor do ferro-cimento, Joseph Lambot utilizou o material para aumentar a resistência a tração do concreto e melhorar suas propriedades. Segundo Tejchman e Kozicki (2010), a inclusão de fibras visa conter a propagação de fissuras no concreto, uma consequência de sua baixa resistência à tração. De acordo com Mehta e Paulo Monteiro (2008), a resistência à tração do concreto é consideravelmente menor do que a sua resistência à compressão, situando-se entre 7% e 11%. Em geral, amostras de concreto simples falham de forma frágil ao desenvolver uma única fissura que as divide em duas partes distintas (Figura 10). Por outro lado, amostras de concreto reforçado com fibras, mesmo aquelas com uma pequena proporção volumétrica de fibras, mantêm a capacidade de suportar cargas após a formação de fissuras, tipicamente resultando em poucas fissuras curtas e estreitas (Figura 11).

Figura 10 – Amostra de concreto simples.



Fonte: Jacek Tejchman e Jan Kozicki (2010)

Figura 11 – Amostra de concreto reforçado com fibras.

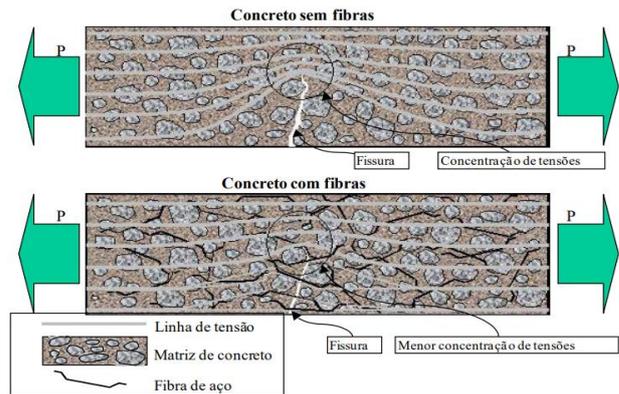


Fonte: Jacek Tejchman e Jan Kozicki (2010)

Portanto, embora uma fibra possua um elevado módulo de elasticidade, se apresentar baixa resistência à tração ou ao cisalhamento, sua eficácia no reforço após fissuração será igualmente reduzida, ou até mesmo inexistente. Em outras palavras, a união de baixa resistência e alto módulo resultará em um material frágil, com capacidade limitada de deformação elástica. Logo, é possível concluir que

fibras com baixa resistência e baixo módulo de elasticidade são eficazes somente quando o concreto também possui características similares, especialmente quando está fresco ou no início do processo de endurecimento. Em suma, as fibras fazem com que as tensões se redistribuam de uma forma melhor na estrutura, impedindo a concentração em pontos específicos da estrutura, como mostra a figura 13.

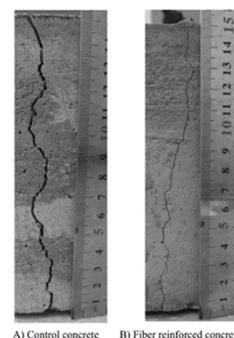
Figura 13 - Esquema de concentração de tensões para um concreto simples (a) e com reforço de fibras (b).



Fonte: Figueiredo (2011)

Negin et al. (2017) investigaram a influência das fibras na retração de secagem em concreto, avaliando a eficácia do uso de fibras poliméricas e metálicas. Foram utilizados três tipos diferentes de fibras neste estudo: fibra de polipropileno, fibras de poliolefina e fibra de aço com teores de 0,2% por volume de concreto. A resistência máxima à retração por secagem mostrou-se altamente dependente do módulo de elasticidade das fibras. A fissuração, em termos de comprimento médio e padrão, nos concretos reforçados com fibras, diferiu do concreto de controle. As propriedades físicas das fibras impactaram diretamente na redução da largura das fissuras. A figura 14 ilustra o aspecto do concreto após 30 dias de secagem.

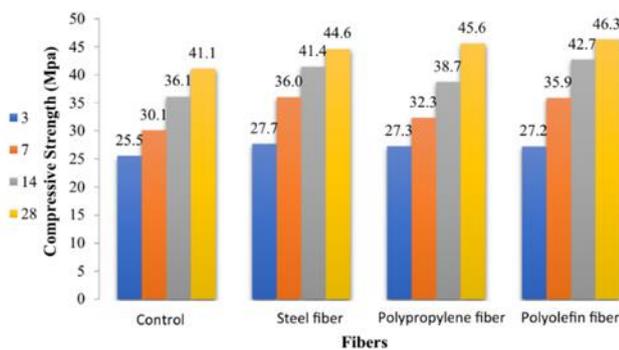
Figura 14 – Largura da fissura em amostras de concreto de controle e de concreto reforçado com fibra após 30 dias de secagem.



Fonte: N. Yousefieh et al. (2017)

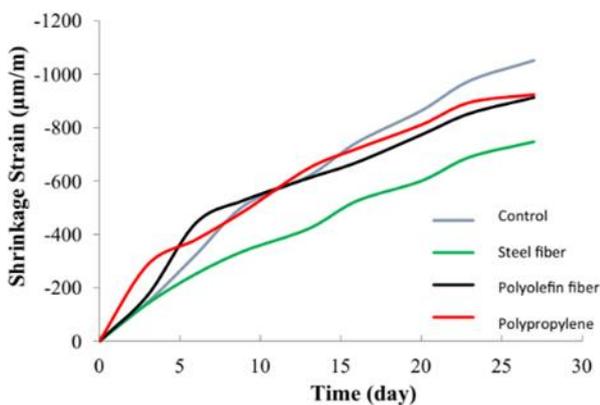
A figura 15 apresenta os resultados da resistência à compressão das amostras de concreto de controle e das reforçadas com fibras nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias. Esses resultados representam a média de três corpos de prova testados para cada mistura em cada idade. A adição de fibras às misturas de concreto não aumentou significativamente a resistência à compressão (menos de 9%). Esse aumento pouco expressivo na resistência à compressão ocorre devido à absorção de energia pelas fibras sob tensão de tração, que é transferida por meio delas para evitar a ruptura do concreto. Na verdade, as fibras são ativadas após a primeira fissura, enquanto os efeitos antes da fissura inicial são bastante reduzidos.

Figura 15 - Resultados da resistência à compressão do controle e do concreto reforçado até a idade de 28 dias.



Fonte: N. Yousefieh et al. (2017)

Figura 16 - Diagrama de tempo de deformação médio de retração de secagem sem restrições para concretos reforçados com fibra.



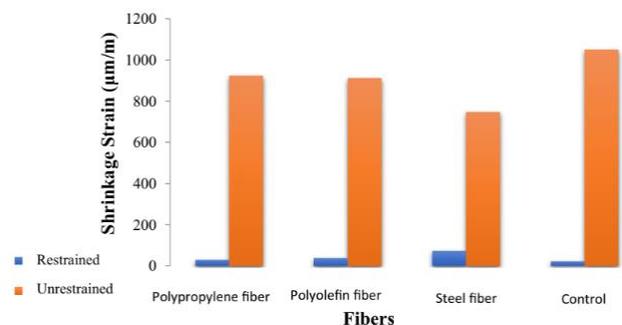
Fonte: N. Yousefieh et al. (2017)

Os diagramas da figura 16 mostram a tensão de retração de secagem ao longo do tempo para as amostras de concreto controle e aquelas reforçadas com fibras. A comparação do desempenho das diferentes fibras revela que as fibras de aço proporcionaram a maior redução na tensão de retração, diminuindo-a em 29% aos 28 dias. As fibras de poliolefina e polipropileno seguiram essa tendência com reduções menores, diminuindo a

tensão de retração na secagem final em 13% e 12%, respectivamente. Conforme esperado, as fibras de polipropileno apresentaram o menor impacto na redução da tensão de retração devido ao seu comprimento curto e baixo módulo de elasticidade.

Já a figura 17 mostra a comparação entre os valores de deformação máxima nos testes de retração sem e com restrição. Nos concretos contendo fibras de aço, polipropileno e poliolefina, os valores de retração restrita foram reduzidos em 90%, 96% e 95%, respectivamente, em comparação com os valores de retração não restrita. Para o concreto de controle, essa redução foi de cerca de 97%. Isso indica que quanto maior for o impacto das fibras na retração por secagem, menor será essa proporção.

Figura 17 - Retração máxima de secagem sem restrições e com restrições dos concretos de controle e reforçados com fibras.



Fonte: N. Yousefieh et al. (2017)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa, implementou-se um protocolo experimental destinado a examinar a eficácia do concreto autoadensável (CAA) em relação às suas propriedades mecânicas e ao fenômeno de retração observado na mistura padrão. Adicionalmente, investigou-se o impacto da incorporação de fibras e do RR sobre as respostas do material. Para isso, foram moldados 6 CPs cilíndricos (10x20cm) para o ensaio de compressão axial, 2 para tração por compressão diametral, 3 para módulo de elasticidade, 2 para imersão, 1 CP cilíndrico (15x30cm) para duplo puncionamento e 2 prismas (15x15x50cm) para retração. As idades para o ensaio de compressão axial foram 24hr, 7 e 28 dias, enquanto para os outros ensaios foram apenas 28 dias que é especificado em projeto. A idade de 24hr foi pensando na desforma, uma vez que é preciso de 3MPa para desformar. Enquanto as idades de 7 e 28 dias foram para montar a curva de resistência. A dosagem utilizada de fibras e RR foram 300g/m<sup>3</sup> e 8kg/m<sup>3</sup> de concreto, respectivamente, de acordo com especificação em projeto.

Logo, os ensaios foram desenvolvidos da seguinte forma:

- Ensaio de compressão axial: Realizado de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (2018).

Figura 18 – Ensaio de compressão.



Fonte: Autor

- Ensaio de módulo de elasticidade: Realizado de acordo com a norma ABNT NBR 8522-1 (2021).

Figura 19 – Ensaio de módulo de elasticidade.



Fonte: Autor

- Ensaio diametral: realizado de acordo com a norma ABNT NBR 7222 (2011).

Figura 20 – Ensaio diametral.



Fonte: Autor

- Ensaio de duplo puncionamento: realizado de acordo com a norma ABNT NBR 16939 (2021).

Figura 21 – Ensaio de duplo puncionamento.



Fonte: Autor

- Ensaio de imersão: Realizado de acordo com a norma ABNT NBR 9778 (2009):

Figura 22 – Ensaio de imersão, CP na estufa e imerso em água.



Fonte: Autor

O ensaio de imersão foi adaptado, o processo seguiu a seguinte ordem:

1. Os corpos de prova foram deixados na estufa por 3 dias para a primeira medição (massa seca);
2. Em seguida, ficaram imersos em água por mais 3 dias para medir a massa saturação e a hidrostática;

Contudo, o processo de fervura não foi realizado.

- Ensaio de retração: realizado de acordo com a norma ABNT NBR 16834 (2020).

Figura 23 – Ensaio de retração.



Fonte: Autor

### 3.1 Agregados

Os agregados utilizados para o traço de concreto autoadensável foram: areia natural, areia de britagem e pedrisco (4,75-12,5). Suas características se encontram na tabela 2.

O concreto autoadensável tem como característica a presença de mais finos, porém nossa areia natural fica abaixo da zona utilizável inferior que varia de 1,55 a 2,20 de acordo com a norma ABNT NBR 7211. Logo, por esse motivo, foi adicionado a areia de britagem para melhorar a distribuição granulométrica. De acordo com a norma ABNT NBR 7211, a areia de britagem se encaixa na zona utilizável superior, onde o módulo de finura varia de 2,90 a 3,50. Enquanto o pedrisco se encaixa na zona (4,75-12,5), onde o módulo de finura varia de 5,77 a 6,15. Se tratando de material passante na peneira 75µm (material pulverulento), a areia de britagem segundo a norma passa 12% e o pedrisco passa 1%. Logo, comparando com o nosso material, tanto a areia de britagem como o pedrisco, estão um pouco acima do limite permitido.

Tabela 2 – Características dos agregados.

Item	Areia Natural	Areia de Britagem	Pedrisco
Densidade do agregado seco (g/cm <sup>3</sup> )	2,63	2,99	2,88
Densidade do agregado - SSS (g/cm <sup>3</sup> )	-	3,01	2,93
Absorção de água por imersão (%)	-	0,71	1,80
Teor de umidade total do agregado (%)	-	-	3,30
Massa unitária estado solto - Método C (g/cm <sup>3</sup> )	-	1,42	1,45
Massa unitária compacta - Método A (g/cm <sup>3</sup> )	-	-	1,64
Índice de vazios - Método C (%)	-	52,00	50,00
Material fino passante na Peneira 75µm (%)	-	13,10	1,30
Módulo de finura do agregado	1,14	3,22	6,05
Diâmetro máximo (mm)	0,6	4,75	12,50

Fonte: Autor

### 3.2 Carta traço

O traço utilizado foi o mesmo já aplicado em paredes de concreto na região de estudo, sendo usado um concreto com resistência de 25MPa oferecido pela empresa de concretagem, como mostra as tabelas 3 e 4. A dosagem de fibras de polipropileno de baixo módulo foi 300g/m<sup>3</sup> de concreto seguindo o projeto, já a dosagem do aditivo redutor de retração (RR) foi 8kg/m<sup>3</sup> de concreto estabelecido pela empresa de concretagem. A fibra utilizada foi a fibra de polipropileno de baixo módulo, a figura 24 apresenta a sua especificação. O aditivo polifuncional é um aditivo redutor de água, livre de cloretos e composto por substâncias que atuam como dispersantes do material aglomerante propiciando elevada redução de água com alterações do tempo de pega do concreto. Já o aditivo Axe 400 é um superplastificante que atua na fluidez do concreto, geralmente utilizados na indústria de pré-moldados e concretos protendidos, onde se requerem altas resistências iniciais, maior durabilidade, maior tempo de trabalho para a aplicação e desempenho sem alteração do tempo de pega do concreto. (SIKA, 2024).

Figura 24 – Especificação da fibra de polipropileno.

#### Especificação:

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>a. Propriedades físicas:</b><br/>                 Comprimentos: 6, 12 e 20 mm<br/>                 Densidade relativa: 0,91<br/>                 Deformação na ruptura: 25%<br/>                 Ponto de fusão: 160°C<br/>                 Ponto de ignição: 365°C</p> | <p><b>c. Informações ecológicas e toxicológicas:</b><br/>                 Não são conhecidos efeitos específicos carcinogênicos, mutagênicos, tóxicos para a reprodução, teratogênicos e embriotóxicos decorrentes de sua utilização. Produto não poluente e não biodegradável.</p> |
| <p><b>b. Durabilidade:</b><br/>                 Excelente resistência alcalina;<br/>                 Imputrescível;<br/>                 Não enferruja;<br/>                 Quimicamente inerte.</p>   |   |

Fonte: ficha técnica Neofibra, (2018)

Tabela 3 – Traço Unitário.

Materiais	Quantidades		Unitário
Cimento CP II F40	405,00	kg/m <sup>3</sup>	1,000
Silica	10,00	kg/m <sup>3</sup>	0,025
Areia Fina	580,00	kg/m <sup>3</sup>	1,432
Areia de britagem	278,00	kg/m <sup>3</sup>	0,686
Pedrisco	1055,00	kg/m <sup>3</sup>	2,605
Água	170,00	lt/m <sup>3</sup>	0,420
Aditivo Polifuncional	1,62	kg/m <sup>3</sup>	0,004
Aditivo Axe 400	3,24	kg/m <sup>3</sup>	0,008
Fibras	0,30	kg/m <sup>3</sup>	0,0007
Aditivo redutor de retração	8,00	kg/m <sup>3</sup>	0,0198

Fonte: Autor

Tabela 4 – Traço utilizado para 30l.

Item	Volume do Traço (30l)		
	Traço Referência	Traço com fibras	Traço com Dry
Cimento CPII F40 (kg)	12,14	12,14	12,14
Silica (kg)	0,31	0,31	0,31
Areia Fina (kg)	17,39	17,39	17,39
Areia de britagem (kg)	8,33	8,33	8,33
Pedrisco (kg)	31,62	31,62	31,62
Água (l)	5,25	5,30	5,55
Aditivo Polifuncional (kg)	0,05	0,05	0,05
Aditivo Axe 400 (kg)	0,121	0,121	0,121
Fibras de baixo módulo (kg)	-	0,01	-
Aditivo redutor de retração (kg)	-	-	0,24
Relação A/C	0,43	0,44	0,46
Teor de argamassa	0,54	0,54	0,54

Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ensaios

Como a dosagem da fibra acabou sendo menor que a especificada na ficha técnica, os resultados dos ensaios não obtiveram tanta diferença quando comparado ao traço referência e com adição de fibras. Houve um aumento na adição de água ao adicionar mais finos, sendo eles: as fibras e aditivo RR. Esse aumento influencia diretamente na relação água cimento, tornando a relação maior. Logo, com o aumento da relação A/C, o consumo de cimento teve uma leve queda (Tabela 5).

Tabela 5 – Consumo de cimento.

Traço	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )
Traço Referência	409,73
Traço com fibras	409,04
Traço com Dry	404,59

Fonte: Autor

Tabela 6 – Resultados dos ensaios do traço referência.

Traço Referência			
CP	Resultado (MPa)	Maior Resultado	Tipo de ensaio
1	15,00	15MPa	Compressão
2	14,80		
1	30,80	31,20MPa	
2	31,20		
1	35,70	38,40MPa	
2	38,40		
1	29838,00	31,99GPa	Módulo de Elasticidade
2	30220,00		
3	31991,00		
1	4,40	4,97MPa	Diametral
2	4,97		
1	3,36	3,52MPa	Duplo Puncionamento
2	3,52		

Fonte: Autor

Tabela 7 - Resultados dos ensaios do traço com adição de fibras.

Traço com Fibras			
CP	Resultado (MPa)	Maior Resultado	Tipo de ensaio
1	15,70	15,70MPa	Compressão
2	15,10		
1	31,00	32,40MPa	
2	32,40		
1	36,70	38,70MPa	
2	35,80		
3	38,70		
1	29883,00	30,53GPa	Módulo de Elasticidade
2	30094,00		
3	30530,00		
1	4,69	4,84MPa	Diametral
2	4,77		
3	4,84		
1	3,35	3,35MPa	Duplo Puncionamento
2	3,00		

Fonte: Autor

Tabela 8 - Resultados dos ensaios do traço com adição do aditivo RR.

Traço com Dry			
CP	Resultado (MPa)	Maior Resultado	Tipo de ensaio
1	16,50	17,70MPa	Compressão
2	17,70		
1	32,30	32,30MPa	
2	31,60		
1	37,80	37,80MPa	
2	33,70		
1	31580,00	33,1GPa	Módulo de Elasticidade
2	33068,00		
3	31514,00		
1	4,23	4,44MPa	Diametral
2	4,44		
1	3,07	3,22MPa	Duplo Puncionamento
2	3,22		

Fonte: Autor

Tabela 9 – Resultados do ensaio de imersão.

Traço Referência	
Absorção (%)	3,77
Índice de Vazios (%)	8,11
Massa específica da amostra seca	2,15
Massa específica da amostra saturada	2,23
Massa específica real	2,34
Traço com Adição de Fibras	
Absorção (%)	5,64
Índice de Vazios (%)	12,23
Massa específica da amostra seca	2,17
Massa específica da amostra saturada	2,29
Massa específica real	2,47
Traço com Adição de Dry	
Absorção (%)	4,15
Índice de Vazios (%)	9,23
Massa específica da amostra seca	2,22
Massa específica da amostra saturada	2,32
Massa específica real	2,45

Fonte: Autor

Com base nos resultados obtidos, o traço com adição de fibras apresentou maior índice de vazios e, conseqüentemente, maior absorção de água. No entanto, não é possível chegar a uma conclusão definitiva, pois este traço permaneceu 5 dias na estufa e 5 dias imerso em água devido a um erro cronológico, resultando em uma absorção de água superior aos outros corpos de prova, que ficaram apenas 3 dias. O traço referência obteve valores mais significativos no ensaio de imersão, isso se deu devido o concreto com e com adição de fibras e com adição do aditivo RR ter ficado mais poroso.

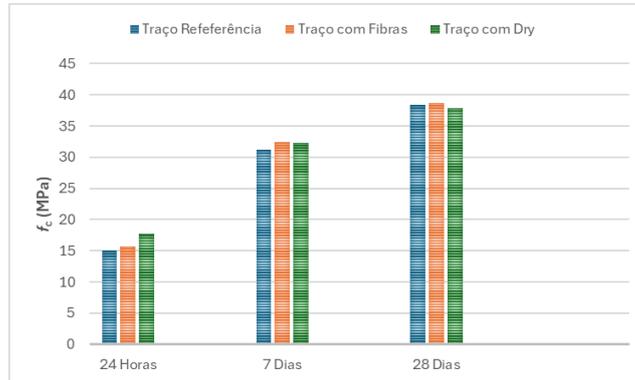
As figuras 25 a 28 ilustram os resultados obtidos durante o processo dos ensaios. Nota-se que na

compressão axial (Figura 25) o traço com adição do aditivo RR teve uma resistência inicial maior, comparado ao traço referência e com adição de fibras, o que é bom, uma vez que ajuda no processo de desforma. Porém ao decorrer das idades esse aumento se manteve em um crescimento próximo aos traços referência e com adição de fibras. Logo, para esse ensaio não se obteve resultados tão significativos para possível comparação. Para o ensaio de módulo de elasticidade (Figura 26), a fibra não obteve um bom resultado, uma vez que foi utilizado uma quantidade inferior ao valor proposto na ficha técnica. A ficha técnica do produto indica 600g/m<sup>3</sup> quando se quer combater fissuras por retração plástica e para aumento de resistência a dosagem varia de 1 a 1,3kg/m<sup>3</sup> de

concreto. Contudo, utilizou-se a quantidade adotada nas obras correntes de paredes de concreto. O aditivo

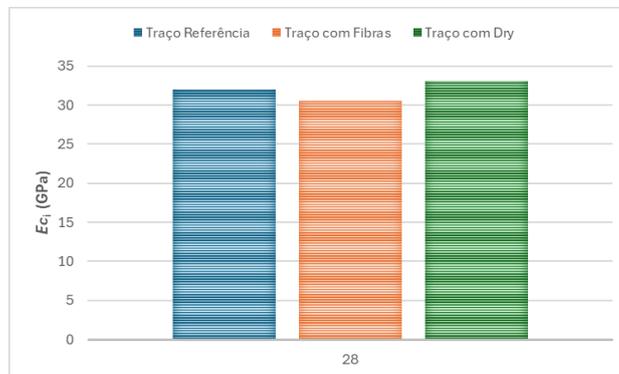
RR obteve um módulo de elasticidade superior aos outros traços.

Figura 25 – Compressão Axial.



Fonte: Autor

Figura 26 – Módulo de Elasticidade.

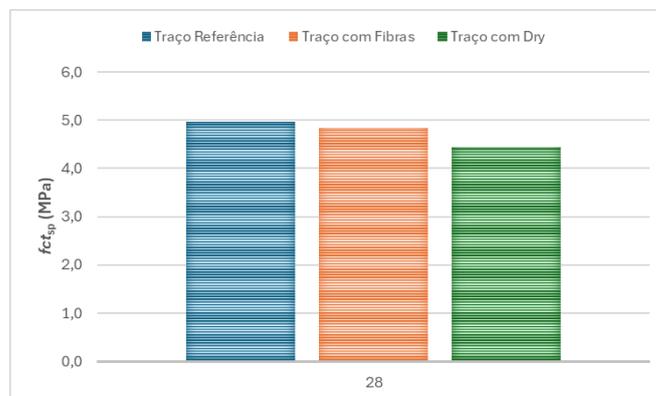


Fonte: Autor

Quanto ao ensaio de resistência a tração por compressão diametral (Figura 27) e duplo puncionamento (Figura 28) tanto a fibra como o aditivo RR não mostraram ser eficientes e induziram a uma diminuição das propriedades, provavelmente

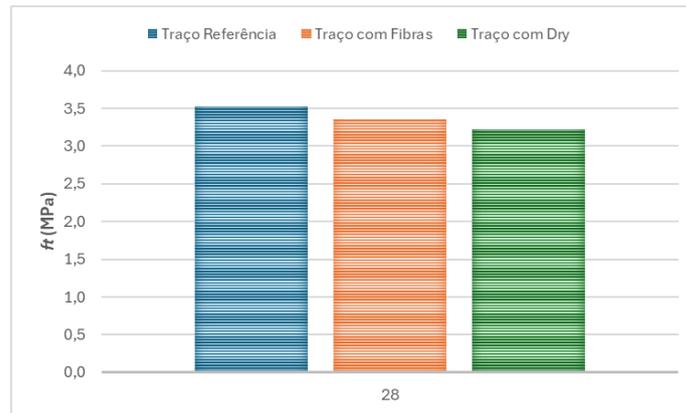
por incorporação de vazios. É importante enfatizar que, no contexto deste estudo, a fibra de polipropileno, considerando o consumo estabelecido, não demonstrou eficácia significativa na resistência à tração.

Figura 27 – Resistência a tração por compressão diametral. Fonte: Autor



Fonte: Autor

Figura 28 – Duplo Puncionamento.



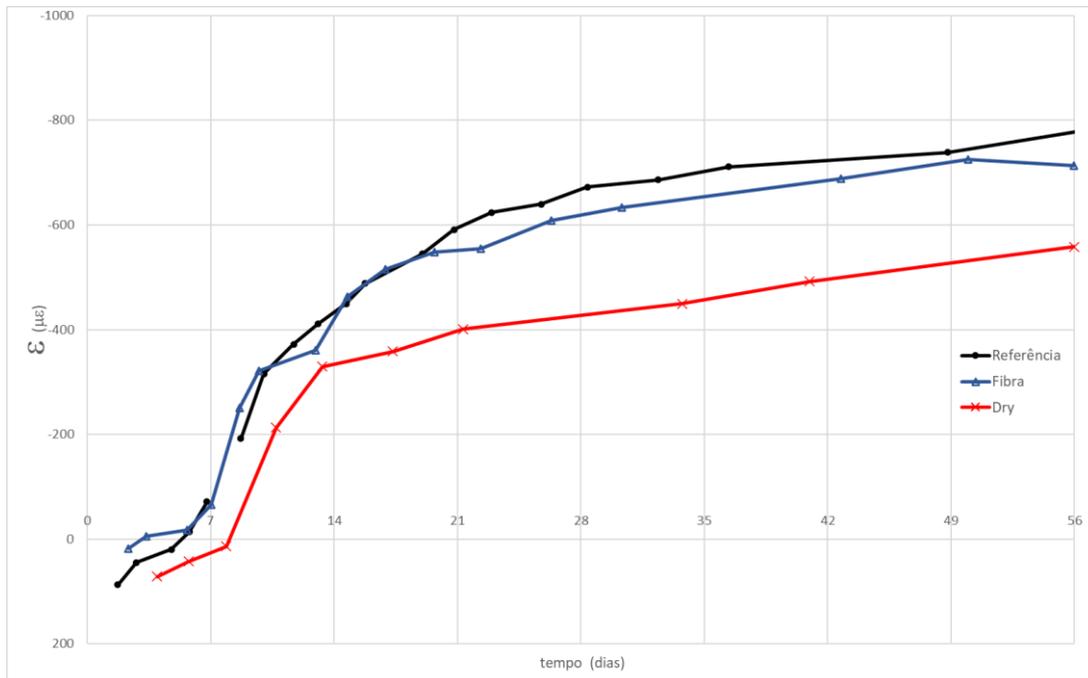
Fonte: Autor

### 4.2 Ensaio de retração

Para o ensaio de retração, foram feitas várias medidas ao decorrer dos 56 dias. Como observado na figura 29, o traço referência obteve aos 56 dias uma retração de 833 $\mu\text{m/m}$ , enquanto o traço com adição de fibras e o com adição do aditivo RR se mostrou ser mais eficiente. Mesmo a dosagem das fibras ter sido inferior (300 $\text{g/m}^3$ ) à da ficha técnica que é 600 $\text{g/m}^3$  de concreto, ainda assim obteve um valor de 729 $\mu\text{m/m}$ , reduzindo em 12,48% comparado com o traço

referência. Portanto, como mostrado no trabalho de Negin et al. (2017) citado anteriormente, as fibras de polipropileno apresentam menor impacto na redução da tensão de retração devido ao seu comprimento curto (6-20mm) e baixo módulo de elasticidade. Em contrapartida a isso, o aditivo RR obteve uma redução chegando a 535 $\mu\text{m/m}$ . Logo, comparado com o traço referência, mostrou ser mais eficiente em aproximadamente 36%.

Figura 29 – Resultados do ensaio de retração.



Fonte: Autor

## 5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o aditivo redutor de retração (RR) realmente mostrou ser eficaz ao combater a retração, uma vez que foram obtidos resultados menores ao decorrer dos 56 dias de medição, tendo uma diminuição de 36% na retração em relação ao traço referência. Para o módulo de elasticidade, o aditivo RR também mostrou ser eficiente, tendo um aumento de 3,35% comparado ao traço referência, enquanto a fibra reduziu 5%. Já nos ensaios de duplo punção e tração por compressão diametral foi percebida a ineficiência das fibras devido ao consumo estabelecido. A fibra de polipropileno por ter baixo módulo e seu tamanho ser muito pequeno (6 - 20mm), não mostrou ser tão eficaz quanto a ganho de resistência e combater a retração. Logo, para aumento de resistência e combater a retração por secagem, seria interessante a utilização da fibra de aço, uma vez que já vem mostrando eficiência nesse sentido. Porém, as fibras de aço não são usuais em paredes de concreto, devido a espessura da parede ser pequena e sua geometria e tamanho dificultar o acabamento nas paredes. No ensaio de compressão axial, os resultados de todos os traços foram semelhantes. No entanto, para a resistência inicial de 24 horas, o traço com o aditivo RR apresentou uma resistência superior em comparação com o traço de referência e o traço com fibras, registrando um aumento de 12% na resistência. Esse incremento é benéfico para o processo de desforma, que requer uma resistência mínima de 3 MPa.

Para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de diferentes tipos de fibras com variação de consumo.

## 6. AGRADECIMENTO

Primeiramente, expressei minha gratidão a Deus pelas realizações alcançadas até agora e pelas que ainda estão por vir. Agradeço aos meus pais, irmãos, familiares, amigos, professores que tive a honra de conhecer durante o curso, ao meu orientador Andrés Batista Cheung e à professora Sandra Bertocini pelo apoio incansável na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- TUTIKIAN, B.F. e DAL MOLIN, D.C.C. **Concreto autoadensável**. PINI: São Paulo, 2008.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MANUEL, P.J. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos autoadensáveis**. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

TECNOSIL, M. **Retração do concreto: o que é e como minimizá-la?** Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/retracao-do-concreto-o-que-e-e-como-minimiza-la-2/>>. Acesso em: 01 de Maio de 2024.

EFNARC - European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. In: EFNARC. Fevereiro, 2002.

DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. Tese de M. Sc. – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

EDILE, C. – Brasil, folder. **DRY D1 NG**. Disponível em: <[www.chimicaedile.com.br](http://www.chimicaedile.com.br)>. Acesso em: 01 de Maio de 2024.

EDILE, C. – Brasil, folder. **DRY DI NG** – Paredes de concreto. Disponível em: <[www.chimicaedile.com.br](http://www.chimicaedile.com.br)>. Acesso em: 01 de Maio de 2024.

EDILE, C. Apresentação Dry D1 Compact-Idro NG para norma Desempenho NBR 15575:2013. Disponível em: <[www.chimicaedile.com.br](http://www.chimicaedile.com.br)>. Acesso em: 11 de Junho de 2024.

TEJCHMAN, J.; KOZICKI, J. **Experimental and Theoretical Investigations of Steel-Fibrous Concrete**. 1ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Berlin, 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. [S.l.]: Ibracon, 2008.

CONCRETESHOW. **Fibras para concreto: benefícios e desvantagens**. Disponível em: <<https://digital.concreteshow.com.br/produtos/fibras-para-concreto-beneficios-e-desvantagens>>. Acesso em 28 de Maio de 2024.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 248p. São Paulo, 2011.

- BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. United Kingdom. Elsevier, 1990.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1581: standard test method for determining age at cracking and induced tensile stress characteristics of mortar and concrete under restrained shrinkage**. Pennsylvania, 2009.
- NEGIN, Y.; ALIREZA, J.; ERFAN, H.; MOHAMMAD, S. **Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete**. Construction and Building Materials – Elsevier, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-1**: Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação. Parte 1: Módulo estático a compressão. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16939**: Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à fissuração e residuais à tração por duplo punção – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16834**: Concreto – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2020.
- JEDRZEJEWSKA, A; KANAVARIS F; ZYCH M; SCHLICKE M; AZENHA M. **Experiences on early age thermal cracking of wall-on-slab concrete structures**. Structures, 2020.
- ZYCH, M. **The effect of the degree of cracking on the state of stress and cracks width in elements with restrained boundary conditions**. Structural Concrete, 2023.
- AL-GBURI, M. **Restraint in structures with young concrete tools and estimations for practical Use** (PhD thesis). Lulea: Lulea University of Technology, 2014.
- AL-GBURI, M. **Restraint Effects in Early Age Concrete Structures**. Doctoral Thesis – Lulea University of Technology, 2015.
- NISSON, M. **Restraint Factors and Partial Coefficients for Crack Risk Analyses of Early Age Concrete Structures**. Lulea Sweden – Division of Structural Engineering. Lulea University of Technology – Doctoral Thesis, 2003.
- BOFANG, Z. **Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete**. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier. USA, 2014.
- EMBORG, M.; BERNANDER, S. **Assessment of the Risk of Thermal Cracking in Hardening Concrete**. Journ of Struc - Eng (ASCE), 1994.