

# Desenvolvimento de concreto enriquecido com fibras de aço

Development of enriched concrete with steel fibers

I. A. G. Gomes<sup>1</sup>; R. P. de Lima<sup>2,\*</sup>; M. da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, Autônomo, João Monlevade - MG, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Ciências Sociais, Humanas, Letras e Arte, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil.

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil.

\* [robson.lima@uemg.br](mailto:robson.lima@uemg.br)

## Resumo

A Engenharia Civil está em constante desenvolvimento de materiais que possam resistir aos esforços superiores aos que costumam estar expostos para resistir às necessidades das estruturas que podem ter suas dimensões reduzidas. A utilização de fibras metálicas no concreto tem se tornado uma solução para muitas exigências em projetos estruturais e viários devido ao seu potencial de resistência e inovação. O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um concreto enriquecido com tais fibras que implicasse na redução de um grande problema ambiental que é o descarte inadequado de pneus usados. Para tanto, foi realizada, de forma preliminar, a comparação das características técnicas do concreto convencional com o concreto enriquecido com fibras de aço de pneus descartados a fim de analisar os resultados de testes que indicassem o desempenho dos concretos quanto à resistência, aos esforços mecânicos e às fissuras. O estudo e a utilização dessas fibras podem ser traduzidos numa significativa contribuição para a sustentabilidade ambiental, uma vez que o acúmulo de pneus descartados é um grande problema em todo o mundo.

**Palavras-chave:** Concreto, fibras de aço, pneus descartados.

.....

The Civil Engineering is always developing new material which can resist higher efforts than that have been exposed to comply with stronger structures that can have a reduced size and therefore providing more spaced openings. The use of metallic fibers in concrete has become a solution to many requirements in structural design and roads due to their potential of resistance and innovation. The overall objective of this work was developing a concrete enriched with that fibers that could contribute to the reduce of a great environmental problem that is the improper discarded of used tires. Therefore, preliminarily was made the comparison between the technical characteristics of conventional concrete and enriched concrete with steel fibers of discarded tires to analyse the test results that should indicate the concrete performance by their load, mechanical efforts and cracks. The study and the use of that fibers can be translated into the great contribution to the environmental sustainability, because the accumulation of discarded tires is a big problem around the world.

**Keywords:** Concrete, steel fibers, discarded tires.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o início da indústria automobilística, os pneus, como elementos importantes em todo o processo produtivo, assumiram grande importância no transporte de mercadorias e pessoas, contudo, após esgotar sua vida útil, eles precisam ser descartados, fazendo com que os pneus inservíveis se tornem um problema ambiental, considerando que seu descarte cresce ano após ano em todo o mundo. De acordo com (COPAM, 2016) o passivo ambiental na natureza de um pneu é oneroso, pois ele demora ao todo 600 anos para se decompor e, ser descartado de forma incorreta, pode causar problemas ambientais e sociais sérios. Como é o caso da preocupação dos órgãos de saúde em relação à dengue, e os recentes Chikungunya e Zika vírus, que estão diretamente ligados ao descarte negligente de pneus, sendo estes, em variados locais, um dos principais centros de acumulação e propagação do mosquito *Aedes Aegypti*. Assim, promover uma destinação adequada para esse tipo de material é um grande desafio para todos os países, principalmente, o Brasil.

As alternativas possíveis de reutilização dos pneus descartados é uma das questões básicas deste estudo que reconhece, de imediato, que há uma grande variedade de fibras com potencial para reforço de compósitos usados na produção de argamassas e concretos para construção civil, assim, torna-se imprescindível o conhecimento das potencialidades desses materiais mediante sua caracterização para uma adequada aplicação.

As fibras de aço existem em abundância em diferentes produtos industrializados e têm sua reutilização motivada em meios diferenciados por questões ambientais, como o caso das que compõem os pneus que têm seu descarte extremamente oneroso ao meio ambiente.

Por sua disponibilidade abundante, as fibras de aço dos pneus descartados incorretamente, quando extraídas da maneira correta, podem ser reaproveitadas de forma a contribuir para a diminuição da dispersão desse material na natureza ou nos lixões. É uma das possibilidades de reuso de tais fibras é a produção de compósitos tecnicamente viáveis para a construção civil.

O presente trabalho apresenta uma breve revisão sobre as atuais pesquisas que vêm sendo desenvolvidas em termos de reaproveitamento da fibra de aço na construção civil, mais, especificamente, em concretos e argamassas e desenvolve ensaios com um concreto enriquecido com tais fibras para análise de suas características mecânicas.

Quando acrescenta-se fibras de aço ao concreto, elas dificultam a propagação das fissuras devido ao seu alto módulo de elasticidade (FIGUEIREDO, 2000). Pela capacidade portante pós-fissuração que o compósito apresenta, as fibras permitem uma redistribuição de esforços no material mesmo quando adicionada em baixas quantidades ao concreto.

Esse concreto pode ser utilizado para vários fins como, aplicação em pavimentos industriais, túneis e locais que recebam cargas de impacto. Até mesmo em obras que estão muito vinculadas a esforços dinâmicos, como é o caso das estruturas construídas em regiões sujeitas a abalos sísmicos ou mesmo sujeitas à fadiga por esforço cíclico, é viável a utilização de concretos reforçados com fibras para minimizar o dano causado por esses esforços e minimizar a fissuração da estrutura garantindo uma maior vida útil para o material.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fundamentação teórica e conceitual do projeto em questão foi baseada em trabalhos de referência sobre concretos, descarte de pneus e a análise da melhoria das propriedades de resistência com a adição de fibras.

O estudo do material bibliográfico sobre concretos se baseou, principalmente, nas normas brasileiras onde é exemplificado o passo a passo da execução dos experimentos realizados neste trabalho contribuindo inclusive na padronização dos ensaios. Já em relação ao descarte de pneus, se desempenhou uma pesquisa mais recente possível sobre a situação desse descarte e dos possíveis meios de reutilização desses pneus.

### 2.1 Ferramentas e Materiais

Os materiais selecionados e adotados para a confecção dos traços e dos corpos de prova foram o Cimento Portland Composto - CP IV-32 RS -, amplamente comercializado devido a sua boa aceitação no mercado consumidor por seu uso em todos os tipos de construções e alvenarias, areia e Brita nº 1 como agregados graúdos e miúdos, e forma cilíndrica metálica das seguintes dimensões: 10(d) × 20(h) cm.

Para realização do ensaio de resistência à compressão – Slump Test -, foram utilizados moldes para corpos de prova de ensaio (Figura 1), atendendo à norma de referência NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABTN, 1998).

Os moldes para os corpos de prova de ensaio são confeccionados em metal resistente à pasta de cimento e com espessura igual ou superior a 1,5 mm. O molde tem a forma de um tronco de cone oco com as seguintes dimensões internas: 200 mm ± 2 mm - diâmetro da base inferior; 100 mm ± 2 mm - diâmetro da base superior; 300 mm ± 2 mm - altura. As bases superior e inferior devem ser abertas e paralelas entre si, formando ângulos retos com o eixo do cone. O molde deve ser provido, em sua parte superior, de duas alças posicionadas a 2/3 de sua altura e ter aletas em sua parte inferior para mantê-lo estável.

Além de tais moldes, para a realização do Slump Test é necessário também o uso de uma haste de compactação de seção circular, reta, feita de aço ou outro material adequado, com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas.

Foi usada também uma placa de base como apoio do molde. Ela deve ser metálica, plana, quadrada ou retangular, com lados de dimensão não inferior a 500 mm e espessura igual ou superior a 3 mm.

### 2.2 Extração e corte das fibras de aço

As fibras adotadas para a composição dos corpos de prova são as que constituem os pneus de rodagem comum com barras retas Tipo R - Classe I, conforme a classificação do Figura 2.

O processo de extração e corte das fibras dos pneus teve como momento inicial a retirada dos arames de aço da bandagem de sustentação lateral dos pneus, por meio da retirada da borracha que cobre o conjunto de transposições de arames com uma ferramenta de corte para, em seguida, ser retirada toda malha do talão (Figura 3) e os fios serem extraídos com um alicate e cortados em medidas padronizadas com uma Turquesa, conforme ilustrado na Figura 4.



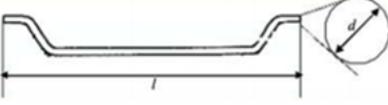
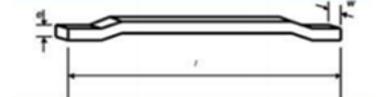
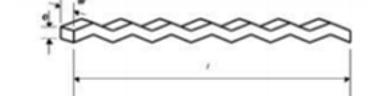
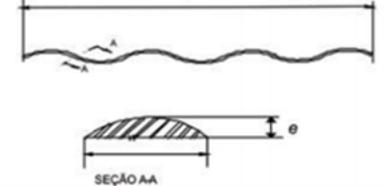
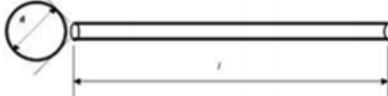
Tipo (Geometria)	Classe da Fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

Figura 2 – Geometria e Classificação da fibra de aço. Fonte: NBR 15530 (ABTN, 2007).



Figura 3 – Malha de fios de aço. Fonte: acervo pessoal (2015).

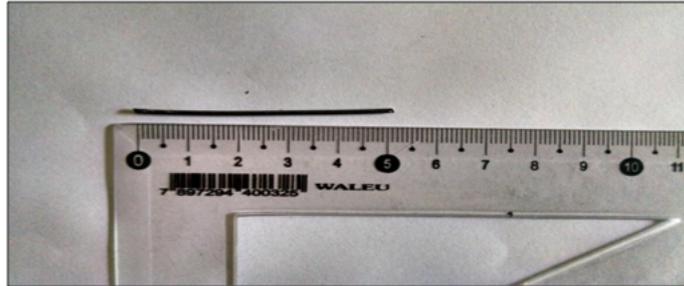


Figura 4 – Comprimento das fibras. Fonte: acervo pessoal (2015).

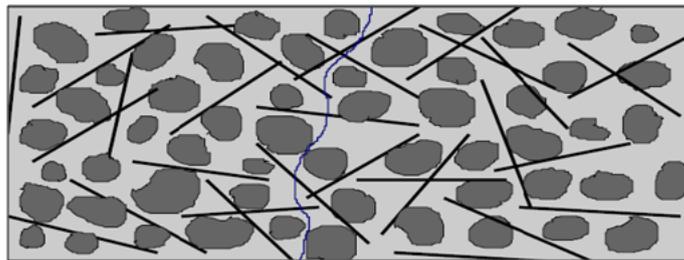


Figura 5 – Dimensionamento adequado das fibras. Fonte: [Figueiredo \(2000\)](#).

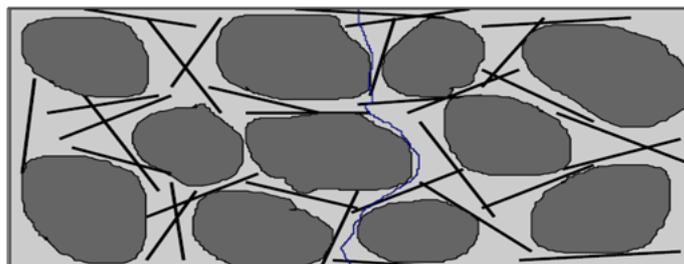


Figura 6 – Dimensionamento inadequado das fibras. Fonte: [Figueiredo \(2000\)](#).

compatibilidade ([Figura 6](#)).

### 2.3 Confeção dos traços de concreto e moldagem dos corpos de prova

Para comparar a usabilidade do concreto enriquecido com fibras de aço com a do concreto convencional, foram definidos 3 traços básicos de concreto enriquecido com fibras de Aço e uma amostra de concreto referencial. Com base no trabalho realizado por [Tasca et al. \(2010\)](#), os traços são divididos em concentrações de 30, 60 e 90 quilos de fibras de aço para cada metro cúbico de concreto, identificados respectivamente como F30, F60 e F90, e submetidos aos tempos de cura de 7, 14 e 28 dias.

Após estipulado o estudo do traço utilizado, realizou-se, manualmente, o processo de mistura dos materiais com o auxílio de uma bacia de latão e colher de pedreiro. A mensuração dos materiais foi feita a partir do traço básico de argamassa de 1: 3,02: 3,04: 0,6 a/c, vale observar que o traço básico só representa a proporção de cada material e que na construção civil é descrito dessa maneira. A [Tabela 1](#) apresenta o resultado dessas proporções para cada valor representativo de fibras.

Tabela 1 – Quantificação dos materiais utilizados. Materiais Utilizados (kg); Fonte: elaboração própria (2015).

Traço	Cimento	Areia	Brita	Fibra
<b>F30</b>	1,596	4,824	4,857	0,047
<b>F60</b>	1,596	4,824	4,857	0,297
<b>F90</b>	1,596	4,824	4,857	0,426
<b>REF</b>	1,596	4,824	4,857	0,000
<b>Total</b>	6,384	19,296	19,428	0,864



Figura 7 – Slump Test. Fonte: acervo pessoal (2015).

### 2.3.1 Ensaio de abatimento (Slump Test) e desmoldagem dos corpos de prova

O Slump Test ou ensaio de abatimento de concreto ou ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a NBR NM 67 (ABTN, 1998) com objetivo de determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, em laboratório e obra. Constatou-se, após o abatimento e a remoção do molde, um decaimento de 0 a 10 mm da mistura em todos os outros ensaios, evidenciando a baixa proporção da água devido a adição das fibras (Figura 7). “Isto ocorre pelo fato de se ter uma elevada área específica, que demanda uma grande quantidade de água de molhagem aumentando o atrito interno do concreto e reduzindo a sua mobilidade” (FIGUEIREDO, 2000, p. 6).

Após a desmoldagem dos corpos de prova, observou-se que eles apresentavam algumas falhas devido à baixa trabalhabilidade, pelo motivo das fibras aumentarem a área molhada do concreto, fazendo com que, mesmo com a vibração, tenha surgido falhas decorrentes da falta de água junto os demais agregados.

Depois da análise visual, quando se constatou o aparecimento de brocas (Figura 8), os 12 corpos de prova moldados receberam as devidas identificações e foram direcionados ao tanque e submetidos à cura por imersão.

### 2.3.2 Cura por imersão

Foram aguardadas 24h desde o momento da moldagem para a realização do desmolde e o armazenamento das amostras em tanque de água (Figura 9) com a função de evitar a perda excessiva de água no processo de cura do concreto, o que poderia acarretar outros problemas.

Após o cumprimento dos tempos de cura, cada amostra foi submetida ao ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de acordo com a NBR 5739 (ABTN, 1994),



Figura 8 – Surgimento de brocas. Fonte: acervo pessoal (2015).



Figura 9 – Corpos de prova imersos. Fonte: acervo pessoal (2015).

proporcionando assim a geração de dados para análise.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para comparar o comportamento mecânico do concreto com adição de fibras de aço dos pneus descartados com o do concreto convencional, foram realizados os ensaios de compressão e apresentados os resultados de ganhos e perdas de resistência em Mpa e em percentuais, com descritos a seguir.

A incorporação das fibras na matriz cimentícia, em um primeiro momento, se mostrou eficiente (Figura 10) por apresentar um ganho de resistência inicial de 12% em relação ao concreto de referência. Com a realização dos outros ensaios, tornou-se possível verificar uma queda significativa dessas resistências nas matrizes com acréscimo mais elevado de fibras em seus traços. Esse fato pode ser vinculado diretamente às falhas provenientes da necessidade do aumento da área molhada como já abordado observado anteriormente, que reduziu demasiadamente a trabalhabilidade da argamassa.

Observou-se que a perda dessa porcentagem de resistência também pode ser referente à necessidade de maior vibração no momento da realização da moldagem dos corpos de prova agravada pela falta de água relacionada às fibras.

A partir da análise das resistências adquiridas pelos corpos de prova foi possível a determinação dos percentuais (Figura 11) de base, ganho e perda de resistência com a adição das fibras.

Essa queda de resistência foi inesperada ao se constatar que, por hipótese, a utilização do volume de fibras empregado por Tasca et al. (2010), que foi a base metodológica desta pesquisa, estaria de acordo com o estudo de Ferreira (2002) que comprovou a eficiência

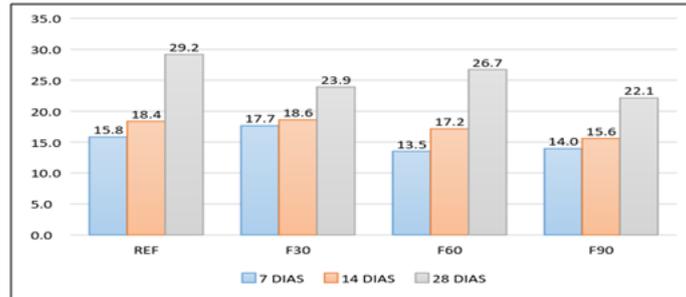


Figura 10 – Resistência à compressão em Mpa. Fonte: Elaboração própria (2015).

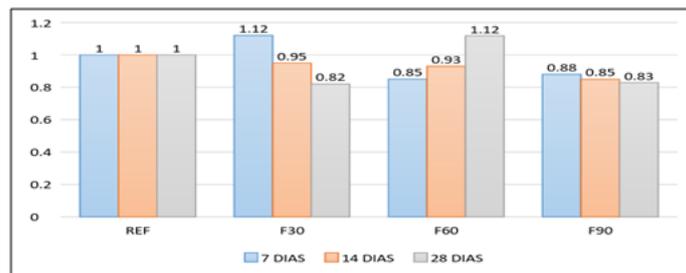


Figura 11 – Percentual de ganhos e perdas de resistência em Mpa. Fonte: Elaboração própria (2015).

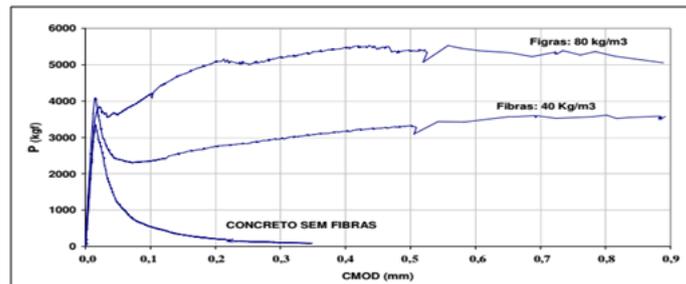


Figura 12 – Comparação do volume de fibras. Fonte: Ferreira (2002).

da curva Carga (P) × Deslocamento (CMOD), representada no [Figura 12](#).

Com respeito à viabilidade técnica do uso de fibras de aço de pneus descartados para o enriquecimento de concreto, pode-se afirmar que foi dado um passo significativo para sua constatação a partir dos ensaios Slump Test que proporcionaram a geração dos dados sobre resistência à compressão. Entretanto, os resultados obtidos teriam maior consistência se fossem complementados com dados resultantes de testes de resistência à tração e à fissuração.

Vale observar que estes dois últimos serão apresentados num futuro próximo, uma vez que a pesquisa que deu origem aos resultados apresentados neste trabalho está sendo continuada para análises mais ricas.

Com respeito a uma análise socioambiental, pode-se apontar que por meio da coleta de algumas informações sobre a quantidade de fibras que poderiam ser reaproveitadas dos pneus, pôde-se verificar que de 1 pneu podem ser retirados um mínimo de 200 gramas de

fibras somente dos arames de aço, apesar dele conter maior percentual do material nas cintas de aço localizadas abaixo de sua banda de rodagem. Essas informações se referem à extração dos arames de aço do Pneu Aro 13 Pirelli 165/70R13 Cinturato P1 79T, que foi tomado como base de pesos e quantidades.

A partir de uma comparação simples e por meio do relatório publicado por Cruz (2012) tem-se o cálculo de que em 9 anos se descartou um número médio de 350 milhões de pneus, de onde poder-se-ia ter retirado um volume básico de 70 mil toneladas de arame de aço.

Como o preço médio da fibra de aço é de R\$ 7,50 o quilo, isso poderia resultar no reaproveitamento dos 350 milhões de pneus e na geração de um valor aproximado de R\$ 500.000,00, além da contribuição para uma destinação produtiva dos pneus descartados indevidamente.

Já o processamento das fibras carece de um estudo mais específico, especialmente sobre a utilização de ferramentas e equipamentos adequados para a extração das fibras. Considerando o corte da borracha como um processo relativamente simples, a maior dificuldade para obtenção das fibras de aço se encontra na extração dos arames que requer mais força mecânica, energia e mecanismos de segurança.

## 4 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados obtidos foi possível observar uma aplicação conveniente das fibras de aço, oriundas de pneus descartados, por apresentarem funcionalidades e resistências praticamente paralelas das geralmente utilizadas.

Considerando-se as falhas resultantes dos problemas ocorridos durante alguns testes que têm relação direta com a adição das fibras à argamassa, pode-se observar que a repetição e o aprimoramento dos ensaios proporcionariam, certamente, dados mais consistentes sobre a efetiva aderência da fibra ao concreto.

Como uma solução alternativa e imediata para alguns desses problemas observados, adotou-se a redefinição da mensuração dos materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova que resultou numa melhoria das amostras analisadas.

No âmbito do conhecimento científico adquirido, cabe registrar o aprendizado proporcionado ao estudante bolsista de iniciação científica ao longo do desenvolvimento desse projeto de pesquisa e a ampliação das possibilidades de futuros trabalhos como, por exemplo, o desenvolvimento de materiais inovadores para a construção civil, ratificando assim a perspectiva de inovação produtiva em atendimento às urgências de sustentabilidade de um setor produtivo marcado, no Brasil, por uma trajetória histórica de desperdício de recursos de produção.

Entretanto, para tal perspectiva futura, vale observar que, apesar do aço ser um material que apresenta uma ótima resistência à tração e à compressão, os testes realizados com os corpos de prova permitiram notar que as fibras não ajudaram de maneira significativa com o aumento da resistência a compressão do concreto. Portanto, como continuidade do trabalho de pesquisa, poder-se-á analisar e avaliar como as fibras de aço, extraídas dos pneus descartados, podem interferir em outras propriedades do concreto como a capacidade de deformação e a resistência à tração.

Analogamente, com respeito ao potencial de contribuição para a redução do

problema do descarte inadequado de pneus usados, tornar-se-ia necessário a extensão desse estudo para analisar e avaliar o impacto do uso das fibras de aço de tais pneus sobre o descarte dos mesmos, considerando a perspectiva da sustentabilidade que adota uma abordagem sistêmica de toda cadeia de descarte e reaproveitamento dos pneus em desuso.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 5739**: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 15530**: Fibras de aço para concreto. Rio de Janeiro, 2007.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Tempo de decomposição de resíduos**. 2016. Disponível em: <[www.copam.com.br/decomposicao.htm](http://www.copam.com.br/decomposicao.htm)>. Acesso em: fev. 2016.

CRUZ, E. P. Brasil descartou em 9 anos 2,1 milhões de toneladas de pneus. **Exame**, Editora Abril, São Paulo, 2012.

FERREIRA, L. E. T. **Sobre a resistência ao fraturamento do concreto e do concreto reforçados com fibras de aço**. 2002. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras de Aço**. São Paulo: [s.n.], 2000. Dissertação de Livre Docência.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras de Aço**. São Paulo: [s.n.], 2011. Dissertação de Livre Docência.

PASA, F. V. **Análise do Comportamento de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras de Aço via Método dos Elementos Finitos**. 2007. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TASCA, M. et al. Estudo da viabilidade de adição de fibras de aço no concreto exposto ao ambiente marítimo: Análise da melhoria das propriedades de resistência. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 4., 2010, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande: FURG, 2010. Disponível em: <<http://www.semengo.furg.br/2010/05.pdf>>. Acesso em: ago. 2015.