

**UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO**

**LEIDE DAIANE CAIRES**

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO  
CONFECCIONADO COM ALGODÃO MERCERIZADO  
GRAFITIZADO**

BAURU  
2015

**LEIDE DAIANE CAIRES**

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO  
CONFECCIONADO COM ALGODÃO MERCERIZADO  
GRAFITIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro de Ciências  
Exatas e Sociais Aplicadas da  
Universidade do Sagrado Coração,  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de bacharel em Engenharia  
Civil, sob orientação do Profº Me.  
Rubens Roberto Ingraci Neto

BAURU  
2015

C1362r	<p data-bbox="517 1476 794 1507">Caires, Leide Daiane</p> <p data-bbox="517 1547 1302 1675">Resistência à compressão de concreto confeccionado com algodão mercerizado grafitizado / Leide Daiane Caires. -- 2015. 52f. : il.</p> <p data-bbox="564 1715 1238 1747">Orientador: Prof. Me. Rubens Roberto Ingraci Neto.</p> <p data-bbox="517 1787 1302 1877">Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.</p> <p data-bbox="517 1917 1302 1980">1. Algodão. 2. Têxtil. 3. Grafitizado. 4. Resistência. 5. Compressão. I. Ingraci Neto, Rubens Roberto. II. Título.</p>
--------	--

**LEIDE DAIANE CAIRES**

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO  
CONFECCIONADO COM ALGODÃO MERCERIZADO GRAFITIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Me. Rubens Roberto Ingraci Neto.

Banca examinadora:

---

Prof. Me. Rubens Roberto Ingraci Neto  
Universidade do Sagrado Coração

---

Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen  
Universidade do Sagrado Coração

---

Prof. Dr. Norival Agnelli  
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 02 de dezembro de 2015

À Edmar com todo meu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Em especial à Edmar Saldanha de Mattos, pela paciência e cooperação incessante nesta tarefa, sem você a vida seria muito difícil.

Ao Prof. Me. Rubens Roberto Ingraci Neto, pela confiança depositada em mim, pelo aprendizado adquirido. Pelo incentivo nos momentos difíceis, onde foi grande amigo. Agradeço pelo exemplo de competência, capacidade e seriedade que me foi passado, pela ajuda e orientação do trabalho.

Ao Sr. Aparecido e a Sr<sup>a</sup>. Zoraide por sempre me impulsionarem a seguir em frente, sem medir esforços, pela paciência, o amor e o carinho demonstrado nestes anos.

À minha família pela compreensão em todos os momentos que precisei ausentar-me, por me ensinar a ser uma pessoa forte e determinada, em especial aos meus irmãos Paula, Patrícia e Rodrigo, que sempre me incentivaram e nunca mediram esforços para que eu continuasse.

À todos os meus queridos amigos pelos momentos de descontração, estudo e conversas de incentivo.

À minha amiga do coração Mayara Cristina Albertin, pelas horas incansáveis de estudo, por sua paciência e conversas de apoio e tranquilidade, levarei para sempre em meu coração como uma irmã querida.

Aos proprietários da empresa Construserve, o Sr. Walter Roberto Folkis e Walter Roberto Branco Folkis, pela oportunidade de estágio, crescimento profissional e por sempre me darem liberdade de trabalhar e estudar.

Aos professores do curso de Engenharia Civil, pelos novos ensinamentos.

Agradecimentos mais que especiais aos professores Dr. Norival Agnelli e a Ma. Fabiana Costa Munhoz Ferraz que sempre me auxiliaram em todos os momentos, professores dedicados, amigos queridos, nunca me esquecerei dos seus ensinamentos, grandes mestres.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr. Sebastião Ribeiro e as alunas Marcela e Gisele, do Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena – USP, pela paciência e ajuda para elaboração das amostras, sem vocês este trabalho não seria possível.

Obrigado DEUS, pela oportunidade de cumprir mais este dever!

“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, porque tu estás comigo: a tua vara e o teu cajado me consolam.”  
(Salmo 23.4)

## RESUMO

A população mundial tem mudado ao longo dos anos seus conceitos referentes a reciclagem de materiais, mas infelizmente esse processo ainda precisa percorrer um longo caminho, visto que muitos ainda têm como conceito de reciclagem apenas: plástico, papel e metal. A população esquece que o resíduo têxtil é um dos grandes poluidores do meio ambiente e que assim como o plástico, demora muitas décadas para se desintegrar totalmente. A moda é um dos principais fatores que influenciam as mudanças e desperdícios deste material, pois a cada mudança de estação novas tendências surgem, assim como o desperdício. Diante destes fatos o presente trabalho foi elaborado, em busca do aproveitamento destes materiais para minimizar seu desperdício. Levando em consideração como base para estudo o algodão, principal fonte de matéria prima de artigos têxteis. Neste caso o algodão para estudo foi obtido de linhas 100% algodão mercerizado utilizadas para crochê. Este por sua vez, passou por um processo de grafitização, onde o material obtido foi incorporado ao concreto com a intenção de aumentar sua resistência à compressão. Foram moldados corpos de provas com e sem a presença do material grafitizado, e estes submetidos a testes de compressão com 7, 14 e 28 dias de cura. Observou-se que a resistência à compressão do corpo de prova com material grafitizado aos 7 dias de cura foi maior do que o corpo de prova padrão e para os demais tempos de cura não houve diferença significativa entre os resultados.

**Palavras-chave:** Algodão. Têxtil. Grafitizado. Resistência. Compressão.

## ABSTRACT

The world population has changed over the years their concepts regarding the recycling of materials, but unfortunately this process still needs to go a long way, as many still has the concept of recycling only: plastic, paper and metal. The population forgets that textile waste is one of the major polluters of the environment and that as the plastic, it takes many decades to disintegrate completely. Fashion trend is one of the main factors influencing the changes and waste of this material, because every change of season new trends emerge, as well as wastage. Given these facts this paper was prepared, in search of the use of these materials to minimize their wastage. It was taken into account as a basis for studying the cotton, the main source of raw materials for textiles. In this case the cotton for the study was obtained from mercerized 100% cotton lines used for crocheting. This in turn, underwent a graphitization process, where the material was embedded in the concrete with the intention of increasing its resistance to compression. Were molded test samples with and without the presence of graphite material held compression tests 7, 14 and 28 days of curing. It was observed that the compressive strength of the test samples with graphite materials to 7 days of curing was higher than the standard test sample and the remaining curing time there was no significant difference between the results.

**Keywords:** Cotton. Textile. Graphite. Resistance. Compression.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de fibras.....	17
Figura 2 – Reações químicas para conversão de celulose em fibra de carbono. ....	22
Figura 3 – Aumento da resistência à tração e módulo de elasticidade de acordo com o aumento da temperatura. ....	25
Figura 4 – Diminuição do alongamento da fibra até sua ruptura.....	26
Figura 5 – Linha 100% mercerizada fracionada.....	27
Figura 6 – Diversas linhas já preparadas para compactação.....	28
Figura 7 – Conferência das dimensões do material. ....	28
Figura 8 – Compactação de resíduo em tubos de aço.....	29
Figura 9 – Material separado para início do tratamento. ....	29
Figura 10 – Forno utilizado para realização da primeira etapa de tratamento.....	30
Figura 11 - Procedimento de aquecimento para tratamento de termoestabilização..	31
Figura 12 – Procedimento de aquecimento para carbonização e grafitização. ....	31
Figura 13 – Termoestabilização, presença de cinzas no interior do produto final. ....	32
Figura 14 – Cadinho de grafite utilizado no segundo processo de queima.....	33
Figura 15 – Forno 2, processo final de grafitização da amostra.....	34
Figura 16 – Redução da amostra após a segunda etapa do tratamento no cadinho de grafite. ....	34
Figura 17 – Amostra após processo de grafitização vista frontal .....	35
Figura 18 – Comprimento do material grafitizado, microscopia em 50x.....	36
Figura 19 – Diversas medidas do diâmetro do material grafitizado com microscopia de 200x. ....	36
Figura 20 – Separação do material grafitizado em partes de 5g cada. ....	37
Figura 21 – Cuba de ultrassom, total de 5 gramas de material diluído em 300 ml de água. ....	38
Figura 22 – CPC após moldagem. ....	38
Figura 23 - CPG após moldagem, todos com selo de identificação e horário do ensaio para utilização no momento do desmolde e rompimento. ....	39
Figura 24 – Prensa eletrônica hidráulica, para os ensaios de compressão. ....	40
Figura 25 – Difração por raio-X, gráfico da amostra com a presença de picos de grafite. ....	44
Figura 26 – Ficha referência entre a amostra e o carbono-grafite.....	45

Figura 27 – Média aritmética entre corpos de prova com e sem material grafitizado.  
.....46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de fibras naturais. ....	23
Tabela 2 – Traço utilizado na confecção dos corpos de prova.....	39
Tabela 3 – Apresentação da perda de peso do material em cada processo.....	42
Tabela 4 – Rendimento final, aproveitamento de apenas 2,36 % em relação ao peso inicial. ....	43
Tabela 5 – Ensaio de compressão, valores obtidos em tonelada-força. ....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.....	16
3.1.1 Compósitos .....	16
3.1.2 Fibras de Reforço .....	17
3.1.3 Fibras de carbono.....	18
3.1.4 Concreto com adição de fibras .....	19
3.2 APLICAÇÃO DAS FIBRAS .....	19
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
4.1 METODOLOGIA .....	27
4.1.1 Obtenção e preparo do resíduo.....	27
4.1.2 O processo de carbonização e grafitização do material .....	30
4.1.3 Microscopia do material grafitizado.....	35
4.1.4 Confecção dos corpos de prova .....	37
4.1.5 Ensaio de resistência à compressão .....	40
4.1.6 Cálculo da resistência à compressão .....	41
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>42</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os dez maiores produtores de fios, filamentos, tecidos e malhas, especialmente de algodão. No segmento de malhas o algodão é a matéria-prima predominante e o país é o terceiro maior produtor mundial, depois somente dos Estados Unidos e da Índia. (GORINI, 2000).

Atualmente para a fabricação de produtos têxteis utilizam-se fibras naturais ou sintéticas. As fibras naturais são de origem animal (lã e a seda) ou vegetal (linho, rami, juta, sisal, algodão); sendo o algodão a fibra mais empregada pela indústria têxtil. As fibras químicas são obtidas a partir de materiais de origem vegetal ou petroquímica. As fibras de origem vegetal são, por exemplo, produzidas a partir da celulose encontrada na polpa da madeira ou no línter do algodão, resultando principalmente no raio viscose e no acetato. As de origem sintéticas são principalmente o poliéster, a poliamida (náilon), o acrílico, o elastano (lycra) e o polipropileno. Diariamente essas indústrias geram resíduos em volumes maiores que a capacidade de absorção da natureza, como no caso do bairro do Bom Retiro, SP, que produz cerca de 12 toneladas por dia, o que representa 2% dos retalhos produzidos no Brasil, estimados na ordem de 175 mil toneladas ao ano. (TEXTÍLIA, 2012).

Como apontou o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL, 2009), as confecções geram desperdícios significativos em aparas, retalhos e peças rejeitadas. Estes resíduos ocorrem pelo mau planejamento de criação, corte, modelagem e encaixe das peças, qualidade das matérias primas, mão de obra desqualificada, máquinas inapropriadas e ciclo de vida comercial curto pois é um produto da moda.

A NBR 10.004/2004 (ABNT, 2015) classifica resíduos têxteis como resíduos sólidos, classe II A – não inertes, que podem apresentar propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Desde que não sejam contaminados durante o processo fabril, estes resíduos podem ser reutilizados ou reciclados. Caso ocorra contaminação, com óleo de máquina, por exemplo, estes são classificados como resíduos sólidos de classe I – perigoso, que apresentam riscos à saúde pública possuindo características: inflamáveis, corrosivas, reativas, tóxicas ou patogênicas. Podem provocar ou acentuar o aumento da mortalidade ou da incidência de doenças ou riscos ao meio ambiente, ainda mais quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada. Um retalho de tecido contaminado e descartado

em um recipiente com resíduos limpos contamina-os em sua totalidade, o que impede a reutilização e a reciclagem (CNTL, 2009).

Diante desses fatos, muitos pesquisadores têm demonstrado interesse em utilizar esses materiais, até então apenas resíduos, como reforço para alguns materiais como: concreto, gesso, compósitos poliméricos entre outros. Contudo, o uso do resíduo têxtil in-natura não é eficaz.

Nos trabalhos realizados por Reis (2009), Izquierdo (2011) e Silva (2010) com fibras naturais utilizadas como reforço, pode-se verificar que não houveram mudanças significativas ou resultados satisfatórios em comparação com o material sem a fibra. Por outro lado, nos estudos realizados por Geiger, Pöhler e Zimmermann (2004), Bacon e Tang (1964), Chand (2000) e Liu, Ma e Yuan (2014), onde a fibra in-natura passou por um tratamento químico antes da incorporação em outros materiais, verificaram-se melhoras nas propriedades mecânicas dos materiais com a fibra modificada.

Apesar de alguns estudos demonstrarem que as propriedades mecânicas dos compósitos podem ser melhoradas com a aplicação de fibras naturais, estes estudos são limitados às matrizes poliméricas ou aos materiais de pouca resistência à tração e flexão. O emprego das fibras naturais como reforço para materiais de maior resistência como o concreto têm revelado poucos ganhos. Entretanto, como mostraram Bacon e Tang (1964); Chand (2000) e Liu, Ma e Yuan (2014) a celulose presente em resíduos têxteis, principalmente no algodão, pode ser utilizada como precursora na produção de fibras de carbono, com propriedades mecânicas superiores. Logo, a proposta deste trabalho é o estudo das propriedades mecânicas de amostras de concreto reforçadas com resíduos têxteis otimizados, ou seja, celulose carbonizada e em seguida grafitizada.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Utilização de resíduos têxteis grafitizados como reforço no concreto.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Obter e preparar o resíduo têxtil que será empregado como componente do concreto a ser estudado;
- b) Realizar o processo de carbonização e a grafitização do resíduo têxtil;
- c) Fracionar o resíduo têxtil já grafitizado em partículas menores para ser utilizado na pesquisa;
- d) Confeccionar corpos de prova de concreto aditivado com o resíduo devidamente já processado;
- e) Romper os corpos de prova de concreto aos 7, 14 e 28 dias de cura para obtenção e análise das resistências alcançadas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica apresentam-se os conceitos norteadores deste estudo. Conceituam-se materiais compósitos, suas principais características e importância. Também estão destacados alguns estudos que utilizaram fibras naturais e resíduos têxteis como reforços estruturais na composição de compósitos. Por fim, são apresentadas as possibilidades de transformação de materiais celulósicos em estruturas de carbono, com propriedades mecânicas superiores que podem ser aproveitadas com sucesso no reforço dos compósitos.

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

##### 3.1.1 Compósitos

Compósitos são materiais formados por uma fase contínua, matriz, reforçada por uma fase descontínua, fibras, por exemplo, que se agregam fisicamente e quimicamente após um processo de *síntese*. (ALMANCO, 2015). O reforço modifica as propriedades da matriz como a resistência e rigidez, tornando sua aplicação mais versátil. A matriz, ou o ligante (orgânico ou inorgânico) mantém a posição e orientação do reforço; juntos eles produzem um compósito com propriedades que os constituintes individuais seriam incapazes de oferecer sozinhos. (FRANK; JOHNSON, 1980).

Existem diversos tipos de compósitos, cada um com suas vantagens e desvantagens, que devem ser conhecidas antes de sua utilização. Abaixo, seguem alguns compósitos importantes:

- *Compósitos de matriz polimérica*: compostos por uma matriz de polímero podem ser termoplásticos ou termofixos, reforçados por fibras naturais, de carbono ou por compostos inorgânicos. Oferecem grande resistência e rigidez, além de resistência a corrosão a um baixo custo.
- *Compósitos de matriz cerâmica*: podem ser compostas de alumina, cálcio, aluminossilicato reforçados com carbetos de silício. Possuem alta resistência, dureza, limites de temperatura altos, inércia química e baixa densidade. Devido a sua resistência a altas temperaturas, tornam-se frágeis às fraturas, podendo ser reforçados com carboneto de silício.

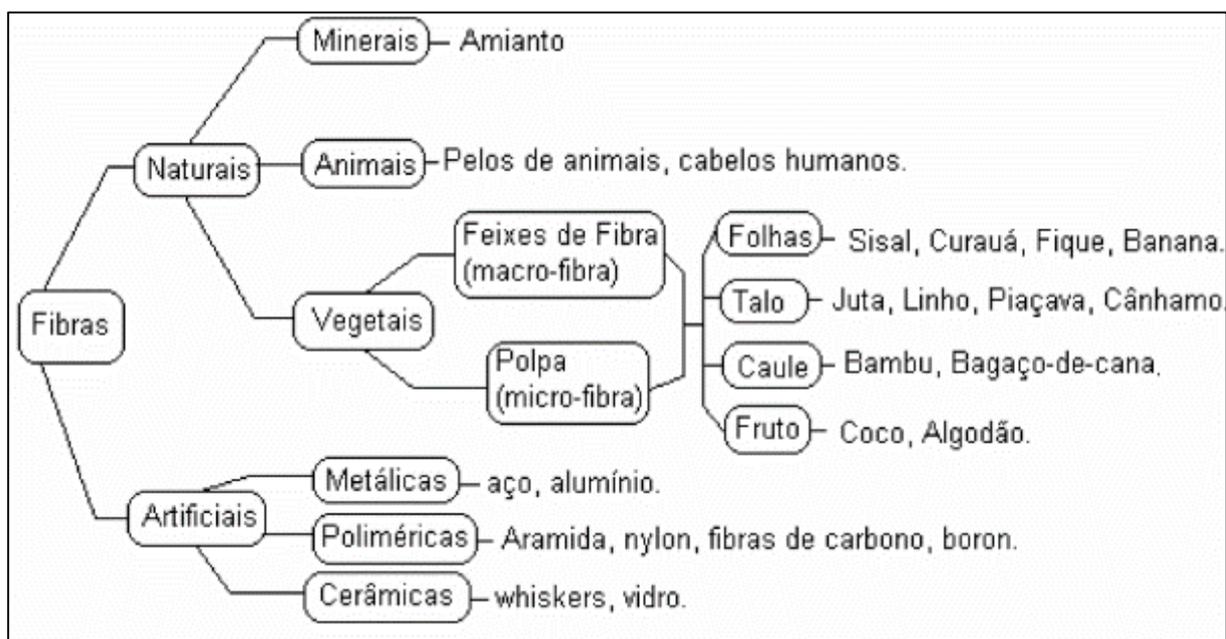
- *Compósitos carbono-carbono*: compostos por fibras de carbono numa matriz de carbono são utilizados em temperaturas de até mais de 3000 °C.

### 3.1.2 Fibras de Reforço

As propriedades dos compósitos dependem da natureza da matriz, do alinhamento das fibras, da proporção entre fibra e matriz utilizadas e das condições de moldagem. Os compósitos fornecem alta resistência, alto módulo, baixa densidade e custo razoável para aplicações com exigências especiais (TAJ, MUNAWAR e KHAN, 2007).

Fibras de vidro utilizadas em compósitos poliméricos possuem baixo custo, alta resistência à tração, resistência química elevada e excelentes propriedades de isolamento. Fibras de carbono possuem alta resistência à tração, à flexão, baixa densidade, além de resistirem a elevadas temperaturas. A Figura 1 apresenta os diversos tipos de fibras de acordo com sua morfologia.

Figura 1 – Tipos de fibras.



Fonte: Picanço (2005).

Fibras naturais são ecologicamente corretas, disponíveis em abundância, renováveis, de baixo custo e densidade. Sua desvantagem em relação as outras fibras é o baixo módulo de elasticidade, alta absorção de água, susceptível ataque de

insetos e fungos, baixa durabilidade em meio alcalino e variabilidade das propriedades mecânicas de fibras do mesmo tipo. (SILVA 2010). Podem ser de linho, cânhamo, casca de arroz, fibra de banana, sisal, algodão, madeira, palha de juta, fibra de abacaxi, entre outras. Essas fibras, exceto o algodão, são compostas por celulose, hemicelulose, lignina, ceras e alguns compostos solúveis em água. A hemicelulose é responsável pela biodegradação, microabsorção e degradação térmica da fibra, assim apresentando menos resistência. A lignina é estável termicamente, mas se degrada com radiação ultravioleta (UV-A). As fibras geralmente são 60-80% de celulose, 5-20% de lignina e até 20% de umidade. (KHAN; MUNAWAR; TAJ, 2007). Quando essas fibras são submetidas à pirólise, o aumento da temperatura faz com que sejam formados resíduos carbonizados, que ajudam a isolar a lignocelulose de uma degradação térmica.

Segundo Khan, Munawar e Taj (2007), as propriedades mecânicas, resistência química e a umidade, podem ser melhoradas com tratamentos químicos, mas é muito difícil obter essas mesmas propriedades mecânicas repetidamente em fibras de diversos cultivos, pois como são naturais dependem das condições de crescimento e são altamente variáveis.

### **3.1.3 Fibras de carbono**

São materiais com elevada resistência mecânica e peso muito baixo, contendo pelo menos 90% de carbono, obtida pela carbonização controlada de precursores apropriados (MEDEIROS, 2009). Muitas vezes os termos carbono e grafite são utilizados quando se refere a fibras, mas na realidade são materiais com características físicas, químicas e mecânicas sensivelmente diferenciadas. Fibras de carbono apresentam de 90% a 95% de carbono elementar em sua composição, e são obtidas pela carbonização de precursores numa faixa de temperatura final que pode variar entre 1000 e 2000°C (MEDEIROS, 2009). Segundo Peebles (1995), fibras de grafite contém mais de 99% de carbono, sendo produzidas pela carbonização a temperaturas finais entre 1800 e 3000°C. As etapas de oxidação antes da carbonização a diferentes temperaturas e atmosferas, natureza da fibra orgânica precursora utilizada (poliacrilonitrila, rayon, piches, etc), e tensionamento da fibra na etapa de oxidação ou carbonização também influem em suas propriedades. (EDIE, 1998).

### 3.1.4 Concreto com adição de fibras

Segundo Reis (1998), o concreto reforçado com fibras é uma alternativa interessante devido à sensível melhora de algumas propriedades e características do material: tenacidade; retenção à propagação de fissuras; resistência à tração; resistência ao cisalhamento; ductilidade; permeabilidade e durabilidade. (FORTES, 2000). A inserção de fibras no concreto melhora o comportamento após a fissuração e estrutura nos estados limites de utilização além da rigidez das peças.

## 3.2 APLICAÇÃO DAS FIBRAS

No estudo realizado por Izquierdo (2011) as fibras de sisal foram utilizadas como reforços em blocos de concreto, mini-paredes e prismas. O sisal utilizado do Tipo 3 (impregnado com emulsão à base de óleo mineral), foi fornecido por empresa especializada. Foram utilizadas fibras de 30 mm para blocos e de 20 mm a 40 mm para prismas, mergulhadas em água por 24 horas, exposta em seguida por uma leve corrente de ar para determinação da massa específica real e aparente. Em seguida a amostra saturada, foi seca em estufa por 60 °C a 24 horas. Foram realizados testes para determinar o teor de umidade inicial e absorção de água para as fibras. Nos blocos com e sem fibras foram realizadas quanto as propriedades físicas: análise dimensional, absorção de água, teor de umidade, área líquida e massa específica. O concreto utilizado foi de consistência seca, levemente umedecido, com abatimento zero, teor de fibras de 0,5% e 1%, para confecção dos blocos para as mini-paredes e prismas. No ensaio de resistência a compressão os blocos com fibras apresentaram uma diminuição média de 41% em relação aos blocos de referência, mas resistência característica pretendida. Isso porque a presença de sisal provocou neste caso, falhas no material, menor capacidade e maior índice de vazios. Todas as amostras em que se adicionou 1% de fibra com dimensões menores (20 mm) sua resistência foi maior em relação aos de fibras maiores (40 mm), isso porque fibras menores se acomodam e distribuem melhor no material. Já com referência a ruptura o colapso ocorre mais instantâneo em blocos sem a fibra, os blocos com fibras mantêm suas partes unidas pelas fibras, mantendo sua ruptura progressiva, isso acontece também nos ensaios com os prismas e mini-paredes. Em relação aos prismas a resistência média foi de 28% e as mini-paredes de 3%, isso porque cada tipo de componente tem um grau de

desenvolvimento das tensões de tração. Além disso, as fibras naturais têm grandes variabilidade de suas propriedades e alterações inerentes a sua própria natureza, o que torna seu uso inviável para aplicações como reforço.

Silva (2010) analisou as propriedades físicas e mecânicas de argamassa reforçada com fibras do bagaço de cana de açúcar. Foram utilizadas fibras de duas usinas diferentes, com 4 e 5 ternos de moagem, respectivamente. As amostras utilizadas foram lavadas em água corrente e secas ao ar livre e levadas à estufa a 60 °C por 24h. A outra parte foi lavada em água corrente, fervida por 30 minutos, lavada novamente em água corrente, seca ao ar livre e levada à estufa a 60 °C por 24h. Após a lavagem essas fibras receberam tratamento químico a base de solução de silicato de sódio a 5% e solução de sulfato de alumínio a 30%, para mineralizar as fibras e protegê-las do meio alcalino da matriz cimentícia. As amostras que foram lavadas em água corrente, fervidas e tratadas com produtos químicos, adicionadas a um teor de umidade de 3,0%, tiveram melhor desempenho na resistência à compressão simples, média 11,13 MPa, rompidos aos 7 e 28 dias de idade. No teste de absorção de água a melhora ocorreu nas amostras que foram lavadas em água corrente, fervidas e tratadas com a nata do cimento, com 7 dias, seguidos pelas amostras lavadas em água corrente e tratadas com produtos químicos. Neste estudo as amostras citadas anteriormente foram as que tiveram resultados mais significativos, mas com maior custo financeiro e de mão de obra, já as amostras que apresentaram resultados inferiores seu custo foi menor.

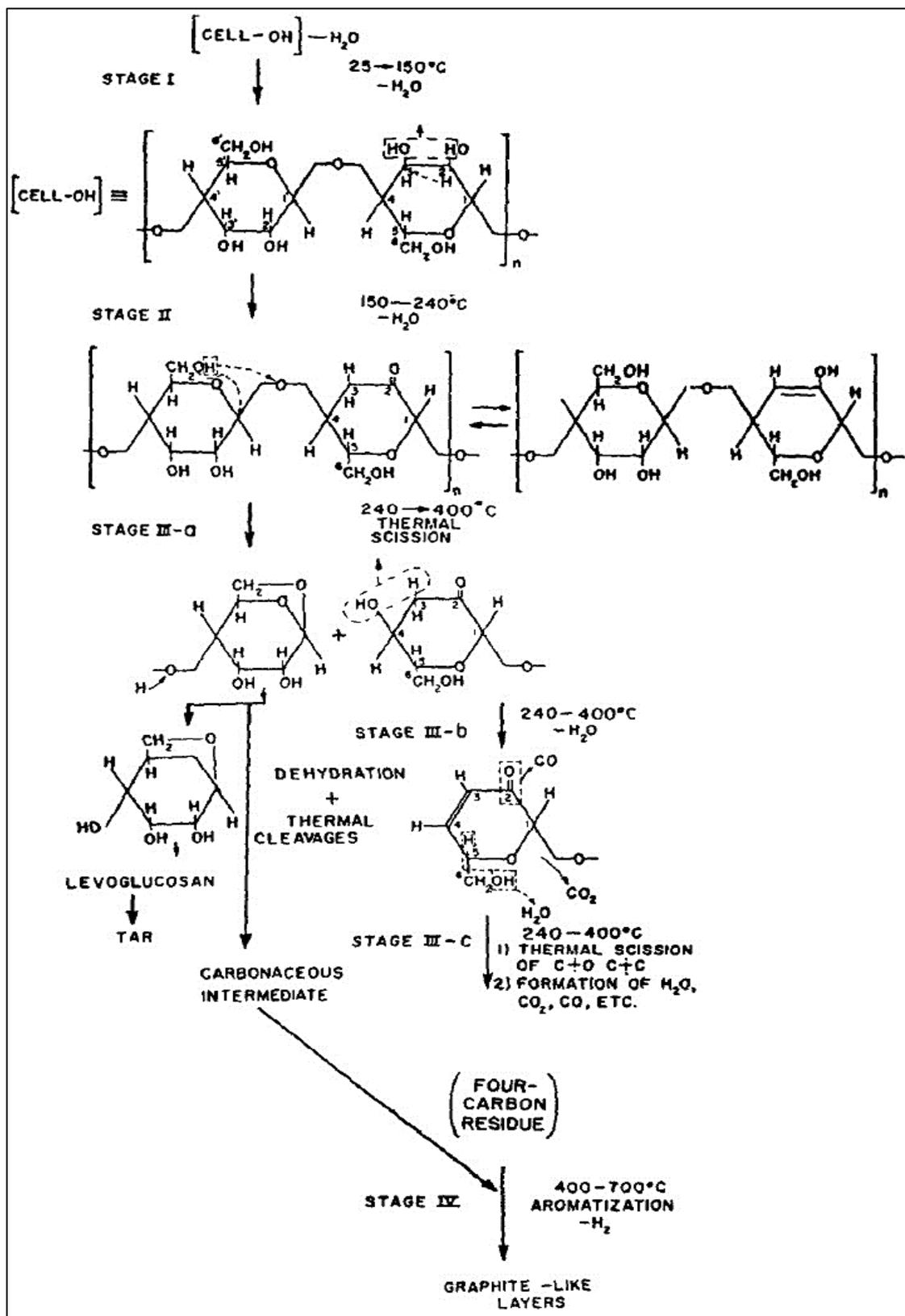
Reis (2009) utilizou fibras têxteis da indústria de vestuário como reforço em concreto polimérico. Utilizou-se resíduos têxteis de uma fábrica de lingerie, composto por algodão, poliéster, seda e rayon, em diversas porcentagens. Esses resíduos foram misturados com um ligante de resina termoendurecível (10% e 12%), epóxi. As amostras foram confeccionadas da mesma maneira do concreto polimérico simples, e adicionado 1% e 2% em peso da fibra têxtil picada e areia de fundição. As amostras foram deixadas por 7 dias em temperatura ambiente. Concluiu-se que o material compósito produzido apresenta menor flexão e não apresentam reforço esperado quanto à resistência a compressão, no entanto, houve aumento da plasticidade do material, diminuindo os sinais de comportamento frágil do concreto polimérico não reforçado.

Geiger, Pöhler e Zimmermann (2004) mostraram que o reforço em materiais utilizando fibras com alto teor de celulose dá-se pelo aproveitamento das fibras

lignocelulósicas. Apesar do material ser de baixo custo e encontrado facilmente na natureza, esse tipo de material é hidrófilo e necessita de um processamento químico e mecânico para a separação das fibrilas em diâmetros inferiores a 100nm. Neste estudo as fibrilas produzidas a partir da madeira atuaram como reforço em polímeros hidrossolúveis como o poli (álcool vinílico) (PVA) e a hidroxipropilcelulose (HPC). Demonstrou-se que os reforços quadruplicaram a resistência à tração do PVA e mais que dobram a do HPC, porém reduziram suas capacidades de deformação.

Segundo Bacon e Tang (1964), o processamento de fibras de celulose por pirólise com temperaturas entre 240°C e 400°C reduz seu peso e alteram suas ligações moleculares. Nesta faixa de temperatura ocorre a desidratação das fibras com separação das moléculas de água, tornando-as mais rígidas e 50% mais plásticas como no caso do raio. Além de favorecer a perda de hidrogênio e reduzir o peso do material em 70,4%. Esse tipo de degradação térmica do material ocorre acima de 240°C, e possibilita a obtenção de um polímero de carbono e, em última instância, de uma estrutura de grafite. (GORINI, 2000). A Figura 2 mostra as reações envolvidas na conversão de celulose em estruturas de carbono. É possível visualizar os estágios para obtenção da estrutura de carbono de forma resumida, onde no primeiro estágio ocorre a secagem das fibras a partir do processo de perda de água (25 °C a 150 °C), no segundo estágio as cadeias de carbonos são rompidas a temperaturas de 150 °C a 240 °C, no terceiro estágio de 240 °C a 400 °C, ocorre uma desidratação dessas fibras e uma clivagem térmica, onde se formam compostos de carbono intermediários e no quarto e último estágio camadas de grafite são obtidas a uma temperatura de 400 °C a 700 °C.

Figura 2 – Reações químicas para conversão de celulose em fibra de carbono.



Fonte: Bacon (1964).

Como apresentado uma maneira para reaproveitamento do resíduo têxtil é transformá-lo em fibras de celulose. Essas fibras quando submetidas ao processo de carbonização podem ser utilizadas como reforço em diversos materiais. De acordo com a Tabela 1, a fibra que contém maior quantidade de celulose é o algodão, quando comparada a outras fibras de fácil acesso e baixo custo.

Tabela 1 – Composição de fibras naturais.

<b>Fibra</b>	<b>Celulose (%)</b>	<b>Lignina (%)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>	<b>Ângulo Microfibrilar (%)</b>
Algodão	85 – 90		7.85 – 8.5	
Banana	63 – 64	5	10 – 12	
Cânhamo	70 – 74	3.7 – 5.7	6.2 – 12	2 – 6.2
Juta	61.1 – 71.5	12 - 13	12.5 – 13.7	8
Linho	71	2.2	8 – 12	5 -10
Sisal	66 – 78	10 – 14	10 – 22	10 - 22

Fonte: Kuan, Munawar eTaj, (c2007, p. 135).

Nota: Adaptado pela autora.

Chand (2000) abordou em seu trabalho uma análise sobre o desenvolvimento das fibras de carbono de alto desempenho nas últimas décadas. Segundo o autor foi Thomas Edison em 1879 que utilizou fibras de algodão e depois bambu para conversão em carbono. Esta conversão levou a produção de filamentos de lâmpadas incandescentes. Já em 1950, rayons sintéticos foram carbonizados para produção de fibras de carbono para aplicações militares de baixo peso e alta resistência à temperatura. A introdução da poliacrilonitrila (PAN) só ocorreu em 1960, quando seu processo se tornou mais simples, econômico e com alto rendimento, aproveitando 50% do teor de carbono original da fibra, contra 30% do rayon. Além disso, com propriedades físicas superiores, hoje é um dos precursores mais importantes para fibras de carbono de alta resistência.

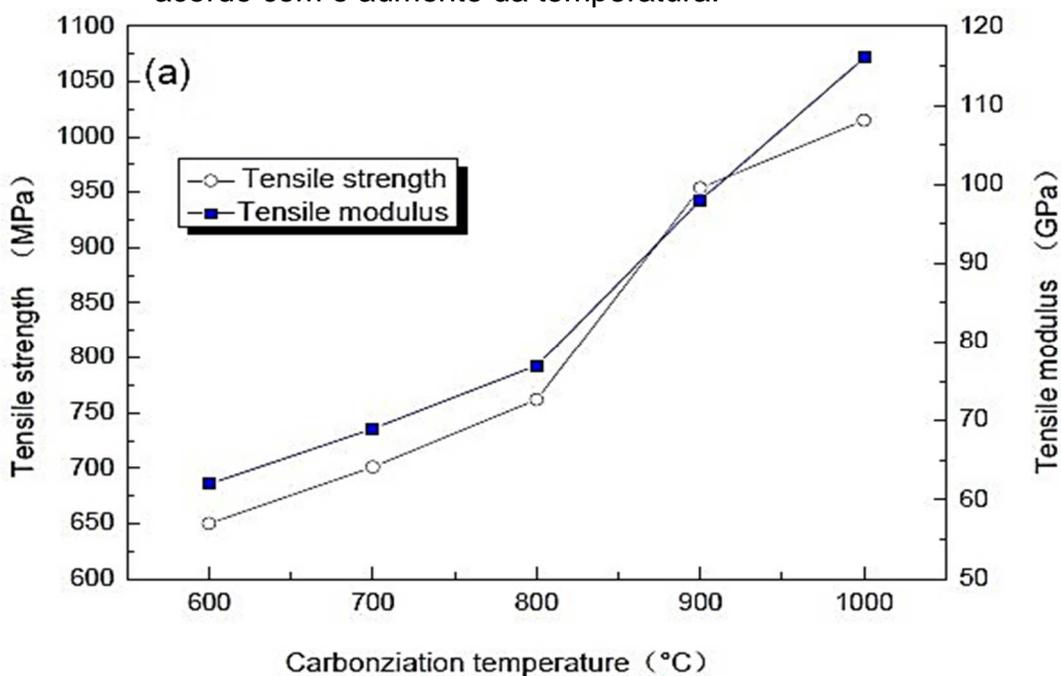
O tratamento superficial é importante no desempenho das aplicações das fibras de carbono. Quando utilizadas sem tratamento superficial, produzem compósitos com baixa resistência ao cisalhamento interlaminar porque existe uma fraca adesão e uma fraca ligação entre as fibras e a matriz. (DONNET; BASAL, 1990). Portanto, todas as

fibras são nada mais que um tratamento de superfície, não disponíveis, guardados com segurança por seus criadores. O que se pode afirmar é que estes tratamentos aumentam a área da superfície e os grupos funcionais da superfície, assim melhorando a ligação entre as fibras e a matriz de resina. (DRZAL; WETZSACKER, 1996). Isso aumenta a molhabilidade das fibras de carbono e aumenta a resistência ao cisalhamento interlaminar. Os tratamentos de superfície podem ser classificados em tratamentos não-oxidantes e oxidantes. Os oxidantes envolvem a oxidação em fase gasosa, a oxidação em fase líquida realizada quimicamente (IBARRA; MACIAS; PALMA, 1996) a eletroquímica, (DELAMAR et al., 1997), e a oxidação catalítica. Os não oxidantes incluem a deposição de formas mais ativas de carbono, formação de whisker, deposição de carbono pirolítico (BENLIAN; KUN; YUKIN, 1997), ou a grafitação dos polímeros sobre a superfície da fibra de carbono (ANNA, XUQIN e SHIJIN, 1994). Essas fibras de carbono também podem ser tratadas com plasma para melhorar a ligação entre a fibra e a matriz. Muitas vezes é necessário que se tenha uma interface fraca entre a fibra e a matriz para que se melhore a tenacidade do composto e sua resistência à quebra. (VALDEZ; ZHU, et al., 1998). No entanto, uma forte interface entre a fibra e uma matriz flexível, melhora a resistência à tração, a resistência à compressão, e resistência à deformação do composto. (AGARWAL; BROUTMAN, 1990).

Liu, Ma e Yuan (2014) obtiveram fibras de carbono a partir de celulose por meio da liquefação da celulose com fenol, derretimento, fiação, cura de tratamento e carbonização. O processo realizado teve uma mistura de apenas 20g de celulose e 120g de fenol, além de 9,6g de  $H_3PO_4$ . Aquecidos em balão de fundo redondo aquecido num banho de óleo a  $160^\circ C$ , durante 150 min. Após esse processo, adicionou-se 5% de hexametenotetramina como agente sintético, em relação ao peso da celulose liquefeito, e aqueceu novamente por 5 min e mais 40 min a  $180^\circ C$  para preparar a solução de fiação. Essa solução foi colocada numa máquina de fiação e os filamentos foram obtidos por fusão e centrifugação. Estes filamentos foram curados por imersão em uma solução ácida (1:1), a  $95^\circ C$  durante 4h, lavou-se com água destilada em seguida secou-se a  $90^\circ C$  durante 45 min. Os precursores de fibra de carbono de celulose liquefeito foram preparados, em seguida o processo de carbonização foi aplicado. Esse foi realizado em um forno tubular e as amostras foram aquecidas desde a temperatura ambiente até a temperatura de carbonização final (de  $400^\circ C$  a  $1000^\circ C$ ). As amostras foram mantidas sob temperatura de carbonização a 60

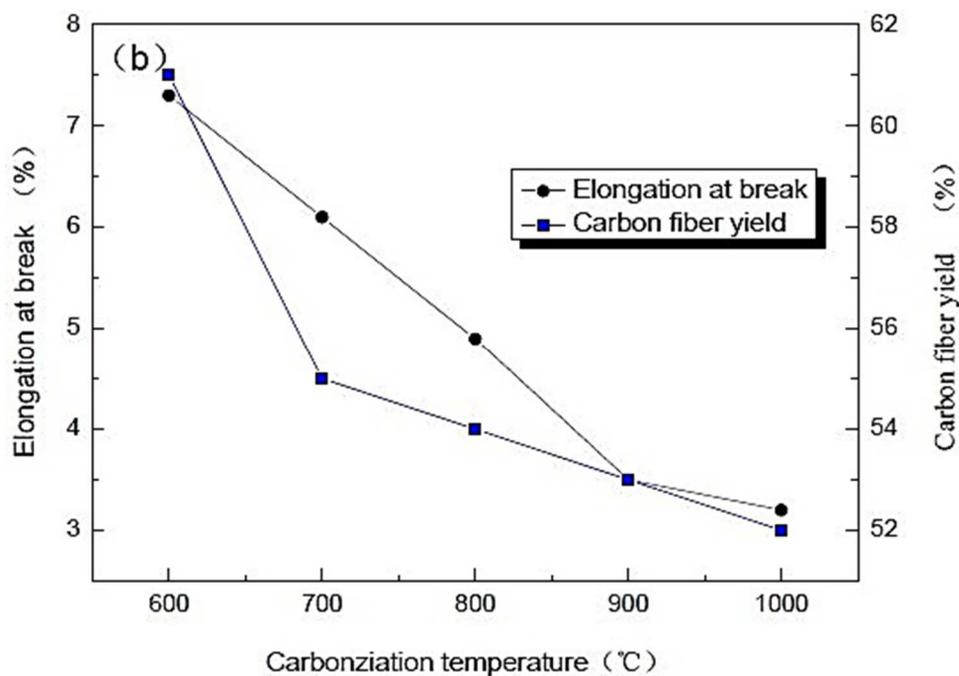
min, em seguida arrefecida naturalmente à temperatura ambiente. Pode-se observar que com este processo, o aumento da temperatura de carbonização melhorou a resistência à tração e módulo de elasticidade das fibras de carbono a base de celulose (CBCFs), mas o alongamento à ruptura foi reduzido. A Figura 3 mostra que quando a temperatura estava entre 600 - 1000°C, a resistência a tração e o módulo de elasticidade das CBCFs aumentaram de 650 MPa para 1015 MPa e de 62 GPa para 116 GPa, respectivamente. Mas o alongamento até a ruptura diminuiu 54,9% como apresenta a Figura 4. Os autores concluíram também que a elevação da temperatura no processo de carbonização pode rearranjar os átomos de carbono de CBCFs com uma notável melhora da estrutura cristalina, obtendo melhores propriedades mecânicas.

Figura 3 – Aumento da resistência à tração e módulo de elasticidade de acordo com o aumento da temperatura.



Fonte: Liu, Ma e Yuan (c2014, p.78).

Figura 4 – Diminuição do alongamento da fibra até sua ruptura.



Fonte: Liu, Ma e Yuan (c2014, p.78).

Diante das pesquisas realizadas observou-se que os materiais carbonizados e grafitizados são aplicáveis em diversas situações como reforço. Se tratadas quimicamente ou termicamente podem ter melhoras significativas em relação aos materiais comerciais.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento dos experimentos.

São apresentados os equipamentos e procedimentos utilizados na realização da pesquisa, os ensaios para grafitização do material foram realizados no Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR), da Escola de Engenharia de Lorena (EEL), da Universidade de São Paulo (USP), bem como a caracterização detalhada dos materiais. Em seguida são expostos os principais detalhes referente a produção dos corpos de prova sem e com adição do resíduo têxtil otimizado (RTO).

### 4.1 METODOLOGIA

#### 4.1.1 Obtenção e preparo do resíduo

Foram utilizados resíduos têxteis provenientes de novelos de linhas 100% algodão mercerizado obtida a partir de crocheteiras e da compra em armarinhos na cidade de Bauru, estado de São Paulo. O material encontrava-se livre de contaminantes em geral.

O material adquirido foi fracionado manualmente com tesoura, Figura 5. A Figura 6 apresenta o material fracionado de diversas marcas de linhas misturas para compactação e pesagem.

Figura 5 – Linha 100% mercerizada fracionada.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 6 – Diversas linhas já preparadas para compactação.



Fonte: Elaborada pela autora.

As dimensões do resíduo fracionado não ultrapassaram 30 mm, para que os compactos produzidos fossem mais densos aproveitando melhor o volume útil dos fornos de tratamento, Figura 7.

Figura 7 – Conferência das dimensões do material.



Fonte: Elaborada pela autora.

Após o corte os resíduos têxteis foram compactados em tubos de aço de 100 x 150 mm, com prensa hidráulica de 15 toneladas - Bovenau (Figura 8).

Figura 8 – Compactação de resíduo em tubos de aço.



Fonte: Elaborada pela autora.

Foram compactados 1314 g de resíduos em 6 tubos de aço. Após a compactação, o material foi retirado do tubo de aço e separado em dois refratários cerâmicos (Figura 9), para ser levado ao forno para início do processo de termoestabilização.

Figura 9 – Material separado para início do tratamento.



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.1.2 O processo de carbonização e grafitização do material

Após a separação do material realizaram-se os tratamentos térmicos em dois fornos distintos, localizados no DEMAR – USP, sendo o primeiro processo realizado em mufla convencional de resistência elétrica sem controle de atmosfera (Forno 1), apresentando na Figura 10.

Figura 10 – Forno utilizado para realização da primeira etapa de tratamento.

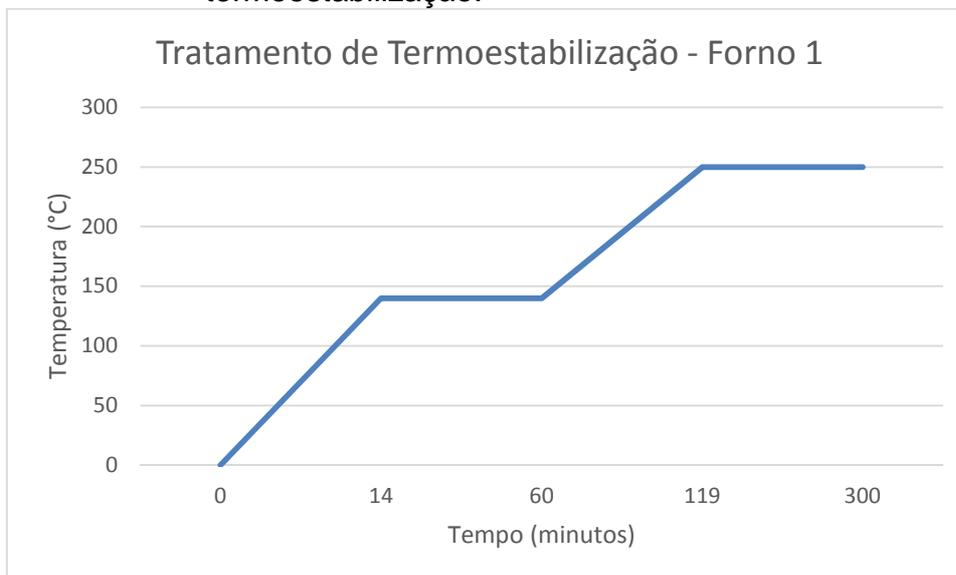


Fonte: Elaborada pela autora.

Nesta primeira etapa o material foi aquecido a um patamar de 140°C por 1 hora a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, o segundo patamar foi de 250 °C, sendo alcançado a uma taxa de aquecimento de 3°C/min e mantido por 5 horas. O material foi resfriado dentro do próprio forno com o desligamento de sua resistência interna, e retirada apenas no dia seguinte.

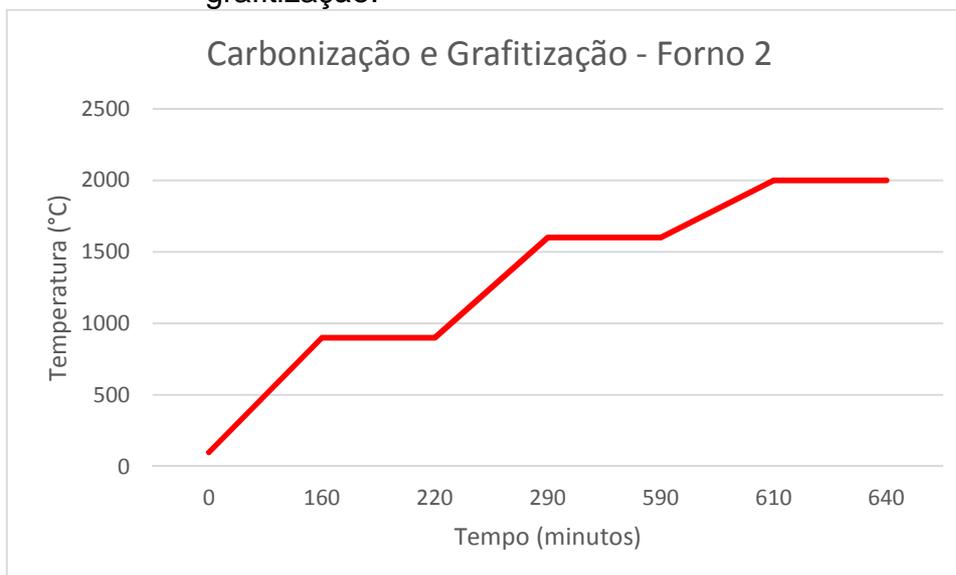
As Figuras 11 e 12 apresentam os procedimentos para o aquecimento das amostras nos dois fornos, ou seja, na termoestabilização no forno 1 e na carbonização seguida da grafitização (>1.600°C) no forno 2.

Figura 11 - Procedimento de aquecimento para tratamento de termoestabilização.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 12 – Procedimento de aquecimento para carbonização e grafitização.



Fonte: Elaborado pela autora.

Como apresentado na Figura 11 a termoestabilização consiste na desidratação das amostras (<150°C) e ocorrência das principais reações químicas (<250°C). No segundo forno ocorre a carbonização completa da amostra (<1.600°C) e a grafitização (>1.600 °C). Os tempos de permanência nos patamares e rampas de aquecimento foram selecionados segundo o estudo desenvolvido por Bunchmeiser et al. (2014).

Ao retirar o material do forno 1 verificou-se que o centro do material apresentava cinzas, Figura 13.

Figura 13 – Termoestabilização, presença de cinzas no interior do produto final.



Fonte: Elaborada pela autora.

Foi retirada a maior quantidade possível de cinzas para realização do segundo processo térmico; o material com grande contaminação por cinzas foi descartado. Em seguida, a maior quantidade possível do material foi acomodada em um cadinho de grafite (Figura 14).

Figura 14 – Cadinho de grafite utilizado no segundo processo de queima.



Fonte: Elaborada pela autora.

O cadinho de grafite contendo a amostra retirada do forno 1 foi levado para o processamento térmico (carbonização e grafitização) em um forno à vácuo ou com injeção de argônio (Forno 2), modelo 1000-4560-FP20, fabricante Thermal Technology LLC, conforme mostra a Figura 15.

O forno 2 tem como temperatura inicial 100°C, após esse aquecimento inicia-se processo de carbonização e grafitização do material à:

- 900°C / 1h, a seguir a taxa de aquecimento é de 5°C/min,
- 1.000°C é realizada uma injeção de argônio de 5 psi;
- 1.600°C taxa de aquecimento de 10°C/min, onde permanecerá por 5 horas;
- última rampa, taxa de aquecimento de 20°C/min até 2000°C, com patamar mantido por 30 min.

Neste forno o processo de resfriamento ocorre como no forno 1, já descrito anteriormente.

Figura 15 – Forno 2, processo final de grafitação da amostra.



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 16 apresenta a amostra dentro do cadinho de grafite após todo o processo realizado no forno 2.

Figura 16 – Redução da amostra após a segunda etapa do tratamento no cadinho de grafite.



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 17 apresenta a amostra retirada do cadinho em duas vistas.

Figura 17 – Amostra após processo de grafitação vista frontal



Fonte: Elaborada pela autora.

Dos 1314g de resíduos têxteis (material verde), obtiveram-se 48g de material grafitado, sendo desse total 17g dispensadas após a primeira queima (forno 1), devido a contaminação com cinzas. Portanto apenas 31g puderam ser aproveitadas para confecção dos corpos de prova.

#### **4.1.3 Microscopia do material grafitado**

Foram separados manualmente em partículas de menores dimensões possíveis uma quantidade do material grafitado e sua caracterização, como retratam a Figura 18 e a Figura 19, para isso utilizou-se de um microscópio Olympus, modelo BX-51, com ampliação de 50x e 200x.

Figura 18 – Comprimento do material grafitizado, microscopia em 50x.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 19 – Diversas medidas do diâmetro do material grafitizado com microscopia de 200x.



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.1.4 Confeção dos corpos de prova

Para confecção dos corpos de prova o material grafitizado foi fracionado em partículas menores para melhor dispersão na mistura. Assim, o material foi separado em partes de 5 g cada, para isso utilizou-se de balança de precisão, modelo AUY 220 – Shimadzu (Figura 20).

Figura 20 – Separação do material grafitizado em partes de 5g cada.



Fonte: Elaborada pela autora.

Em seguida adicionou-se 300 ml de água a cada 5 g do material, processando-se a amostra em uma cuba de ultrassom, por aproximadamente 30 min a 50 W e 40 kHz; no total foram processadas 6 amostras (total de 30 g), Figura 21.

Figura 21 – Cuba de ultrassom, total de 5 gramas de material diluído em 300 ml de água.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 5738:2015, totalizando 12 corpos de prova sendo 06 deles com adição de 5g por corpo de prova do material grafitizado (CPG), Figura 22, e 06 corpos de prova em concreto (CPC), Figura 23, com dimensões de 100 mm x 200 mm, adensamento manual de 12 golpes por camada, com 2 camadas cada corpo de prova.

Figura 22 – CPC após moldagem.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 23 - CPG após moldagem, todos com selo de identificação e horário do ensaio para utilização no momento do desmolde e rompimento.



Fonte: Elaborado pela autora.

O traço utilizado foi 1:3:2,5;2,5, sendo respectivamente cimento Portland II, areia grossa seca, brita 0 e brita 1 seca. A Tabela 2 apresenta proporção utilizada em massa para esse traço.

Tabela 2 – Traço utilizado na confecção dos corpos de prova.

<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>CPC</b>	<b>CPG</b>
Cimento Portland II	kg	2,51	2,51
Areia grossa	kg	7,54	7,54
Brita 0	kg	6,28	6,28
Brita 1	kg	6,28	6,28
Material grafitizado	g	***	30,00
Água	ml	2130	2130

Fonte: Elaborado pela autora.

Todos os corpos de prova foram moldados somente com os materiais apresentados na Tabela 2, não tendo sido utilizado nenhum outro tipo de aditivo, para minimizar as variáveis de estudo.

Durante as primeiras 24 horas da moldagem os corpos de prova foram secos em temperatura ambiente e então realizou-se o desmolde. Em seguida todos os

corpos de prova foram retificados (NBR 5738:2015), e colocados em um tanque com água limpa e cal hidratada.

#### 4.1.5 Ensaios de resistência à compressão

Os ensaios de compressão foram realizados na empresa Baurumix na cidade de Bauru, em prensa eletrônica com pistão hidráulico, com capacidade de 100 toneladas, com indicador de força digital - Erca, Figura 24.

Foram realizados ensaios para os corpos de prova com idade de cura de 7, 14 e 28 dias, de acordo com a NBR 5739:2007.

Figura 24 – Prensa eletrônica hidráulica, para os ensaios de compressão.



Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.1.6 Cálculo da resistência à compressão

Para realização do cálculo de resistência à compressão dos CP's utilizou-se da NBR 5739:2007, que determina como base para esse tipo de cálculo a Equação 1:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

Onde:

$f_c$  = é a resistência à compressão, em megapascals;

$F$  = é a força máxima alcançada, em newtons;

$D$  = é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao realizar o tratamento térmico do resíduo têxtil esperava-se que o rendimento final do material fosse de pelo menos 10% em relação ao peso do material verde. Isso não ocorreu, o que dificultou que fossem realizados corpos de prova com diferentes teores de material grafitizado, para uma melhor análise de sua influência nas propriedades mecânicas do concreto.

A Tabela 3 apresenta como o material foi reduzindo sua massa conforme os processos para grafitização do material eram realizados.

Tabela 3 – Apresentação da perda de peso do material em cada processo.

<b>Tipo de procedimento</b>	<b>Amostra</b>	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa Final (g)</b>	<b>Perda (%)</b>
Forno 1	1 <sup>a</sup>	659	292	55,69
Forno 2	1 <sup>a</sup>	292	25	91,44
Forno 1	2 <sup>a</sup>	655	318	51,45
Forno 2	2 <sup>a</sup>	318	23	92,76

Fonte: Elaborada pela autora.

A redução de massa e volume maior acontece já no início do processo de grafitização, quando o material é inserido no forno 1, neste processo o material perde mais de 50% de sua massa, isso mostra que para grandes quantidades esse procedimento é crítico. Como explicado anteriormente esperava-se que o rendimento do processo fosse cerca de 10%, como ocorre no forno 2, mas durante a termoestabilização (etapa na qual também ocorre a desidratação do material) registrou-se significativa redução da massa de material.

Na comparação do material verde (1314 g) com o rendimento obtido (48 g), pode-se observar que o rendimento foi de apenas 3,65% em relação à massa, sendo que das 48 g obtidas 17g foram descartadas devido à presença de cinzas que poderiam contaminar a amostra, Tabela 4.

Tabela 4 – Rendimento final, aproveitamento de apenas 2,36 % em relação à massa inicial.

<b>Material</b>	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa final (g)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Verde	1314	48	3,65
Resíduo grafitizado	48	31	2,36

Fonte: Elaborada pela autora.

A perda pela presença de cinzas pode ter ocorrido devido a compactação do material, que dificultou a penetração do oxigênio no interior da amostra dificultando a termoestabilização no interior do material. Observou-se também que mesmo após o desligamento do forno o interior do corpo manteve-se queimando ainda por algumas horas, o que levou a formação das cinzas.

A cristalinidade e composição do produto resultante do processo de carbonização e grafitização foi avaliada pela técnica de difração de raio-X em amostras pulverizadas no difratômetro Empyrean da Panalytical com tubo de cobre. A Figura 25 traz o perfil da difração realizada com comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 0.154 nm, varredura de  $2\theta$  de  $10^\circ$  a  $90^\circ$ .

Os picos na Figura 25 são classificados como de grafite (002) e (100). O pico (002) a  $26,16^\circ$  está ligeiramente deslocado dos  $2\theta$  de  $26,25^\circ$  do grafite segundo a carta de referência do equipamento, conforme a Figura 26; o que representa um aumento do espaçamento entre as camadas de carbono de 0,339 nm do grafite para 0,3402 nm no material produzido. Segundo Huang et al. (2014) este fenômeno está associado à formação de nano partículas de carbono. A difração em  $2\theta$  de  $43,38^\circ$  origina-se da estrutura cristalina bidimensional das camadas de grafite. Assim, nota-se que a amostra apresenta estruturas orientadas de grafite e o restante é carbono amorfo.

Como proposto por Liu et al. (2014) o grau de grafitização ( $g$ ) pode ser obtido pela Equação 2.

$$g = \frac{0,3440 - d_{002}}{0,3440 - 0,3354} \quad (2)$$

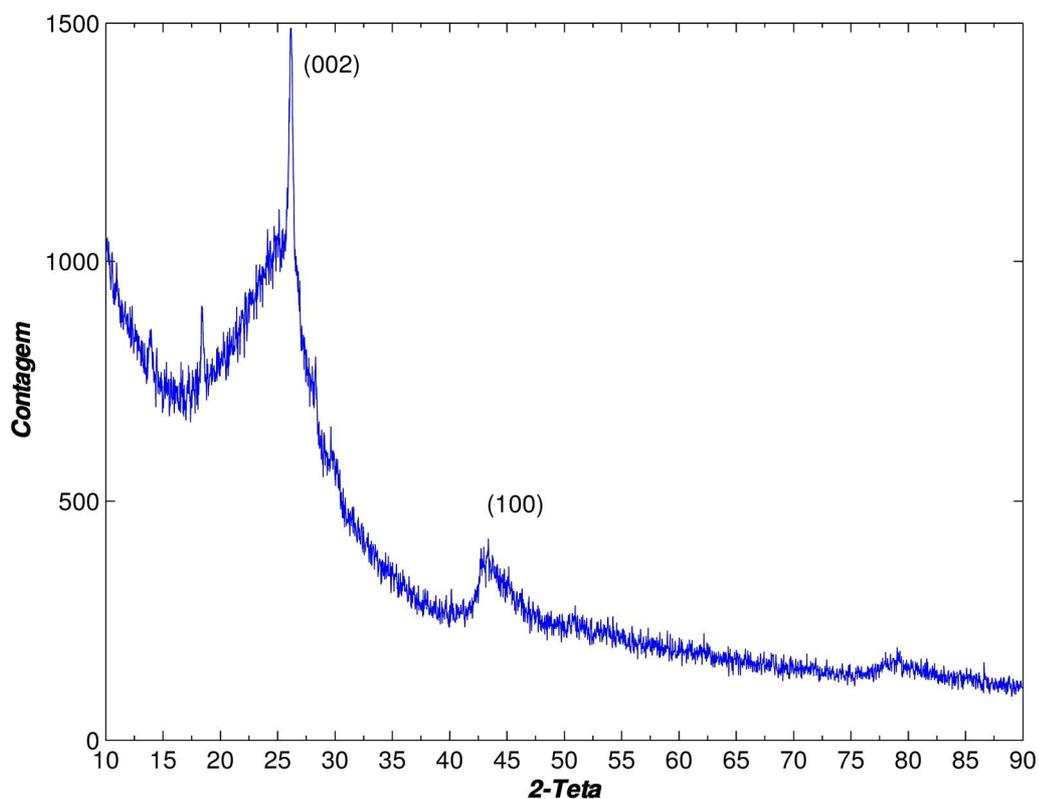
Nessa equação, o valor 0,3440 representa o espaçamento entre camadas para o grafite não orientado, enquanto o valor 0,3354 representa o espaçamento para o

crystal de lâminas de grafite ideais e  $d_{002}$  é calculado a partir da Equação 3, com os dados obtidos da amostra.

$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot \text{sen}(\theta)} \quad (3)$$

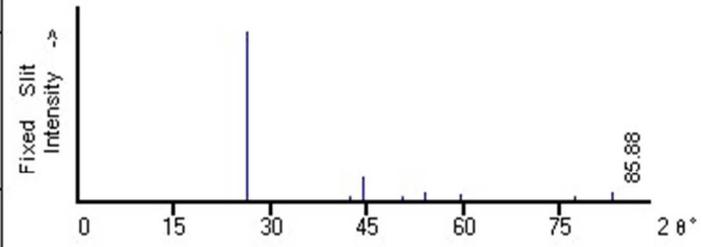
Os resultados das equações indicam um espaçamento entre planos de 0.3042 nm, correspondendo a um grau de grafitização de 44%.

Figura 25 – Difração por raio-X, gráfico da amostra com a presença de picos de grafite.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 26 – Ficha referência entre a amostra e o carbono-grafite.

75-1621	Quality: C	C	
CAS Number:		Carbon	
Molecular Weight: 12.01		Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)	
Volume[CD]: 35.88		Ref: Hassel, O., Z. Phys., 25, 317 (1924)	
Dx: 2.224	Dm:		
Sys: Hexagonal			
Lattice: Primitive			
S.G.: P63mc (186)			
Cell Parameters:			
a 2.470	b		c 6.790
$\alpha$	$\beta$		$\gamma$
I/lor: 2.37			
Rad: CuK $\alpha$ 1			
Lambda: 1.54060			
Filter:		2 $\theta$	
d-sp: calculated		Int-f	
ICSD #: 031170		h	
Mineral Name:		k	
Graphite 2H		l	
		2 $\theta$	
		Int-f	
		h	
		k	
		l	
		2 $\theta$	
		Int-f	
		h	
		k	
		l	

Fonte: Elaborada pela autora.

No estudo de microscopia realizado pode-se observar que o comprimento das microfibras presentes no material grafitizado depende do quanto ele pode ser quebrado, mas que seu diâmetro não sofre modificações com isto, ele permanece na ordem de 10 micrômetros, fator importante para incorporação na mistura de concreto.

Referente aos ensaios de resistência à compressão realizados na prensa hidráulica, os valores obtidos foram em tonelada-força (TF) para cada CP, sendo que foram rompimentos 04 corpos de prova para cada tempo de cura, sendo 02 corpos de prova em concreto (CP) e 02 corpos de prova com o material otimizado (CPO), de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Ensaio de compressão, valores obtidos em tonelada-força.

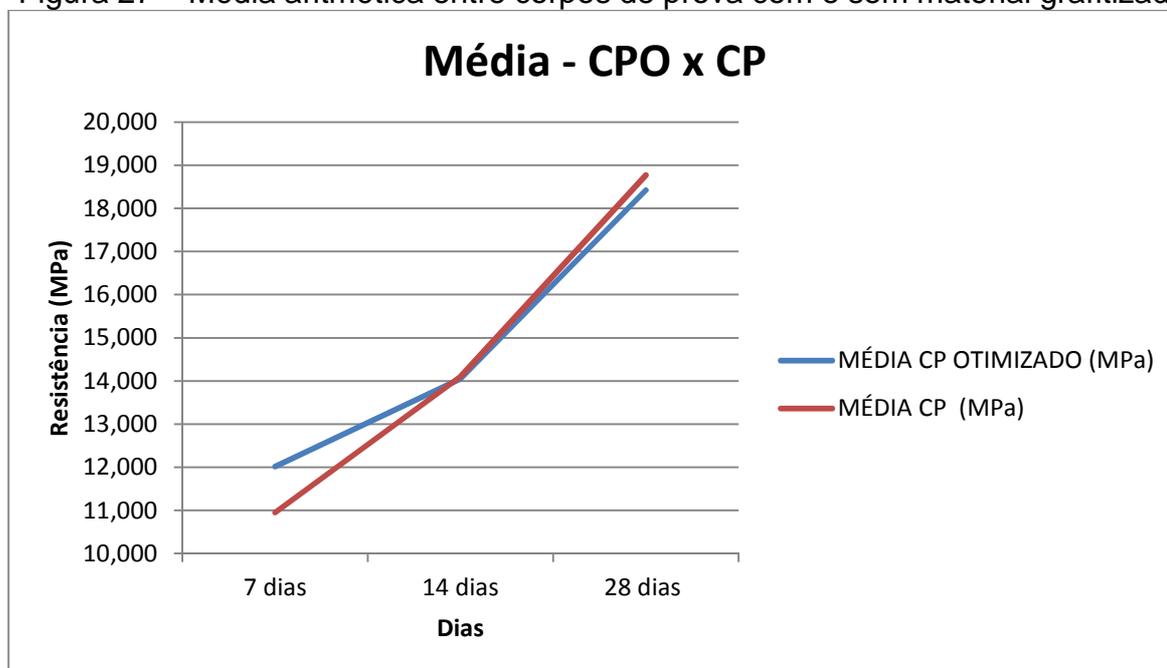
Tempo de Cura (Dias)	CPO1 (TF)	CPO2 (TF)	CP1 (TF)	CP2 (TF)
07	10,06	9,19	9,41	8,13
14	10,91	11,59	11,82	10,77
28	15,06	14,45	15,00	15,06

Fonte: Elaborada pela autora.

Aplicando a fórmula da resistência à compressão segundo a NBR 5739, foram obtidos os valores em megapascals (MPa) de cada CP. A média aritmética entre os

resultados dos dois corpos de prova em cada condição de ensaio são apresentadas na Figura 27.

Figura 27 – Média aritmética entre corpos de prova com e sem material grafiteado.



Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com as comparações da média entre os corpos de prova com e sem material otimizado, e os tempos de cura, pode-se notar que apenas houve uma pequena diferença nos primeiros 7 dias de cura, nos demais dias esses valores se mantiveram equiparados.

Estes resultados indicam que o CPO foi menos sensível a presença de água na mistura. Esta observação é complementar a uma outra constatação que ocorreu durante a mistura dos componentes da massa. Notou-se que após a adição do material otimizado na mistura com as quantidades descritas de cimento, areia, brita e água, a mistura tornou-se mais trabalhável do que aquela sem o resíduo, de maneira similar ao efeito observado quando se acrescenta plastificante. Como indicou a difração de raio-X o material obtido pelo processamento térmico apresenta além da estrutura de grafite uma certa quantidade de carbono amorfo que pode ser composta por carbono ativado, tendo, pois, a capacidade de adsorver a água da mistura.

Para os demais ensaios, 14 e 28 dias de cura, a não modificação da resistência à compressão pode ser associada a pequena concentração em massa utilizada de material otimizado no CPO ou as baixas propriedades mecânicas do grafite. No

entanto, não foi possível a realização de ensaios com maiores concentrações e a caracterização mais profunda do material tratado termicamente para avaliar sua composição quanto a presença de estruturas como microfibras e nano partículas e sua resistência mecânica.

## 6 CONCLUSÃO

No presente trabalho buscou-se avaliar uma nova rota de processamento de resíduos para sua posterior incorporação à mistura convencional de concreto. Sendo o resíduo têxtil constituído principalmente por algodão e esta a fibra natural com maior concentração de celulose, optou-se por transformar este resíduo através de um processo térmico simples a fim de obter uma nova estrutura de carbono por meio da decomposição da celulose. Os efeitos de sua adição em uma mistura de concreto convencional bem como a composição do material otimizado obtido foram explorados neste estudo.

O diâmetro do material grafitizado obtido foi eficaz visto que ele não depende do quanto o material é fracionado. Este é um fator importante quanto à incorporação ao concreto, pois quanto menor o diâmetro do material incorporado, maior o preenchimento dos microporos de ar da mistura. Com relação à resistência à compressão no concreto com adição do material grafitizado, observou-se maior efeito nos corpos de prova com 7 dias de cura, onde o CPO obteve média de 12,02 MPa e o CP de 10,95 MPa. Após esse período, CPO e CP mantiveram seus valores muito próximos, aos 14 e 28 dias - 14,05 MPa e 14,10 MPa – 18,42 MPa e 18,77 MPa, respectivamente. Talvez o fator água/cimento tenha influenciado nestes resultados, visto que os corpos de prova sem o material grafitizado também alcançaram a resistência à compressão esperada (25 MPa) para a mistura com cimento Portland II.

Cabe ressaltar que segundo a difração de raio-X o material processado termicamente é composto por estruturas orientadas de grafite e também por carbono amorfo. Este carbono encontra-se provavelmente ativado, por conta do tratamento térmico, sendo capaz de adsorver água. Assim, no corpo de prova com cura de 7 dias o excesso de umidade que prejudica a resistência do corpo de prova é minimizado no CPO. No entanto, apesar da presença de estruturas cristalinas de grafite e carbono tratado termicamente os resultados dos ensaios de compressão para idades de cura mais avançadas não demonstraram um ganho na resistência do material com a incorporação do resíduo otimizado. Isto pode estar relacionado à pouca concentração em massa adicionada ou as propriedades mecânicas do grafite pirolítico (100 MPa na compressão e 20 GPa de módulo de elasticidade). Ainda assim, não houve nenhum prejuízo ao concreto, que manteve sua resistência igual ao concreto convencional. Logo, estudos mais aprofundados sobre o assunto devem ser considerados para

conclusões mais precisas sobre o potencial do uso de resíduos têxteis otimizados, como proposto neste trabalho.

Para trabalhos futuros, seria interessante a incorporação deste material no concreto com diferentes proporções, testes com a adição de aditivo plastificante na moldagem dos corpos de prova, a realização de outros ensaios como o ensaio de flexão e o teste de abatimento; além de uma caracterização mais ampla do material obtido.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J. **Analysis and performance od fiber composites.** JohnWiley & Sons. New York, p. 1990. 319 p.

ALMANCO - ASSOCIAÇÃO LATINO AMERICANA DE MATERIAIS COMPÓSITOS, 2015. Disponível em: <<http://www.almaco.org.br/compositos.cfm>>. Acesso em: 30 Abril 2015.

ANNA, Z.; XUQIN, W.; SHIJIN, L. **J. East China Univ. Sci. Tech** **20**. [S.I.], 1994. 485 p.

BACON, R.; TANG, M. M. Parma, v. 2, n. Pergamon Press Ltda, p. 211-220, 13 Janeiro 1964. ISSN 44130.

BENLIAN, Z.; KUN, Z.; YUKIN, W. Transactions of Nonferrous Metals Society of Chine. [S.I.], v. 7, p. 86, 1997.

BUNCHMEISER, M. R.; FRANK, E.; INGILDEEV, D.; SPÖRL, J.; STEUDLE, L. M. **Carbon Fibers: Precursor Systems, Processing, Structure, and Properties.** Angew. Chem. Int. v.53, p.5262 – 5298, 2014.

CHAND, S. Review: Carbon fibers for composites. **Journal od Materials Science**, Tennessee, p. 1303-1313, 2000.

CNTL - CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS, 2015. Disponível em: <<http://www.senairs.org.br/cnt>>. Acesso em: 20 Abril 2015.

DELAMAR, M. et al. **Carbon** **35**, 1997. 801 p.

DONNET, J. B.; BANSAL, R. C. **Carbon Fibers.** Marcel Dekker. New York, 1990.

DRZAL, L. T.; WETZSACKER, L. **Proceedings of ANTEC ' 96.** Society of Plastics Engineers. Brookfield, 1996. 3656 p.

EDIE, D. D. **The effect of processing on the structure and properties of carbon fibers.** Carbon, v. 36, p. 345-362, 1998.

FORTES, A. S. **Vigas de concreto armado reforçadas com fibras de carbono.** 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FRANK, C.; JOHNSON, D. J. **Recent advances in studies od carbon fibre structure.** Phil Trans. R. Society. [S.I.], 1980. 443-449 p.

GEIGER, T.; PÖHLER, E.; ZIMMERMANN, T. Cellulose fibrils for polymer reinforcement. **Advanced Engineering Materials**, v. 6, n. 9, p. 754-761, 2004.

GORINI, A. P. F. Panorama do Setor Têxtil no Brasil e no Mundo: Reestruturação e Perspectivas. **BNDES Setorial**, Setembro 2000. 17-50 p.

HUANG, H.; LI, M.; LOU, Z.; SHANG, T.; CHEN, C. Controlled Synthesis of Carbon Nanoparticles in a Supercritical Carbon Disulfide System. **Materials**, v.7(1), p.97-105, 2014.

IBARRA, L.; MACIAS, A.; PALMA, E. J. Appl. Polym. Sci 61, 1996. 2447 p.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2011. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

KHAN, S.; MUNAWAR, M. A.; TAJ, S. Review: Natural fiber-reinforced polymer composites. **Proc. Pakistan Acad.**, 2007. 129-144 p.

LIU, X.; MA, X.; YUAN, C. Mechanical, Microstructure and Surface Characterizations of Carbon Fibers Prepared from Cellulose after Liquefying and Curing. **Materials**, v. 7, p. 75-84, 2014.

MEDEIROS, L. I. D. **Obtenção de nanocompósitos, nanodiamante sobre fibra de carbono e nanotubo de carbono sobre fibra de carbono**. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais / Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

PEEBLES, L. H. **Carbon fibers: Formation, structure and properties**. Flórida: CRC Press, 1995.

PICANÇO, M. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. 25 p.

REIS, A. P. A. **Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho**. 1998. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

REIS, J. M. L. D. Effect of Textile Waste on the Mechanical Properties of Polymer Concrete. **Materials Research**, 2009. 63-67 p.

SILVA, J. F. E. **Propriedades físicas e mecânicas de argamassa reforçada com fibras do bagaço de cana de açúcar**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

TEXTÍLIA.net. O maior conteúdo da cadeia têxtil. **Setor têxtil lança projeto para reciclagem de resíduos**, 2012. Disponível em:

<[http://www.textilia.net/materias/ler/textil/negocios/setor\\_textil\\_lanca\\_projeto\\_para\\_reciclagem\\_de\\_residuos](http://www.textilia.net/materias/ler/textil/negocios/setor_textil_lanca_projeto_para_reciclagem_de_residuos)>. Acesso em 20 set. 2015.

ZHU, Y. T. et al. **Proceedings od International Symposium on Processing of Metals and Advanced Materials**. Minerals, Metals & Materials. San Antonio, 1998. 251 p.