

# Aproveitamento do pó de serra no concreto: avaliação das propriedades físicas e mecânicas

DOI: 10.30609/JETI.2018-6011

**Camila C. Calvani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS – Brasil.

## Resumo

O concreto é uma mistura de aglomerantes com agregados miúdo e graúdo, podendo ser produzido com a inclusão de materiais que são descartados. A utilização desses materiais contribui com a diminuição da retirada de matéria prima não renovável do meio ambiente. O trabalho tem como objetivo avaliar as alterações das propriedades físicas e mecânicas do concreto com a substituição em massa da areia pelo resíduo vegetal da madeira nas porcentagens de 10, 20 e 30% de pó de serra com e sem tratamento. Definindo também a melhor porcentagem do material para fabricação de placas de concreto para realizar o ensaio de resistência ao impacto com a técnica de impacto balístico. A resistência à compressão e absorção de água no concreto também foram avaliadas. Observou-se que o pó de serra influenciou nas propriedades físicas e mecânicas do concreto, melhorando a resistência ao impacto balístico das placas de concreto com 10% de pó de serra, à diminuição da absorção da água com o resíduo de pó de serra tratado e alterações nas propriedades físicas visualizadas no ensaio de abatimento, a mistura do concreto com pó de serra tiveram queda na resistência à compressão.

**Key words:** pó de serra, concreto, propriedades físicas e mecânicas.

## 1.- Introdução

O concreto é um material formado pela mistura de cimento Portland, água, agregados: areia e pedra [1]. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland, o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água [2]. No concreto também pode ser acrescentado em sua composição materiais oriundos de resíduos do bagaço de cana de açúcar, cinza da casca de arroz, fibras entre outros materiais, visando à diminuição da utilização do cimento Portland e para melhoria em suas propriedades físicas e mecânicas.

O concreto com resíduos vegetais ou com fibras é uma mistura homogênea composta por cimento Portland, agregados miúdo, agregado graúdo, com substituição em determinados teores do agregado miúdo pelos resíduos ou fibras, neste trabalho foi utilizado somente o resíduo vegetal, no caso o pó de serra da madeira da espécie Pinus.

A serragem ou pó de serra é uma substância orgânica obtida como resultado do corte, moagem, perfuração, raspagem ou, em geral, da madeira com serra ou qualquer outra ferramenta de corte usada em serrarias, fábricas ou nas atividades domésticas. Dependendo das dimensões da ferramenta usada para processar a madeira, ela gera vários formatos e tamanhos. [3]

Segundo Dantas Filho as fibras vegetais tem baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. Sua utilização como reforço proporciona às matrizes cimentíceas maior resistência ao impacto, causada por absorção de energia, possibilidade de trabalho no estágio pós-fissurado e aumento na capacidade de isolamento termo acústico. [4]

Segundo Calil, Lahr e Dias, a madeira da espécie Pinus pertence à espécie das coníferas. As coníferas se distinguem em duas formações básicas: traqueídes e raios medulares. Os traqueídes podem constituir até 95% da madeira das coníferas e tem a função de serem depósitos de substancias polimerizados e conferir resistência mecânica no material. [5]

A madeira é muito utilizada no Brasil, na construção civil, “a madeira se destaca na solução de problemas relacionados a coberturas, cimbramentos, transposição de obstáculos e armazenamento” [5]. Também muito utilizada na confecção de moveis, gerando resíduos que muitas vezes não são descartados corretamente. Buscando alternativas para a diminuição do desperdício e o reaproveitamento do pó de serra, essa pesquisa irá utilizar este resíduo da madeira para diminuir a utilização da areia no concreto e estudar a influência desse resíduo nas propriedades do concreto.

Neste trabalho, avaliamos as propriedades físicas e mecânicas do concreto, com a substituição do agregado miúdo, a areia, pelo resíduo vegetal da madeira com e sem tratamento identificando qual a melhor aplicação do resíduo para os ensaios mecânicos.

## **2.- Materiais e Métodos**

A granulometria do pó de serra foi feita da seguinte forma, foi pesado 300g do resíduo, esse material foi submetido ao peneiramento conforme procedimento da NBR 7211 [6], as séries de peneiras utilizadas foram as indicadas por norma, sendo as aberturas 4,8mm; 2,4mm; 1,2mm; 0,60mm; 0,30mm; 0,15mm e o fundo. Para a caracterização da areia foi utilizado o mesmo procedimento para sua caracterização.

A determinação da massa específica do pó de serra foi feito baseado na adaptação da NBR NM 52 [7] feita por Dantas Filho, substituindo a água por 350 cm<sup>3</sup> de álcool e o agregado miúdo por 75g de pó de serra.

Após caracterização dos agregados e do resíduo foi desenvolvido traços de concreto com a substituição em massa do agregado miúdo por três teores de fibra vegetal 10%, 20% e 30% e o traço base sem adição dos resíduos, o cimento utilizado para os traços foi o CP II-F 32.

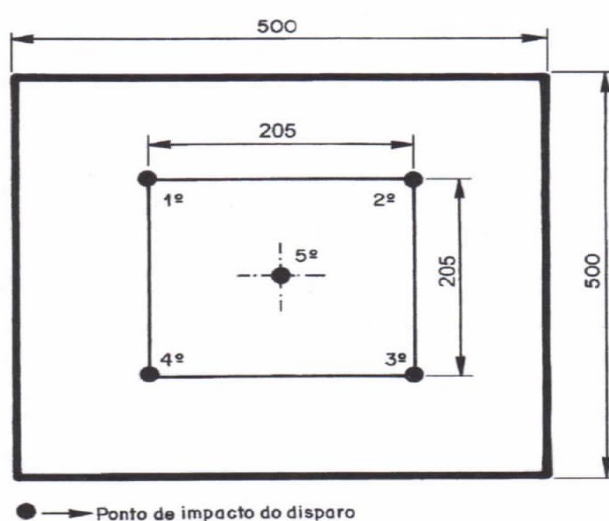
Para verificação do abatimento escolhido para o traço base foi realizado o ensaio conforme a NBR NM 67 [8], para determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco cone. Na sequência do ensaio de abatimento foram moldados os corpos de prova referente a cada traço conforme a NBR 5738 [9]. Após moldagem de todos os corpos de prova os mesmos ficaram protegidos e livres de qualquer vibração, ficando em descanso por 24h e cobertos com material não reativo e não absorvente. Depois de iniciado o tempo de cura e desmoldados os corpos de prova foram armazenados na câmara úmida.

Para os traços de concreto com o resíduo da madeira foi feito o tratamento do pó de serra segundo o método utilizado por Dantas Filho, o pó de serra foi imerso por 24h em uma substância alcalina, o Cal Hidratado, a quantidade de cal empregada foi de 5% p/p (peso/peso) da massa unitária do pó de serra e diluída na proporção de 10 litros de água para 1 kg de pó de serra seco, esse processo serve para impermeabilização parcial do resíduo vegetal, garantindo a compatibilidade do material no traço do concreto, após esse processo o material foi lavado em água corrente e posto para secar ao ar livre por três dias. O pó de serra utilizado foi retirado da empresa de moveis de madeira Arca de Noé, localizada na cidade de Campo Grande-MS, a qual não tem um local definido para o descarte desse resíduo.

Os ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos foram feitos conforme a NBR 5739 [10], com rompimento nas idades: 7, 14 e 28 dias de idade. Esse ensaio foi realizado para identificar a influência do resíduo de madeira com tratamento e sem tratamento na resistência à compressão do concreto aos seus 28 dias de idade.

Para determinação de absorção de água no concreto já endurecido foi utilizada a NBR 9778 [11], este ensaio foi feito para analisar qual a influência do resíduo em relação à absorção de água no concreto, verificando se o pó de serra está influenciando na absorção de água do concreto.

Para o ensaio de resistência ao impacto, este trabalho se baseou na NBR 15.000 Blindagem para impactos balísticos [12], foi escolhido esse ensaio pela facilidade de acesso dos materiais e métodos necessários. O ensaio balístico foi realizado no clube de tiro Coronel Quito localizado na cidade de Campo Grande-MS. Para a realização desse ensaio foi produzido placas de concreto no formato de 500 mm x 500 mm x 100 mm de espessura, a posição das marcas para os disparos foi baseado em um quadrado de 205 mm de lado com o centro da placa, conforme mostra a Figura 1. Os disparos foram feitos nos vértices e no centro deste quadrado, sendo o primeiro no canto superior esquerdo da placa, seguindo-se os demais no sentido horário e o ultimo feito no centro da placa.



**Figura 1:** Planta da placa de concreto e sequencia dos disparos (NBR 15.000).

Para o ensaio de resistência a impacto foi escolhido o traço com a porcentagem de fibra que atingiu a maior resistência à compressão aos 28 dias de idade, o traço escolhido foi o com 10% de pó de serra sem tratamento, atingiu a resistência de 32,51 Mpa.

Os ensaios balísticos foram feitos com três tipos de munição a 9 mm , 44 Magnum e 7.62X51FMJ, para cada uma dessas munições foi fabricado duas placas para o ensaio, placas com 10% de pó de serra sem tratamento e placas com o concreto de referência, sem resíduo.

A distância dos disparos foi medida conforme a indicação da NBR [12], para o calibre de 9 mm e 44 Magnum a distância foi é 5m, para o calibre 7.62X51FMJ a distância é de 20m. O ensaio foi realizado por profissionais devidamente qualificados em um estande de tiro e seguindo os critérios de segurança do estande Coronel Quito e norma.

A munição utilizada nesse trabalho é autorizada pelo órgão que a regulamenta, o Exército Brasileiro, conforme tabela balística indicada na Tabela 1, onde indica as características das munições e os números de impacto para cada tipo.

**Tabela 1:** Nível de proteção do sistema de blindagem quanto ao impacto balístico [12].

Nível	Munição	Massa do projétil (g)	V° (m/s)	Número de impactos
<b>I</b>	.22 LRHV Chumbo	2,6 +- 0,1	320 +- 10	5
	.38 Special RN Chumbo	10,2 +- 0,1	254 +- 10	5
<b>II-A</b>	9 FMJ	8,0 +- 0,1	332 +- 12	5
	357 Magnum JSP	10,2 +- 0,1	381 +- 12	
<b>II</b>	9 FMJ	8,0 +- 0,1	426 +- 15	5
	357 Magnum JSP	10,2 +- 0,1	426 +- 15	
<b>III-A</b>	9 FMJ	8,0 +- 0,1	358 +- 15	5
	.44 Magnum SWC CG	15,6 +- 0,1	425 +- 15	
<b>III</b>	7.62 X 51FMJ	9,7 +- 0,1	838 +- 15	5
	(. 308 – Winchester)			
<b>IV</b>	.30 – 06 AP	10,8 +- 0,1	868 +- 15	5

**Legenda:**  
**LRHV – Long Rifle High Velocity**  
**RN – Round Nose**  
**FMJ – Full Metal Jacketed**  
**JSP – Joint Soft Point**  
**SW GC – Semi WadCutter Gas Check**  
**AP – Armor Piercing**

### 3.- Resultados e Discussão

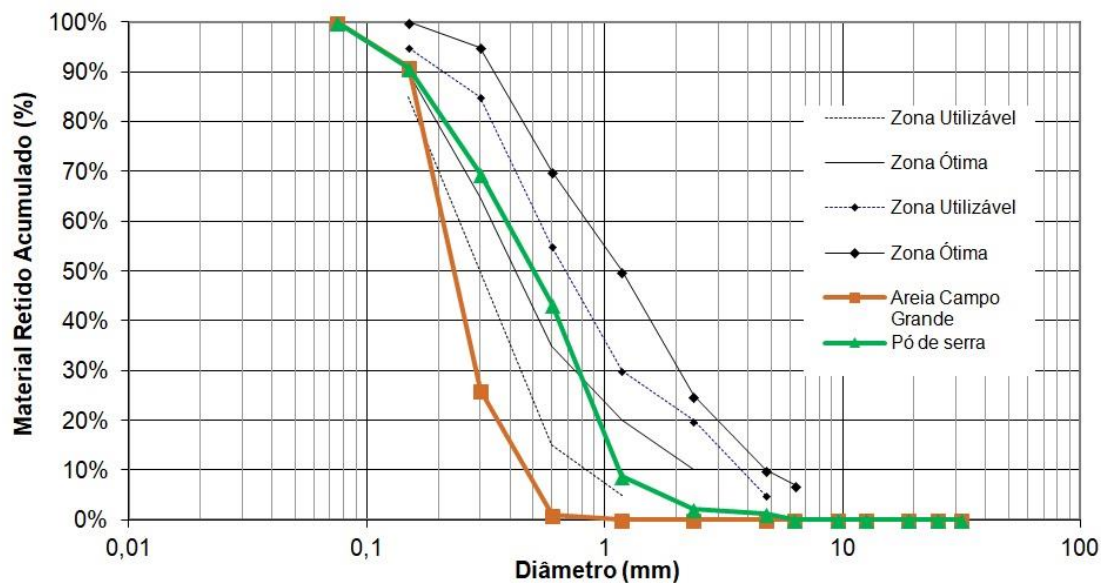
#### 3.1 Granulometria do agregado miúdo

Para fazer a substituição do agregado miúdo, no caso a areia pelo pó de serra precisamos identificar e analisar quais as características dos materiais que estamos trabalhando. Na Tabela 2 indicamos os dados obtidos com base na NBR 7211.

**Tabela 2:** Composição granulométrica do agregado miúdo.

Granulometria	Abertura da Peneira (mm)	Areia (g)	% Retida	% Retida Acumulado	Pó de serra (g)	% Retida	% Retida Acumulado
	25	0	0,00%	0	0	0,00%	0%
	19	0	0,00%	0%	0	0,00%	0,0%
	12,5	0	0,00%	0%	0	0,00%	0,0%
	9,5	0	0,00%	0%	0	0,00%	0,0%
	4,75	0	0,00%	0%	4,1	1,37%	1,4%
	2,36	0	0,00%	0%	2,5	0,83%	2,2%
	1,2	0	0,00%	0%	19,7	6,57%	8,8%
	0,6	3,2	0,32%	0%	103,8	34,60%	43,4%
	0,3	210,83	21,08%	21%	78	26,00%	69,4%
	0,15	748,04	74,80%	96%	63,4	21,13%	90,5%
	Fundo	37,93	3,79%	100%	28,5	9,50%	100,0%
	Total	1000	100%		300	100%	
<b>Módulo de Finura:</b>	1,18			2,16			
<b>Dimensão máxima característica (mm)</b>	1,33			2,36			

Na Figura 2 é apresentado o respectivo gráfico da curva granulométrica dos dados obtidos no ensaio de granulometria que estão apresentados na Tabela 2.



**Figura 2:** Curva granulométrica do agregado miúdo.

A Tabela 3 apresenta o resultado do ensaio e determinação de massa específica do pó de serra através do frasco Chapman, ensaio com base na NBR NM 52.

**Tabela 3:** Determinação massa específica do pó de serra com e sem tratamento.

Determinação	Amostra pó de serra sem tratamento	Amostra pó de serra com tratamento
Massa do pó de serra (g)	75	75
Leitura inicial (cm <sup>3</sup> )	350	350
Leitura final (cm <sup>3</sup> )	409	410
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,27	1,25

Nos dados obtidos podemos ver claramente que o pó de serra utilizado chega muito próximo de algumas características da areia, como podemos observar no gráfico da granulometria vemos que o pó de serra está próximo da curva da zona ótima para a granulometria da areia. A diferença na caracterização do Frasco Chapman também foi baixa de 0,02 g/cm<sup>3</sup>. Com esses dados podemos trabalhar no traço do concreto.

### 3.2 Determinações da consistência pelo abatimento do tronco cone e resistência à compressão aos 28 dias

Para análise dos dados foi utilizado à letra T para indicar qual o traço está sendo analisado, o significado de cada sigla e número consta na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4:** Resultados do ensaio de abatimento e teste de compressão.

Item	Teor de pó de serra	Abatimento (mm)	Resistência a Compressão aos 28 dias (MPa)
T1	Traço BASE 0%	65	39,85
T2	Traço com 10% de pó de serra sem tratamento	25	32,51
T3	Traço com 20% de pó de serra sem tratamento	25	29,00
T4	Traço com 30% de pó de serra sem tratamento	5	21,80
T5	Traço com 10% de pó de serra com tratamento	85	30,90
T6	Traço com 20% de pó de serra com tratamento	85	24,24
T7	Traço com 30% de pó de serra com tratamento	65	28,32

Os dados apresentados foram retirados dos ensaios feitos em laboratório conforme as normas técnicas já citadas neste trabalho, para o teste de compressão foram moldados 09 corpos de prova para as idades de 7, 14 e 28 dias, seis desses corpos de prova foram utilizados para análise do comportamento mecânico do pó de serra com tratamento e sem tratamento, os demais foram utilizados para o teste de absorção de água.

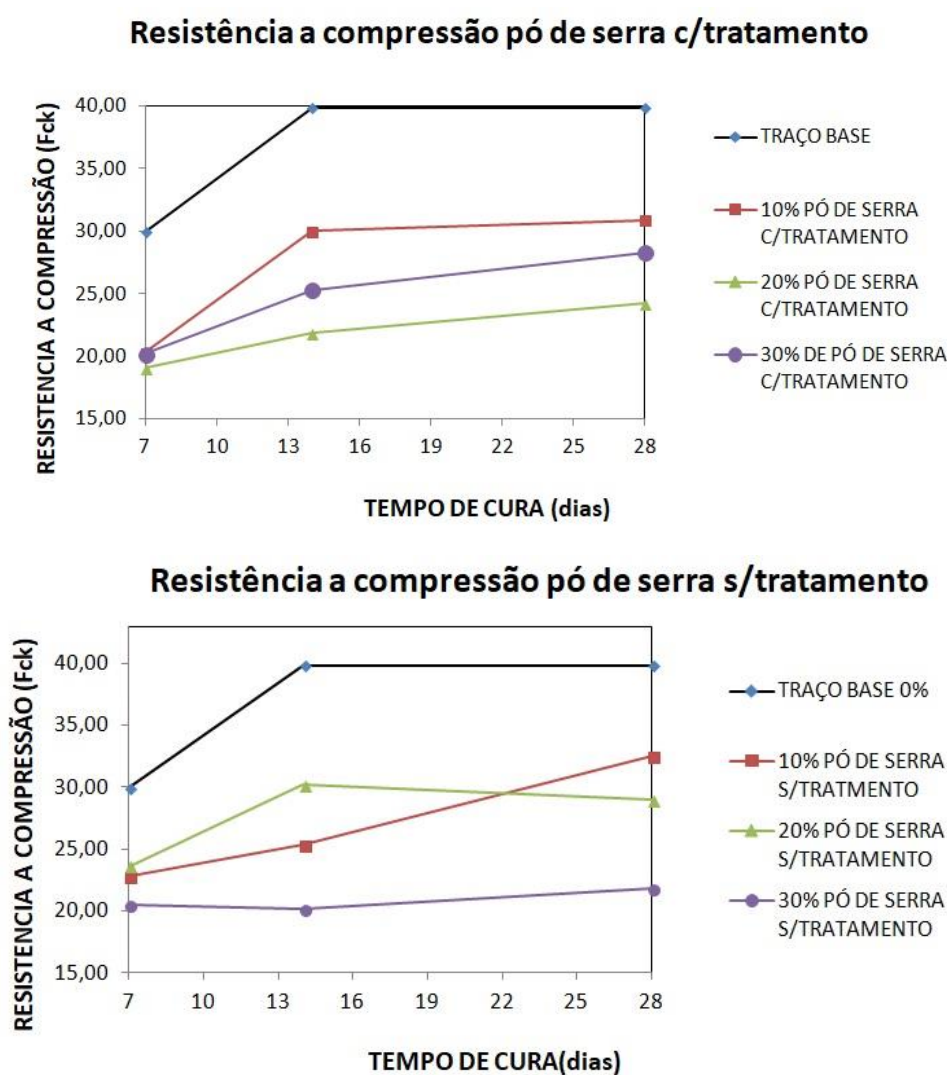
O traço base ou referência utilizado foi de 1:2:3 com abatimento de 60 a 80 mm, como pode observar houve uma alteração no abatimento do concreto com a inclusão do pó de serra sem o tratamento, possivelmente isso ocorreu porque o resíduo não foi passado pelo tratamento com Cal hidratado, já os traços com o resíduo com tratamento pode-se observar que o abatimento está próximo ao escolhido no traço base, tendo uma variação no traço T5 e T6 de 5 mm, isso se deve ao tratamento utilizado na fibra.

Mesmo com a alteração no abatimento escolhido para o traço base não foi feita a correção dos traços, pois o objetivo desse trabalho é a análise do comportamento do resíduo vegetal nas propriedades do concreto.



### 3.3 Determinações Resistência à compressão aos 28 dias

É possível verificar através da Figura 3 que T1 atingiu a resistência desejada nas primeiras idades e continuou aumentando até os 28 dias, onde sua resistência foi de 39,85 Mpa, com este traço base podemos analisar a influência do resíduo com e sem tratamento na resistência a compressão do concreto.



**Figura 3:** Gráficos de Resistência à compressão do pó de serra com e sem tratamento no tempo de cura de 7,14 e 28 dias

O traço T2 apresentou aumento de resistência aos 14 dias de 25,34 Mpa e o T5 chegou a 30,00 Mpa, porém o traço T2 obteve aumento de resistência considerável na resistência aos 28 dias de idade, chegando a 32,51 Mpa. Observando o comportamento do traço T2 através do gráfico, é possível que o mesmo continue aumentando a resistência nas

idades mais avançadas. Para aplicação de carga em um material feito com esse traço é indicado que o mesmo seja utilizado após 14 dias de cura.

O traço T5 teve um comportamento diferente do gráfico T2, referindo-se ao ganho de resistência, podemos observar que o aumento de resistência após os 14 dias se estabilizou, sendo que T5 aos 14 dias chegou a uma resistência de 30,00 Mpa e T5 aos 28 dias chegou a uma resistência de 30,90 Mpa, pela análise do gráfico entende-se que esse traço tende a permanecer estável nas idades mais avançadas.

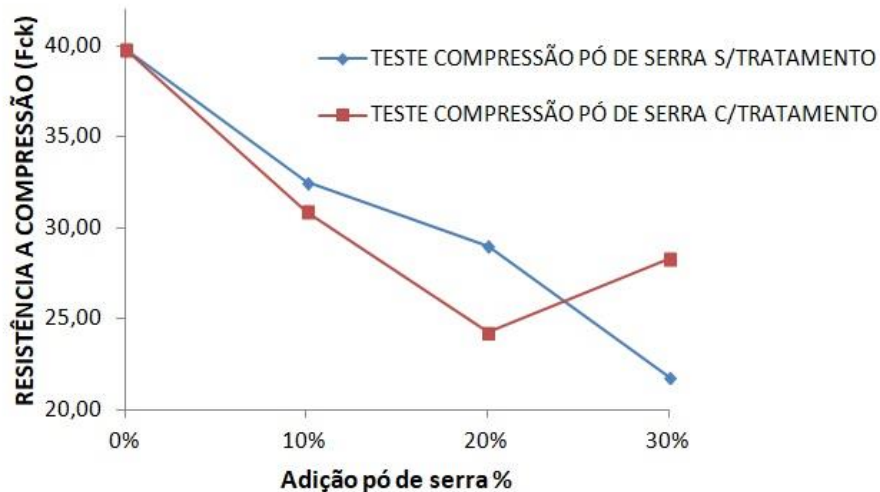
O traço T3 teve um comportamento diferente de todos os traços, iniciou aos 7 dias com uma resistência de 23,62 Mpa ganhando resistência até os 14 dias, chegando a 30,18 MPa, porem teve uma queda na resistência aos 28 dias de idade chegando a 29,00 MPa. Em comparação com o traço com a mesma porcentagem de resíduo de madeira, mas com o resíduo tratado, podemos observar que o traço T6 teve um pequeno aumento em sua resistência entre 14 e 28 dias, sendo que aos 14 dias chegou a uma resistência de 21,91 Mpa e aos 28 dias chegou a uma resistência de 24,24 Mpa. Considerando os dados analisados T6 tende a aumentar sua resistência nas idades mais avançadas, mas não atingi a resistência tida como base no traço referência T1 com resistência mínima aos 28 dias de 32 Mpa.

Os traços T4 e T7 tiveram aumento na resistência aos 28 dias, porem T4 inicia com uma resistência de 20,46 Mpa, mas aos 14 dias de idade sua resistência tem uma pequena queda, chegando a 20,14 Mpa, mas teve um ganho de resistência aos 28 dias chegando a 21,80 MPa. Enquanto T7 teve crescimento continuo no aumento de sua resistência, iniciando com resistência de 20,21 Mpa, aumentando aos 14 dias chegando a 25,31 Mpa e aos 28 dias chegou a 28,32 Mpa. Podemos observar a influência do tratamento feito no pó de serra, vimos que o tratamento pode ter influenciado na resistência a compressão do concreto.

A perda de resistência nos traços T3 e T4 podem ser devido ao pó de serra não ser tratado, por esse motivo o resíduo não teve uma boa compatibilidade com o material da mistura para produção do concreto.

### 3.4 Análises da resistência à compressão conforme a porcentagem de inclusão do resíduo no concreto

Para analisar os dados foi produzido um gráfico somente com os traços de concreto com o resíduo da madeira, o pó de serra. O gráfico está representado na Figura 4 a seguir.



**Figura 4:** Gráfico de análise da resistência à compressão conforme o teor de pó de serra.

Podemos observar na Figura 4 que o concreto teve alteração em sua resistência conforme o acréscimo do resíduo vegetal, à medida que aumentou a porcentagem de pó de serra a resistência do concreto diminuiu. Nos traços com o resíduo vegetal o teor que teve melhor desempenho nessa propriedade mecânica foi o traço com substituição de 10% de pó de serra sem tratamento.

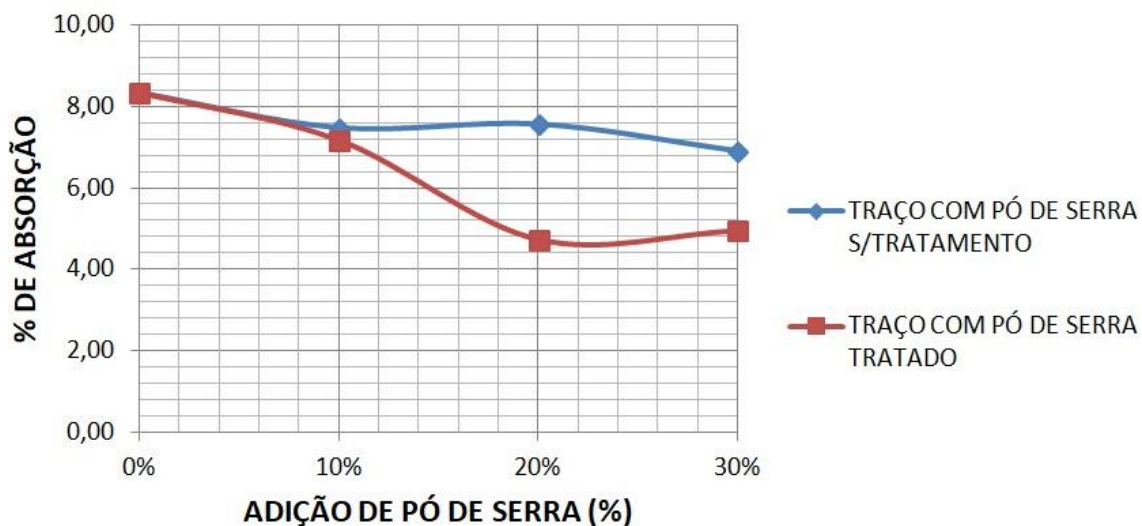
Dentre todos os traços o que teve melhor resistência aos 28 dias de idade foi o traço com 10% de resíduo sem tratamento, chegando a uma resistência de 32,51 Mpa. Chegando a resistência mínima calculada para o traço base que é de 32 Mpa.

Nos traços com o pó de serra tratado o teor com melhor resistência a compressão é o de 10% chegando a 30,90 Mpa, porém observando o gráfico o traço com 30% também teve um acréscimo considerável, chegando a 28,32 Mpa. O traço com 20% de pó de serra tratado apresentou resistência baixa em relação aos demais com resíduo tratado, chegando aos 28 dias a uma resistência a compressão de 24,24 Mpa.

Com essa análise observa-se melhor a influência do pó de serra nessa propriedade mecânica do concreto. As porcentagens com melhores resistências, no caso 10% de resíduo tratado e não tratado, tiveram comportamento melhor nessa propriedade devido a sua compatibilidade com o material. Também observou que sem tratamento o resíduo se comportou melhor que o resíduo com o tratamento, mas para os teores com resíduo não tratado vimos através da análise do gráfico que a resistência à compressão tende a cair conforme aumentamos o teor de pó de serra. Com esses dados foi definido qual o traço a ser utilizado nas placas de concreto para o ensaio de impacto balístico.

### 3.5 Determinação da absorção de água no concreto com a inclusão do pó de serra

Para análise dos dados gerados no ensaio de absorção dos corpos de prova foi gerado um gráfico com os dados obtidos, o gráfico está representado na Figura 5 a seguir.



**Figura 5:** Gráfico de análise da absorção de água do concreto.

Foram inseridos no teste de absorção os corpos de prova do traço base, sem adição do resíduo o mesmo representado pela taxa 0%, para que pudesse ser avaliada a variação das porcentagens de absorção. A taxa final de absorção do traço base foi de 8,35%.

Os traços com 10% de pó de serra tanto tratado quanto sem tratamento tiveram a absorção muito próxima, a taxa de absorção do traço de 10% sem tratamento foi de 7,48% e o traço de 10% com resíduo tratado foi de 7,18%. Com a inserção do pó de serra no concreto vimos que também ocorre influência nessa propriedade física do concreto. Tendo como base o concreto de traço base com 0% de pó de serra o concreto diminuiu a absorção de água.

Nos traços com 20% de pó de serra teve uma diferença grande na absorção de água, o traço de 20% com resíduo sem tratamento absorveu 7,57% de água e o traço de 20% com resíduo tratado a absorção foi de 4,73% de água, com essa taxa de pó de serra observa-se que o tratamento no resíduo influenciou na absorção do concreto.

Os traços com 30% de pó de serra tiveram diferença de absorção menor que o traço com 20%. O traço com 30% de resíduo tratado teve uma absorção de 4,95% de água e o traço com 30% de resíduo sem tratamento teve absorção de 6,90% de água. A diferença não foi muita em relação aos traços com adição de 20%.

Concluimos com esses dados que o tratamento escolhido para o resíduo da madeira influenciou na absorção de água do concreto e que em comparação ao traço base a absorção de água diminuiu conforme aumentamos a porcentagem de pó de serra.

### 3.6 Análises de resistência ao impacto nas placas de concreto

Para a realização desse teste foram fabricadas placas de concreto com Traço base sem adição do pó de serra e placas com adição do pó de serra. O teor escolhido para o traço das placas com pó de serra foi de 10% com resíduo sem tratamento, isso porque foi o traço que obteve maior resistência a compressão e com um crescimento linear de sua resistência ao decorrer das idades de cura do concreto.

Para analisar os ensaios as placas foram marcadas com números romanos, cada número identificando se a placa foi produzida com o Traço Base ou se estava com o concreto com pó de serra não tratado conforme especificado na Tabela 5. Para o ensaio foram produzidas 6 placas de concreto, duas para cada calibre.

**Tabela 5:** Identificação das placas de concreto conforme traço escolhido.

<b>Nº</b>	<b>Teor de pó de serra</b>
<b>I, II e III</b>	Placa com 0% de pó de serra
<b>IV, V e VI</b>	Placa com 10% de pó de serra sem tratamento

Para as placas que foram testadas com a munição de 7.62 x 51FMJ foi gerado a Tabela 6 com os dados obtidos no ensaio, nela consta os números de impacto na placa e os diâmetros das aberturas geradas pelo impacto do projétil. Foi feito uma média entre os pontos das duas placas de cada ensaio, gerando uma média de diâmetros externos, média de diâmetros internos, e também conseguimos obter a média da profundidade alcançada pelo projétil nas placas de concreto ensaiadas.

**Tabela 6:** Resultado do ensaio de impacto balístico do calibre 7.62 x 51FMJ.

Nº Placa	Nº Ponto de impacto	Ø externo (mm)	Média Ø externo	Ø interno (mm)	Média Ø interno	Profundidade (mm)	Munição	Nº Impacto
V (10%)	1	109,8	93	51,2	50,45	46,4	7.62 x 51FMJ	5
	1	76,2		49,7				
	2	147	149,1	79,3	71,75	48,6		
	2	151,2		64,2				
	3	104,5	123,4	49,1	100,4	42,5		
	3	142,3		151,7				
	4	121,8	136,55	53,3	52,75	46,3		
	4	151,3		52,2				
	5	123,2	123,85	59,3	54,85	47,2		
	5	124,5		50,4				
II (0%)	1	118,9	126,3	63,5	61,75	35	7.62 x 51FMJ	5
	1	133,7		60				
	2	137,2	134,8	65,35	61,375	42,7		
	2	132,4		57,4				
	3	118,7	120,35	71,55	71,075	41,4		
	3	122		70,6				
	4	154,2	154,2	79,2	77,8	34,3		
	4	154,2		76,4				
	5	127,8	127	65,9	61,45	64,5		
	5	126,2		57				

Nos dados obtidos no ensaio a placa V teve um desempenho melhor que a placa II, podemos observar mais claramente nas Figuras 6 e 7 a seguir.





**Figura 6:** Ensaio impacto balístico munição 7.62 x 51FMJ placa II



**Figura 7:** Ensaio impacto balístico munição 7.62 x 51FMJ placa V

A placa V, com teor de 10% de pó de serra sem tratamento, teve um desempenho muito superior à placa II, com 0% de pó de serra, isso devido à inclusão do resíduo de madeira. Isso ocorreu por causa das características que a madeira tem de absorção de energia de impacto, desempenhando o trabalho como fibra no concreto.

A placa V obteve dano menor que a placa II, mas a profundidade do projétil na placa V foi maior do que a placa II porém o projétil não saiu do seu local de impacto enquanto que na placa II o projétil não permaneceu no local de impacto se espalhando no local de ensaio. A placa V absorveu melhor o impacto e os projeteis em seu interior. Analisando a Figuras 6 e Figura 7 conseguimos ver que o dano causado na placa V foi menor que a placa II.

Para as placas ensaiadas com a munição 9 mm e .44 Magnum geraram os dados que constam na Tabela 7 e Tabela 8.

**Tabela 7:** Resultado do ensaio de impacto balístico do calibre 9 mm.

Nº placa	Nº disparo	Ø externo (mm)	Média Ø externo	Profundidade (mm)	Munição	Nº Impacto
<b>I (0%)</b>	1	44,60	39,2	12,2	9 FMJ	5
	1	33,80				
	2	37,20	39,3	12,35		
	2	41,40				
	3	45,40	47,9	13,6		
	3	50,40				
	4	52,30	48,25	12,35		
	4	44,20				
	5	46,20	47,3	12,8		
	5	48,40				
<b>VI (10%)</b>	1	62,90	52,6	12,7	9 FMJ	5
	1	42,30				
	2	49,30	52,15	12,3		
	2	55,00				
	3	57,30	49,8	13,4		
	3	42,30				
	4	42,00	38,6	12		
	4	35,20				
	5	52,30	52,65	12		
	5	53,00				



**Tabela 8:** Resultado do ensaio de impacto balístico do calibre 44 Magnum.

Nº placa	Nº disparo	Ø externo (mm)	Média Ø externo	Profundidade (mm)	Munição	Nº Impacto
III (0%)	1	52,20	52,3	12	.44 Magnum SWC CG	5
	1	52,40				
	2	42,00	42,5	12,2		
	2	43,00				
	3	54,50	58,35	14,1		
	3	62,20				
	4	49,40	45	10		
	4	40,60				
	5	52,20	52,15	10,6		
	5	52,10				
IV (10%)	1	39,60	39,95	7,2	.44 Magnum SWC CG	5
	1	40,30				
	2	54,20	49,8	7,6		
	2	45,40				
	3	54,00	50,2	13,4		
	3	46,40				
	4	37,90	35,2	7,6		
	4	32,50				
	5	47,30	40,4	11,3		
	5	33,50				

Essas placas não tiveram muitos danos, somente danos superficiais, isso ocorreu porque a força de impacto causada pela munição 9 mm e .44 Magnum são menores que a força de impacto da 7.62, e suas respectivas massas são diferentes. Podemos observar que os diâmetros da abertura dos projéteis são bem menores, e também as fissuras diminuíram, na Figura 8 e Figura 9 podemos ver melhor como foram os resultados do ensaio nas placas VI e I; III e IV.



**Figura 8:** Ensaio impacto balístico munição 9 mm placas VI e I



**Figura 9:** Ensaio impacto balístico munição .44 Magnum placas III e IV

No entanto vimos que o comportamento das placas I, III, IV e VI é igual às placas que tiveram maior impacto devido ao tipo de munição utilizada no ensaio. As placas fabricadas sem o resíduo de madeira tendem a aumentar seus danos a cada impacto sofrido no ensaio.

O resíduo de madeira, o pó de serra, aumentou a capacidade do concreto em absorver a energia de impacto. Essa é uma das características de fibras, elas proporcionam ao concreto uma diminuição da separação dos materiais quando submetidos a esforços de compressão, aumentando a resistência do concreto após receber a tensão máxima de ruptura.

Segundo Dantas Filho (2004) as fibras vegetais têm baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. Sua utilização como reforço proporciona às matrizes cimentícias maior resistência ao impacto, causada por absorção de energia, possibilidade de trabalho no estágio pós-fissurado e aumento na capacidade de isolamento termo acústico.

## **4.- Conclusão**

O pó de serra influenciou nas propriedades físicas do concreto, alterando seu abatimento, isso pode ter ocorrido devido a característica do pó de serra em absorver a água, consumindo então a água da mistura.

Nas propriedades mecânicas avaliadas observou a influência do resíduo da madeira, no caso o pó de serra, no ensaio de resistência à compressão teve uma diminuição da resistência do concreto, que não atingiu a resistência mínima de ensaio que era de 32 MPa. Porém o concreto com o menor teor de pó de serra, 10% com resíduo sem tratamento e com tratamento, teve sua resistência maior do que os demais.

O tratamento utilizado no pó de serra garantiu que o pó de serra tivesse uma melhor homogeneidade com a mistura.

Conclui-se também através do ensaio de absorção de água, que conforme aumenta o teor de resíduo da madeira no concreto a absorção do material diminui em relação ao concreto de referência sem adição de pó de serra. Isso mostra que talvez seja possível que em concretos com teores maiores que 30% tenham menor resistência à compressão e o abatimento diminua cada vez mais.

Assim são sugeridos novos estudos com outros teores de pó de serra sem tratamento e com outros tipos de tratamento. Para o teste de resistência a impacto pode ser feito ensaios com outros teores de pó de serra e também fazer a diminuição da espessura da placa de concreto. É indicado que seja feito mais estudos para analisar se a taxa de absorção influencia diretamente na diminuição da resistência a compressão do concreto.

## **Agradecimentos**

Para que a realização desse trabalho fosse possível agradeço o apoio do instrutor de tiro Sr. Jaime Scipioni Filho quem me apoiou desde o início do trabalho e realizou os ensaios balísticos, ao Clube de tiro Coronel Quito de Campo Grande-MS por disponibilizar o local para os ensaios. Ao Prof. Dr. Matheus P. Neivock com todo apoio nessa jornada com seus conhecimentos orientação e por fim ao Prof Dr. Luiz Calmon quem me incentivou a dar continuidade nesse trabalho a qual me dediquei muito.

## 5.- Bibliografia

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. Manual do Concreto dosado em central. São Paulo. 2007, 36p.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7. ed. São Paulo, 2002, 28p. (BT-106)
- [3] W. Ahmed et al. Effective use of sawdust for the production of eco-friendly and thermal-energy efficient normal weight and lightweight concretes with tailored fracture properties. NUST Institute of Civil Engineering (NICE). Pakistan. 2018, 12p . 1016-1027
- [4] DANTAS F, F. P. Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria não estrutural. 136p. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- [5] CALIL JR. C., LAHR F. A. R, DIAS A. A. Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira. São Paulo: MANOLE, 2003.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7211/2009. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 9p.
- [7] \_\_\_\_\_.NBR NM 52/2009. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [8] \_\_\_\_\_.NBR NM 67/1998. Determinação da consistência pelo abatimento do Tronco Cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- [9] \_\_\_\_\_.NBR 5738/2016. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- [10] \_\_\_\_\_.NBR 5739/2007. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 9p.
- [11] \_\_\_\_\_.NBR 9778/2005. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- [12] \_\_\_\_\_.NBR 15.000/2005. Blindagem para impactos balísticos – Classificação e critérios de avaliação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 19p.