Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ESTUDO DA CONTRIBUIÇÃO DA ADIÇÃO DE SERRAGEM DE *CEDRELA ODORATA* NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO

A. D. FONTENELE
Acadêmica em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
afontenele38@gmail.com

A. S. MOURÃO
Acadêmica em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
andrezzasmourao@gmail.com

E. F. M. JÚNIOR
Acadêmico em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
elias_mutantebc@hotmail.com

L. C. A. MAGALHÃES
Acadêmica em Engenharia Civil
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
livia9774@gmail.com

A. G. DIOGENES
Professora Mestre
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
aldeciragd@yahoo.com.br

C. M. M. PASCHOAL
Professora Doutora
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
cinthiam.paschoal@gmail.com

RESUMO

O presente estudo destaca a incorporação do pó do Cedro (*Cedrela odorata*) no concreto visando aumentar a durabilidade das estruturas através da ação do preenchimento dos poros, além de ajudar na destinação adequada deste resíduo da indústria madeireira. Para isso, foram confeccionadas três séries de concreto: com adição de 3%, 5% e 10% da serragem, os quais foram comparados com concretos refereciais de pesquisas anteriores. Foram escolhidos diferentes percentuais do material a fim de analisar qual a quantidade mais adequada para beneficiar as propriedades do concreto e assim melhorar sua vida útil. O ensaio de resistividade elétrica foi realizado pelo método de Wenner também conhecido como método dos quatro eletrodos (ASTM G57, 2012)[1], nas idades de 7 e 91 dias. Os demais ensaios realizados seguiram suas respectivas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, foram eles: compressão axial (NBR 5739 (ABNT, 2010))[2], velocidade de propagação da onda ultrassônica (NBR 8802 (ABNT, 2013))[3], absorção de água por imersão (NBR 9778 (ABNT, 2005))[4]. Esses ensaios foram realizados nas idades de 7, 28 e 91 dias. Também foi avaliada a perda ao fogo (NBR NM 18 (ABNT, 2012))[5] do pó do Cedro e do pó dos concretos com as diferentes adições. Os resultados mostraram que a incorporação da serragem de *Cedrela odorata* influencia positivamente nas propriedades físicas e mecânicas do concreto no estado endurecido. Dentre as porcentagens, destaca-se a de 5% que apresentou os maiores valores de resistividade elétrica e resistência à compressão e menores percentuais de absorção de água e perda ao fogo. Isso mostra que o concreto com uma adição adequada desse pó além de suportar maiores esforços, dificulta a presença de água, meio pelo qual agentes agressivos penetram no interior do concreto. Dessa forma, a utilização desta adição no concreto pode favorecer a durabilidade das estruturas.
Palavras-chave: concreto, durabilidade, pó de Cedro.

ABSTRACT

The present study highlights the powder incorporation of Cedar (*Cedrela odorata*) in the concrete in order to increase the durability of the structures through the action of the filling in the pores, as well as help in the proper disposal of this waste from the timber industry. For this purpose, were made three series of concrete: with addition of 3%, 5% and 10% of sawdust, which were compared to concretes refereciais from previous searches. Different percentages of the material were chosen in order to analyze how much better suited to benefit from the properties of concrete and improve your life. The electrical resistivity test was conducted by the Wenner method also known as the four electrodes method (ASTM G57, 2012)[1], in the ages of 7 and 91 days. Other tests followed their respective technical standards Brazilian Association of technical standards: axial compression (NBR 5739 (ABNT, 2010))[2], speed of propagation of ultrasonic wave (NBR 8802 (ABNT, 2013))[3], water absorption by immersion (NBR 9778 (ABNT, 2005))[4]. These trials were conducted in the ages of 7, 28 and 91 days. It was also evaluated the loss to fire (NBR NM 18 (ABNT, 2012))[5] Cedar powder and powder of concretes with different additions. The results showed that the incorporation of sawdust of *Cedrela odorata* influences positively on the physical and mechanical properties of concrete in the hardened State.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Among the percentages, of 5% that presented the highest values of electrical resistivity and resistance to compression and smaller percentages of water absorption and loss to fire. This shows that the concrete with a proper addition of this powder in addition to support greater efforts, makes the presence of water, means by which aggressive agents penetrate inside the concrete. In this way, the use of this addition in concrete can promote the durability of structures.
Key words: concrete, durability, powder of Cedar.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas de construção, ao longo dos anos, contribuíram positivamente para a evolução da Engenharia Civil. Dentre os avanços desta área destaca-se a introdução do concreto, material que promoveu uma grande melhoria nas obras devido a sua durabilidade, resistência, facilidade de produção, entre outras vantagens, tornando seu uso indispensável no ramo da construção civil. Porém, embora o concreto apresente muitos pontos positivos, sua vida útil é comprometida por fatores que estão associados ao seu desgaste natural e as limitações de suas propriedades físicas e mecânicas.

O aparecimento de problemas em estruturas de concreto está intensamente ligado a características como: permeabilidade, propriedade que o concreto apresenta em se deixar penetrar por substâncias como água, íons de cloreto e CO^2, e resistência mecânica, capacidade do concreto em suportar esforços externos. Concretos com grandes índices de vazios apresentam consequentemente maior permeabilidade, o que irá comprometer sua durabilidade, principalmente em estruturas de concreto armado. Por outro lado, concretos com baixos valores de resistência mecânica terão facilidade em apresentar deformações plásticas. Segundo estudos de Menossi (2004) [6] e Fernandez (2008) [7] materais finos colaboram em uma melhor aglomeração das partículas do concreto, servindo como aliada na coesão da mistura e na diminuição dos poros, o que consequentemente poderá evitar o aparecimento de manisfestações patológicas nas estruturas.

Neste trabalho, foi utilizado o pó de *Cedrela odorata*, resíduo das indústrias madeireiras encontrado em quantidades significativas na região norte do Ceará, como uma adição na fabricação do concreto. Sabe-se que pó de serragem está entre os subprodutos gerados por esta indústria e não possui uma destinação adequada, pois, apresenta um baixo valor comercial, e devido a isso, muitas madeireiras despejam este resíduo em aterros, como forma de descarte. Desta forma, sua utilização na confecção de concretos torna-se uma alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico como ambiental.

Segundo Rizzini (1978) [8], a *Cedrela odorata* tem sua distribuição em matas de terra firme, que vão do norte do México até o Brasil. A espécie é explorada comercialmente como madeireira e difundida no mercado nacional e internacional. No Brasil ocorre na Floresta Atlântica, na Amazônia e mesmo na Caatinga. Já de acordo com Lorenzi (2002) [9]:

> [...] esta madeira é uma das melhores do país, com ótima utilização para laminados, móveis, lambris, compensados e para tabuado em geral. É explorada comercialmente, por sua madeira possuir boa resistência mecânica e ser moderadamente resistente ao ataque de pragas, [...].

É de conhecimento que a madeira pode reter água em seu interior, sendo, portanto um material higroscópico, desta forma pode servir como uma aliada na diminuição da permeabilidade do concreto. Arruda *et al.* (2012) [10] e Garcez *et al*.(2013) [11] falam sobre a substituição do agregado miúdo (areia), pelo pó de madeira no preparo do concreto. Porém, estas análises não apresentaram bons resultados no que diz respeito à resistência mecânica do material. Segundo Garcez *et al.* quanto maior o percentual de serragem em substituição a areia, menor o limite de resistência do concreto, tanto no ensaio de compressão axial quanto na tração por compressão diametral. Diante dos resultados já encontrados, a incorporação do pó da madeira *Cedrela odorata* pode ser tornar mais vantajosa como adição ao concreto.

O estudo do efeito da adição do pó da *Cedrela odorata* nos concretos foi realizado através dos seguintes ensaios: compressão axial (NBR 5739 (ABNT, 2010)), velocidade de propagação da onda ultrassônica (NBR 8802 (ABNT, 2007)), absorção de água por imersão (NBR 9778 (ABNT, 2005)), resistividade elétrica (ASTM G57, 2012) e perda ao fogo (NBR NM 18 (ABNT, 2012)). Os dados obtidos pelos experimentos foram comparados com o concreto referencial (CREF), com a finalidade de avaliar as vantagens desta adição.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a elaboração deste trabalho foi adotado um programa experimental contendo diferentes ensaios buscando comparar as características físicas e mecânicas dos concretos com adição do pó de *Cedrela odorata* (CCED) e sem adição, os referenciais (CREF).

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, CCET, da Universidade Estadual Vale do Acaraú, UVA, situada na cidade de Sobral-CE.

2.1 Caracterização dos materiais

2.1.1 Cimento

Para o presente trabalho o cimento utilizado foi o CP II Z 32 RS (CP - Cimento Portland; II - Composto; Classe 32- Resistência de 32 MPa; RS - Resistência a Sulfatos), um dos mais utilizados na região Norte do Ceará. Algumas especificações do fabricante estão contidas nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1 - Teor de cada composto do CP II Z 32 RS utilizado (Fonte: Fabricante, 2015).

Teor de composto, %, CP II Z 32 RS								
	C_3S	**C_2S**	**C_3A**	**C_4AF**	**$CaSO_4$**	**CaO liv**	**MgO**	**Perda ao fogo**
Valor médio	42	58	6	18	3,9	0,8	4	1,9

Tabela 2 - Características do CP II Z 32 RS utilizado (Fonte: Fabricante, 2015).

Características			
ITEM	**RESULTADO**	**ITEM**	**RESULTADO**
Perda ao fogo – PF	5,66%	Óxido de Cálcio	1,45%
Óxido de Magnésio – MgO	3,04%	Área específica (Blaine)	4587 cm²/g
Anidrido Sulfúrico - SO3	2,90%	Massa específica	3,015 g/cm³
Resíduo Insolúvel – RI	12,00%	Expansibilidade de Le Chatelier -	0,2 mm
Equivalente Alcalino em Na2O	1,05%	Livre – CaO	-

2.1.2 Agregados

O agregado graúdo utilizado foi o de origem basáltica (encontrado em todo Brasil), que apresenta massa específica igual a 2,71 g/cm³ e tem absorção de 0,61%, tendo sua classificação quanto ao diâmetro máximo de 9,5 mm. Já o agregado miúdo utilizado apresentou módulo de finura de 2,67 estando inserido na faixa de zona ótima de acordo coma Tabela 3.

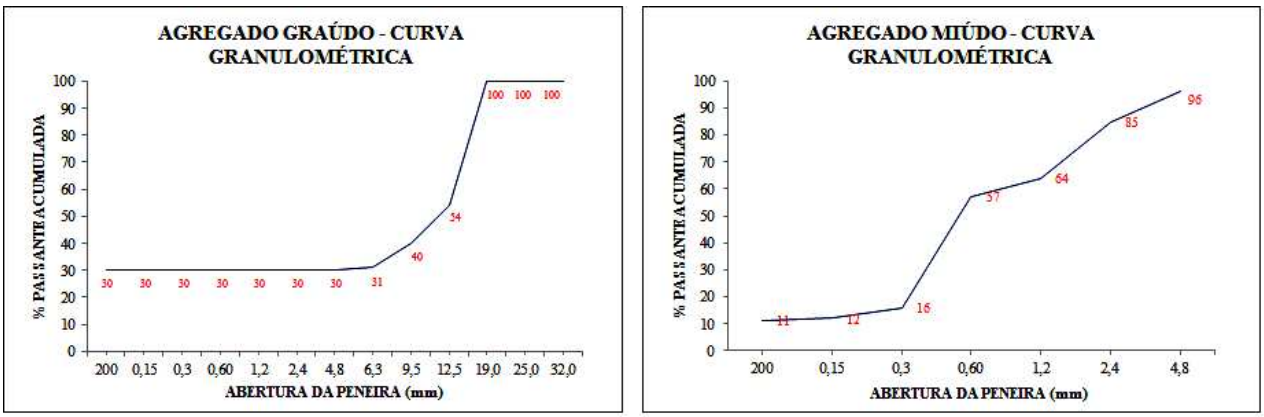
Tabela 3 –Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo. (Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005)).

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	**Porcentagem,em massa retida acumulada**			
	Limites inferiores		**Limites superiores**	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

A Figura 1 descreve a curva granulométrica do agregado graúdo (a) e miúdo (b).



(a) (b)

Figura 1: Curva granulométrica (a) do agregado graúdo; e (b) do agregado miúdo. (Fonte: Própria, 2016.)

2.1.3 Água

Para confecção do concreto foi utilizada a água da rede pública de abastecimento da cidade de Sobral.

2.1.4 Aditivo Plastificante

Foi utilizado um aditivo superplastificante líquido Sika ViscoCrete 6500, de pega normal de terceira geração, compatível com a maioria dos cimentos. Com densidade de 1,09 g/cm³, adicionado em 0,6% em relação ao peso do aglomerante.

2.1.5 Pó de *Cedrela odorata*

O pó de *Cedrela odorata*, por ser um material caracterizado como fino, pode auxiliar na diminuição dos poros do concreto, meio pelo qual agentes agressivos penetram nas estruturas, danificando-as. Além disso, por ser um excelente absorvedor de água, sua presença no concreto poderá diminuir a permeabilidade deste material e consequentemente auxiliar na sua durabilidade e evitar o aparecimento de manifestações patológicas em edificações que façam seu uso.

O pó de *Cedrela odorata* foi proveniente de madereiras localizadas na região da Serra Ibiapaba-Ceará, as quais apresentavam uma considerável quantidade da serragem. O pó foi passante pela peneira #16 ABNT de 1,20 mm (Figura2).



Figura 2: Amostra do pó de *Cedrela odorata* passante na peneira #16 ABNT (Fonte: Própria, 2015.)

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

2.2 Traços

Para analisar as propriedades do concreto foi adotado o traço referencial apresentado na Tabela 4, tendo como base pesquisas realizadas anteriormente.

Tabela 4 - Traço referencial. (Fonte: Própria, 2015.)

	Cimento	Areia	Brita	Água	Aditivo
Traço 0%	1	1,023	1,93	0,006	0,5

As misturas empregadas continham uma adição de 3%, 5% e 10% de serragem de *Cedrela odorata* em relação à massa do cimento, a fim de verificar a melhor proporção do material. A Tabela 5 a seguir mostra a quantidade em massa dos componentes para cada traço.

Tabela 5 - Quantidade dos componentes do concreto, em massa, para cada traço. (Fonte: Própria, 2015.)

	Traço 1	Traço 2	Traço 3
Cimento	764 kg/m³	764 kg/m³	764 kg/m³
Areia	782 kg/m³	782 kg/m³	782 kg/m³
Brita	1475 kg/m³	1475 kg/m³	1475 kg/m³
Água	382 kg/m³	382 kg/m³	382 kg/m³
Aditivo	0,6%*	0,6%*	0,6%*
Serragem	3%*	5%*	10%*

* Percentual em relação à quantidade de cimento

2.3 Moldagem dos corpos de prova

Foram confeccionados trinta corpos de prova cilíndricos de 10x20cm, sendo dez para cada porcentagem de adição e três prismáticos de 10x10x17cm para os ensaios de resistividade elétrica (Figura 3(a)). Logo após a produção dos concretos foi feito o ensaio de consistência do concreto, *slump test*, normalizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998) [12], o momento do teste para a mistura com adição de 10% do pó de *Cedrela odorata* pode ser visto na Figura 3(b). A confecção de todos os corpos de prova seguiram as recomendações da ABNT NBR 5738:2003 [13], estes foram adensados manualmente com haste de aço conforme indicado na mesma norma. Após as primeiras 24h, os corpos de prova foram desmoldados, devidamente identificados quanto à porcentagem recebida de serragem (Figura 3(c)), e submetidos à cura úmida, sendo mantidos submersos em solução saturada de hidróxido de sódio até o momento dos ensaios nas idades de 7, 28 e 91 dias.



(a) (b) (c)

Figura 3: (a) Corpos de prova cilíndricos e prismáticos adensados manualmente; (b) Ensaio de consistência do concreto; e (c) Corpos de prova cilíndricos e prismáticos desmoldados e identificados de acordo com a porcentagem da adição. (Fonte: Própria, 2015.)

2.4 Ensaios realizados

2.4.1 Ensaio de resistência à compressão axial

A resistência à compressão axial é considerada uma das principais características do concreto no estado endurecido, servindo como referência no dimensionamento de estruturas de concreto armado.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Para este ensaio, no presente trabalho, dois corpos de prova de cada traço foram submetidos a ensaios de resistência à compressão axial com idades de 7, 28 e 91 dias. Os ensaios foram realizados segundo a norma ABNT NBR 5739:2007, utilizando neoprene para regularizar os corpos de provas e uma prensa analógica com acionamento manual para aplicação das tensões (Figura 4).



Figura 4: Momento do ensaio de compressão axial dos corpos de prova com diferentes adições. (Fonte: Própria, 2015.)

2.4.2 Ensaio da velocidade do pulso ultrassônico

Com a finalidade de verificar a homogeneidade do concreto e, consequentemente, a quantidade de poros e a qualidade do concreto, é utilizado o ensaio da velocidade do pulso ultrassônico com transmissão direta de onda.

Para a realização teste ensaio, foi utilizado um aparelho denominado Ultrassom, da marca Proced, modelo Tico, com transdutores de 54 kHz. Nas faces planas dos corpos de prova foram colocados os transdutores com vaselina sólida, a fim de garantir o contado na interface sem a presença de ar. O momento do ensaio pode ser visto na Figura 5.

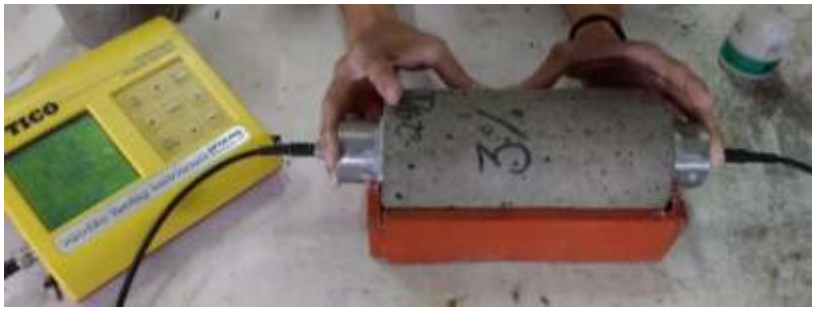


Figura 5: Realização do ensaio de ultrassom. (Fonte: Própria, 2015.)

Foi registrado o tempo de propagação da onda em µs, a partir do qual se calculou a velocidade de propagação através da fórmula:

$$V = L/t \qquad \text{(Equação 1)}$$

onde:
V: velocidade de propagação do pulso utrassônico em m/s;
L: distância entre os transdutores ultrassônicos;
t: tempo de percurso do pulso em µs.

2.4.3 Ensaio de absorção de água por imersão

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

O ensaio de absorção de água por imersão é normatizado pela ABNT NBR 9778:2005 e tem como objetivo determinar a absorção de água em concretos. A entrada de água no concreto após a confecção é indesejada, já que esta é um dos principais agentes patologicos em estruturas de concreto armado.

Para a realização deste ensaio foram colocados três corpos de prova de cada mistura na estufa a uma temperatura de 110°C por 72h (Figura 6(a)). Após este período, foram pesados e imersos em água à temperatura ambiente durante mais 72h (Figura 6(b)). Posteriormente, permaneceram em um recipiente, onde a temperatura da água foi elevada gradativamente até atingir o ponto de ebulição, sendo mantido por um período de 5h, durante o qual, o volume de água foi conservado praticamente constante (Figura 6(c)). E, logo depois do seu resfriamento, eles foram novamente pesados (Figura 6(d)). A Figura 6 apresenta os procedimentos deste ensaio.



(a) (b) (c) (d)

Figura 6: Procedimentos do ensaio de absorção de água por imersão. (Fonte: Própria, 2015.)

Foram registradas as pesagens dos corpos de prova secos em estufa e após a imersão e fervura, logo depois se calculou o índice de absoção através da equação abaixo:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100\% \qquad \text{(Equação 2)}$$

onde:
A: absorção de água (porcentagem);
M_{sat}: massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;
M_s: massa da amostra seca em estufa.

2.4.4 Ensaio de resistividade elétrica

Para um maior entendimento de como diferentes adições no concreto podem auxiliar na diminuição de poros é utilizado o ensaio de resistividade elétrica, pois esta está relacionada aos principais estágios da vida útil de uma estrutura, principalmente as de concreto armado. Uma vez que a resistividade elétrica indica como se encontram os processos corrosivos, para valores baixos de resistividade o concreto apresenta fácil mobilidade iônica e consequentemente maior chance à corrosão, já para valores altos de resistividade elétrica o concreto mostra-se com baixa mobilidade iônica e menor probabilidade de ocorrência da corrosão.

O estudo da resistividade elétrica do concreto foi realizado através do método de quatro eletrodos (ASTM G57, 2012), adaptado do solo para o concreto. Utilizou-se o equipamento RESIPOD, fabricado pela PROCEQ S.A [14], cujo modelo apresenta espaçamento 50 mm entre as quatro sondas. Este aparelho é de fácil manuseio e pode ser utilizado para medições *in loco*. Segundo o fabricante, para seu princípio de medição: "É aplicada uma corrente as duas sondas nas extremidades e a diferença potencial é medida entre as duas sondas internas. A corrente é carregada por íons no líquido do poro da estrutura".

Para iniciar as medições foi preciso fazer a calibragem do equipamento mergulhando os eletrodos em água, por várias vezes, a fim de obter uma aderência melhor com o concreto (Figura 7(a)). Ao posicionar o aparelho sob o CP, as sondas se ajustam à superfície do concreto e o resultado da resistividade é mostrado no visor do equipamento (Figura 7(b)). O

ISSN 2448-1459

aparelho utiliza uma frequência de 40 Hz e opera com uma corrente nominal de 200μA que varia a depender dos valores de resistividade obtidos. As idades utilizadas neste ensaio foram 7 e 91 dias.



(a) (b)

Figura 7: (a) Calibragem do equipamento; (b) Momento da medição da resistividade elétrica. (Fonte: Própria, 2015.)

O equipamento utiliza a Equação (3) para obter a resistividade elétrica:

$$\text{Resistividade } (\rho) = 2\pi a \frac{V}{I} \qquad \text{(Equação 3)}$$

onde: **a** é a distância entre as sondas; **V** é o potencial medido; e **I** é a corrente aplicada.

2.4.5 Ensaio de determinação de perda ao fogo

Após os ensaios de resistência à compressão aos 28 dias, foram coletados fragmentos de cada série de concreto, que secaram ao ar durante 7 dias, antes de serem pulverizados em um almofariz. As amostras de cada série e o pó de *Cedrela odorata* foram devidamente identificadas e guardadas. As amostras foram pesadas em cadinhos de porcelana previamente tarados, 1,000 g ± 0,0001g de cada amostra (Figura 8), os quais foram submetidos a uma temperatura de aproximadamente 920ºC durante 50 minutos, obedecendo a ABNT NBR NM 18:2012. Após este período foram colocados em um dessecador até que esfriassem o suficiente para a nova pesagem.



Figura 8: À esquerda amostras do pó de *Cedrela odorata;* à direita fragmentos de cada série de concreto. (Fonte: Própria, 2015).

A determinação da perda ao fogo se dá pela fórmula:

$$PF = \frac{M_1 - M_2}{M} \times 100 \qquad \text{(Equação 4)}$$

onde:
PF: percentual de perda ao fogo;
M_1: massa do conjunto cadinho + amostra antes de calcinar;
M_2: massa do conjunto cadinho + amostra depois de calcinar;
m: massa da amostra inicial;

Os testes foram realizados em triplicata para garantir a confiabilidade dos dados obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resistência à compressão axial

No ensaio de resistência à compressão axial, o concreto referencial (CREF) apresentou resistência maior que os concretos com adição de 3% e 10 % do pó de *Cedrela odorata* (CCED 3% e CCED 10%). Já o concreto com adição de 5 % do pó de *Cedrela odorata* (CCED 5%) mostrou resistência à compressão axial maior que o CREF desde as primeiras idades. Foi notado que a partir dos 28 dias os concretos com adições passaram a apresentar resistência praticamente constante, e que o CCED 10% na idade de 91 dias diminuiu sua resistência, provalmente em decorrência de apresentar a maior porcentagem de material orgânico.

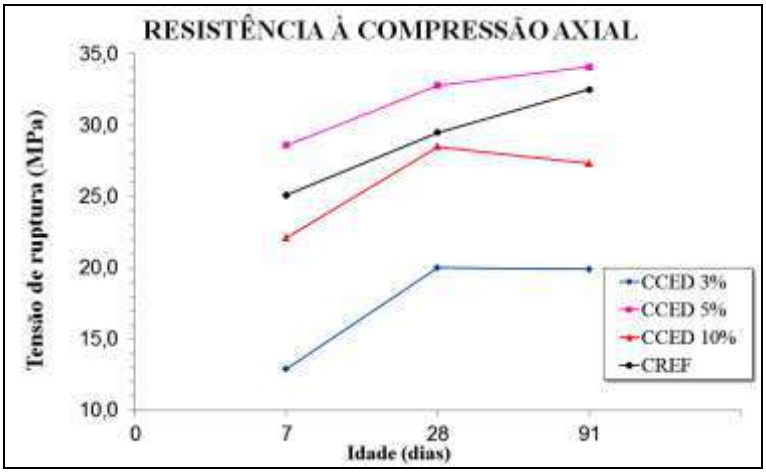


Figura 9: Resistência à compressão dos Concretos Referencial (CREF) e com diferentes percentuais de pó de *Cedrela odorata* (CCED 3%, CCED 5% e CCED 10%). (Fonte: Própria, 2016.)

O CCED 3% apresentou, em todas as idades, ruptura apenas nas bordas inferiores e superiores, diferente dos corpos de provas com as demais porcentagens da serragem, o que vem a justificar seus baixos valores de resistência à compressão axial. Já os CCED 5% e CCED 10% apresentaram ruptura em forma de cone, conforme pode ser visto na Figura 10.



(a) (b) (c)

Figura 10: (a) CCED 3%; (b) CCED 5%; (c) CCED 10% ; após o ensio de resistência à compressão axial na idade de 28 dias. (Fonte: Própria, 2015.)

3.2 Velocidade do pulso ultrassônico

Segundo Lorensi (2000) [15], a velocidade de propagação de uma onda longitudinal ultrassônica num concreto íntegro é sempre superior a 2,5 Km/s, o que se pode confirmar na Tabela 5. Dessa forma todos os concretos analisados neste trabalho são ótima qualidade, uma vez que deste a idade de 7 dias apresentaram velocidade do pulso ultrassônico maiores que 3,3 Km/s. A velocidade da onda ultrassônica no CREF foi superior a dos demais concretos em todas as

idades analisadas. Já com relação aos CCED's o CCED 5% foi o que apresentou maiores velocidades e que mais se aproximou dos valores do CREF. O gráfico da Figura 11 mostra o comportamento da velocidade do pulso ultrassônico com o tempo.

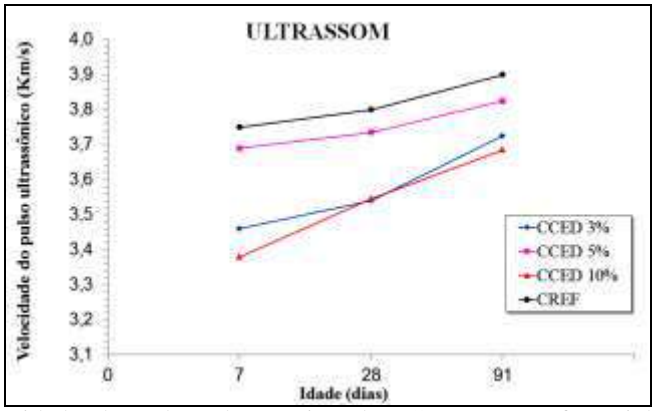


Figura 11: Medida da velocidade do pulso ultrassônico dos Concretos Referencial (CREF) e com diferentes percentuais de pó de *Cedrela odorata* (CCED 3%, CCED 5% e CCED 10%). (Fonte: Própria, 2016.)

Tabela 6 – Classificação do concreto em função da velocidade do pulso ultrassônico. (Fonte: Cánovas, 1998, adaptada.)

Velocidade da onda ultrassônica (Km/s)	Qualidade do concreto
V > 4,5	Exelente
3,5 < V < 4,5	Ótimo
3,0 <V < 3,5	Bom
2,0 < V > 3,0	Regular
V <2,0	Ruim

3.3 Absorção de água por imersão

No ensaio de absorção de água por imersão nas primeiras idades, 7 e 28 dias, todos os concretos com a adição do pó de *Cedrela odorata* apresentaram menor absorção do que o CREF. Aos 91 dias, o percentual de absorção do CCED 3% se mostrou maior que o percentual absorvido pelo concreto referencial, enquanto os CCED 5% e CCED 10% continuaram com índices abaixo do CREF. Comparando o intervalo entre 28 e 91 dias é possivel observar que CCED 3% e CCED 5% ficam praticamente constantes, já o CCED 10% apresentou um pequeno aumento em seu percentual de absorção. Dentre os CCED's, o CCED 5% apresentou a melhor redução na absorvidade, mostrando a dificuldade que a água e outras substâncias encontram ao penetrar neste meio, o que vem a favorecer a durabilidade de estruras de concreto.

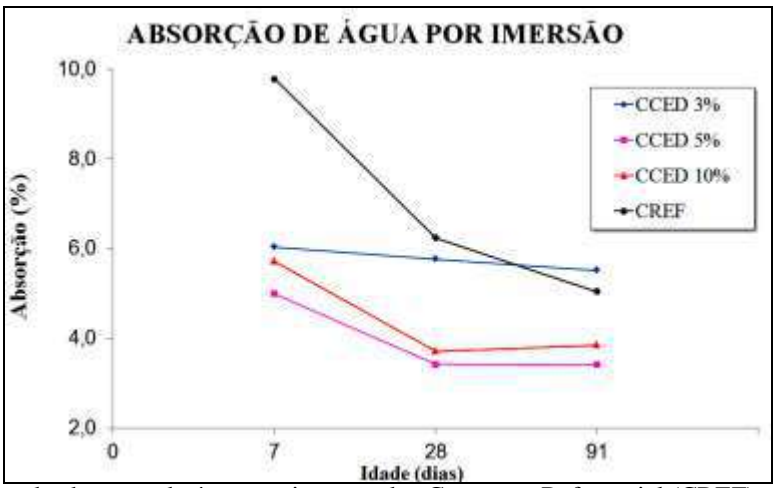


Figura 12: Resultados de absorção de água por imersão dos Concretos Referencial (CREF) e com diferentes percentuais de pó de *Cedrela odorata* (CCED 3%, CCED 5% e CCED 10%). (Fonte: Própria, 2016.)

3.4 Resistividade Elétrica

Os ensaios de resistividade elétrica feitos nos concretos com as diferentes adições (CCED 3%, CCED 5% e CCED 10%), estão apresentados na Figura 13.

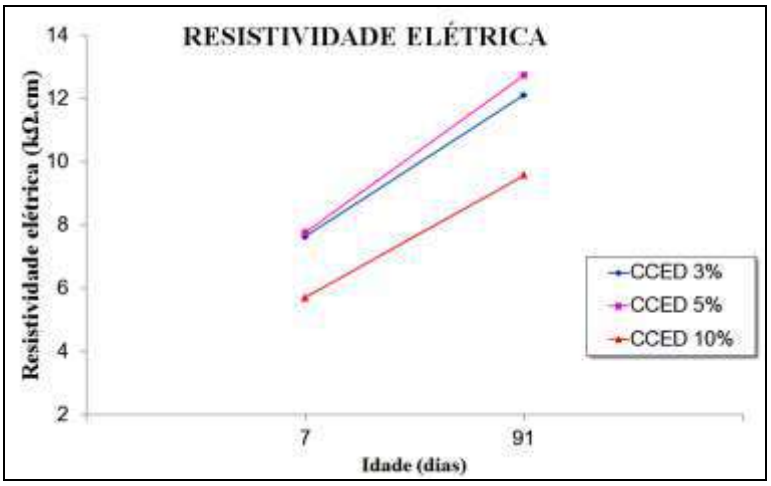


Figura 13: Resistividade elétrica dos Concretos Referencial (CREF) e com diferentes percentuais de pó de *Cedrela odorata* (CCED 3%, CCED 5% e CCED 10%). (Fonte: Própria, 2016.)

A partir da análise dos dados é possível observar que a resistividade elétrica cresce com o tempo. Observou-se também que o CCED 5% apresenta os melhores resultados ao ser comparado com os CPs dos demais percentuais da adição. Isto significa que uma quantidade adequada da adição de pó de *Cedrela odorata* pode trazer melhorias para o concreto, no que diz respeito à diminuição dos poros e qualidade do concreto.

A Tabela 7 apresenta a classificação da resistividade elétrica do concreto estabelecido pelo Comitê Euro-International du Beton (CEB 192, 1988). Enquadrando os resultados encontrados neste estudo com os dados desta tabela pode-se ver que na primeira idade, 7 dias, todos os CCED's apresentavam alta probabilidade de corrosão, já aos 91 dias apenas o CCED 10% se encontrava nesta condição, equanto os CCED 3% e CCED 5% passaram a ter baixa probabilidade à corrosão.

Tabela 7 - Critérios de avaliação da resistividade elétrica (Fonte: SMITH et al., 2004 apud HOPPE, 2005; adaptada).

Resistividade elétrica do concreto (kΩ.cm)	Indicação de probabilidade de corrosão
< 5	Muito Alta
5 a 10	Alta
10 a 20	Baixa
> 20	Desprezível

TND = teste não destrutivo
Obs.: Critério de avaliação em conformidade com o CEB 192 (1988)

Ao correlacionar os resultados do item 3.2 (Figura 11) com os deste item (Figura 13) são observados que em ambos os ensaios o CCED 5% é o que apresenta estado mais homogêneo, menos índices de poros. A comparação entre estes ensaios pode ser feita, uma vez que eles apresentam praticamente a mesma finalidade: analisar a qualidade do concreto com relação à quantidade de poros presentes neste material.

3.5 Perda ao fogo

A perda ao fogo determina o percentual da massa perdida quando submetido a altas temperaturas. O pó de *Cedrela odorata in natura* apresentou, em média, uma perda ao fogo de 79,61%, como era esperado, já que se trata de um composto orgânico, e como tal, se decompõe na forma de gás carbônico (CO_2) e vapor de água (H_2O). Já os resultados obtidos das amostras retiradas dos corpos de prova estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8- Perda ao fogo dos Concretos Referencial (CREF) e com diferentes percentuais de pó de *Cedrela odorata* (CCED 3%, CCED 5% e CCED 10%). (Fonte: Própria, 2016.)

	CREF	CCED 3%	CCED 5%	CCED 10%
Perda ao fogo (%)	10,93	12,25	11,13	11,8

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Os dados mostram que o corpo de prova com adição de 5% de serragem de *Cedrela odorata* apresentou uma menor perda ao fogo, aproximando-se do referencial. Isso indica que, para este percentual, não houve um prejuízo significativo nas propriedades de resistência ao fogo. Esse dado está em conformidade com os resultados dos testes anteriores de que a série de CPs com 5% do pó de serragem foi a que apresentou melhores resultados, quando comparadas com a de 3% e 10%.

4. CONCLUSÃO

Através deste estudo pode-se observar que a adição em porcentagem adequada do pó de *Cedrela odorata* melhora as propriedades fisicas e mecânicas do concreto. Os resultados dos ensaios nas diferentes idades mostraram que o concreto com adição de 5% do pó de *Cedrela odorata* apresentou melhor desempenho que os concretos com os demais percentuais da adição, uma vez que apresentou maiores valores de resistência à compressão axial, velocidade do pulso ultrassônico e resistividade életrica, além de absorver menos água e ter menor perda ao fogo. Com relação ao concreto referencial, observou-se que o CCED 5% também obteve melhor desempenho por suportar maiores esforços e apresentar menor absorção de água. O fato de o CCED 5% ter adquirido menor permabilidade o torna eficaz para garantir estruturas mais duráveis, já que a impermeabilidade está ligada a durabilidade das estruturas. Podemos considerar este estudo preliminar, tendo em vista que este material é orgânico, e, como continuidade, pretende-se prosseguir o acompanhamento em maiores idades e realizar estudos mais avançados, como ensaios de ciclagem acelerada.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro concedido na forma de bolsa de Iniciação Científica e ao Laboratório de Materiais de Construção da UVA pela infraestrutura disponível para realização dos ensaios.

6. REFERÊNCIAS

[1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G57-06(2012), “Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: “Concreto – Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos.” Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: “Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica” Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: “Argamassa e concreto endurecidos. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.” Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 18: “Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo.” ABNT, 2012.
[6] MENOSSI, R. T. “Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto”. Dissertação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. Ilha Solteira, 2004.
[7] FERNANDEZ, I. D. “Blocos e Paver – Produção e Controle de Qualidade”. Ribeirão Preto, 2008.
[8] RIZZINI, C.T. “Plantas do Brasil - Árvores e madeiras úteis do Brasil - Manual de Dendrologia Brasileira.” São Paulo: Edgard Blücher, 1978. p.178- 179.
[9] LORENZI, H. “Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.” São Paulo: Nova Odessa, 2002. v.2. 368p.
[10] ARRUDA, P.P; et al. “UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA COMO ELEMENTO CONSTRUTIVO”. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, 2012.
[11] GARCEZ, M.R; *et al*. **“**Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos Pré-moldados com adição de serragem em substituição ao Agregado miúdo.” Ciência & Engenharia, v. 22, n. 2, p. 95–104, jul. – dez. 2013.
[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: “Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.”. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: “Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova.”. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
[14] PROCEQ S.A Ltda- Suiça.2013. Disponível em: http://www.proceq.com. Acesso em: 20 de julho de 2015.

[15] LORENSI, A. "Aplicação de Testes Ultrassônicos para a Avaliação de Estruturas de Concreto Armado Utilizando Elementos de Inteligência Artificial." Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. 2000.