

AValiação das Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos Pré-Moldados com Adição de Serragem em Substituição ao Agregado Miúdo

EVALUATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PRECAST CONCRETES PRODUCED WITH SAWDUST IN REPLACEMENT OF SAND

Mônica Regina Garcez¹, Thiara Santos², Darci Alberto Gatto³

Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, RS

¹E-mail: mrgarcez@hotmail.com

²E-mail: thiarasantos@gmail.com

³E-mail: darcigatto@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a possibilidade de utilização de resíduos da indústria de base madeireira, como uma nova alternativa de material para indústria da construção. Foram desenvolvidos concretos com serragem de *Pinus elliottii*, em substituição ao agregado miúdo, nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100%. Foram moldados quinze corpos de prova para cada tratamento, sendo cinco para ensaios físicos e dez para ensaios mecânicos. Foram realizados ensaios não destrutivos para determinação do módulo de elasticidade dinâmico dos compósitos, com o auxílio do ultrassom. Os módulos de elasticidade estáticos foram estimados a partir de sua resistência à compressão, com base em formulações da ABNT e ACI. Com o estudo realizado foi observado o que quanto maior o percentual de serragem em substituição a areia, menor o limite de resistência do concreto, restringindo sua utilização para fins estruturais, o que não necessariamente o inviabiliza para outros fins, quando não se necessita um material com elevado desempenho.

Palavras-chave: Resíduo madeireiro, *Pinus elliottii*, areia, concreto.

ABSTRACT

This study aimed to analyze possible use of waste wood-based industry as a new alternative of material for construction industry. *Pinus elliottii* sawdust was inserted to concrete to replace sand, in 0, 25, 50, 75 and 100% proportions. Fifteen specimens were molded, five to perform physical tests and ten to perform mechanical tests. Non-destructive tests were realized to determine dynamic modulus of elasticity with ultrasonic equipment. Static moduli of elasticity were estimated from the compressive strength of specimens, based on ABNT and ACI formulations. Results of mechanical tests showed a reduction of concrete strength as higher the sawdust content. Results do not indicate the use of concrete with sawdust for structural applications, however, this concrete may be used for applications in which high performance concrete is not needed.

Keywords: Wood waste, *Pinus elliottii*, sand, concrete.

1 – INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a consciência da sociedade sobre o meio ambiente tem atribuído importância cada vez maior quanto à utilização dos materiais de construção e seu impacto no meio. Decisões em favor de produtos e sistemas construtivos são influenciadas por aspectos técnicos, econômicos e também ecológicos, já que a construção civil é responsável pela transformação do ambiente natural em um ambiente construído.

A construção pré-moldada caracteriza-se principalmente pela rapidez na execução da obra, pelo baixo custo de instalação do canteiro e por apresentar poucos operários trabalhando por pequeno período. Baseia-se no princípio das peças pré-moldadas serem fabricadas na indústria e posteriormente encaminhadas até o local da obra onde rapidamente serão montadas. Uma construção em concreto pré-moldado pode ser concluída em um período de até cinco vezes mais rápido que uma construção convencional, o que acaba sendo um fator de escolha na hora de decidir qual o melhor método construtivo.

Um inconveniente que a construção pré-moldada apresenta é o elevado peso das peças fabricadas, que em muitos casos só podem ser movidas com o auxílio de caminhão-munck ou guindaste. Sendo assim, materiais como a vermiculita, argila expandida, brita de borracha, isopor e outros, passaram a ser uma alternativa como novos agregados a serem introduzidos na mistura do concreto, gerando um concreto leve, com elevada capacidade de isolamento térmico e acústico, porém, com menor massa específica e menor resistência. Esse fato ocorre devido à substituição do agregado graúdo do concreto, a brita, que é um componente com maior módulo de elasticidade e que auxilia na resistência ao desgaste.

O agregado miúdo comumente utilizado em concretos é um recurso mineral, cuja exploração agride intensamente o ambiente, indicando que com o passar do tempo seu uso se tornará insustentável. Desta forma, os resíduos de indústrias de base madeireira, podem tornar-se uma alternativa para resolver essa questão, pois além de se tratar de um recurso natural renovável, de versátil utilização e baixo consumo energético, apresenta massa

específica reduzida, o que o torna um material apropriado para substituir em determinada proporção o agregado miúdo do concreto.

Adicionalmente, considerando que as indústrias madeireiras apresentam baixo rendimento e geram grande quantidade de resíduos, que dispersos ao meio ambiente podem trazer sérios problemas de poluição (Dutra; Nascimento, 2005), a serragem proveniente de fontes renováveis, em substituição parcial da areia contribui para um programa específico de reciclagem. De acordo com Dantas Filho (2004), pode-se reduzir a demanda de agregado miúdo para a fabricação de concreto e argamassa, além de tornar esses compostos mais isolantes termicamente e leves.

Desta forma, este trabalho busca estudar a influência de diferentes porcentagens de substituição de areia por serragem de *Pinus elliottii* ao concreto, nas propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados.

2 – CONCRETOS PRÉ MOLDADOS COM INSERÇÃO DE SERRAGEM

Muito dos avanços tecnológicos das últimas décadas estão voltados aos materiais de construção. Entretanto, o desconhecimento que muitos engenheiros e arquitetos possuem em relação às propriedades e técnicas de processamento da madeira, são fatores que contribuem para que esse material perca a competitividade perante outros materiais, quanto ao uso na construção e na fabricação diversa.

A madeira é um material *orgânico*, com sua composição química formada basicamente por carbono (C), também é heterogênea devido à grande variação existente, tanto em tipos, quanto em componentes básicos e distribuição destes componentes. A disposição e o arranjo diferenciado destes elementos deixam espaços vazios, tornando a madeira porosa, com poros visíveis a nível macroscópico. A madeira pode reter água, fisicamente aderidas às paredes e no interior delas, sendo, portanto um material higroscópico. Além de caracterizar-se como um material anisotrópico, devido ao diferente comportamento em todos os eixos de orientação.

De acordo com Hillig *et al.* (2006), os três tipos florestais mais utilizados nas serrarias da região Sul do Brasil são o *Pinus spp.*, o *Eucalyptus spp.*, e a *Araucaria angustifolia*. Os dois primeiros correspondem a gêneros que incluem árvores chamadas exóticas, pois não são de ocorrência natural no Brasil e foram introduzidas com êxito nos reflorestamentos, primeiramente estimulados pelos incentivos fiscais.

Devido a grande geração de resíduos de indústrias madeireiras, segundo Fontes (1994), a carbonização e a combustão da madeira, seriam uma das alternativas de redução dos mesmos, porém o processo, apesar de reduzi-los, gera impactos ao meio ambiente por meio da liberação de gases e derivados, com isso, a utilização desses resíduos em artefatos torna-se a solução menos impactante ao meio.

Segundo Rocha (2004) a madeira possui componentes como hemicelulose, açúcares, taninos e lignina que podem afetar a cura e a resistência mecânica do produto final de

compósitos a base de cimento-madeira. Cada constituinte da madeira comporta-se de uma forma diferente em presença de cimento. Com o objetivo de identificar os fatores que causam o retardamento ou impedimento da pega do cimento-madeira, Biblis e Lo (1968) em seus estudos, concluíram que a concentração dos açúcares na madeira apresenta um efeito definitivo sobre a pega do cimento, aumentando a inibição à medida que o teor de açúcar aumenta. Os açúcares presentes na estrutura da madeira apresentam um efeito retardador da pega, formando elementos complexos organometálicos sobre os grãos do cimento retardando a hidratação. Para Carvalho (2000), os compostos fenólicos, tais como os taninos, apresentam também a capacidade de se combinar com os íons metálicos do cimento, o que pode impedir ou limitar as reações de hidratação. Carvalho (2000) relata que algumas reações inibitórias podem-se desenvolver na interface madeira-cimento, ou na matriz, causando o enfraquecimento das ligações químicas e mecânicas entre a madeira e o cimento. Outro fator altamente inibitório à pega do cimento são as madeiras atacadas por insetos xilófagos como os cupins.

Na realidade, não existe incompatibilidade da celulose com o cimento, mas as hemiceluloses solúveis e os açúcares simples, ao se combinarem com íons metálicos, provocam incompatibilidade entre a madeira e o cimento (Carvalho, 2000). Manzanares *et al.* (1991), utilizaram a temperatura de hidratação como parâmetro para avaliar a compatibilidade entre cimento e *Pinus tropicalis*, concluindo em seus estudos que essa espécie é adequada para a fabricação de compósitos de cimento-madeira sem a necessidade obrigatória de tratamentos suavizadores da incompatibilidade.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender ao objetivo proposto, foi desenvolvido um programa experimental buscando comparar as misturas que utilizam serragem em substituição ao agregado miúdo e a mistura de referência, sem serragem, que utiliza apenas areia como agregado miúdo. As misturas foram avaliadas quanto à resistência a compressão axial, à resistência a tração por compressão diametral, ao módulo de elasticidade estático e dinâmico, à absorção de água por imersão, índice de vazios e teor de umidade e quanto à massa específica seca, saturada, real e aparente.

Este trabalho foi desenvolvido no interior da empresa Concreferro – Indústria e Comércio de Pré-moldados Ltda, destinada a fabricação de peças de concreto pré-moldado, localizada no município do Capão do Leão, RS.

3.1 Caracterização dos materiais

Na Tabela 1 podem ser observados os principais resultados obtidos na caracterização dos materiais, que podem ser visualizados na Figura 1.

A serragem utilizada foi oriunda do equipamento serra fita da Serraria Madecom localizada na cidade de Pelotas, RS, a qual realiza desdobro primário, secundário e beneficiamento de toras de Eucalipto e principalmente

Pinus, apresentando, assim como muitas serrarias do mesmo porte, um elevado índice de resíduos provenientes de seus equipamentos. A serragem de *Pinus elliottii* sofreu um processo manual de recolhimento das cascas e lascas de madeiras que encontravam-se misturadas e que poderiam influenciar de alguma forma nos resultados do trabalho. Em seguida, a mesma foi conservada em local protegido das intempéries, para que secasse ao ar livre.

O cimento utilizado como aglomerante para confecção do concreto foi do tipo CPIV-32, Cimento Portland Pozolânico. A água utilizada no trabalho foi proveniente da rede de abastecimento local (CORSAN).

Figura 1 – Componentes dos concretos estudados: (A) cimento, (B) areia, (C) serragem e (D) brita.



Tabela 1 – Caracterização dos componentes do concreto.

Norma	Característica	Agregado		Resultado
		Areia	Serragem	
NBR 9776 (1987)	Massa específica (γ)	Areia	–	2,59 g/cm ³
		Serragem	–	–
		Brita	–	–
NBR 7251 (1982)	Massa unitária solta – úmida	Areia	–	1,19 g/cm ³
		Serragem	–	0,23 g/cm ³
		Brita	–	1,42 g/cm ³
NBR 7251 (1982)	Massa unitária solta – seca	Areia	–	1,64 g/cm ³
		Serragem	–	0,16 g/cm ³
		Brita	–	–
NBR NM 45 (2006)	Massa unitária no estado seco (aparente) – (ρ _{ap})	Areia	–	1,77 g/cm ³
		Serragem	–	0,23 g/cm ³
		Brita	–	–
NBR 7211 (2005)	Dimensão máxima	Areia	–	4,75 mm
		Serragem	–	2,36 mm
		Brita	–	–
NBR 7217 (1987)	Módulo de finura	Areia	–	2,79
		Serragem	–	3,06
		Brita	–	–

3.2 Traços

Foi estudado o comportamento do concreto tendo como base o traço 1:2:1,2 (cimento: areia: brita, em volume) utilizado pela empresa para a fabricação das plaquetas de concreto pré-moldado de dimensões 0,91 m x 0,51 m x 0,03 m, usadas para preenchimento de vãos entre pilaretes de concreto pré-moldado.

As misturas estudadas sofreram variação na quantidade de agregado miúdo, que foi substituído por

serragem de *Pinus elliottii*, em diferentes proporções: 0, 25, 50, 75 e 100%, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Determinação dos tratamentos do concreto, em volume.

Tratamento	Corpo de prova	Aglomerante		Agregado miúdo				Agregado graúdo	
		Cimento		Areia		Serragem		Brita	
		Traço	%	Traço	%	Traço	%	Traço	%
T1	CP01 a CP15	1	23,8	2	47,6	0	0	1,2	28,6
T2	CP16 a CP30	1	23,8	1,5	35,7	0,5	11,9	1,2	28,6
T3	CP31 a CP45	1	23,8	1	23,8	1	23,8	1,2	28,6
T4	CP31 a CP40	1	23,8	0,5	11,9	1,5	35,7	1,2	28,6
T5	CP41 a CP60	1	23,8	0	0	2	47,6	1,2	28,6

Os cinco tratamentos foram denominados T1 (0%), T2 (25%), T3 (50%), T4 (75%) e T5 (100%). Para cada tratamento foram moldados 15 corpos de prova, sendo que dez foram utilizados para a realização dos ensaios mecânicos: cinco serviram para análise da resistência a compressão axial e cinco serviram para análise da resistência à tração por compressão diametral. Os outros cinco corpos de prova foram utilizados para a realização dos ensaios físicos, com a análise da massa específica, absorção de água e índice de vazios.

Fazendo uma análise quanto à proporção entre a água e o cimento (A/C), percebeu-se que quanto maior o percentual de substituição de areia por serragem no concreto, maior foi a quantidade de água exigida para se atingir uma melhor consistência, o que garantiu uma melhor trabalhabilidade do concreto. O tratamento T5, com 100% de serragem como agregado miúdo, apresentou um consumo de água em relação ao cimento de aproximadamente 120% acima do tratamento T1 que não apresentava serragem. Esse fato já era esperado devido à madeira ser um material higroscópico, ou seja, um material que possui capacidade de absorver água e posteriormente mantê-la em sua estrutura. Foi observado, também, que as misturas dos concretos foram coesas, não apresentando tendência a segregação e exsudação.

3.3 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados os corpos de prova de 10 x 20 cm conforme a norma ABNT NBR 5738:2003. Os mesmos sofreram adensamento vibratório, para que ficassem com as características mais semelhantes possível das plaquetas de concreto pré-moldado fabricadas pela empresa.

Depois da desmoldagem, os corpos de prova foram mantidos no mesmo local e expostos às mesmas condições climáticas das plaquetas de concreto pré-moldado até serem enviados ao laboratório para os ensaios, conforme as condições solicitadas pela ABNT NBR 9479:1984, até o momento do ensaio.

3.4 Ensaio não destrutivo

O ensaio ultrassônico foi realizado por meio de um equipamento denominado Ultrassom, da marca Proceq, modelo Tico, com transdutores de 54 kHz. Os corpos de prova foram submetidos a frequência ultrassônica, de forma direta, utilizando-se os transdutores de faces planas. Foi aplicado vaselina sólida nos topos dos corpos de prova, para garantir o contato e evitar a presença de ar na interface. Foi determinado o tempo de propagação da onda em μ_s e logo após com o comprimento de cada corpo de prova, para então ser determinado a velocidade de propagação da onda. Com os dados do ensaio não destrutivo foi possível determinar o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) que foi correlacionado com o módulo de elasticidade estático (E_{ci}), determinado por meio das formulações propostas pela norma ABNT NBR 6118:2007.

3.5 Ensaios mecânicos

O ensaio de resistência a compressão axial do concreto foi realizado conforme a ABNT NBR 5739:1994. Essa propriedade é considerada uma das principais características do concreto no estado endurecido, sendo utilizada atualmente como fator de especificação e dimensionamento de estruturas de concreto armado.

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral do concreto foi realizado em cinco corpos de prova, segundo as recomendações da norma ABNT NBR 7222:1994. Essa propriedade é considerada uma grandeza absoluta do concreto, que afere o comportamento da mistura quando submetida a um determinado carregamento.

O módulo de elasticidade estático para o concreto referência foi estimado por meio das formulações descritas na ABNT NBR 6118:2007, com base nos resultados dos ensaios de compressão axial, conforme a Equação 1.

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2} \quad (1)$$

Em que: E_{ci} = Módulo de Elasticidade Estático, em MPa; f_{ck} = Resistência característica do concreto a compressão, em MPa.

Com auxílio da ABNT NBR 12655:1996 foi possível determinar o f_{ck} , já que a resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade medida pelo desvio-padrão. O desvio padrão considerado foi $\delta = 4$, referente a condição A (aplicável às classes C10 até C80).

$$F_{ck} = f_{cj} - 1,645\delta \quad (2)$$

Em que: F_{ck} = Resistência característica do concreto a δ = Desvio padrão, em MPa.

O módulo de elasticidade estático para o concreto com 25, 50, 75 e 100% de serragem foi estimado por meio da equação proposta pelo American Concrete Institute (ACI), citado por Piccoli (2010), que determina o módulo de elasticidade para concretos leves, sendo esse menor para o mesmo nível de resistência do concreto normal, de acordo com a Equação 3.

$$E_{ci} = 0,1365\rho^{1,5}f_{cj}^{1/2} \quad (3)$$

Em que: E_{ci} = Módulo de Elasticidade Estático, em kgf/cm²; ρ = Massa específica, em kg/m³; f_{cj} = Limite de resistência, em kgf/cm².

Como existe uma divergência entre as unidades do ACI e da Norma Técnica Brasileira, os cálculos foram ajustados a unidade solicitada pela equação e posteriormente o resultado foi convertido para MPa. O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado com base no ensaio realizado com o ultrassom, cujos dados foram inseridos nas Equações 4 e 5.

$$V = d/t \quad (4)$$

$$E_d = (V^2 \rho) / 1000 \quad (5)$$

Em que: V = Velocidade de propagação da onda, em m/s; E_d = Módulo de Elasticidade Dinâmico, em MPa; ρ = Massa Específica, em g/cm³ (foi usado o valor da massa específica aparente ρ_{ap}).

3.6 Ensaios físicos

Após o período de cura na câmara úmida, cinco corpos de prova de cada tratamento foram ensaiados fisicamente, conforme a ABNT NBR 9778:2005 para determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica.

3.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão utilizando o pacote estatístico *Statgraphics* na versão *Centurion XV*.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando os valores médios da massa específica aparente do concreto, conforme a Tabela 3, verifica-se que quanto maior o percentual de substituição de areia por serragem, menor é a massa específica aparente do concreto. A diminuição da massa específica afeta diretamente a resistência do concreto.

Tabela 3 – Análise de variância da massa específica aparente (ρ_{ap}) obtida nos corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão axial (f_{cj}) e ao ensaio de tração por compressão diametral ($f_{t,D}$).

Tratamento	f_{cj}		$f_{t,D}$	
	ρ_{ap}	CV (%)	ρ_{ap}	CV (%)
T1	2,10 ^a	1,76	2,14 ^a	1,4
T2	1,96 ^b	1,13	1,95 ^b	0,84
T3	1,74 ^c	0,55	1,78 ^c	0,94
T4	1,58 ^d	1,71	1,58 ^d	0,32
T5	1,32 ^e	3,53	1,35 ^e	2,89
P	<0,001		<0,001	

Em que: CV = Coeficiente de variação; P = Probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a um nível de 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados médios do limite de resistência do concreto obtidos durante o ensaio destrutivo de compressão axial e tração por compressão diametral.

Tabela 4 – Análise de variância dos resultados obtidos por meio do ensaio de compressão axial (f_{cj}) e tração por compressão diametral ($f_{t,D}$) para os diferentes tratamentos

Tratamento	f_{cj}	CV (%)	$f_{t,D}$	CV (%)
T1	17,84 ^a	14,29	2,28 ^a	10
T2	14,00 ^b	5,33	1,74 ^b	9,83
T3	9,16 ^c	10,85	1,25 ^c	16,97
T4	7,52 ^c	8,46	1,22 ^c	10,69
T5	4,11 ^d	4,31	0,79 ^d	13,72
P	<0,001		<0,001	

Em que: CV = Coeficiente de variação; F; P = Probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a um nível de 5% de probabilidade de erro.

A resistência do concreto e sua durabilidade dependem das proporções dos componentes que o formam, ou seja, do traço no qual esse concreto é constituído. Embora se observe uma redução no limite de resistência a compressão axial, verifica-se que a medida que se aumenta o percentual de areia substituída por serragem, os valores médios do limite de resistência a compressão axial foram satisfatórios, quando comparados com o resultado médio, conforme salientado por Almeida e Hanai (2008) para o concreto de baixa resistência em 14,42 MPa, ensaiado aos 28 dias. Para o tratamento T1, considerado como referência obteve-se uma média de resistência de 17,84 MPa, enquanto que para o tratamento T2, com 25% de areia substituída por serragem obteve-se uma média de 14,00 MPa.

Da mesma maneira que se obteve uma redução do limite de resistência a compressão axial à medida que foi inserido serragem no traço do concreto, obteve-se também a redução do limite de resistência no ensaio de tração por compressão diametral.

A resistência à tração do concreto (obtida nesse trabalho por meio do ensaio de tração por compressão diametral) em concretos com resistência entre 10 e 80MPa corresponde à décima parte da resistência a compressão axial do mesmo (PETRUCCI, 2005; JUNIOR, 2010; ACI 363R-92, 2001). Dessa forma, os resultados mostram que, para o tratamento T1, a média do limite de resistência à tração por compressão diametral foi aproximadamente 28% superior a estimada, que seria de 1,78 MPa, devido ao limite de resistência a compressão axial ser de 17,84 MPa. Já para T5 o valor foi cerca de 93% superior que a estimada, que seria 0,41 MPa, em função do limite de resistência a compressão axial ter sido 4,11 MPa. Logo, comparado com o previsto pela literatura, por Petrucci (2005) e Junior (2010), os resultados de resistência à tração por compressão diametral foram satisfatórios, pois apresentaram valores superiores aos 10% da resistência à compressão axial estimados.

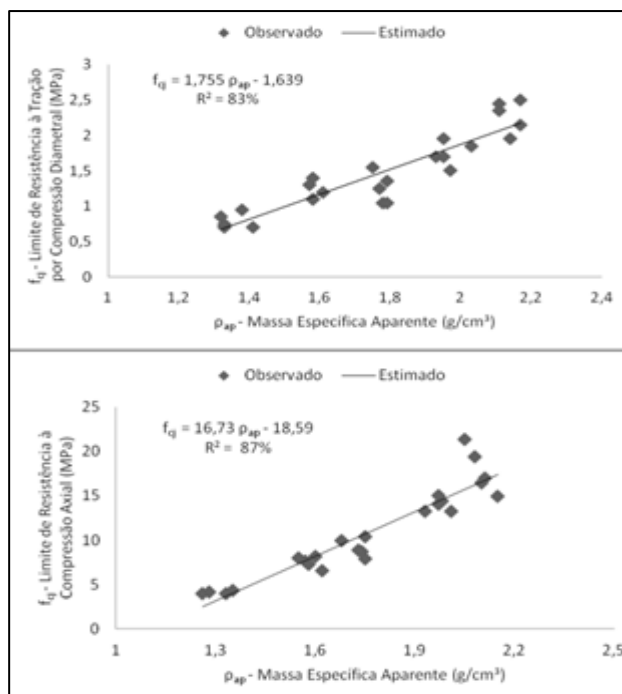
Para Gazola (2007), o cimento tem a função básica de atuar como aglomerante propiciando características físico-mecânicas de resistência e durabilidade, enquanto que a madeira tem a função de aumentar a resistência à flexão,

diminuir a densidade e melhorar outras propriedades como o isolamento térmico e acústico. Pimentel (2004) relatou que a utilização de fibras de madeira é um dos maiores avanços para reforçar argamassas cimentícias melhorando sua qualidade. Isso ocorre devido ao incremento na resistência a tração do compósito, modificando-o de um material de ruptura frágil para dúctil, minimizando a fissuração e aumentando a capacidade de absorção de energia e a resistência ao impacto. Dessa forma, para os tratamentos T3, T4 e T5, com 50, 75 e 100% de serragem em substituição da areia, verificam-se, respectivamente, um acréscimo de 36, 63 e 93% nos resultados obtidos para a resistência à tração por compressão diametral em relação ao estimado (10% da resistência à compressão axial), o que pode ter ocorrido devido à inserção de serragem no concreto.

Os resultados das médias das resistências à tração por compressão diametral para o tratamento T3 com 50% de serragem substituindo a areia no traço do concreto e para o tratamento T4 com 75%, não apresentaram diferença estatística a um nível de 5% de probabilidade de erro.

Na Figura 2 é observada a relação existente entre o limite de resistência do concreto, obtido respectivamente no ensaio da compressão axial e tração por compressão diametral, com a massa específica aparente do mesmo.

Figura 2 – (a) Limite de resistência f_{cj} obtido no ensaio de compressão axial em função da massa específica aparente ρ_{ap} para diferentes tratamentos do concreto. (b) Limite de resistência $f_{t,D}$ obtido no ensaio de tração por compressão diametral em função da massa específica aparente ρ_{ap} para diferentes tratamentos do concreto.



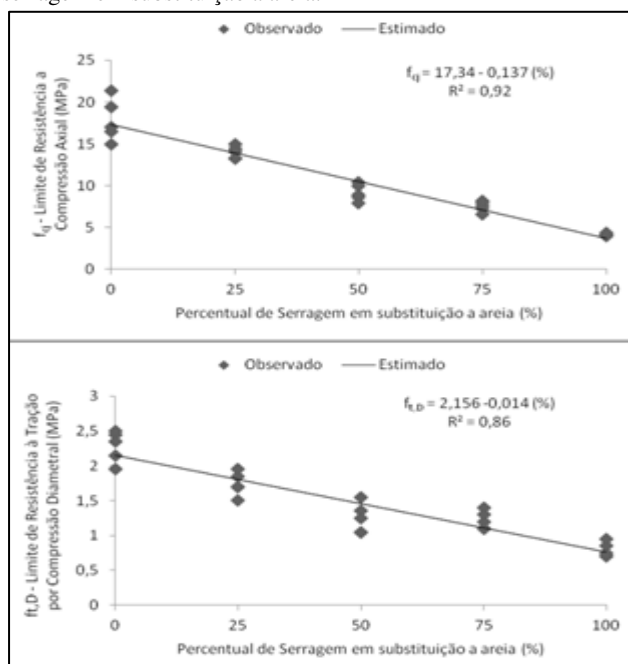
Observa-se uma tendência de redução da resistência do concreto, tanto no ensaio de compressão axial quanto no ensaio de tração por compressão diametral, à medida que a massa específica aparente também foi reduzida, ou seja, a resistência do concreto e a massa específica foram

diretamente proporcionais. O tratamento T1 apresentou maior resistência nos dois ensaios, consequentemente também apresentou a maior massa específica aparente, enquanto que o T5, tratamento com 100% de serragem, apresentou os menores resultados, tanto para massa específica aparente quanto para a resistência a compressão axial e à tração por compressão diametral.

Com a regressão linear ocorrida entre os valores obtidos nos ensaios, determinaram-se as equações ajustadas da reta, sendo que a massa específica aparente explica com 87% de precisão a variação ocorrida na resistência do concreto à compressão axial e com 83% de precisão a variação ocorrida na resistência do concreto à tração por compressão diametral.

Na Figura 3 é relacionado o limite de resistência do concreto obtido, respectivamente, no ensaio da compressão axial e tração por compressão diametral, em relação ao percentual de serragem inserida ao concreto.

Figura 3 – (a) Limite de resistência f_{cj} obtido no ensaio de compressão axial em função do percentual de serragem em substituição a areia. (b) Limite de resistência $f_{t,D}$ obtido no ensaio de tração por compressão diametral em função do percentual de serragem em substituição à areia.



Observa-se que à medida que se aumenta o percentual de serragem em substituição a areia, ocorre uma redução no limite de resistência a compressão axial e também no limite de resistência à tração por compressão diametral.

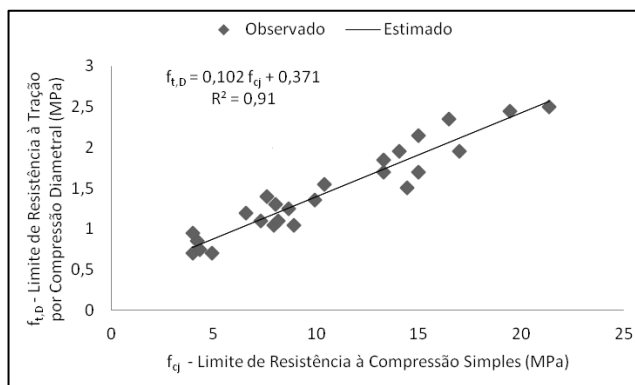
Do tratamento T1, referência, para o tratamento T5, com 100% de serragem em substituição a areia, obteve-se uma redução de aproximadamente 77% no limite de resistência a compressão axial. Para o limite de resistência à tração por compressão diametral a redução entre o tratamento T1 e T5 foi de aproximadamente 65%.

O coeficiente ajustado da reta explica com 92% de precisão a variação ocorrida entre o limite de resistência a compressão axial em relação ao percentual de serragem em substituição a areia e com 86% de precisão a variação ocorrida entre o limite de resistência à tração por

compressão diametral em relação ao percentual de serragem em substituição a areia.

Na Figura 4 é observada a relação existente entre a resistência à tração por compressão diametral em função da resistência à compressão axial, ambos os resultados obtidos nos ensaios mecânicos.

Figura 4 – Limite de resistência $f_{t,D}$ obtido no ensaio de tração por compressão diametral em função do limite de resistência f_{cj} obtido no ensaio de compressão axial.



Verifica-se, com a regressão linear para os diferentes tratamentos do concreto, que 91% da variação da resistência à tração por compressão diametral pode ser explicada pela variação ocorrida na resistência à compressão axial. Dessa forma, o ensaio destrutivo de compressão axial pode ser considerado um bom estimador do ensaio de tração por compressão diametral.

Além da resistência a tração do concreto, ser considerada pequena, ela é pouco confiável, pois quando o concreto não é bem executado, a retração do mesmo pode provocar fissuras, que diminuem a resistência à tração do concreto, antes mesmo de atuar qualquer solicitação. Devido a essa natureza aleatória da resistência a tração do concreto, ela é geralmente desprezada nos cálculos.

Um fator que influencia diretamente na resistência do concreto é o tipo de cura. Em alguns casos, quando a cura acontece ao ar livre, devem-se tomar cuidados mínimos com concreto de modo que o mesmo fique exposto exatamente aos efeitos de temperatura e umidade do ambiente solicitado (Neville, 1997). Quando a cura for úmida, segundo Petrucci (2005) a mesma deve ser iniciada logo após o início da hidratação do cimento, ou seja, nos casos comuns, duas ou três horas após o lançamento. Não existe um tempo pré-determinado para a realização da cura, mas sabe-se que quanto maior for esse período, melhores serão os resultados obtidos para resistência e durabilidade do concreto.

Conforme os estudos realizados por Santana e Costa (2009), em que analisaram a resistência mecânica para corpos de prova com cura ao ar livre e corpos de prova em câmara úmida, o concreto submetido à cura úmida teve uma resistência superior aos resultados dos concretos submetidos à cura ao ar. Dessa forma é válido salientar que os resultados obtidos nos ensaios mecânicos nesse trabalho poderiam ter sido superiores, caso a cura tivesse sido realizada durante os 28 dias na câmara úmida.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados médios do módulo de elasticidade estático estimados pela ABNT NBR 6118:2007 e pelo ACI – American Concrete Institute. Os resultados foram baseados nos resultados da resistência à compressão axial obtidos durante os ensaios mecânicos e as médias dos valores obtidos no ensaio não destrutivo realizado com o ultrassom, para obtenção do módulo de elasticidade dinâmico, nos corpos de prova que foram submetidos ao ensaio destrutivo de compressão simples.

Conforme salientado por Aguilar *et al.* (2006) o módulo de elasticidade do concreto, varia em função da matéria-prima utilizada e de sua resistência mecânica. Dessa forma observou-se que os valores médios obtidos para o módulo de elasticidade estático, acompanharam a mesma proporcionalidade da massa específica aparente e do limite de resistência do concreto a compressão axial. À medida que se aumenta a proporção de serragem inserida no concreto ocorre uma redução no módulo de elasticidade estático do mesmo. Para Battagin (2007), o módulo de elasticidade do concreto não depende unicamente da resistência, mas também das propriedades dos agregados utilizados, não havendo uma correlação direta em todos os casos entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão do concreto

Tabela 5 – Análise de variância do módulo de elasticidade estático E_{ci} (estimado) e módulo de elasticidade dinâmico E_d para os diferentes tratamentos.

Tratamento	E_{ci}	CV (%)	E_d	CV (%)
T1	18699,80 ^a	11,27	35353,00 ^a	0,82
T2	14175,30 ^b	1,53	24911,30 ^b	4,92
T3	9128,24 ^c	2,28	16908,10 ^c	0,93
T4	7286,31 ^d	1,82	10667,00 ^d	3,76
T5	4209,34 ^e	9,09	6043,38 ^e	6,17
P	<0,001		<0,001	

Em que: CV = Coeficiente de variação; P = Probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a um nível de 5% de probabilidade de erro.

O ensaio realizado com o ultrassom apresentou resultados compatíveis para as médias do módulo de elasticidade dinâmico quando comparados com o módulo de elasticidade estático, sendo ambos diretamente proporcionais. A redução nos valores das médias do módulo de elasticidade dinâmico variou em torno de 83% entre os tratamentos T1 e T5.

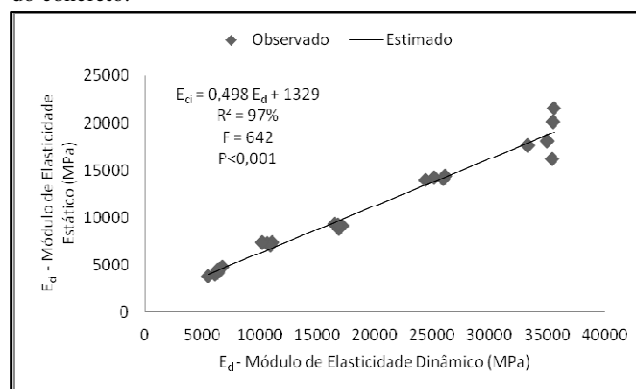
Na Figura 5 é apresentada a relação existente entre o módulo de elasticidade estático em função do módulo de elasticidade dinâmico do concreto para os tratamentos estudados. Observa-se com a regressão linear para os diferentes tratamentos do concreto, que 97% da variação do módulo de elasticidade estático pode ser também comprovada pela variação ocorrida no módulo de elasticidade dinâmico.

Com os resultados apresentados, o módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio do ensaio não destrutivo, com o auxílio do ultrassom, pode ser considerado um bom estimador para o módulo de elasticidade estático.

Segundo Piccoli (2010), quanto maior for o módulo de elasticidade, maior deverá ser a tensão aplicada para se

atingir uma dada deformação, visto que esse caracteriza a rigidez do material, ou seja, a dificuldade em deformá-lo. Para o autor, a uma mesma tensão, a deformação ocorrida é menor no aço que no concreto. Essa deformação por sua vez é menor na madeira, devido ao módulo de elasticidade do aço ser maior que o do concreto, e o módulo de elasticidade do concreto ser maior que o da madeira. Essa analogia pode ser considerada nesse trabalho devido à redução gradativa do módulo de elasticidade, tanto estático quanto dinâmico do concreto, à medida que foi sendo inserida serragem em substituição da areia no traço do concreto.

Figura 5 – Módulo de elasticidade estático E_{ci} em função do módulo de elasticidade dinâmico E_d para diferentes tratamentos do concreto.



Na Tabela 6 são apresentados os valores médios da absorção de água por imersão, índice de vazios e teor de umidade, obtidos durante o ensaio físico. Analisando os resultados das médias obtidas nos ensaios físicos, verifica-se que quanto maior o índice de vazios existente no concreto, maior foi a absorção de água por imersão dos mesmos. Para Gomes *et al.* (2003), o concreto é um material que devido sua própria constituição, é necessariamente poroso, pois não é possível preencher a totalidade dos vazios do agregado com uma pasta de cimento. Com isso a interconexão entre os vazios (ou poros) no concreto torna-o permeável à água.

Tabela 6 – Análise de variância da Absorção de água por imersão (A), Índice de vazios (I_v) e Teor de umidade (T_u), obtido em ensaio físico para os diferentes tratamentos.

T	A	CV (%)	I_v	CV (%)	T_u	CV (%)
T1	7,48 ^a	6,36	16,02 ^a	5,81	6,13 ^a	4,5
T2	10,59 ^b	1,89	21,04 ^b	0,99	7,64 ^a	19,1
T3	16,71 ^c	1,69	29,51 ^c	1,46	10,37 ^b	3,15
T4	23,15 ^d	2,36	36,47 ^d	1,26	10,68 ^b	15,92
T5	32,54 ^e	4,48	44,11 ^e	2,85	15,08 ^c	18,72
P	<0,001		<0,001		<0,001	

Em que: T = Tratamento; CV = Coeficiente de variação; P = Probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a um nível de 5% de probabilidade de erro.

Essa é uma das principais propriedades físicas do concreto a ser considerada, quando o mesmo ficará exposto às intempéries. A permeabilidade e absorção de água do concreto, segundo Mussi (2010) podem ser afetadas por

diversos fatores, como os materiais que constituem a mistura (cimento, agregados, água e aditivos), bem como o modo de preparação do mesmo (mistura, lançamento, adensamento e acabamento), sua idade, cura e condições de ensaio

Com a análise realizada entre as médias do teor de umidade, observa-se que não existe uma diferença estatística a um nível de 5% de probabilidade de erro, entre os tratamentos T1 e T2, bem como entre os tratamentos T3 e T4. Dessa forma vale salientar que embora os corpos de prova tenham sido mantidos por sete dias em uma câmara úmida, para auxiliar no processo de estabilização dos mesmos, o teor de absorção de água ocorreu de forma diferente para cada tratamento, sendo que quanto maior o percentual de serragem inserida no traço do concreto, maior foi a absorção de umidade.

Esse fato pode ser explicado devido a constituição química da madeira - celulose, hemicelulose e lignina - sendo a hemicelulose a substância mais hidrófila, que contribui para a variação dimensional da madeira em função da troca de água com o meio, ou seja, madeira, é um material higroscópico capaz de absorver ou perder água para o meio ambiente.

Uma maneira de reduzir a higroscopicidade da madeira, segundo Quirino e Borges (2005), seria a retificação térmica, que consiste no princípio da termodegradação de seus constituintes na ausência de oxigênio ou forte deficiência de ar. Desse modo, ao promover a degradação da hemicelulose, a termoretificação confere à madeira um aspecto de baixa higroscopicidade.

Quirino e Azevedo (2006) salientam que a retificação térmica da madeira ainda é pouco investigada no Brasil. Esse processo de termoretificação, consiste na modificação das propriedades da superfície da madeira, consequentemente, melhorando sua compatibilidade com componentes orgânicos, como as resinas ou polímeros. Com isso as operações de impregnação, aderência, fabricação de derivados e o uso de produtos para revestimento de superfície são facilitados.

Como a termoretificação auxilia nas operações de impregnação da madeira com outros componentes, é bastante provável que esse processo auxilie também nas melhorias de aderência entre o cimento e a madeira, auxiliando no aumento da resistência do concreto com substituição de areia por serragem. De acordo com Quirino e Azevedo (2006), o processo de retificação permite produzir um material com reduzida higroscopicidade, sem a diminuição significativa das propriedades mecânicas.

Na Tabela 7 são encontrados os resultados das médias da massa específica seca, saturada, real e aparente para os diferentes tratamentos analisados. Observa-se, ao analisar os dados obtidos nos ensaios físicos, que há uma tendência à medida que se aumenta o percentual de substituição de areia por serragem. Verifica-se uma diminuição na massa específica do concreto, seja ela, seca, saturada, real ou aparente. Uma justificativa da ocorrência desse fenômeno é a massa específica da serragem ser inferior a da areia, o que consequentemente influencia diretamente nas propriedades do concreto. Assim como ocorreu a redução

da massa específica, houve também a redução de resistência, tanto na compressão axial, quanto na tração por compressão diametral.

Tabela 7 – Análise de variância da Massa específica seca (ρ_s), Massa específica saturada (ρ_{sat}), Massa específica real (ρ_r) e Massa específica aparente (ρ_{ap}), obtido em ensaio físico para os diferentes tratamentos.

Tratamento	ρ_s	CV (%)	ρ_{sat}	CV (%)
T1	2,14 ^a	0,74	2,30 ^a	0,22
T2	2,00 ^b	0,41	2,20 ^b	0,76
T3	1,77 ^c	0,33	2,06 ^c	0,41
T4	1,58 ^d	1,15	1,94 ^d	0,82
T5	1,36 ^e	1,78	1,79 ^e	0,53
P	<0,001		<0,001	
Tratamento	ρ_r	CV (%)	ρ_{ap}	CV (%)
T1	2,55 ^a	0,51	2,09 ^a	0,9
T2	2,50 ^b	1,15	1,93 ^b	0,59
T3	2,50 ^{bc}	0,57	1,71 ^c	0,59
T4	2,48 ^c	0,64	1,52 ^d	0,83
T5	2,42 ^d	0,41	1,25 ^e	6,45
P	<0,001		<0,001	

Em que: CV = Coeficiente de variação; P = Probabilidade de erro; Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a um nível de 5% de probabilidade de erro.

Segundo Iwakiri *et al.* (2008), em estudo tratando da influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis de aglomerado constituídos de partículas de *Pinus spp.*, foi observado que as propriedades mecânicas do painel aglomerado são diretamente proporcionais à sua massa específica. Os resultados mostraram que quando houve um aumento na massa específica do painel, ocorreu também um aumento nos valores médios de resistência à compressão axial. Fazendo uma analogia com os corpos de prova constituídos de concreto com substituição parcial e total de areia por serragem de *Pinus elliottii*, verificou-se que ambos os estudos tiveram o mesmo comportamento. À medida que o percentual de serragem em substituição a areia foi aumentado foi observada uma redução na massa específica e resistência do concreto.

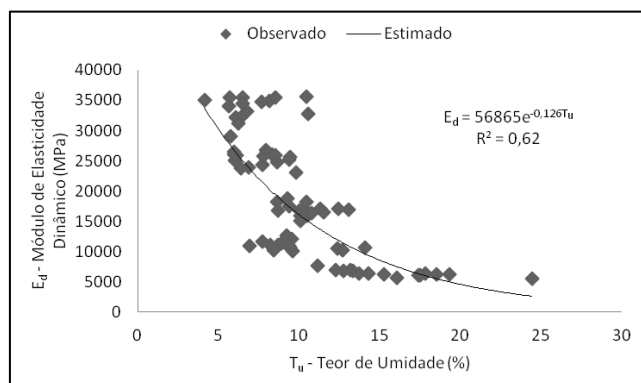
A massa específica real do concreto teve uma variação menos acentuada entre os diferentes tratamentos do concreto, sendo que para os tratamentos T2 e T3, com 25 e 50% de substituição de areia por serragem, assim como para os tratamentos T3 e T4, com 50 e 75% de substituição, não ocorreram diferenças estatísticas significativa a um nível de 5% de probabilidade de erro. A Figura 6 demonstra a relação existente entre o módulo de elasticidade dinâmico obtido no ensaio não destrutivo com o auxílio do ultrassom, em função do teor de umidade do concreto para todos os corpos de prova dos diferentes tratamentos estudados.

Verifica-se, com a regressão exponencial estabelecida para os diferentes tratamentos do concreto, que 62% da variação do módulo de elasticidade dinâmico obtido no ensaio não destrutivo, realizado com o ultrassom pode ser associada com variação ocorrida com o teor de umidade.

Segundo pesquisa realizada por Calegari (2006) sobre o monitoramento do teor de umidade de madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*, sob diferentes temperaturas

de secagem por meio do ultrassom, os resultados indicaram um aumento da velocidade ultrassônica estimada em função da redução do teor de umidade. Dessa forma observa-se que os corpos de prova de concreto tiveram a mesma tendência. A medida que o percentual de serragem em substituição a areia aumentou, houve também um aumento no teor de umidade, conseqüentemente ocorreu à diminuição da velocidade ultrassônica, gerando um menor módulo de elasticidade dinâmico.

Figura 6 – Módulo de elasticidade dinâmico E_d obtido do ensaio não destrutivo em função do teor de umidade T_u obtido por meio de ensaio físico



Com os resultados apresentados, o teor de umidade obtido nos ensaios físicos, pode ser considerado um bom estimador para o módulo de elasticidade dinâmico, determinado por meio do ensaio não destrutivo, com auxílio do ultrassom.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os corpos de prova receberam adensamento vibratório, para ficarem com as características o mais semelhante o possível com as plaquetas de concreto pré-moldado. Porém, sabe-se que, quanto maior o percentual de serragem inserido no concreto, maior a incidência de vazios, o que resultou em menores limites de resistência.

Quando se trabalha com serragem existe a necessidade de prensagem, porém essa não é possível de ser executada no concreto utilizado na empresa parceira deste trabalho. Dessa forma, seria interessante em pesquisas posteriores a realização de prensagem e adensamento manual, o que poderá reduzir a incidência de vazios e aumentar os limites de resistência.

A estabilização foi realizada durante 21 dias ao ar livre e durante sete dias na câmara úmida, para que as características do processo de estabilização ficassem o mais semelhante o possível do utilizado pela empresa. Porém, se a mesma tivesse sido realizada durante os 28 dias na câmara úmida os resultados do limite de resistência poderiam ter sido superiores.

Com o estudo realizado, observou-se que 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.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência a tração por compressão diametral foram superiores aos estimados pelo *American Concrete Institute* – ACI, em função do ensaio de compressão axial. Esse fato possivelmente ocorreu devido à inserção de serragem nos traços dos concretos, formando compósitos diferentes dos concretos comuns, para os quais as normas foram desenvolvidas. Houve uma redução na massa específica do concreto, conforme a elevação do percentual de substituição da areia por serragem, o que, conseqüentemente, ocasionou uma redução na resistência do concreto, porém as peças ficaram mais leves, o que facilitará sua montagem.

O concreto com inserção de serragem, em geral teve uma resistência inferior ao traço referencial, dessa forma sua utilização fica um tanto comprometida para fins estruturais, porém não a restringe totalmente.

O ensaio não destrutivo realizado com o ultrassom pode ser considerado um bom recurso para estimar o módulo de elasticidade dinâmico do concreto, e assim, estimar seu módulo estático.

Uma indicação de uso para as plaquetas com inserção de serragem, seria para a montagem de tapumes de obra, que necessariamente não precisam ser executados com um material de elevada resistência. E por se tratar de uma construção provisória, de curto prazo em alguns casos, facilitaria a montagem e desmontagem dos tapumes devido à redução do peso das plaquetas, além do reaproveitamento das peças para serem utilizadas em outra obra.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M. T. P.; SILVA, A.P; CORRÊA, E. C. S.; CETLIN, P. R. Análise da capacidade de deformação do concreto: Módulo de Young x Módulo de deformação. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais**, 17, 2006. Foz do Iguaçu, PR, p. 3672-3684. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-210-015.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2010.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 363. State-of-the-art report on high-strength concrete, ACI 363R-92 (Reapproved 1997). **ACI Manual of Concrete Practice 2001**. ACI, Detroit, USA, 2001. 55 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7251**: agregado em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.
- _____. **NBR 9479**: câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro, 1984. 2 p.
- _____. **NBR 7217**: agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 5739**: concreto – ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.
- _____. **NBR 7222**: argamassa e concreto – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. **NBR 12655**: concreto – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996. 7 p.
- _____. **NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

- _____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007, 225 p.
- _____. **NBR 7211**: agregados para concreto – classificação. Rio de Janeiro, 2005, 15 p.
- _____. **NBR 9776**: agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987, 3 p.
- _____. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecido – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR NM 45**: agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006, 18 p.
- ALMEIDA, S. F.; HANAI, J. B. **Análise dinâmica experimental da rigidez de elementos de concreto submetidos à danificação progressiva até a ruptura**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, v. 10, n. 44, p. 49-66. São Carlos, SP, 2008.
- BIBLIS, E. J.; LO, C. Sugar and others wood extractives: Effect on the setting of Southern-pine cement mixtures. **Forest Products Journal**. Madison, WI, v. 18, n. 8, p. 28-34, nov. 1968.
- CALEGARI, L. **Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.
- CARVALHO, J. V. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de Eucalipto Grandis na fabricação de compósitos a base de cimento Portland**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.
- DANTAS FILHO, F. P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.
- DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, S. M. Resíduos de Indústria Madeireira: Caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 5, jan. 2005.
- FONTES, P. J. P. **“Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos”**. 1994. Dissertação (Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1994.
- GAZOLA, A. P. **Argamassa de assentamento e revestimento fabricadas com compósito de cimento-madeira: serragem da madeira de Pinus taeda**. 2007. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2007.
- GOMES, A. M.; AGUIAR, J. E.; NETO, H. A.; COSTA, J. U. **Permeabilidade do concreto: um estudo para a avaliação “in situ” usando instrumentos portáteis e técnicas tradicionais**. Departamento de Materiais de Construção da UFMG. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2003.
- HILLIG, E.; SCHNEIDER, V. E.; WEBER, C.; TECCHIO, R. D. Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. **XXVI ENEGEP**. Fortaleza, CE, Brasil, out., 2006.
- IWAKIRI, S.; STINGHEN, A. B. M.; SILVEIRA, E. L.; ZAMARIAN, E. H. C.; PRATA, J. G.; BRONOSKI, M. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**. Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set., 2008.
- JUNIOR, T. F. S.; **Estruturas de concreto armado**. Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. Disponível em: <<http://www.dea.uem.br/disciplinas/concreto/CAP1-CA.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2010.
- MANZANARES, K.; VELAZQUEZ, D.; VALDES, J. L.; MARTINEZ, O.; MORALES, Y. F. Aptitud del material de raleo de tres especies forestales para formar aglomerados com cemento. **Revista Baracoa**, v. 21, n. 1, p. 59-73, 1991.
- MUSSI, E. T. Concreto. **Tecnologia da Edificação I – Arquitetura e Urbanismo**. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.arq.ufsc.br/arq5661/Estruturas3/madeira.html>>. Acesso em: 21 out. 2010.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2 ed. Tradução por Salvador E. Giammuso, São Paulo, SP, Pinni, 1997, 749 p.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 14 ed. Revisado por Paulon, V. A. São Paulo, Globo, 2005, 307 p.
- PICCOLI, G. M. **Engemat**. A importância de determinação experimental do módulo de elasticidade do concreto. Disponível em: <http://www.engemat.com.br/ShowMateria.asp?var_chave=reg=133>. Acesso em: 13 out. 2010.
- PIMENTEL, L. L. **Durabilidade de argamassas modificadas por polímeros e reforçadas com fibras vegetais**. 2004. 124 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.
- QUIRINO, W. F.; AZEVEDO, A. C. S. Aumento da estabilidade na madeira de eucalipto através de tratamento térmico. **Revista da Madeira**. n. 98, ago. 2006. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=937&subject=Eucalipto&title=Aumento%20da%20estabilidade%20na%20madeira%20de%20eucalipto%20atrav%20E9s%20de%20tratamento%20t%20E9rmico>. Acesso em: 24 out. 2010.
- QUIRINO, W. F.; BORGES, L. M. Higroscopicidade da madeira de Pinus caribaea tratado termicamente. **Revista da Madeira**. n. 89, abr. 2005. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=736&subject=E%20mais&title=Higroscopicidade%20da%20madeira%20de%20Pinus%20caribaea%20%20tratado%20termicamente>. Acesso em: 24 out. 2010.
- ROCHA, J. C. **Relatório final: aproveitamento dos resíduos de madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.
- SANTANA, L. L.; COSTA, F. N. **Análise da resistência à compressão de concretos com cura úmida e sem cura**. Materiais de Construção. Engenharia Civil, Universidade Católica de Salvador, Salvador, BA, 2009.