



Propriedades mecânicas do concreto autoadensável com adição de cinzas de madeira

Mechanical properties of self-consolidating concrete containing wood ash

Lara Victória Meotti de Souza*, Gustavo Savaris[†],
Alisson Pech[‡], Fernando Nunes Cavalheiro[§], Marcos Vinicius Schlichting[¶],

RESUMO

O concreto autoadensável (CAA) proporciona menor tempo de concretagem, melhor acabamento e qualidade, entre outros aspectos que o destacam quando comparado com o concreto convencionalmente vibrado, e, desta forma, seu uso vem aumentando, principalmente em indústrias de pré-moldados. Em sua composição o CAA demanda uma grande quantidade de materiais finos, e diversos estudos avaliam a utilização de resíduos industriais como uma opção sustentável. O objetivo deste trabalho foi avaliar, através de um programa experimental, as propriedades físicas e mecânicas do concreto autoadensável, produzido com substituição parcial do cimento, em volume, por cinzas de madeira provenientes de caldeiras industriais. A partir de uma dosagem de concreto autoadensável de referência, produzido com cimento Portland CII-Z-32, agregados, água, filer calcário e aditivo superplastificante, foram definidas três composições com substituições nas proporções de 5%, 10% e 20%. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade da utilização de cinzas de madeira como substituição parcial do cimento em volume, porém como devido à redução das resistências mecânicas, conclui-se que a substituição de cinzas no concreto é viável em baixas proporções.

Palavras-chave: concreto autoadensável, cinza de madeira, cinza de madeira, resíduos, sustentabilidade.

ABSTRACT

Self-consolidating (SCC) concrete provides reduction in casting time, better finishing and quality, among other aspects that make it stand out when compared to conventional vibrated concrete, and, therefore, its use has been increasing, especially in precast industries. In its composition, SCC demands a large amount of fine materials, and several studies evaluate the use of industrial residues as a sustainable option. The objective of this work was to evaluate, through an experimental program, the physical and mechanical properties of self-consolidating concrete, produced with partial replacement of cement by wood ash from industrial boilers. Considering a self-consolidating reference concrete dosage, produced with Portland cement CII-Z-32, aggregates, water, limestone filler and superplasticizer, three compositions were defined with substitution in the proportions of 5%, 10% and 20%. The results obtained demonstrate the feasibility of using wood ash as a fine material for CAA production, however, due to reduction in mechanical properties, low proportions of substitution are practicable.

Keywords: self-consolidating concrete, wood ash, residues, sustainability.

* Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; lameotti@hotmail.com

[†] Professor adjunto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; gsavaris@utfpr.edu.br

[§] Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; fernandonunescavalheiro@hotmail.com

[‡] Graduando em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; alisson_pech@hotmail.com

[¶] Técnico de laboratório, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; mvinicius@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) teve seu desenvolvimento no Japão, durante a década de 1980, visando possibilitar a concretagem de peças esbeltas, com alta taxa de armadura e aumentar a durabilidade das estruturas. O CAA não necessita vibração e transpõe-se pelos obstáculos, ultrapassa e envolve armaduras, preenchendo a forma do elemento estrutural de maneira homogênea, apenas pelo peso próprio, proporcionando uma aplicação mais rápida e fácil, diminuindo o uso de mão de obra, acabando também com o barulho de vibradores e defeitos de concretagem nas obras (PEREIRA, 2010; REPETTE, 2011).

Devido a um menor tempo de concretagem, melhor acabamento e qualidade, entre outros aspectos que o destacam quando comparado com o concreto vibrado, o CAA vem aumentando seu uso ao longo dos anos ao redor de todo o mundo, principalmente em pré-moldados e pré-fabricados (BARROS, 2009).

O aglomerante tradicionalmente mais utilizado na produção de concretos é o cimento Portland, e sua produção acarreta a emissão de dióxido de carbono na atmosfera, tornando assim, o clínquer, que está presente em cerca de 95% de sua composição juntamente com o gesso, um dos principais responsáveis pela emissão global desse gás. A estimativa é de que a cada tonelada de cimento produzido seja emitida 1 tonelada de dióxido de carbono (FAIRBAIRN, 2010).

O estudo da utilização de resíduos em concretos ajuda a minimizar os danos do mal descarte e também contribui para a produção de um concreto verde, trazendo benefícios ecológicos e econômicos, diminuindo os gastos com cimento e melhorando também as propriedades do concreto (NAIK, 2002; GORPHADE, 2012; BORTOLETTO, 2017). A cinza de madeira é um subproduto gerado durante a combustão de madeira para a produção de energia em moinhos, indústrias, serrarias, entre outros. A utilização de cinzas como substituição de parte cimento, tornou-se importante recentemente, por conta dos indevidos descartes associados a esse material.

Ensaio realizados por Nascimento et al. (2016) utilizando a adição de três porcentagens de cinzas de madeira (5%, 10% e 15%) para uma determinada dosagem de concreto, verificaram que a fluidez do concreto e resistência do concreto diminuíram proporcionalmente ao aumento da adição, dessa forma também foi observado que os concretos que possuíam maior porcentagem de cinzas obtiveram uma considerável diminuição em sua exsudação, devido ao aumento de finos, tornando o concreto mais coeso em comparação a concretos convencionais.

Entretanto, para Ghorpade (2012), a substituição parcial do cimento por cinzas de madeira fez com que elas atuassem como preenchedoras de vazios microestruturais no compósito cimentício, dessa maneira o autor chegou à conclusão de que adição ideal desse resíduo estaria em cerca de 10% da massa de cimento, mantendo as resistências a tração e compressão axial próximas aos valores do concreto de referência.

Desta forma, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as propriedades mecânicas de uma dosagem de concreto autoadensável quando realizada a substituição do cimento por cinza de madeira.

* Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; larameotti@hotmail.com

† Professor adjunto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; gsavaris@utfpr.edu.br

§ Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; fernandonunescavalheiro@hotmail.com

‡ Graduando em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; alisson_pech@hotmail.com

¶ Técnico de laboratório, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; mvincius@utfpr.edu.br



2 MATERIAIS E MÉTODO

Um programa experimental foi desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Toledo, avaliando os efeitos da substituição de cimento por cinzas, oriundas da queima de madeira em caldeiras, nas propriedades físicas e mecânicas do concreto autoadensável.

2.1 Materiais

Para produção do concreto utilizou-se como aglomerante o cimento composto Portland CP-II-Z-32, como agregado miúdo foi utilizada areia natural de origem quartzosa, com massa específica seca igual a $2,56 \text{ g/cm}^3$ e módulo de finura igual a 1,59, e como agregado graúdo rocha britada de origem basáltica, com massa específica seca igual a $2,64 \text{ g/cm}^3$ e dimensão máxima característica igual a 9,52 mm. Os agregados foram caracterizados seguindo as normas NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 53 (ABNT, 2009) e NBR NM 52 (ABNT, 2009).

O filer calcário calcítico foi utilizado no concreto autoadensável como maneira de aumentar a viscosidade sem interferir na resistência à compressão do concreto. Além disso, para garantir a elevada fluidez e permitir a redução da água foi utilizado aditivo superplastificante a base de policarboxilato de sódio. As cinzas de caldeira foram obtidas em uma indústria do ramo alimentício localizada na região oeste do estado do Paraná, oriunda da queima de madeira de eucalipto, com massa específica determinada por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier, seguindo as recomendações da NBR 16605 (ABNT, 2017), e resultando em $2,73 \text{ g/cm}^3$.

2.2 Produção do concreto autoadensável

O traço de materiais do concreto autoadensável de referência foi definido considerando as recomendações de EFNARC (2005) e neste traço foi realizada a substituição parcial do cimento em volume por cinzas nas proporções de 5%, 10% e 20%. Na Tabela 1 são apresentadas as quantidades de cada material para a produção de 1 m^3 de concreto autoadensável.

Tabela 1 – Quantidade de material para a produção de 1 m^3 de concreto autoadensável, em kg.

MATERIAL	REF	5%	10%	20%
Cimento	363,6	345,5	327,3	290,9
Areia	896,0	896,0	896,0	896,0
Brita	660,0	660,0	660,0	660,0
Água	200,0	200,0	200,0	200,0
Fíler	220,6	220,6	220,6	220,6
Cinza	-	16,5	33,1	66,2
Aditivo	0,70	0,80	0,80	0,80

Fonte: Os autores (2021).

* Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; larameotti@hotmail.com

† Professor adjunto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; gsavaris@utfpr.edu.br

§ Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; fernandonunescavalheiro@hotmail.com

‡ Graduando em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; alisson_pech@hotmail.com

¶ Técnico de laboratório, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; mvincius@utfpr.edu.br



Os materiais foram misturados em uma betoneira de eixo inclinado, sendo produzidos 50 litros de concreto em cada betonada. O aditivo superplastificante foi dosado durante a produção do concreto, iniciando com a quantidade correspondente a 0,1% da massa de cimento e ajustado com base nos resultados do ensaio de espalhamento.

Os concretos foram avaliados no estado fresco quanto ao espalhamento, habilidade passante e viscosidade, conforme a norma NBR 15823 (ABNT, 2017), e no estado endurecido, aos 28 dias de idade, foram avaliadas as resistências à compressão axial, à tração por compressão diametral e o módulo de elasticidade, conforme normas NBR 5739 (ABNT, 2018), NBR 7222 (ABNT, 2011) e NBR 8522 (ABNT, 2017), respectivamente, utilizando corpos de prova cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

3 RESULTADOS

3.1 Propriedades dos concretos no estado fresco

Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades dos concretos produzidos no estado fresco, sendo obtidas a partir dos ensaios de espalhamento, funil V e caixa L.

Tabela 2 – Características dos concretos no estado fresco.

CONCRETO	ESPALHAMENTO	FUNIL V	CAIXA L
REF	650	4,5	0,93
C05	615	6,0	0,8
C10	708	5,2	0,9
C20	684	5,2	0,68

Fonte: Os autores (2021).

Conforme os resultados apresentados, os concretos REF, C05 e C10 podem ser classificados como autoadensáveis, apresentando boa viscosidade e fluidez, possuindo a capacidade de transpor-se por armaduras e entregando um bom acabamento final. No ensaio para a determinação do espalhamento (SF), realizado no cone Abrams, todos os concretos apresentaram resultados satisfatórios, com espalhamento acima de 600mm, assim como o tempo de escoamento do funil V foi inferior a 10 segundos em todos os concretos autoadensáveis produzidos.

Entretanto, no ensaio de verificação da habilidade passante, o concreto C20 apresentou resultado não foi satisfatório, considerando os critérios da norma, com razão entre a altura no final e início do trecho horizontal da caixa L inferior a 0,8. Isso se deve ao aumento da viscosidade do concreto com o aumento do teor de cinzas, não apresentando capacidade necessária para se autonivelar. Apesar de Nascimento et al. (2016) verificar que ao aumentar a quantidade de cinzas, a trabalhabilidade do concreto é reduzida, diminuindo a fluidez, neste trabalho observa-se que a fluidez não foi afetada, uma vez que o espalhamento e o tempo de funil V apresentaram resultados semelhantes ao concreto de referência.

* Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; larameotti@hotmail.com

† Professor adjunto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; gsavaris@utfpr.edu.br

§ Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; fernandonunescavalheiro@hotmail.com

‡ Graduando em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; alisson_pech@hotmail.com

¶ Técnico de laboratório, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; mvincius@utfpr.edu.br



3.2 Propriedades dos concretos no estado endurecido

Na Tabela 3 são apresentadas as médias e os desvios padrão das resistências à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$) e compressão axial (f_c), e o módulo de elasticidade (E), com base nos resultados obtidos para os 5 corpos de prova ensaios para cada mistura de concreto.

Tabela 3 – Resistência à tração, compressão e módulo de elasticidade dos concretos no estado endurecido.

Propriedade mecânica	REF	C05	C10	C20
$f_{ct,sp}$ (MPa)	2,71	2,58	1,97	1,99
Desvio Padrão (MPa)	0,28	0,21	0,18	0,13
f_c (MPa)	27,66	27,54	15,02	15,36
Desvio Padrão (MPa)	1,17	0,62	0,47	0,48
E (GPa)	28,7	28,6	24,46	23,82
Desvio Padrão (GPa)	0,21	1,91	1,13	1,93

Fonte: Os autores (2021).

A substituição do cimento por cinzas resultou em redução das resistências à tração e compressão e do módulo de elasticidade do concreto, sendo maiores os efeitos para teores de 10 e 20%. A substituição de 5% do volume de cimento por cinzas não apresentou variação considerável da resistência à compressão axial, enquanto para teores de 10% e 20% essa redução foi mais acentuada, em torno de 45%. Para resistência à tração e módulo de elasticidade, a variação destas propriedades mecânicas foi inferior a 10% quando substituído somente 5% do volume de cimento por cinzas, chegando próximo de 20% e 30% para resistência à tração e módulo de elasticidade, respectivamente, nos concretos C10 e C20.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no programa experimental conclui-se que a cinzas de madeira oriundas de caldeira podem ser utilizadas para a produção dos concretos como substituição parcial do cimento em baixos teores, inferiores a 5%, sem que ocorram grandes reduções nas propriedades mecânicas do material.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq através de bolsa de pesquisa concedida à primeira autora deste artigo. Desta forma, os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de pesquisa, à UTFPR e ao Grupo de Pesquisa em Materiais e Estruturas pelo suporte para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro. 2009.

* Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; larameotti@hotmail.com

† Professor adjunto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; gsavaris@utfpr.edu.br

§ Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; fernandonunescavalheiro@hotmail.com

‡ Graduando em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; alisson_pech@hotmail.com

¶ Técnico de laboratório, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; mvincius@utfpr.edu.br



- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-1: **Concreto autoadensável, Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco.** Rio de Janeiro. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: **Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão.** Rio de Janeiro. 2017.
- BARROS, A. R.; GOMES, P. C. C.; BARBOZA, A. D. S. R. **Avaliação do comportamento de vigas de concreto autoadensável reforçado com fibras de aço.** Maceió, Pernambuco, 2009.
- BORTOLETTO, M.; GUIMARÃES, P. V. C.; SILVA, R. G. da; AKASAKI, J. L. **Avaliação do resíduo Cinza da Madeira de Eucalipto como substituição parcial da areia em argamassas de cimento.** Revista científica ANAP Brasil v.10, n.18, p 81-83. Tupã, São Paulo, 2017.
- EFNARC. **The European Guidelines for Self Compacting Concrete.** The Self-Compacting Concrete European Project Group. 63p., 2005.
- FAIRBAIRN, E. M. R.; AMERICANO, B. B.; CORDEIRO, G. C.; PAULA, T. P.; TOLEDO FILHO, R. D.; SILVOSO, M. M.; **Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO2 emissions reduction and potential for carbon credits.** Journal of Environmental Management, v. 91, n. 9, p.1864-1871, set. 2010.
- GORPHADE, V. G.; **Effect of Wood Waste Ash on the Strength Characteristics of Concrete.** Nature Environment and Pollution Technology V. 11, p 121-124. Andhra Pradesh, India, 2012.
- NAIK, T. R.; **Greener Concrete using Recycled Materials.** Concrete International. p 45, julho 2002. Farmington Hills, Miami, EUA.
- NASCIMENTO, J. E. M. F. do; SANTOS, H. M. M.; SOARES NETO, M. F.; SILVA JÚNIOR, J. C. C. **Avaliação das propriedades dos concretos nos estados frescos e endurecidos após a adição de cinza de madeira.** Cienteficov.16, n.34, Fortaleza, Ceará, 2016.
- PEREIRA, T. A. C. **Concreto auto-adensável, de alta resistência, com baixo consumo de cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Departamento de estruturas, EESC. Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2010.
- REPETTE, W. L. **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações.** Capítulo 49. IBRACON, 2011.

* Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; larameotti@hotmail.com

† Professor adjunto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; gsavaris@utfpr.edu.br

§ Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; fernandonunescavalheiro@hotmail.com

‡ Graduando em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; alisson_pech@hotmail.com

¶ Técnico de laboratório, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; mvincinius@utfpr.edu.br