

RESÍDUO DE CONCRETO COMO SUBSTITUTO AO CIMENTO: AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DAS EMISSÕES

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081128

OLIVEIRA; DAYANA RUTH BOLA[1]; LEITE; GABRIELA[2]; POSSAN; EDNA[3]; MARQUES FILHO; JOSÉ[4];
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ; [2]UNIVESIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA; [3]UNIVESIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA; [4]UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: EPOSSAN@GMAIL.COM

RESUMO: Avaliou-se a resistência à compressão e as emissões de CO_2 de matrizes de Cimento Portland (CP) com substituição de resíduo de concreto (RC) de 0%, 7%, 15% e 25%, em função do tempo de processamento do resíduo (0, 0,5., 2 e 6 h). Os resultados indicam que a resistência à compressão na matriz com 15% e 25% de resíduo tratado, atende às exigências para a classe C40 e C32 da norma técnica brasileira de CP, com potencial de mitigar as emissões por tonelada de cimento em até 25%. Com o emprego do resíduo foi possível reduzir 13% do consumo de cimento/MPa aos 91 dias.

PALAVRAS-CHAVES: Resíduo de concreto. Tratamento de partículas. Emissões de CO_2.

ABSTRACT: Compressive strength and CO_2 emissions of Portland cement (CP) cement matrices were evaluated, with replacement of 0%, 7%, 15% and 25% of concrete waste as a function of waste processing time (0, 0.5, 2 and 6 h). The results indicate that the compressive strength in the matrix with 15% and 25% of treated waste, meets the requirements for class C40 and C32 of the Brazilian technical standard for PC, with the potential to mitigate emissions per ton of cement by up to 25%. With the use of concrete waste, it was possible to reduce 13% of cement consumption/MPa at 91 days.

KEYWORDS: Concrete waste. Particle treatment. CO_2 emissions.

1 | INTRODUÇÃO

Tendo em vista que as emissões de CO_2 oriundas da indústria cimenteira corresponde cerca de 5 a 7% das emissões antropogênicas (Bordy et al., 2017[5]; Scrivener et al., 2018[9]; SNIC, 2019[10]), provenientes sobretudo da descarbonatação das rochas carbonáticas no processo de clinquerização, e que esta etapa é responsável por 70% das emissões totais da fabricação do cimento (SNIC, 2019[10]), ações globais como o Acordo de Paris (2015) e Agenda 2030 (2016-2030), voltadas à redução dos impactos ambientais antropodinâmicos, associadas principalmente à produção de clínquer de cimento Portland são de grande importância. Perfaz a perspectiva de que crescimento da demanda de cimento Portland até 2050 atinja o patamar de 6 bilhões de toneladas (Scrivener et al., 2018[9]), resultantes da necessidade em edificar e manter o ambiente construído, do elevado déficit habitacional e de infraestrutura e da expectativa de crescimento populacional.

Neste contexto, o do resíduo de concreto (RC) em substituição ao cimento Portland, pode ser uma alternativa para redução das emissões associadas ao cimento e à problemática da disposição de resíduos. Além de ser uma estratégia para a produção de matrizes com baixo consumo de clínquer (kg/m³/MPa) e de resistências que atendam aos parâmetros normativos. Para tanto, neste estudo são apresentados os resultados da resistência à compressão e de emissões do cimento Portland, produzido com diferentes teores e tempos de processamento do resíduo de concreto para emprego como substituto ao cimento.

2 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de determinar a influência do resíduo de concreto, quando empregado em substituição ao cimento Portland, fez-se a avaliação da resistência à compressão do cimento empregando-se os procedimentos da NBR 7215[(2)], conforme proporções apresentadas na Tabela 1. Para o traço fixo 1:3:0,48, foram realizadas substituições em volume de cimento Portland por Resíduo tratado de 0, 7, 15 e 25%. A determinação da resistência à compressão foi conduzida aos 28 e 91 dias, tomando-se a média de 4 amostras cilíndricas (50mm x 100mm) para cada idade, curadas em água saturada de cal.

Utilizou-se cimento CP V ARI com massa específica de 3,09 g/cm³ e finura Blaine 4.459 cm²/g. Como agregado miúdo, foi empregado areia normal com distribuição granulométrica #16 (1,18mm), #30 (0,60mm), #50 (0,30mm) #100 (0,150mm) conforme NBR 7215[(2)].

O resíduo avaliado foi obtido pelo processamento de corpos de prova de concretos descartados submetido a diferentes tipos de tratamento físico e mecânico (devido a questões de sigilo, o processo de tratamento não é apresentado neste artigo).

Resíduo (RCF)		Consumo material (kg/m³)		Emissões CO_2		Fc (91 dias)	Índice de ligante (Kg.C/MPa)
Teor (%)	Moagem (h)	Cimento Portland (C)	RCF	Cimento de RCF (kg/t)	Argamassa (Kg/m³)		
0	Ref	512,2	0,0	866,0	443,6	50,4	10,2
7	0h	476,4	35,9	805,7	412,7	31,0	15,4
	0,5h	476,4	35,9	806,4	413,0	41,7	11,4
	2h	476,4	35,9	808,6	414,2	42,4	11,3
	6h	476,4	35,9	814,6	417,3	48,9	9,8
15	0h	435,4	76,8	736,7	377,4	33,4	13,0
	0,5h	435,4	76,8	738,3	378,1	43,6	10,0
	2h	435,4	76,8	743,1	380,6	46,9	9,3
	6h	435,4	76,8	755,9	387,2	38,5	11,3

25	0h	384,2	128,1	650,5	333,2	32,0	12,0
	0,5h	384,2	128,1	653,1	334,5	30,7	12,5
	2h	384,2	128,1	661,2	338,7	33,8	11,4
	6h	384,2	128,1	682,6	349,6	29,9	12,9

Tabela 1 – Consumo de materiais para produção de 1m³ de argamassas, emissões do cimento e dos compósitos de RCF e índice de ligante (kg de cimento para produção de 1 MPa)

Fonte: Os autores (2021)

A massa específica dos materiais foi determinada de acordo com a NBR 16605[3] pelo método de *Le chatelier*. A finura Blaine foi realizada em equipamento Polyperm 200 – ACP Instruments. A granulometria à laser foi conduzida em granulômetro (Cilas 1190). O ensaio de BET em equipamento Quantachrome Nova 3200e. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi conduzida em equipamento Zeiss – EVO MA10. A atividade pozolânica foi realizada com base à NBR 5752[1]. A difração de raios X (DRX) em difratrômetro Panalytical e banco de dados Crystallography Open Database. A análise química por fluorescência de raios-x (FRX) em espectrômetro Panalytical Axios Max.

Para a análise das emissões foi considerada a média dos limites máximos e mínimos da NBR 16697[4] e 3,5% de teor de sulfato de cálcio presente na composição do cimento. Adotou-se que a produção de cada tonelada de clínquer emite 866kg.CO_2/t (WBCSD, 2016)[11]. Para o beneficiamento do resíduo as emissões calculadas forma na ordem de 333kg.CO_2/t a 444kg.CO_2/t, dependendo do tipo de tratamento empregado). Não foram consideradas as emissões de transporte. O índice de ligante (kg.C/MPa) indica quantos kg de cimento foram empregados para a obtenção de 1 MPa, correspondendo à relação entre o consumo de cimento Portland empregado na mistura e a resistência à compressão obtida na idade de 91 dias.

3 | DISCUSSÕES DE RESULTADOS

3.1 Caracterização dos materiais

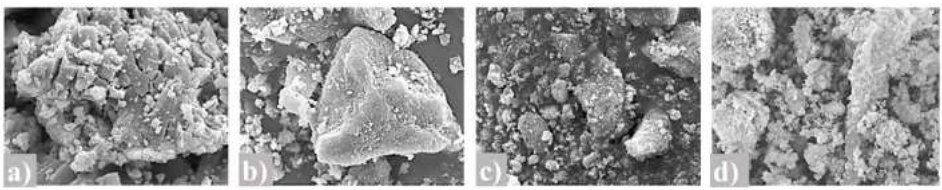
O resíduo obtido como parâmetro inicial (0h) apresentou índice de atividade pozolânica de 66,18%, abaixo do limite mínimo recomendado pela NBR 5752[1] de 90%.

Na Figura 1 tem-se a relação entre o diâmetro médio e a finura Blaine do resíduo de concreto em função do tratamento empregado. Observa-se que nas primeiras horas de processamento, tem-se aumento considerável da área superficial das partículas. A partir de 6 horas de cominuição, observa-se baixa eficiência no processo considerando a energia e o tempo necessários para elevação da área superficial. Assim, neste estudo foram empregados resíduos cominuídos por 0,5, 2 e 6 horas, sendo observado nas micrografias (figura 2) aglomerados de partículas do resíduo de aspecto poroso e esponjoso referente à superfície hidratada e aos poros capilares finos do resíduo.



Figura 1 –Diâmetro médio e finura Blaine do RCF em função do tempo de moagem

Fonte: Os autores (2021)



Imagens MEV do RCF a) RCF0h magnificação:10.000x b) RCF0.5h magnificação: 10.000x c) RCF2h magnificação: 10.000x d) RCF6h magnificação: 10.000x

Figura 2 – Imagens de microscopia eletrônica de varredura

Fonte: Os autores (2021)

Verifica-se na Tabela 2 que quanto maior o tempo de tratamento, maior a massa específica dos resíduos e menores os diâmetros médios obtidos pelo ensaio de granulometria à laser. Em relação ao resíduo 0h, o d50 são inferiores em: 56% 0.5h, 75% 2h e 83% 6h, respectivamente.

Materiais	CP V- ARI	0h (#100)	0.5 h	2 h	6 h
ρ (g/cm³)	3,14	2,57	2,61	2,71	2,73
Blaine (cm²/g)	4215,70	1732,30	4350,70	6583,00	7160,00
Diâmetro médio (µm)	14,53	54,85	24,31	13,51	9,27
BET (cm²/g)	65.750	96.690	99.510	74.370	51.370

Tabela 2 – Resultados da caracterização física dos materiais

Fonte: Os autores (2021)

Nos difratogramas (Figura 3) é possível observar que as principais fases em comum encontradas nos materiais correspondem à Alita e Calcita. No resíduo tem-se predominância de quartzo, que advém do agregado miúdo natural empregado na produção do concreto que deu origem ao resíduo, corroborando com as análises de FRX (Tabela 3) que indicaram elevados teores de sílica (SiO2 > 40%), e baixos teores de CaO (três vezes inferior ao cimento).

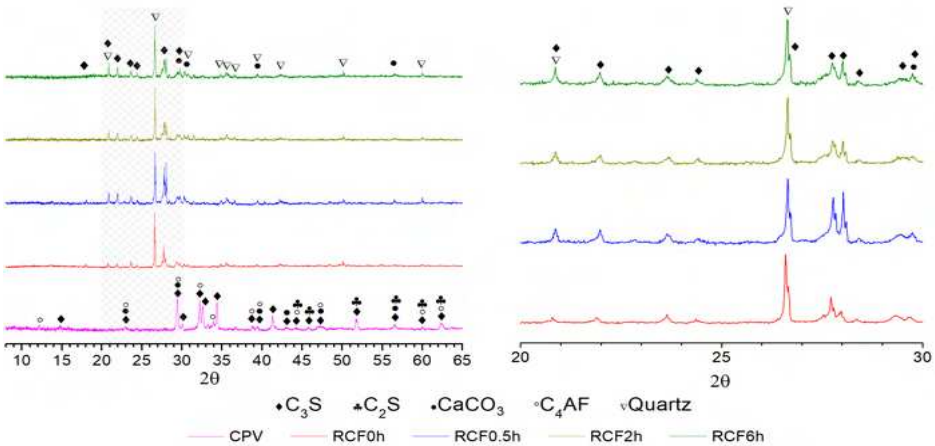


Figura 3 – Análise de DRX dos materiais

Fonte: Os autores (2021)

Material	SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	Na_2O	TiO_2	K_2O	SO_3	Perda ao Fogo
CPV	19,7	60,9	3,1	4,6	2,5	0,2	0,2	0,8	3,9	3,6
RCF0.5h	43,1	18,5	11,8	10,0	2,5	1,3	1,8	1,1	0,8	8,3
RCF2h	43,1	18,5	11,6	9,7	2,7	1,2	1,7	1,1	0,9	8,8
RCF6h	44,2	17,5	11,7	9,6	2,7	1,3	1,7	1,1	0,8	8,7

Tabela 3 – Fluorescência de raios-x dos materiais

Fonte: Os autores (2021)

3.2 Desempenho mecânico das argamassas

Nota-se o aumento gradativo da resistência à compressão conforme o avanço das idades de hidratação (Figura 4). Foi constatado que a adição de 7% e 15% de resíduo, independente do processo de tratamento, conduziram a resistências mecânicas que atendem ao parâmetro normativo do cimento Portland classe 32 MPa, aos 28 dias. Todas as matrizes com teores de 7% de resíduo e 15% de RC 2h atingiram o patamar C40 aos 28 dias e aos 91 dias as matrizes contendo 15% de RC 0.5h. Denota-se que a longo prazo, as argamassas com resíduo tendem a apresentar incrementos de resistência, compensando o processo de dissolução comentado por John et al.(2018)[7].

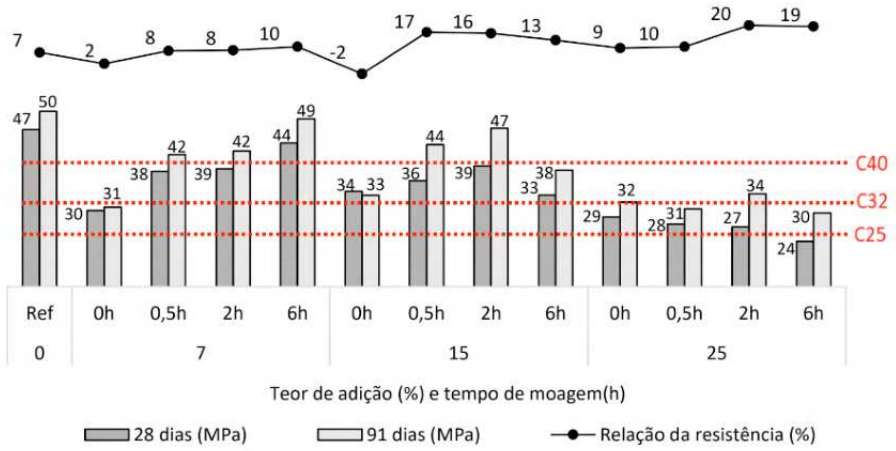


Figura 4 – Efeito do tempo de moagem e teores de substituição na resistência à compressão e emissões de CO_2

Fonte: Os autores (2021)

3.3 Emissões e índice de ligante

Todas os cimentos produzidos (tabela 1 e figura 5) são menos emissivos que o de referência (CP V ARI), chegando-se a patamares de redução da ordem de 25% de kg.CO_2/t de cimento de RC produzido (25% de resíduo a 0h). Quanto maior o teor de substituição de cimento Portland por resíduo tratado menor as emissões de CO_2 associadas por tonelada de produto. Já o aumento do tempo de tratamento do resíduo eleva as emissões de CO_2 por tonelada de cimento, porém essa elevação não suplanta as emissões advindas do clínquer.

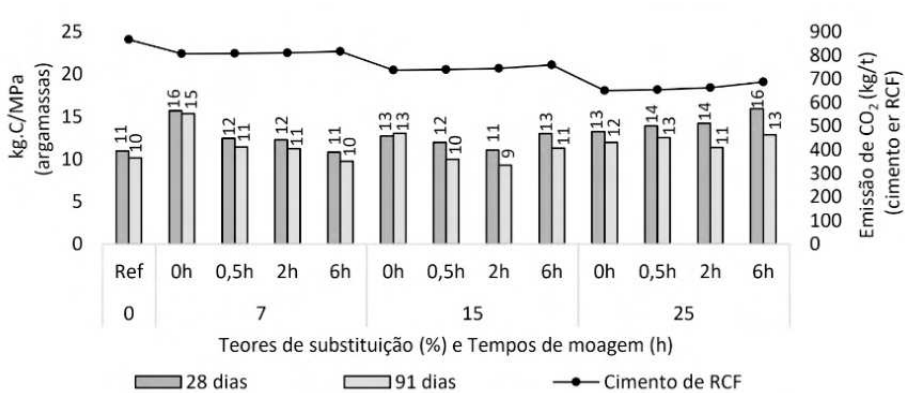


Figura 5 – Índice de ligante (kg.C/MPa) e emissões de CO_2 do cimento de RCF (kg/t)

Fonte: Os autores (2021)

Em relação ao índice de ligante, constata-se na tabela 1 e figura 5 que as argamassas produzidas com 15% de resíduo em substituição ao cimento Portland apresentaram melhor desempenho, para os tempos de tratamento de 0,5 e 2 horas com 10 e 9,3 kg.C/MPa, respectivamente. Para 25% de substituição, foram obtidos resultados similares ao de referência apenas aos 91 dias para o resíduo tratado por 2 horas (11,4 kg.C/MPa). Sugere-se que novos estudos sejam conduzidos considerando o emprego de aditivo superplastificante, a absorção de água do resíduo e outros processos de tratamento de partículas. É importante que a matriz a base de cimento com o resíduo de concreto seja avaliada quanto aos aspectos de durabilidade.

4 | CONCLUSÕES

Foram produzidos cimentos com resíduo de concreto com até 25 % de substituição ao cimento Portland, sendo quanto maior o tempo de tratamento, maior a resistência à compressão obtida, para os três teores de substituição avaliados. Com 25% de substituição foi possível produzir cimentos que atendem a classe de resistência C32. Com os teores de 7% e 15%, atingiu-se a classe C40. O incremento mais expressivo de resistência à compressão ao longo do tempo se deu aos 91 dias. Foi demonstrado que as matrizes com resíduo apresentam potencial de mitigar as emissões por kg.CO_2/t em até 25%, além de reduzir o consumo de ligante/MPa em até 13%. Dado o volume de concreto produzido anualmente em todo o mundo e ao volume de resíduo de construção e demolição gerado, essa incorporação é promissora para elaboração de cimentos menos emissivos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação científica à Gabriela Leite. À Unila pelo fomento à pesquisa. Ao Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais (LADEMA) e ao Laboratório Interdisciplinar em Ciências Físicas (LICF) pelo apoio à pesquisa experimental.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5752:** Materiais pozolânicos -Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7215:** Cimento Portland-Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

5. BORDY, A.; YOUNSI, A.; AGGOUN, S.; FIORIO, B. Cement substitution by a recycled cement paste fine: Role of the residual anhydrous clinker. **Construction and Building Materials**, v. 132, p. 1–8, 2017. Elsevier Ltd.

6. CZIGLER, T et al. Laying the foundation for zero-carbon cement: The cement industry is a top source of CO2 emissions, but abatement pressures could prompt efforts to reimagine the business. **Mckinsey e Company**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 2, p. 9, 2020.

7. JOHN, V. M.; DAMINELI, B. L.; QUATTRONE, M.; PILEGGI, R. G. Fillers in cementitious materials - Experience, recent advances and future potential. **Cement and Concrete Research**, 1. dez. 2018. Elsevier Ltd.

8. PAZ, C. F. **Inventário do ciclo de vida aplicado à produção de agregados a partir de resíduos de construção e demolição.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

9. SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 2–26, 2018. Elsevier Ltd.

10. SNIC; ABCP**. Roadmap tecnológico do cimento**. Rio de Janeiro, 2019.

11. WBCSD, W. B. C. FOR S. D**. Getting the numbers right project - Reporting CO_2** (GNR Project). Disponível em: <https://www.wbcsdcement.org/GNR-2016/>.