
AVALIAÇÃO TÉCNICA E AMBIENTAL DE CONCRETOS CONTENDO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA COMO SUBSTITUIÇÃO COMBINADA DE CIMENTO E AGREGADO MIÚDO

TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF CONCRETES CONTAINING RED CERAMIC RESIDUE AS COMBINED REPLACEMENT OF CEMENT AND FINE AGGREGATE

Elaine Aparecida Machado da Motta¹

Tania Valentim de Lima Fantin²

Tatiane Isabel Hentges³

Resumo: Entre os principais desafios enfrentados pelo setor da construção civil está a necessidade de minimização dos impactos ambientais gerados pelas suas atividades, principalmente a extração de recursos naturais, a geração de resíduos e emissões atmosféricas. Estudos que empregaram o resíduo de cerâmica vermelha (RCV) em concretos indicam o potencial de aproveitamento deste material tanto como agregado miúdo quanto como material cimentício suplementar. Neste contexto, a presente pesquisa buscou avaliar a influência de substituições parciais unitárias e combinadas de cimento e de agregado miúdo natural por resíduo de cerâmica vermelha cominuído. Observou-se que o RCV aplicado nesta pesquisa reduziu a fluidez no estado fresco das misturas de concreto e, no estado endurecido, apresentou baixa ou nenhuma atividade pozzolânica, não contribuindo na resistência a compressão dos concretos desenvolvidos. Entretanto, a resistividade elétrica indica preenchimento de poros. Por fim, as emissões relativas dos concretos com RCV demonstram que o aproveitamento do resíduo gera um desempenho similar ao de referência.

Palavras-chaves: resíduo de cerâmica vermelha, concreto, resistência a compressão, emissão de CO₂

Abstract: *One of the main challenges facing the construction industry is the need to minimize the environmental impacts caused by its activities, especially the extraction of natural resources, the waste generation and atmospheric emissions. Studies using red ceramic waste (RCW) in concretes indicate the potential use of this material as fine aggregate and supplementary cementitious material. In this context, the present research aimed to evaluate the influence of unitary and combined partial substitutions of cement and natural fine aggregate by milled red ceramic waste. It was observed that the RCW applied in this research reduced the slump loss of the concrete mixtures and, in the hardened state, RCW presented little or no pozzolanic activity, not contributing to the compressive strength of the developed concretes. However, electrical resistivity indicates pore filling. Finally, the relative emissions of concrete with RCW show that the use of waste generates a similar performance to the reference.*

Keywords: red ceramic waste, concrete, compressive strength, CO₂ emission.

1 Introdução

A construção civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento do país, contribuindo para a geração de empregos e crescimento das cidades (SCHNEIDER, 2003). Contudo, também é responsável por aproximadamente 65% dos resíduos sólidos urbanos gerados, sendo que só no ano de 2017, foram coletadas mais de 45 milhões de toneladas de RCD no Brasil (ABRELPE, 2018), número que poderia ser ainda maior se houvesse destinação adequada de todo o resíduo gerado no país (KLEIN; GONÇALVES DIAS, 2017; KLIMPEL, 2014).

Entre os materiais empregados na construção civil, o mais consumido é cimento Portland e seu processo de fabricação é considerado um dos processos industriais de maior impacto ambiental (CASTRO et al., 2017). Estima-se que em 2014, as indústrias fabricantes de cimento foram responsáveis pela segunda maior emissão direta de gás carbônico (CO₂) no mundo, atingindo um percentual de 27% do total gerado (IEA, 2018). Assim como na fabricação do cimento, o uso de agregados naturais no concreto exige extração de areia e rocha, processo que contribui para o desmatamento, erosão do solo e poluição do ar e da água (GASQUES, 2015). Na extração de areia, por exemplo, é recorrente o aumento da turbidez das águas de cursos hídricos e lençóis freáticos devido ao aumento das partículas sólidas em suspensão, diminuindo as possibilidades de utilização destas águas (LELLES et al., 2005).

Desta forma, torna-se indispensável a adoção de medidas para diminuição dos impactos gerados pela construção civil. Uma das possibilidades para isso é o reaproveitamento do resíduo de construção e demolição (RCD), o qual é composto por frações de diferentes materiais. Entre eles, está o resíduo de cerâmica vermelha (RCV) cujas perdas mensais são estimadas em pelo menos 23 mil toneladas de resíduo cerâmico a cada mês (ANICER, 2008).

Cabral et al. (2009), ao executar concretos com RCV em substituição aos agregados naturais, verificaram que a fração graúda resulta em redução da resistência mecânica, aumento da retração e da porosidade. Já a fração miúda do RCV proporciona melhorias nessas propriedades. Mendes e Borja (2008) indicam melhorias no estado fresco de argamassas produzidas com RCV em substituição à cal. Alves et al. (2014) também recomendam o emprego de resíduos de blocos cerâmicos pelo fato de não influenciarem negativamente de forma significativa os resultados dos concretos executados.

Além disso, algumas pesquisas apontam ainda que a substituição parcial dos agregados pode proporcionar a chamada cura interna do concreto, uma vez que o agregado reciclado retém a água da mistura devido a sua maior absorção, liberando-a gradualmente durante o processo de cura do concreto (ARAÚJO; PANOSSIAN, 2010; FIGUEIREDO; VARGAS, 2016).

O RCV também pode ser empregado como um material cimentício suplementar quando finamente moído. Isso porque a argila empregada como matéria prima, ao ser queimada em temperaturas entre 500 e 800 °C – similar à de argilas calcinadas (ABNT, 2014) – altera a estrutura inicialmente cristalina formando aluminossilicatos com estrutura amorfa (CASTRO et al., 2017; HANSEN; BREHM; KULAKOWSKI, 2016; SEBASTIANY, 2014). Ao ser cominuído até que as partículas tenham dimensão média similar à do cimento, este material pode apresentar reatividade química com caráter pozolânico (CASTRO et al., 2017). Caso a estrutura química mantenha-se apresentando cristalinidade e sua reatividade baixa, o pó de RCV ainda pode ser aproveitado como microfíler (GARCIA et al., 2014).

Pacheco-Torgal e Jalali (2010) substituíram 20% de cimento por RCV e verificaram que este melhorou a durabilidade dos concretos produzidos. As amostras com RCV ainda perderam menos resistência mecânica em testes de envelhecimento acelerado, apesar de

concretos de referência terem apresentado melhores valores no teste resistência a compressão padrão. Os resultados desse teste, por outro lado, foram melhores para concretos com 20% de cimento substituído por RCV no trabalho de Sales e Alferes Filho (2014), o que vai de encontro com a revisão elaborada por Wong et al. (2018). Reig et al. (2013) alcançaram 30 MPa na resistência a compressão aos 7 dias para concretos executados com cimento álcali-ativado desenvolvido com RCV.

O uso combinado do RCV como agregado reciclado e como material cimentício suplementar, entretanto, ainda não foi identificado (WONG et al., 2018). Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo estudar concretos com substituição de cimento por 0%, 10% e 20% de pó de RCV e de agregado miúdo por 0%, 12,5% e 25% de RCV. Foram avaliados o abatimento, a resistividade elétrica e a resistência a compressão. Foi elaborada análise, também, da relação entre emissões de CO₂ e resistência a compressão.

2 Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Levando em consideração o potencial de reação pozolânica do resíduo aplicado nesse trabalho, foi empregado cimento CP-II-F 32. Buscando-se o ajuste da consistência dos concretos foi utilizado aditivo superplastificante EUCON 1040, da marca Viapol, porém alguns concretos ainda assim resultaram em baixo abatimento e por isso estes resultados estão apresentados no capítulo 3.

O agregado graúdo (AG) utilizado na confecção dos concretos é proveniente de rocha basáltica britada. Já o agregado miúdo natural (AMN) empregado foi areia quartzosa de rio. A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam as características físicas e a composição granulométrica destes materiais, determinadas conforme procedimentos descritos nas normas: NBR NM 45 (ABNT, 2006), NBR NM 53 (ABNT, 2009), NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR 52 (ABNT, 2009).

Tabela 1 – Características físicas dos agregados utilizados no trabalho

Propriedade	Agregado Graúdo (AG)	Agregado Miúdo Natural (AMN)
Massa específica (g/cm ³)	3,06	2,56
Massa específica SSS (g/cm ³)	2,89	2,57
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,80	2,55
Massa unitária (g/cm ³)	1,55	1,54

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 2 – Composição granulométrica dos agregados naturais

AG		AMN		RCV
Abertura da Peneira (mm)	Porcentagem retida (%)	Abertura da Peneira (mm)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida (%)
19	0	2,4	5,13	0.49
12,5	23,54	1,2	15,58	3.58
9,5	32,27	0,6	28,92	41.73
6,3	39,40	0,3	27,89	39.80
4,8	4,37	0,15	20,20	13.72
Fundo	0,42	Fundo	2,28	0.68
Módulo de finura	6,53	Módulo de finura	2,51	2.35
Diâmetro máximo (mm)	12,50	Diâmetro máximo (mm)	2,4	0,6

Fonte: Autoria própria (2019)

O resíduo cerâmico aplicado, é proveniente de tijolos cerâmicos de seis furos fornecidos por indústria cerâmica da cidade de Pouso Redondo (SC). Estes foram cominuídos no aparelho de abrasão de Los Angeles. O material obtido possui as propriedades descritas na Tabela 3 determinadas conforme normas NBR 52 (ABNT, 2009), NBR 248 (ABNT, 2003) e NBR 5752 (ABNT, 2014). Em relação a granulometria, para a substituição do cimento (C-RCV) foi empregado o material passante na peneira #200 (75 μ m). Para a substituição do agregado miúdo (AR-RCV), o material obtido após a moagem do resíduo cerâmico apresentou composição granulométrica pouco gradual e com diâmetro de partículas bastante concentrado nas faixas de 0,6 mm e 0,3 mm. Com isso, não houve volume de material suficiente para ajuste da curva granulométrica idêntica ao AMN, tendo sido determinada a curva do AR-RCV que mais se aproximasse à desde último (Tabela 2).

Tabela 3 – Características físicas RCV.

Propriedade	RCV
Massa específica (g/cm ³)	2,44
Absorção de água (%)	19,27
Índice de Atividade Pozolânica (%)	40,98

Fonte: Autoria própria (2019)

Todos os agregados, inclusive os tijolos cerâmicos, foram submetidos ao processo de secagem em estufa à 100° C durante 24 horas, de forma a eliminar a umidade excedente, evitando possíveis variações nos teores de água no concreto.

2.2 Métodos

Para verificar a influência do resíduo de cerâmica vermelha no comportamento dos concretos, fixou-se um teor de argamassa de 55%, teor de umidade de 8,5% e relação água cimento (a/c) inicial de 0,55. A partir da lei de Lyse, pelo método IPT, obteve-se traço unitário inicial de cimento : areia : brita de 1:2,56:2,91 e a partir deste foram confeccionados nove traços com substituição de 10% e 20% de cimento por RCV e de 12,5% e 25% de agregado miúdo natural por RCV. Ainda, foi estudado o uso combinado destas substituições. As substituições foram realizadas em massa com compensação de volume em função da diferença das massas específicas dos materiais, conforme Equação (1), resultando no consumo de materiais apresentado na Tabela 4.

$$M_{RCV} = \frac{M_{SUB} \times \gamma_{RCV}}{\gamma_{SUB}} \quad (1)$$

M_{RCV} : Massa do resíduo cerâmico.

M_{SUB} : Massa do elemento que será substituído (cimento ou areia).

γ_{RCV} : Massa específica do resíduo cerâmico.

γ_{SUB} : Massa específica do elemento substituído (cimento ou areia).

Tabela 4: Nomes, teores de substituição e consumo de materiais

Traço	Substituição		Consumo (kg/m³)					
	C-RCV (%)	AM-RCV (%)	Cimento	C-RCV	AMN	AR-RCV	AG	Água
REF	0	0	355.63	0.00	910	0	1036	196
C10	10		320.07	28.34	910	0		
C20	20		284.50	56.67	910	0		
AR12,5	0	12,5	355,63	0.00	796	107		
AR25		25	355,63	0.00	682	214		
C10-AR12,5	10	12,5	320.07	28.34	796	107		
C10-AR25		25	320.07	28.34	682	214		
C20-AR12,5	20	12,5	284.50	56.67	796	107		
C20-AR25		25	284.50	56.67	682	214		

Fonte: Autoria própria (2019)

A mistura dos concretos foi realizada em betoneira de eixo inclinado junto ao laboratório de materiais de construção da Universidade do Contestado, onde todos os materiais foram inseridos secos. Para verificação do efeito das substituições no estado fresco das misturas, o ensaio de **abatimento do tronco** de cone foi executado logo após a execução de cada traço, de acordo com o procedimento estabelecido pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). O abatimento buscado nesta pesquisa foi de 100 mm $\pm$ 20 mm, empregando aditivo superplastificante quando necessário. O processo de moldagem e cura dos corpos de prova seguiu a norma NBR 5738 (ABNT, 2015), sendo que estes se mantiveram submersos em tanque com água e cal até a execução dos ensaios.

A **resistividade elétrica superficial** no estado endurecido foi executada utilizando dois corpos de prova de cada traço. Os resultados deste ensaio estão diretamente ligados à porosidade do concreto, indicando o efeito das substituições na durabilidade da estrutura (ARAÚJO; PANOSSIAN, 2010). O efeito mecânico foi estudado através do ensaio de **resistência a compressão**, tendo sido efetuado aos 7 e 28 dias em conformidade com a NBR 5739 (ABNT, 2018).

Levando-se em consideração a alta taxa de absorção de água do resíduo cerâmico (Tabela 3), durante a mistura dos concretos houve alterações no volume de água disponível para hidratação do cimento, levando a reduções na relação a/c que podem influenciar nos resultados. Ainda, foi necessária a adição de água durante a mistura do concreto AR25 para evitar a superdosagem de aditivo superplastificante devido à continuidade da consistência seca. Dessa forma, foi feita uma **análise da relação a/c final** com os demais resultados obtidos.

Após apresentados tais resultados, é realizada uma **análise das emissões de CO₂** relativas a cada metro cúbico de concreto produzido, considerando os traços desenvolvidos nesse trabalho. Em relação aos dados de emissões de cada material, Cunha (2016) apresenta a

geração de 17,46 kg de CO₂ a cada metro cúbico de agregado natural consumidos no Brasil, e desses, 0,68 kg referem-se à eletricidade empregada no processamento. McGinnis et al. (2017) indicam que o emprego de agregados reciclados reduz em 40% as tais emissões. Por fim, Oliveira (2015) aponta a emissão de pelo menos 750 kg de CO₂ para cada tonelada de cimento CP-II-F produzida.

Para a determinação do CO₂ gerado pelo AR-RCV foi considerado 40% de 16,78 kg e somado o consumo de energia de 0,68 kg, tendo em vista que este também é necessário para o processamento do RCV. Para o C-RCV foi adotado o mesmo cálculo. As emissões de CO₂ do cimento e do agregado miúdo e de suas substituições foram somadas e divididas pela resistência à compressão apresentada pelos concretos aos 28 dias.

3 Resultados e discussões

3.1 Abatimento de tronco de cone

Verifica-se, pelo gráfico da Figura 1, que todos os concretos contendo RCV apresentaram redução no abatimento. Os traços com substituição apenas do material cimentício obtiveram decréscimo no abatimento de até 24% para o traço C10 em relação ao concreto de referência. Já os concretos com substituição combinada de cimento e agregado miúdo chegaram a uma diferença de 25,6% (C10-AR12,5) comparados ao concreto convencional. As maiores perdas de abatimento ocorreram nos concretos com substituição apenas do agregado miúdo, que gerou diminuições de 36% e 60% nos concretos AR12,5 e AR25, respectivamente.

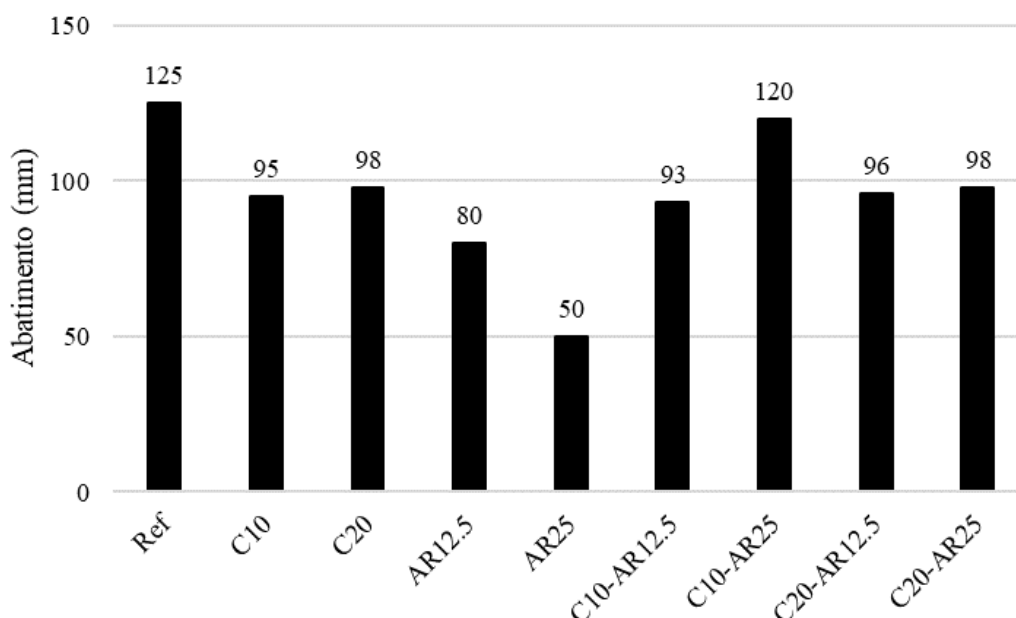


Figura 1. Abatimento dos concretos estudados

O efeito do AR-RCV no abatimento é causado pelo alto teor de absorção de água característico do material (19,27%). Esse efeito foi visto principalmente no traço com o maior teor de AR-RCV (25%). Nas partículas de pó de RCV é possível que tenha restado menor quantidade de poros e, com isso, os valores apresentados quando há apenas C-RCV foram

inferiores devido à angulosidade provinda da cominuição do material (FASTOFSKI et al., 2014), gerando atrito entre elas e impactando na fluidez da mistura.

Ainda que o uso combinado do C-RCV e do AR-RCV não tenha alcançado abatimento similar ao do concreto referência, percebe-se que pó de RCV minimizou o efeito negativo da absorção de água do AR-RCV da mistura, elevando o abatimento.

3.2 Resistividade elétrica

A resistividade elétrica dos concretos contendo apenas substituição do cimento mostra tendência de evolução e valores semelhantes aos do concreto convencional, conforme pode ser visto na Figura 2. Os concretos onde houve substituição parcial do agregado miúdo também apresentam linhas de crescimento com inclinações parecidas, porém exibindo valores, em média, 30% superiores e inferiores para 12,5% e 25% de substituição, respectivamente. O traço AR25 possivelmente obteve resultados inferiores devido à adição de água realizada durante a mistura, mostrando que tal ação pode gerar prejuízos para a durabilidade do concreto.

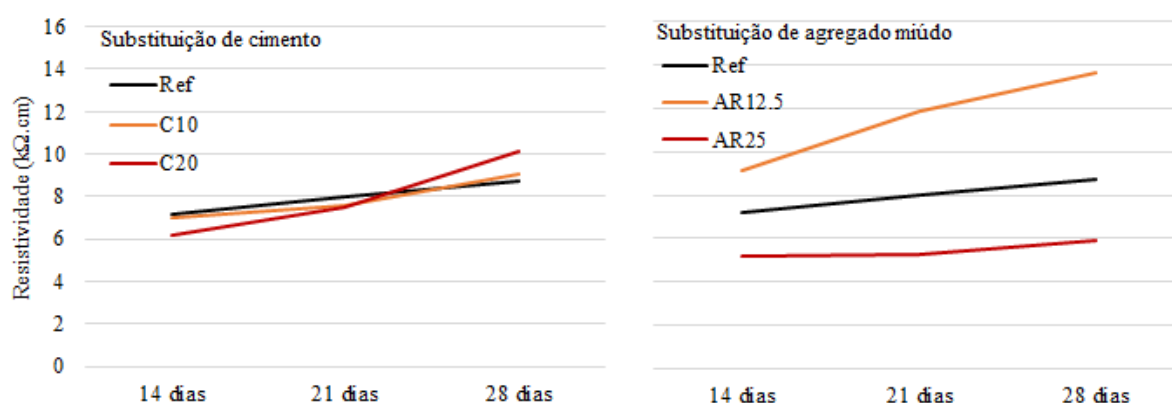


Figura 2. Resistividade elétrica dos traços com substituições unitárias de cimento e agregado miúdo

Quando avaliado o uso combinado do C-RCV e do AR-RCV, verifica-se um efeito positivo na resistividade elétrica (Figura 3). Os valores determinados na primeira leitura (14 dias) foram muito próximos entre si. Entretanto, aos 28 dias tem-se um aumento médio de 32% na resistividade desses concretos quando comparada ao de referência. Esse efeito pode indicar que em idades mais elevadas, quando o cimento já tem sua hidratação em estágio mais avançado e a matriz de poros já está mais bem definida, a granulometria gerada pela combinação do C-RCV e do AR-RCV resultou em efeito fíler, gerando uma melhor densidade nos concretos e elevando a durabilidade das estruturas. Tais resultados também foram verificados por Mas et al. (2016) e Sales e Alferes Filho (2014).

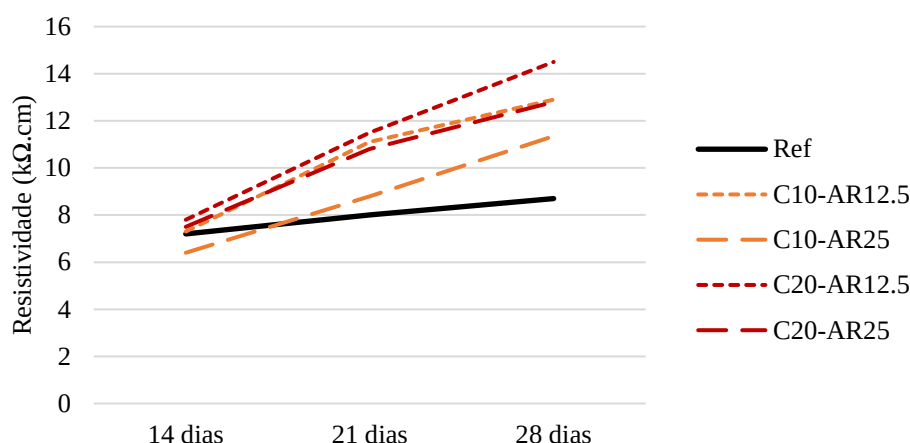


Figura 3. Resistividade elétrica dos concretos com substituições combinadas de cimento e agregado miúdo

3.3 Resistência a compressão

Na Tabela 5 são apresentados os resultados de resistência a compressão obtidos pelos concretos desenvolvidos. Esses resultados são ilustrados no gráfico da Figura 4. A substituição do cimento por pó de RCV reduziu a resistência, 14,78% e 41,38% aos 7 dias, percentuais amenizados aos 28 dias para 1,03% e 17,36%, o que indica a possibilidade de melhoria nessa característica em idades maiores, concordando com o observado na resistividade elétrica (ARAÚJO; PANOSSIAN, 2010; MAS et al., 2016).

Tabela 5: Resistência a compressão dos concretos estudados

Traço	Resistência à compressão (MPa)	
	7 dias	28 dias
REF	19.6	34.9
C10	16.7	34.5
C20	11.5	28.8
AR12,5	9.1	35.2
AR25	13.9	21.4
C10-AR12,5	14.1	29.6
C10-AR25	8.9	24.4
C20-AR12,5	13.9	29.6
C20-AR25	13.7	30.0

Fonte: Autoria própria (2019)

Assim como na resistividade elétrica, o concreto AR25 destaca-se por ter obtido a menor resistência aos 28 dias. Isso ocorre devido à sua maior porosidade e índice de vazios possivelmente ocasionada pela maior a/c final. Cabral et al. (2009) colocam também, que os agregados de cerâmica apresentam baixa resistência mecânica, o que reduz a resistência característica do concreto final. Por outro lado, o concreto AR12,5 foi o único a apresentar resistência correspondente ao concreto referência (0,88% maior). Assim, percebe-se que a inserção do AR-RCV é benéfica em menores quantidades, de forma que reduz a relação a/c da mistura sem prejudicar a moldagem da estrutura e também não impacta na resistência a compressão.

O emprego simultâneo de C-RCV e AR-RCV também gerou resistências inferiores em relação ao concreto referência. Verifica-se, entretanto, que a presença de 20% de C-RCV reduziu o efeito negativo da presença do agregado miúdo reciclado em todas as situações e em ambas as idades de ensaio. Ainda, para os concretos com 12,5% de AR-RCV não foram identificadas diferenças nos resultados entre o teor de 10 ou 20% de C-RCV. Por fim, observando-se apenas os traços com combinação de pó e agregado miúdo de RCV, percebe-se que o traço com a combinação C20-AR25 foi o que apresentou os melhores resultados.

Quando analisada a evolução da resistência dos 7 para os 28 dias, nota-se que o concreto referência apresentou resistência mais elevada já na idade inicial enquanto todos os concretos contendo substituição apresentaram o dobro da resistência na idade final (com exceção do AR25). Isso possivelmente se deve interação mais lenta das partículas de RCV com a matriz cimentícia do concreto.

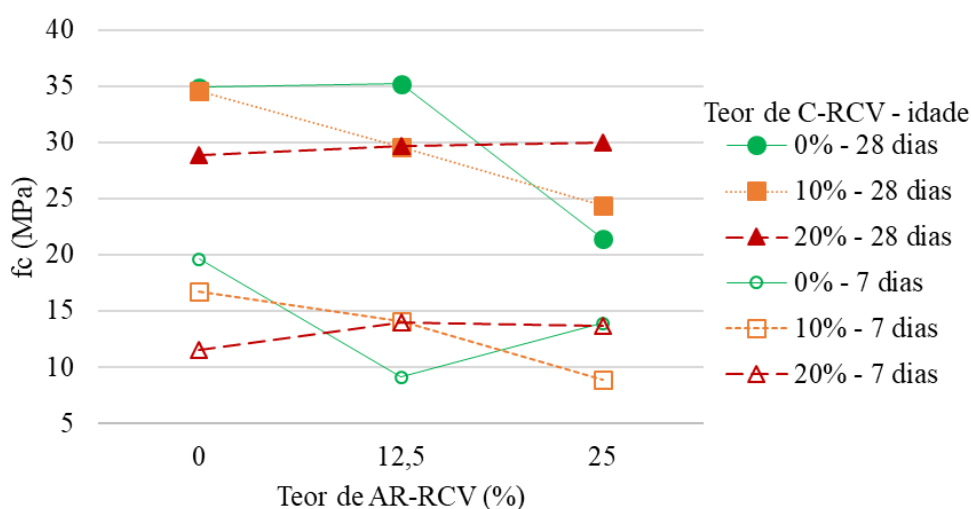


Figura 4. Resistência a compressão média dos concretos aos 7 e aos 28 dias

3.4 Influência da relação a/c final

A relação água/cimento final dos concretos, gerada pela absorção de água do resíduo cerâmico e pela inserção de água no traço AR-25, e a sua correlação com os resultados já apresentados é ilustrada na Figura 5. Nestes gráficos de dispersão foram inseridas as linhas de tendência do tipo polinomial de ordem 2, juntamente com seus respectivos valores de R^2 . Verifica-se que não há relação direta entre a a/c final e os resultados de abatimento e resistência a compressão (28 dias). De modo contrário, a resistividade elétrica superficial aos 28 dias apresentou forte tendência ($R^2=0,94$) com a a/c final. Em um primeiro estágio, nos menores teores água, a resistividade apresenta valores médios (12 k Ω .cm). No segundo estágio, esses valores são elevados para a/c na ordem de 0,48. Por fim, no terceiro estágio, há uma brusca redução da resistividade quando a relação a/c se aproxima de 0,55. Pode-se inferir que, no primeiro estágio, a absorção de água do RCV prejudicou a hidratação efetiva do cimento, que foi ideal para os concretos do segundo estágio. No terceiro, entretanto, houve excesso de água e aumento da porosidade, reduzindo a resistividade.

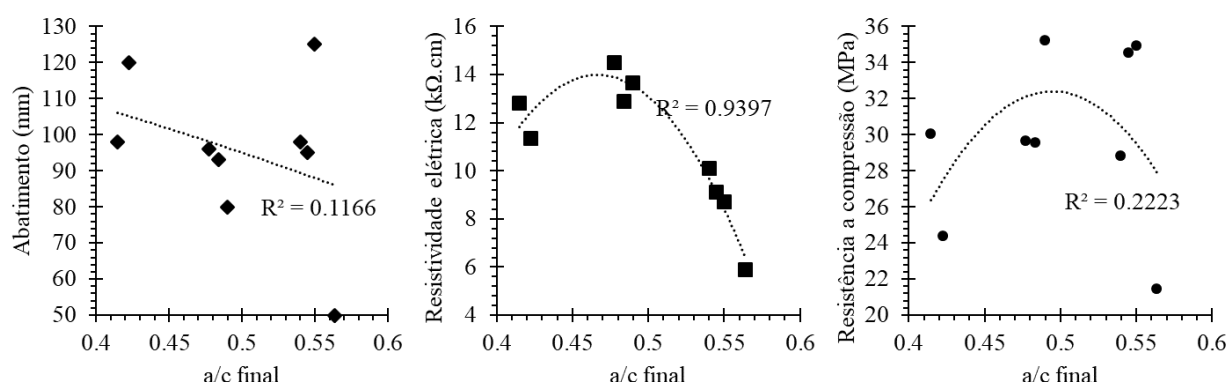


Figura 5. Correlação do abatimento, resistividade elétrica e resistência a compressão com a relação água/cimento

3.5 Relação entre emissões de CO₂ e resistência a compressão

A quantificação do CO₂ emitido por meio do emprego de RCV nas substituições parciais de cimento e agregado miúdo, para cada concreto produzido nesta pesquisa foi realizada conforme descrito no item 2.2 é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Emissões de CO₂ e emissões relativas para os concretos estudados

Traço	Emissões Totais (kg CO ₂)			Emissão relativa (kg CO ₂ /MPa)
	Cimento	AM	Cimento+AM	
REF	266.7	6.21	272.93	7.82
C10	240.1	6.21	246.34	7.13
C20	213.5	6.21	219.75	7.62
AR12,5	266.7	5.75	272.48	7.74
AR25	266.7	5.30	272.02	12.69
C10-AR12,5	240.1	5.75	245.89	8.32
C10-AR25	240.1	5.30	245.43	10.08
C20-AR12,5	213.5	5.75	219.29	7.40
C20-AR25	213.5	5.30	218.84	7.29

Fonte: Autoria própria (2019)

Observa-se novamente a tendência de emissões menores nas substituições parciais ao cimento, principalmente nos concretos C20, uma vez que o principal responsável emissão de gás carbônico é o cimento, atingindo em média 97,6 % das emissões totais.

Por outro lado, percebe-se que os concretos com maiores resistências apresentaram emissões relativas baixas mesmo que o consumo de cimento não tenha diminuído. Isso porque o rendimento em kg de cimento por MPa foi maior, indicando a necessidade de se verificar mais aspectos além dos ensaios padronizados. Ou seja, a adoção de um concreto sem qualquer tipo resíduo é mais válida em termos de emissões atmosféricas quando comparada a um concreto com 10% de C-RCV e 25% de AR-RCV, por exemplo. Enquanto isso, emissões relativas muito parecidas são verificadas entre o concreto referência e o C20-AR25.

4 Conclusões

Nesse trabalho foram desenvolvidos concretos contendo substituição parcial do agregado miúdo (areia) por resíduo de cerâmica vermelha (RCV) britado e de cimento por pó de RCV. Foram, ainda, estudados concretos contendo substituições combinadas dos dois materiais. As conclusões obtidas foram:

- No estado fresco: a alta absorção de água e a angulosidade das partículas do RCV gerou perdas elevadas de consistência dos concretos. A substituição combinada (cimento + agregado miúdo) melhorou tal aspecto;
 - A resistividade elétrica superficial indica que a durabilidade dos concretos é mantida quando da substituição isolada de cimento e agregado miúdo e melhorada quando há combinação dos dois materiais. Percebe-se que o RCV aplicado na pesquisa atuou como microfíler, preenchendo poros e vazios;
 - A resistência a compressão foi prejudicada pela presença de agregado miúdo reciclado e esse efeito foi minimizado pela substituição de cimento por pó de RCV;
 - Houve alterações na relação água/cimento final dos concretos devido à absorção de água do RCV. Tais valores apresentaram influência apenas para o ensaio de resistividade elétrica, não tendo relação com os demais resultados;
 - As emissões de CO₂ dos concretos foram reduzidas apenas quando houve substituição de cimento. O rendimento (kgCO₂/MPa), porém, não apresentou tendência lógica e demonstra a necessidade de estudo técnico e ambiental prévio à decisões de aplicação das misturas em estruturas de concreto.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Fundo de Apoio a Pesquisa da Universidade do Contestado FAP/UnC, edital 094/2018.

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente, massa específica unitária e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2017. São Paulo. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf>.

ALVES, A. V. VIEIRA, T. F.; DE BRITO, J.; CORREIA, J. R. Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 64, p. 103–113, 2014.

ANICER. **Dados do Setor**. 2008. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>>.

ARAÚJO, A.; PANOSSIAN, Z. Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho: estudo de caso. In: INTERCORR 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABRACO, 2010.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 55, n. 336, p. 448–460, 2009.

CASTRO, A. L.; SANTOS, R F C.; QUARCIONI, V A.; CARLOS, S.; PAULO, S. Caracterização de cimentos compostos com resíduo da indústria de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 63, p. 65–76, 2017.

CUNHA, I. B. **Quantificação das emissões de CO₂ na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. 2016. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FASTOFSKI, D. F.; SCHÄFER, M.; TELES, R. D.; KULAKOWSKI, M. P.; GONZÁLEZ, M. A. S.; KAZMMIERCZAK, C. S. Metodologia de caracterização de resíduo de cerâmica vermelha para emprego como material pozolânico em pasta de cimento. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 5., 2014, São Leopoldo. **Anais...** Porto Alegre: Instituto Venturi, 2014.

FIGUEIREDO, N.; VARGAS, A. Análise da influência do uso de agregados reciclados da região de Criciúma/SC nas propriedades mecânicas. 2016. Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, 2016.

GARCIA, E.; CABRAL JUNIOR, M.; QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F. Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma Alternativa como Material Pozolânico. **Cerâmica Industrial**, n. 19, v. 4, p. 31-38, jul/ago. 2014.

Gasques, A. C. (2015). IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: Breve revisão teórica. **Revista Tecnológica**, 23(1), 13-24. <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v23i1.23375>

HANSEN, D. M.; BREHM, F. A.; KULAKOWSKI, M. P. Avaliação da geração e quantificação do resíduo de cerâmica vermelha. In: 7o FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS 2016, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Instituto Venturi, 2016.

IEA, **Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry**. Springer Reference. Paris. 2018.

KLEIN, F. B.; GONÇALVES DIAS, S. L. F. A deposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 40, p. 483–506, 2017.

KLIMPEL, Eliete do Carmo. **Diagnóstico das deposições irregulares de resíduos de construção e demolição: estudo de caso**. 2014. Monografia (pós-graduação lato sensu) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

LELLES, L. C. SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 439–444, 2005.

MAS, M. A. MONZÓ, J.; PAYÁ, J.; REIG, L.; BORRACHERO, M. V. Ceramic tiles waste as replacement material in Portland cement. **Advances in Cement Research**, v. 28, n. 4, p. 221–232, 2016.

MCGINNIS, M. J.; DAVIS, M.; ROSA, A.; WELDON, B. D.; KURAMA, Y. C. Quantified sustainability of recycled concrete aggregates. **Magazine of Concrete Research**, v. 69, i. 23, p. 1203-1211, Dec. 2017.

MENDES, B. S.; BORJA, E. V. Estudo Experimental Das Propriedades Físicas De Argamassas Com Adição De Resíduos De Cerâmicas Vermelhas Recicladas. **Holos**, v. 3, p. 43, 2008.

OLIVEIRA, V. C. H. C. **Strategies for minimizing CO₂ emissions from structural concrete**. 2015. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Reusing ceramic wastes in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, p. 832–838, 2010.

REIG, L.; TASHIMA, M. M.; BORRACERO, M. V.; MONZÓ, J.; CHEESEMAN, C. R.; PAYÁ, J. Properties and microstructure of alkali-activated red clay brick waste. **Construction and Building Materials**, v. 43, p. 98-106, jun. 2013.

SALES, A. T. C.; ALFERES FILHO, R. S. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. **Revista ambiente construído**, v.14, n.1 p.113-125, Porto Alegre, 2014.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições Irregulares de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Paulo**. 2003. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2003.

SEBASTIANY, L. D. **Avaliação de métodos de determinação do potencial pozolânico de resíduos da indústria de cerâmica vermelha**. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014

WONG, C. L. MO, K. H.; YAP, S. P.; ALENGARAM, U. J. LING, T. C. Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 226–239, 2018.