

Dosagem de concretos com substituição parcial de agregado graúdo natural **por resíduo de EVA** - avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais

MARCELA T. DE A. SILVA - DOUTORANDA - <https://orcid.org/0000-0001-6590-5044> (marcela.tavaress@ufpe.br);
ARNALDO M. P. CARNEIRO - PROF. DR. - <https://orcid.org/0000-0002-4279-7156> | UFPE
ALEX J. V. BEZERRA - PROF. DR. - <https://orcid.org/0009-0005-8867-939X> | IFCE

RESUMO

CONCRETOS LEVES SÃO UMA NECESSIDADE DA CONSTRUÇÃO CIVIL, SEJA PARA REDUÇÃO DO PESO DA ESTRUTURA, SEJA PARA ISOLAMENTO TÉRMICO E SONORO, OS QUAIS PODEM SER PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE BAIXA DENSIDADE. O PRESENTE ESTUDO DESENVOLVE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL POR RESÍDUO DE ETILENO ACETATO DE VINILA (EVA), SENDO UM CONCRETO COM FUNÇÃO ESTRUTURAL E OUTRO SEM, COM 18% E 44% DE SUBSTITUIÇÃO, RESPECTIVAMENTE. POSTERIORMENTE, FOI AVALIADA A PRÉ-MOLHAGEM DO EVA, POR MEIO DA ANÁLISE MICROESTRUTURAL DA ZONA DE TRANSIÇÃO PASTA-AGREGADO DE EVA, UTILIZANDO AS TÉCNICAS DE MEV COM EDS E DRX; EM SEGUIDA, ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS (RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, À TRAÇÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE). CONCLUIU-SE QUE O PROCEDIMENTO DE MOLHAGEM PRÉVIA DO EVA É PREJUDICIAL AO CONCRETO, DEVIDO AO AUMENTO DA POROSIDADE NA ZONA INTERFACIAL DE TRANSIÇÃO (ZIT) PASTA-AGREGADO DE EVA. QUANTO ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS, NÃO FORAM AFETADAS PELO EFEITO DA IMERSÃO PRÉVIA.

PALAVRAS-CHAVE: AGREGADO RECICLADO, CONCRETO LEVE, IMERSÃO EM ÁGUA.

1. INTRODUÇÃO

O alto consumo de recursos naturais na produção de concreto tem levado ao desenvolvimento de novas pesquisas, com a finalidade de reduzir os danos ao meio ambiente. Nesse contexto, a substituição de agregados naturais por resíduos da in-

TABELA 1

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	SrO
11,2	2,8	4,3	74,5	0,8	4,4	1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1

dústria tem se mostrado viável, contribuindo tanto para redução do consumo dos recursos naturais, bem como evitando o depósito irregular dos resíduos.

O segmento da indústria calçadista no Brasil em 2022 produziu cerca de 840 milhões de pares de calçados, sendo o 5º maior produtor mundial deste segmento (ABICALÇADOS, 2022). Estima-se que a fabricação de cada par de sapatos gera em torno de 100 a 200g de resíduo (MARGUES, GUEDES e FERREIRA, 2017), sendo que cerca de 15% do resíduo é de etileno acetato de vinila - EVA (UNIDO, 2000 apud CHAGAS, 2021), resultando em aproximadamente 18.900 T/ano no Brasil. A maior problemática desse tipo de resíduo é que,

devido à sua baixa densidade, o volume ocupado é muito grande, além de demorar mais de 150 anos para se decompor. Diante deste cenário, diversos trabalhos têm avaliado o uso deste resíduo para diversas aplicações na construção civil. Tutikian *et al.* (2017) produziram argamassas com resíduo de EVA que apresentaram bons resultados para contrapisos com isolamento acústico. Balagopal *et al.* (2023) produziram piso intertravado com uso resíduo de EVA e cinza da casca de arroz, e verificaram a possibilidade do uso em tráfego leve.

Pesquisas demonstraram que o uso de EVA em concretos altera suas propriedades físicas e mecânicas (LIN e YU, 2022). Estudos na zona de transição pasta-agregado

TABELA 2

PROPRIEDADES FÍSICAS DOS AGREGADOS

Ensaio Físico	Areia fina	Areia grossa	Brita	EVA
Massa específica (kg/dm ³)	2,65	2,62	2,78	0,686
Massa unitária estado solto (kg/dm ³)	1,58	1,53	1,35	0,156
Dimensão máxima característica (mm)	2,4	4,8	9,5	9,5
Módulo de finura	1,91	2,38	5,57	5,3
Absorção de água após 24h (%)	—	—	—	48,2

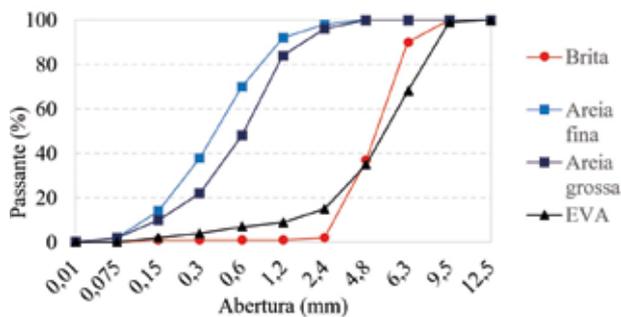


FIGURA 1
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

vem sendo desenvolvidos para avaliação da absorção prévia de agregados leves (VARGAS *et al.*, 2017). A avaliação da influência da pré-molhagem de agregados reciclados na dosagem dos concretos torna-se um desafio devido à sua alta porosidade (LIANG *et al.*, 2024). A avaliação sobre a imersão prévia em água do resíduo de EVA e os efeitos deste procedimento nas propriedades dos concretos carece de um estudo mais detalhado. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a utilização do agregado de resíduo de EVA da indústria calçadista em concretos de cimento Portland de consistência plástica com e sem função estrutural, sendo avaliadas as propriedades físicas, mecânicas e microestrutural para verificar as condições de imersão prévia em água deste agregado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram: cimento Portland tipo CP V - ARI; areia grossa e areia fina como agregados miúdos, como

dos agregados, na Tabela 2 e Figura 1. O resíduo de EVA foi proveniente da indústria calçadista no estado do Ceará.

2.2 Dosagem do concreto

Os concretos avaliados no estudo foram confeccionados de acordo com o trabalho de Bezerra *et al.* (2013), onde os dois percentuais de substituição apresentaram melhores resultados. As proporções foram realizadas em volume e o percentual de substituição em relação ao total de agregados. Foram produzidos 3 traços, um de referência (sem EVA); um com incorporação de 18% de EVA, classificado como CONCRETO NORMAL e ESTRUTURAL; e outro com incorporação de 44% de EVA, classificado como CONCRETO LEVE e NÃO ESTRUTURAL. A nomenclatura adotada apresenta o percentual de substituição de EVA, seguida das siglas SI (sem imersão) ou CI (com imersão) conforme Tabela 3. A imersão em água do agregado de EVA durou 60 minutos e, em seguida, foi retirada a água em excesso, pesado e complementado a

graúdos a brita e resíduo de EVA com as dimensões máximas características descritas na Tabela 2; não foi utilizado aditivo, pois os concretos atingiram o abatimento desejado. A composição química do cimento é apresentada na Tabela 1. As características físicas

diferença de água para manter-se fixa a relação a/c.

Para a etapa de avaliação das propriedades no estado endurecido do concreto foram executados corpos de provas cilíndricos (10 x 20 cm) e para análise microestrutural foram moldados corpos de provas prismáticos (2,5 x 2,5 x 6 cm) de pasta de cimento com EVA.

2.3 Propriedades avaliadas

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, foram avaliadas as propriedades no estado endurecido e feita uma análise microestrutural para verificar a influência do efeito da imersão prévia do EVA em água, com utilização da análise de variância ANOVA e teste Tukey para os resultados com diferenças significativas, através do software ASSISTAT.

As propriedades avaliadas no estado endurecido foram: massa específica, absorção de água e índice de vazios aos 28 dias; resistência à compressão aos 25, 56, 91 e 154 dias; resistência à tração por compressão diametral na idade de 28 dias; módulo de elasticidade elástico à compressão na idade de 210 dias. Todos ensaios seguiram as normas técnicas brasileiras.

Para a análise microestrutural foi realizada a Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV e Espectroscopia de Energia Dispersiva - EDS na interface pasta-agregado. Não foi possível fazer o polimento das amostras, pois a composição do polímero não permitiu, devido a tal procedimento danificar a superfície das amostras. As pastas foram moldadas com as proporções da Tabela 4.

As amostras foram ensaiadas aos 28 dias e passaram por uma imersão em

TABELA 3
MISTURAS SEPARADAS POR SEM OU COM IMERSÃO PRÉVIA DE EVA EM ÁGUA

Nomenclatura da mistura	Tratamento	Consumo de cimento (kg/m ³)	% EVA em volume	Traço (em volume)	a/c
			Em relação a todos os agregados	C:AF:AG:EVA:B	
EVA18:SI	Sem imersão	526	18		
EVA18:CI	Com imersão	525	18	1:0,7:0,58:0,41:0,61	
EVA44:SI	Sem imersão	534	44		0,49
EVA44:CI	Com imersão	514	44	1:0,7:0,58:1,02:0,0	
EVA0	—	522	—	1:0,7:0,58:0,0:1,02	

TABELA 4

PASTAS DE CIMENTO COM EVA (SEM OU COM IMERSÃO PRÉVIA DE EVA EM ÁGUA)

Nomenclatura da mistura	Tratamento	Traço (em volume)	a/c
		C:EVA	
EVA18:SI	Sem imersão	1:0,41	0,4
EVA18:CI	Com imersão		
EVA44:SI	Sem imersão	1:1,02	
EVA44:CI	Com imersão		
EVA0	—	1:0,00	

TABELA 5

RESULTADOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO

Traços	Percentual de substituição (%)	Absorção de água por imersão (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica seca (Kg/m ³)
EVA18:SI	18	7,2	14	2005
EVA18:CI	18	7,2	13,9	2001
EVA44:SI	44	8	13,2	1661
EVA44:CI	44	8,7	14,1	1630
EVA0	0	6,4	13,9	2182

acetona durante 24 horas para interrupção da hidratação. Em seguida, realizou-se a secagem em estufa por 24 horas, temperatura de 35°C e colocadas em desidratador até o momento do ensaio. O ensaio ocorreu em 11 pontos situados desde a pasta até o agregado de EVA, com comprimento de 200 µm, conforme esquema da Figura 2.

Com a análise de EDS nos pontos observados, fez-se uma regra de três para, a partir dos elementos encontrados, estimar-se o teor dos principais óxidos em cada

ponto. Também foi realizada no pó da pasta de cimento e EVA a técnica Difractograma de Raios-X (DRX).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Propriedades físicas: absorção de água, índice de vazios e massa específica

Na Tabela 5, são apresentadas as médias dos resultados para os traços analisados.

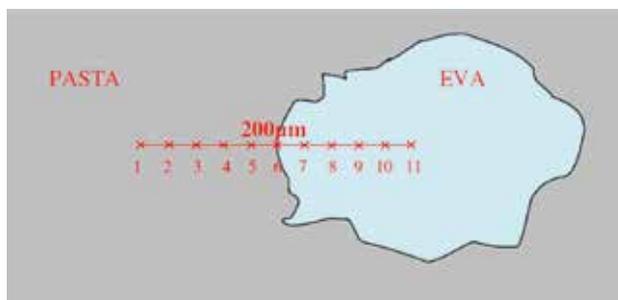
Nas Tabelas 6, 7 e 8, são apresentados os resultados da análise estatística ANOVA para absorção, índice de vazios e massa específica, respectivamente.

De acordo com os resultados, o fator tratamento imersão prévia do EVA apresenta-se como não significativo, já o fator teores de EVA e, ao comparar os concretos com EVA ao concreto de referência, gera efeito significativo ao nível de 1% de significância nos resultados. Aplicando o teste de Tukey, percebe-se que a diferença ocorre no percentual de substituição de 44%. Tal comportamento ocorreu porque o maior excesso de água presente nas regiões da pasta próximas aos agregados de EVA saturados provocou, nas misturas com volume excessivo de EVA, uma maior quantidade de poros e, assim, ficaram mais suscetíveis à absorção de água. Para o índice de vazios, os valores não apresentaram diferenças significativas conforme Tabela 7.

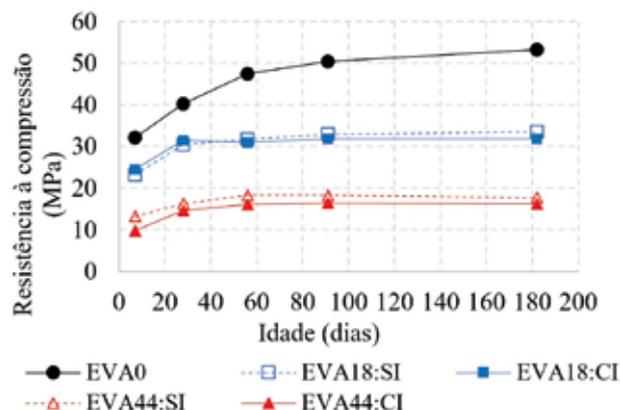
Em relação à massa específica, o fator tratamento imersão prévia e teores de EVA são significativos, também em relação ao concreto de referência conforme Tabela 8. Ao se realizar o teste de Tukey, encontra-se a diferença nas misturas com teores de 44%.

3.2 Propriedades mecânicas: resistência à compressão, à tração diametral, módulo de elasticidade estático.

Em relação à resistência à compressão, os resultados encontram-se na Figura 3.

**FIGURA 2**

DESENHO DA LINHA IMAGINÁRIA COM OS PONTOS PARA OBTENÇÃO DO EDS

**FIGURA 3**

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO X IDADE

TABELA 6

ANOVA (ABSORÇÃO DE ÁGUA)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 - Tratamento imersão	1	0,45	3,32	4,54	0,09	Ns
Fator 2 - Teores de EVA	1	5,32	39,08	8,68	<0,001	**
Int. F1 x F2	1	0,54	4,00	4,54	0,06	Ns
Fatores x Concreto de referência	1	5,95	43,73	8,68	<0,001	**
Erro	15	0,14	—	—	—	—
Total	19	—	—	—	—	—

** = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 1% DE SIGNIFICÂNCIA ($p < 0,01$); Ns = NÃO SIGNIFICATIVO ($p > = 0,05$).**TABELA 7**

ANOVA (ÍNDICE DE VAZIOS)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 - Tratamento imersão	1	0,54	1,26	4,54	0,28	Ns
Fator 2 - Teores de EVA	1	0,30	0,70	0,001	>0,05	Ns
Int. F1 x F2	1	1,16	2,66	4,54	0,12	Ns
Fatores x Concreto de referência	1	0,03	0,07	0,001	>0,05	Ns
Erro	15	0,43	—	—	—	—
Total	19	—	—	—	—	—

Ns = NÃO SIGNIFICATIVO ($p > = 0,05$).**TABELA 8**

ANOVA (MASSA ESPECÍFICA SECA)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 - Tratamento imersão	1	1242,86	7,06	4,54	0,0179	*
Fator 2 - Teores de EVA	1	511409,13	2904,07	8,68	<0,001	**
Int. F1 x F2	1	715,79	4,06	4,54	0,0619	Ns
Fatores x Concreto de referência	1	410322,86	2330,05	8,68	<0,001	**
Erro	15	0,43	—	—	—	—
Total	19	—	—	—	—	—

** = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 1% DE SIGNIFICÂNCIA ($p < 0,01$); * = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE SIGNIFICÂNCIA ($0,01 = < p, 0,05$); Ns = NÃO SIGNIFICATIVO ($p > = 0,05$).

A análise estatística encontra-se na Tabela 9. Percebe-se que há diferença significativa entre o tratamento de imersão prévia, os teores de substituições e idade. Da interação entre os fatores não há diferença significativa, o que significa que, dentro do mesmo grupo, o tratamento por imersão não apresentou diferença. Porém, a resistência diminui com o aumento do percentual de substituição e aumenta com a idade do ensaio para todos os grupos.

Quanto à resistência à tração por compressão diametral, o procedimento

de imersão prévia em água do agregado de EVA também não influencia: os valores são próximos, indicando comportamentos semelhantes para a resistência à tração quando se utiliza agregados sem ou com imersão prévia em água conforme Figura 4.

Já, os concretos com EVA apresentaram uma redução significativa no valor do módulo de elasticidade, em comparação ao concreto de referência. Entretanto, ao comparar concretos utilizando agregados de EVA com traços iguais, o procedimento de imersão prévia do

agregado de EVA em água não influencia no módulo, ou seja, tanto faz se usar agregado previamente saturado ou não. Por meio da Figura 5, verifica-se a diminuição do módulo com o aumento da incorporação do EVA, e, ao se compararem concretos com traços iguais nas condições EVA:SI e EVA:CI, os resultados ficaram muito próximos.

Diante das propriedades mecânicas analisadas, é possível a substituição do agregado natural por resíduo de EVA na produção de concreto leves, tanto estruturais como não estruturais.

TABELA 9

ANOVA (RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	Variável do teste F	F crítico	p	Efeito
Fator 1 - Tratamento imersão	1	27,6	5,67	4	0,0205	*
Fator 2 - Teores de EVA	1	4228,22	868,15	7,08	<0,001	**
Fator 3 - Idades	4	147,45	30,27	4	<0,001	**
Int. F1 x F2	1	18,03	3,7	3,65	0,0589	Ns
Int. F1 x F3	4	1,03	0,21	0,12	>0,05	Ns
Int. F2 x F3	4	7,26	1,49	2,52	0,2164	Ns
Int. F1 x F2 x F3	4	3,53	0,72	0,12	>0,05	Ns
Erro	60	4,87	—	—	—	—
Total	79	—	—	—	—	—

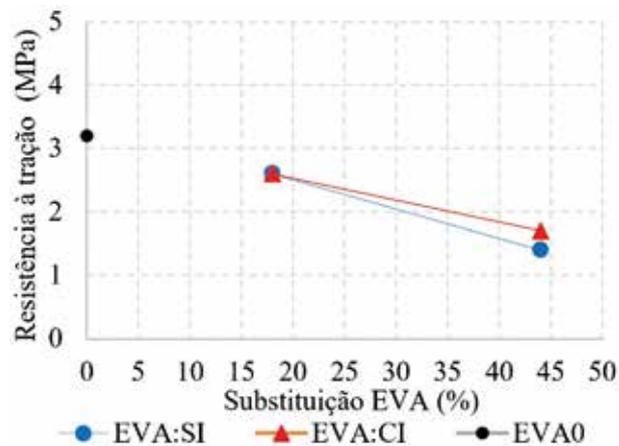
** = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 1% DE SIGNIFICÂNCIA (p < 0,01); * = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 5% DE SIGNIFICÂNCIA (0,01 = < p,0,05); Ns = NÃO SIGNIFICATIVO (p > = 0,05).

TABELA 10

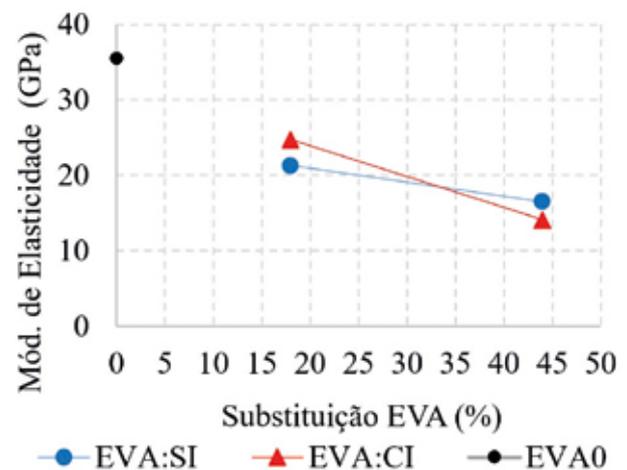
RELAÇÕES DOS ÓXIDOS PARA A IDADE DE 28 DIAS

Relação	Mistura	Pos.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		(μm)	-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100
		Elem.	Pasta					Int.	EVA				
$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$	EVA18:SI		7,85	6,89	5,10	5,97	7,86	6,35	4,55	2,79	2,03	1,66	1,82
	EVA18:CI		9,31	5,26	5,54	5,50	4,94	7,71	4,62	6,23	4,32	7,36	7,64
	EVA44:SI		5,01	4,07	5,04	4,78	6,93	7,80	7,10	7,16	5,46	3,23	4,08
	EVA44:CI		4,35	5,51	5,67	5,79	12,66	10,24	1,60	0,91	0,81	1,42	1,66
$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$	EVA18:SI		0,11	0,11	0,12	0,12	0,08	0,15	0,31	0,43	0,53	0,71	0,53
	EVA18:CI		0,06	0,13	0,09	0,13	0,10	0,11	0,17	0,16	0,28	0,10	0,01
	EVA44:SI		0,15	0,15	0,14	0,10	0,08	0,12	0,40	0,50	0,78	1,17	1,25
	EVA44:CI		0,12	0,11	0,08	0,11	0,08	0,12	0,57	1,73	1,85	1,16	1,08
$\frac{\text{SO}_3}{\text{CaO}}$	EVA18:SI		0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	—	—	—	—	—
	EVA18:CI		0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	—	—	—	—	—
	EVA44:SI		0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	—	—	—	—	—
	EVA44:CI		0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	—	—	—	—	—

FONTE: AUTORES

**FIGURA 4**

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL X SUBSTITUIÇÃO EVA (%)

**FIGURA 5**

MÓDULO DE ELASTICIDADE X SUBSTITUIÇÃO EVA (%)

3.3 Análise microestrutural

A Tabela 10 apresenta a média das relações entre as massas atômicas totais dos óxidos encontrados através da técnica de EDS nas pastas aos 28 dias, conforme descrição do item 2.3, da mistura com 18% e 44% de substituição.

Ao observar a evolução das relações dos óxidos para os concretos EVA18:SI e EVA18:CI, percebe-se que as relações molares se situam em faixas de grandezas semelhantes, não havendo modificações significativas dos valores dos elementos de hidratação do cimento ao se aproximar do grão de EVA. Ambos os concretos demonstram ter comportamentos microestruturais semelhantes. Já, para os concretos com maiores incorporações de EVA (EVA44:SI e EVA44:CI), em ambos ao se aproximar da interface, tem-se uma elevação da relação CaO/SiO_2 , sendo maior para a condição com imersão, indicando um aumento na formação da fase CH e redução da quantidade de C-S-H nesta região, fato característico das zonas de transição, como ocorre quando se utiliza agregados comuns.

Os resultados obtidos nas análises de DRX para as pastas das misturas que utilizam resíduos de EVA e também da mistura de referência (EVA0) na idade de 28 dias estão apresentados nas Figuras 6 a 8. As amostras com EVA mantiveram as fases cristalinas hidratadas do cimento, pois, ao se comparar os picos nos difratogramas da amostra da pasta sem EVA (Figura 6) com as amostras de pastas com EVA (Figuras 7 e 8), não houve o surgimento de picos diferentes aos registrados pela mistura sem EVA, indicando que não deve ter se formado produtos de reações do cimento com o polímero.

Em todas as amostras foram detectados diversos picos referentes às principais fases do clínquer (alita e belita), indicando que a hidratação do cimento ainda não foi completamente concluída. Surgiram, também, picos de etringita com baixa intensidade e não foram observados picos de monosulfoaluminato. O halo detectado entre os ângulos 28° e 36° (2θ) pode ser atribuído à formação do gel amorfo de silicato de cálcio hidra-

tado. O outro halo entre 13° e 26° (2θ), percebido principalmente na amostra EVA44:CI, pode ser atribuído à presença do polímero.

De forma complementar, foram realizadas análises na interface pasta-EVA por meio de imagens do tipo elétrons secundários (ES) e elétrons retroespalhados (BSE) por meio do MEV, que são apresentadas nas Figuras 9 e 10.

Na zona próxima à interface com o agregado artificial, as pastas EVA:SI apresentaram-se mais densas, se comparadas com as pastas EVA:CI (Figura 9).

As pastas EVA:CI demonstraram também existir uma ligação física entre o agregado e a pasta, em que se percebe a penetração da pasta nas saliências de contorno do grão de EVA (Figura

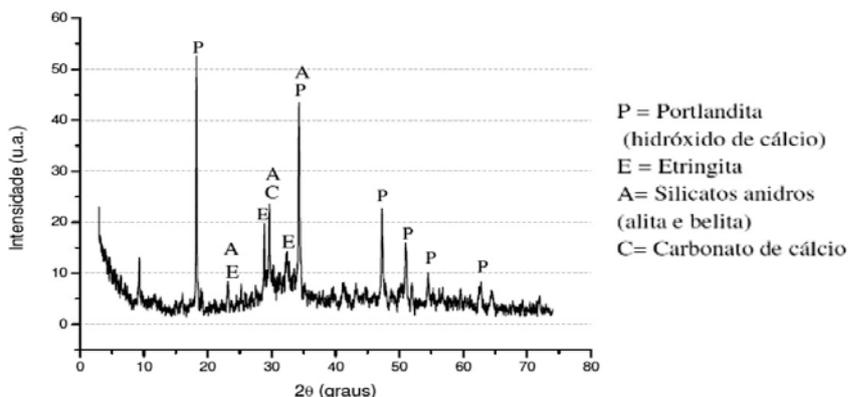


FIGURA 6
DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA PASTA EVA0

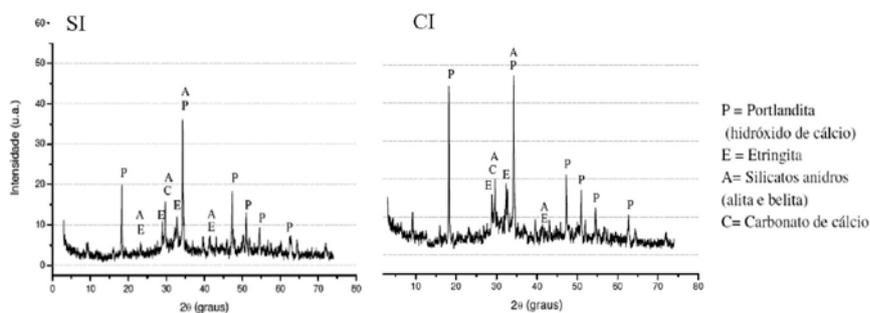


FIGURA 7
DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA PASTA EVA18:SI E EVA18:CI

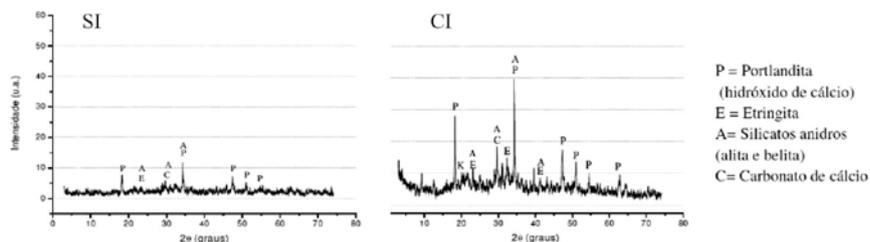


FIGURA 8
DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA PASTA EVA44:SI E EVA44:CI

9b). Porém, nessa mesma imagem, pode-se ver a presença de poros nas regiões próximas ao agregado, deixados pelo excesso de água. Na Figura 9d, observa-se que existem pontos de vazios na interface.

Outra provável consequência da maior presença de água é a formação de uma película que torna a superfície do agregado lisa e, conseqüentemente, diminui a sua capacidade de entrelaçar com a pasta, enfraquecendo a interface, podendo intensificar o efeito parede.

As alterações microestruturais da presença de EVA na pasta se restringiram às alterações quantitativas dos elementos hidratados do cimento. Sendo assim, a presença do EVA na mistura tem a função característica de um agregado.

Não foram detectados depósitos volumosos de silicato de cálcio hidratado e hidróxido de cálcio, e foram encontrados alguns cristais de etringita envolvendo o EVA em pontos das amostras EVA:CI (Figura 9f).

4. CONCLUSÃO

O presente estudo buscou avaliar a necessidade de imersão prévia em água do agregado produzido com resíduos de EVA, quando utilizado em concretos convencionais de consistência plástica. Diante dos resultados apresentados e da análise estatística aplicada, percebeu-se que tal procedimento gerou mudanças não significativas quando comparadas através das propriedades físicas, mecânicas e microestruturais dos concretos avaliados.

Em relação às propriedades físicas do concreto como massa específica, absorção e índice de vazios, a absorção e massa específica sofreram pequena alteração quando o percentual de EVA foi maior, indicando uma maior porosidade devido ao aumento percentual do agregado. Já as propriedades mecânicas como resistência à tração por compressão diametral, compressão e módulo de elasticidade não foram afetadas pelo efeito da imersão prévia em água, apresentando resultados semelhantes dentro de um mesmo grupo.

Quanto à microestrutura do concreto, a presença do agregado de EVA manteve a formação dos compostos constituídos da pasta de cimento hidratada, indicando que não houve reação do polímero com o aglomerante, o que carac-

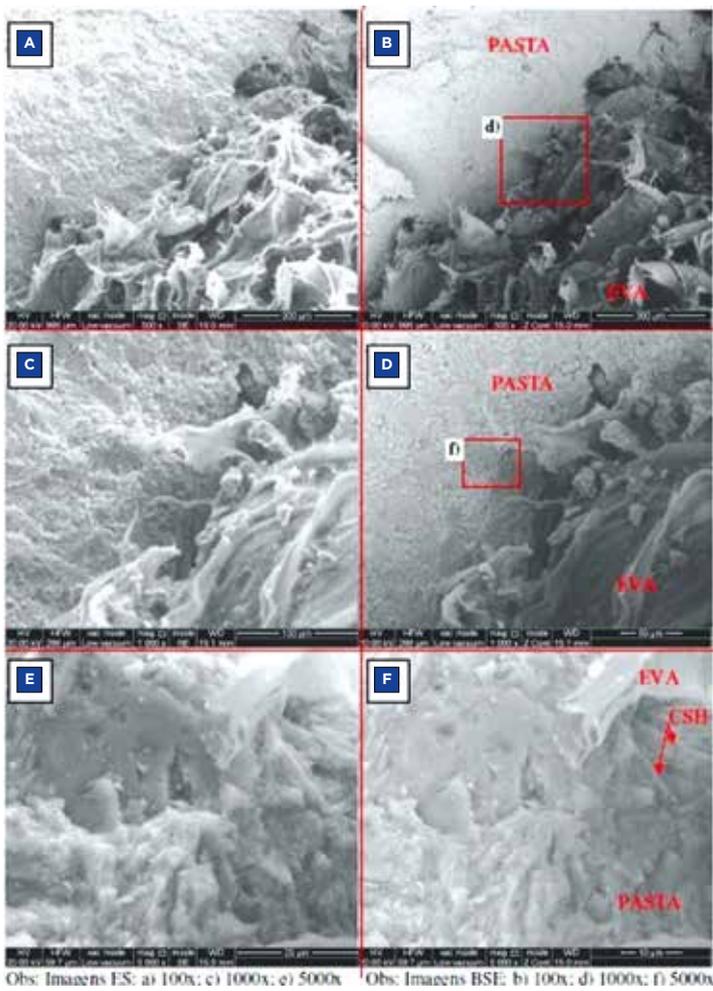


FIGURA 9
IMAGENS MEV DA PASTA DE CIMENTO EVA:SI

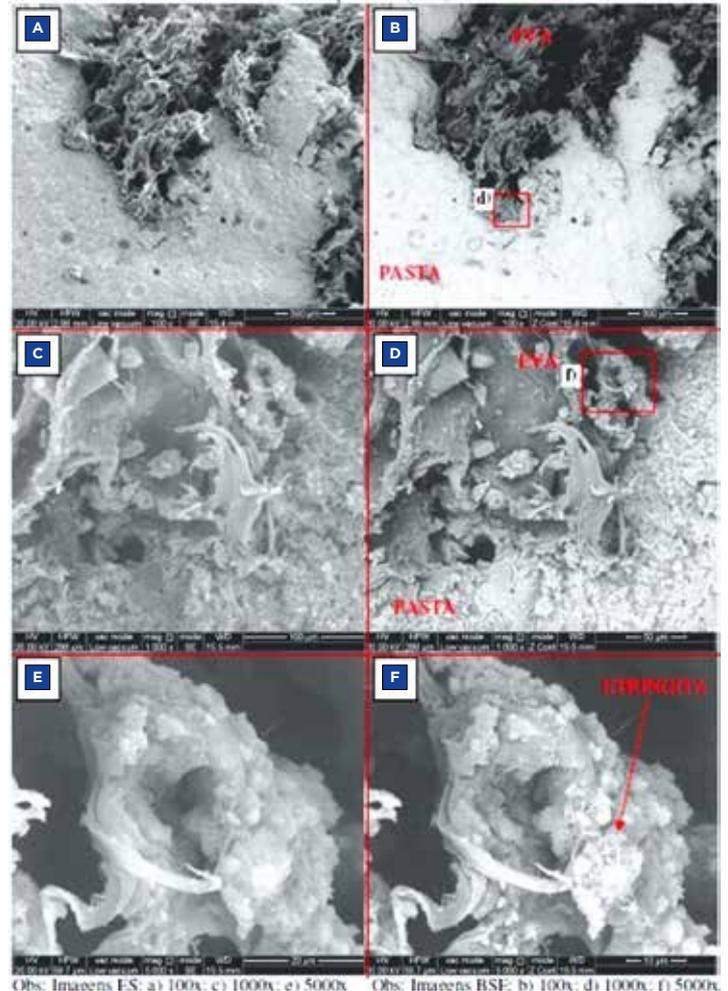


FIGURA 10
IMAGENS MEV DA PASTA DE CIMENTO EVA:CI

teriza de fato o EVA como um agregado inerte. Quando se analisa a microestrutura na zona de transição pasta-agregado de EVA, existe uma diferenciação entre o uso do agregado previamente saturado ao que não passou por esse procedimento. Existindo uma maior formação

de hidróxido de cálcio nas misturas com imersão prévia. Comportamento semelhante aos agregados naturais.

Enfim, conclui-se que, para os teores de EVA incorporados nos concretos dosados nesse estudo, não há diferenças significativas provocadas pelo procedimento

de imersão prévia em água do agregado de EVA. As propriedades avaliadas não sofreram modificações que justificassem tal procedimento antes da utilização do EVA, sendo indicado o uso deste resíduo para produção de concretos leves estruturais e não estruturais. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CALÇADOS (ABICALÇADOS). Relatório anual 2022. Nova Hamburgo, 2022, 68. Disponível em: < <https://assets.abicalcados.com.br/6684/Relato%CC%81rio-Anual-2022.pdf>>. Acessado em 20 de maio de 2024.
- [2] BEZERRA, A. J. V. et al. use of EVA (ethylene vinyl acetate) aggregates in plastic consistency concrete: dosage study. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE SUSTAINABILITY, 2013, Tokyo. Anais do evento. ICCS13, 2013.
- [3] BALAGOPAL, V. et al. Sustainable concrete interlock tile using rice husk ash & EVA polymer. Materials Today: Proceedings. v. 3, 2023.
- [4] CHAGAS, D. T. et al. Gestão de resíduos produzidos na indústria calçadista e implantação de programas ambientais. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 10, n. 1, p. 189-202, 2021.
- [5] LIANG, C. et al. Effect of additional water content and adding methods on the performance of recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, v. 423, 2024.
- [6] LIN, Chen-Han; YU, Jason. Research on improving polymer pervious concrete mechanical strength by adding EVA to UP resin binder material. Construction and Building Materials, v. 359, p. 129416, 2022.
- [7] MARQUES, A.; GUEDES, G.; FERREIRA, F. Leather wastes in the Portuguese footwear industry: new framework according design principles and circular economy. Procedia Engineering, v. 200, p. 303-308, 2017.
- [8] TUTIKIAN, B. F. et al. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. Ambiente Construído, v. 17, n. 3, p. 295-306, 2017.
- [9] VARGAS, P. et al. Microstructural analysis of interfacial transition zone (ITZ) and its impact on the compressive strength of lightweight concretes. Construction and Building Materials, v. 137, p. 381-389, 2017.

KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de DURABILIDADE das ESTRUTURAS de CONCRETO

O conjunto de **Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto** é fruto do trabalho do **Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto**.



PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado **SÓCIOS:** R\$ 300,00 | **NÃO SÓCIOS:** R\$ 550,00



Adquira o seu na
Loja Virtual
do IBRACON:

<http://lojaibracon.org.br>

Patrocínio