CAPÍTULO 27 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/xrsm0b51
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/774b0w13

INTERAÇÃO ENTRE OS COMPOSTOS HIDRATADOS DA MATRIZ CIMENTÍCIA E TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE À BASE DE SILICATO DE ETILA

Adriana Fiori Moura[1]*; Tauana Andriele Cecchin Paza[1]; Eloise Aparecida Langaro[1]; Eduardo Pereira[1] e Fernanda Brekailo[1]
*Autor de contato: a.fiorimoura@gmail.com

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

RESUMO

Este trabalho avalia dois tratamentos de superfície à base de silicato de etila, TS28 e TS40, visando compreender sua interação com a matriz cimentícia e seus efeitos em parâmetros físicos associados ao transporte de água em meio poroso. Inicialmente, os tratamentos foram caracterizados por termogravimetria e derivada termogravimétrica, identificando-se faixas de perda de massa associadas à liberação de voláteis e à evolução térmica das formulações. Em seguida, pastas de cimento Portland (a/c = 0,45) foram submetidas aos tratamentos após cura e analisadas por difração de raios X, fluorescência de raios X e termogravimetria, além de ensaios físicos com ênfase em absorção por imersão e porosidade aparente, sob diferentes condições de cura. Os resultados indicaram perfis térmicos distintos entre TS28 e TS40 e respostas diferenciadas do sistema cimentício. Em conjunto, os achados indicam que a resposta do sistema cimentício ao tratamento de superfície com silicato de etila é condicionada tanto ao tipo de formulação quanto à disponibilidade hídrica após a aplicação, com melhor desempenho do TS40 em cura úmida, evidenciado por menores valores de porosidade aparente e absorção.
Palavras-chave: tratamento de superfície; pasta de cimento; silicato de etila.

ABSTRACT

This study evaluates two ethyl silicate-based surface treatments, TS28 and TS40, aiming to understand their interaction with cementitious matrices and their effects on physical parameters associated with water transport in porous media. First, the treatments were characterized by thermogravimetry and derivative thermogravimetry, allowing the identification of mass-loss ranges associated with the release of volatile compounds and the thermal evolution of the formulations. Subsequently, Portland cement pastes with a water-to-cement ratio of 0.45 were subjected to the surface treatments after curing and analyzed by X-ray diffraction, X-ray fluorescence, and thermogravimetry, in addition to physical tests focused on water absorption and apparent porosity under different curing conditions. The results revealed distinct thermal profiles for TS28 and TS40, as well as differentiated responses of the cementitious system. Overall, the findings indicate that the response of the cementitious matrix to ethyl silicate surface treatment depends on both the formulation type and the availability of water after application, with TS40 under wet curing showing the most favorable performance, marked by lower apparent porosity and water absorption.
Keywords: surface treatment; cement paste; ethyl silicate.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade de materiais cimentícios é fortemente condicionada pela zona superficial, na qual se concentram os processos de interação com água e espécies agressivas. Nesse cenário, tratamentos de superfície têm sido empregados para modificar propriedades de transporte, reduzir o ingresso de agentes deletérios e, consequentemente, contribuir para o desempenho em serviço. A interpretação da eficiência desses sistemas beneficia-se de uma leitura integrada entre mecanismos de transporte e evidências físico-químicas do substrato tratado (Medeiros; Helene, 2009), por revisões recentes sobre tratamentos de superfície em concreto (Pan *et al*., 2017) e no contexto de proteção superficial com silicatos (Langaro, 2023).

Entre os tratamentos inorgânicos, o silicato de etila, frequentemente associado ao tetraetil ortossilicato (TEOS) e a polisilicatos parcialmente hidrolisados, destaca-se por atuar como precursor sol-gel. Em presença de umidade, sua hidrólise e condensação podem conduzir à formação de uma rede de sílica amorfa na região impregnada. Além do preenchimento parcial de poros, a sílica formada pode consumir portlandita e contribuir para a formação adicional de C-S-H na zona superficial, com possíveis ganhos de densificação e de propriedades de barreira. Evidências desses mecanismos e de melhoria de desempenho são reportadas na literatura (Barberena-Fernández; Carmona-Quiroga; Blanco-Varela, 2015; Cai *et al*., 2016; Franzoni; Pigino; Pistolesi, 2013; Pigino *et al*., 2012; Sandrolini; Franzoni; Pigino, 2012).

Apesar do uso recorrente do silicato de etila como consolidante e protetor superficial, persistem lacunas quanto à sua interação com os produtos de hidratação do cimento sob diferentes regimes de cura, especialmente no que se refere ao papel da disponibilidade hídrica após a aplicação na progressão das reações de hidrólise e condensação e em seus reflexos sobre a microestrutura superficial. Essa questão torna-se particularmente relevante ao comparar formulações comerciais com diferentes teores de SiO_2 e graus de pré-hidrólise, como TS28 e TS40 (Datiquim, 2026).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi investigar de que modo silicatos de etila com diferentes graus de pré-hidrólise, TS28 e TS40, influenciam a evolução das fases hidratadas e os parâmetros físicos associados ao transporte em pastas de cimento com relação água/cimento de 0,45, submetidas à cura úmida e à cura selada. Para tanto, as amostras foram avaliadas por difração de raios X, fluorescência de raios X, termogravimetria, absorção por imersão e porosidade aparente, buscando uma interpretação convergente dos efeitos do tipo de tratamento e da condição de cura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados incluíram cimento Portland CPV-ARI e silicatos de etila nas formas TS28 e TS40. O CPV-ARI (Tabela 1) foi selecionado por apresentar baixo teor de adições minerais, reduzindo a interferência de materiais suplementares na interpretação do balanço Ca/Si e na quantificação de fases por TG. Para os ensaios no estado endurecido, foram moldados corpos de prova cilíndricos com 2,0 cm de diâmetro e 1,0 cm de altura.

Tabela 1 - Composição química média do cimento CPV, em %

Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Perda ao fogo	CaO livre	Resíd. Insol.	Equiv. Alcal.
4,39	18,6	3,69	61,3	3,37	2,70	3,56	1,65	0,83	0,68

Fonte: Itambé, 2025.

Os silicatos de etila TS28 e TS40 foram utilizados como tratamentos de superfície, conforme especificações do fornecedor. As principais diferenças entre as formulações referem-se ao teor mínimo de SiO_2 e ao grau de pré-hidrólise, conforme apresentado na Tabela 2. Essas características foram consideradas no delineamento experimental e na interpretação dos resultados obtidos por difratometria de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX) e termogravimetria (TG).

Tabela 2 - Propriedades físicas dos silicatos de etila utilizados

Propriedade	TS28	TS40
Composição	Orto silicato de tetraetila	Poli etóxi siloxano
Densidade a 20°C (g/cm³)	0,93 a 0,94	1,055 a 1,065
Teor mínimo de SiO_2 (%)	28	40
Viscosidade a 25°C (cP, aprox.)	1	5
Índice de refração a 25°C	1,381 a 1,383	1,396 a 1,398
Estado de hidrólise	Não hidrolisado	Parcialmente hidrolisado
Proporção de sólidos[1]	10,91%	53,13%

Fonte: Hergrand do Brasil Ltda, *[S.d.]*.

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização dos silicatos

Os silicatos de etila são fornecidos como líquidos, nos quais a fração reativa é majoritariamente orgânica e, em parte, já apresenta espécies siloxânicas. Para fins de comparação entre TS28 e TS40, determinou-se o teor de sólidos por secagem em estufa a 100 °C até massa constante. A fração não volátil obtida após secagem foi utilizada para as análises de DRX e TG/DTG.

A composição química do substrato cimentício foi avaliada por FRX nas pastas em cura úmida, enquanto a evolução de fases hidratadas foi investigada por DRX e TG/DTG.

2.2.2 Caracterização química e mineralógica das pastas

Foram moldadas pastas cilíndricas com relação água/cimento de 0,45. Após 24 h, aplicou-se cada produto na superfície das pastas com pincel, em duas demãos cruzadas (sentidos vertical e horizontal), com intervalo de 20 min entre demãos.

No total, foram utilizados 28 corpos de prova, sendo oito sem tratamento (referência, REF), dez com TS28 e dez com TS40. Após 48 h, metade das amostras de cada categoria foi submetida à cura em câmara úmida (U), enquanto a outra metade permaneceu em cura selada (S), sem contato direto com água.

As análises de caracterização foram realizadas aos 28 dias. Para interromper a hidratação, os corpos de prova foram submetidos à troca de solvente com álcool isopropílico e, em seguida, à secagem controlada, procedimento recomendado para preservação da assembleia de hidratos em análises por DRX e TG (Snellings *et al*., 2018; Hoppe Filho *et al*., 2021).

Para os ensaios de DRX e TG/DTG, as amostras foram moídas em cadinho com pistilo. O DRX foi realizado em difratômetro com radiação Cu Kα (λ = 1,54 Å), faixa de 5° a 90° (2θ) e passo de 0,02°. A TG/DTG foi conduzida até 750 °C sob atmosfera inerte, registrando-se a perda de massa em função da temperatura. Para FRX, as pastas em cura úmida foram analisadas na condição de pó seco e homogeneizado.

2.2.3 Ensaio de absorção e porosidade

Buscando avaliar a absorção de água e a porosidade aparente, foi realizado o ensaio de absorção por imersão com base na ABNT NBR 16917 (2021) e em Hoppe Filho *et al*. (2021). Para isso, foram determinadas a massa seca (mA), a massa saturada superfície seca (mB) e a massa submersa (mC). Para o ensaio, foi utilizado um corpo de prova por categoria, após 28 dias de cura dos silicatos, de modo que os resultados obtidos para essa etapa devem ser interpretados em caráter descritivo e comparativo.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização dos tratamentos (TS28 e TS40)

3.1.1 Teor de sólidos

Na Tabela 3 é possível visualizar a porcentagem de sólidos presente em cada um dos tratamentos utilizados. Observou-se que o TS40 apresentou teor de sólidos superior ao TS28, resultado coerente com seu maior teor nominal de SiO_2 e com seu caráter parcialmente pré-hidrolisado. Em termos de implicação para o sistema, uma maior fração não volátil tende a aumentar a disponibilidade de espécies silicosas remanescentes após a evaporação de voláteis, o que pode influenciar a interação do tratamento com a matriz cimentícia, sobretudo quando há disponibilidade hídrica para a progressão das reações de hidrólise e condensação na zona impregnada.

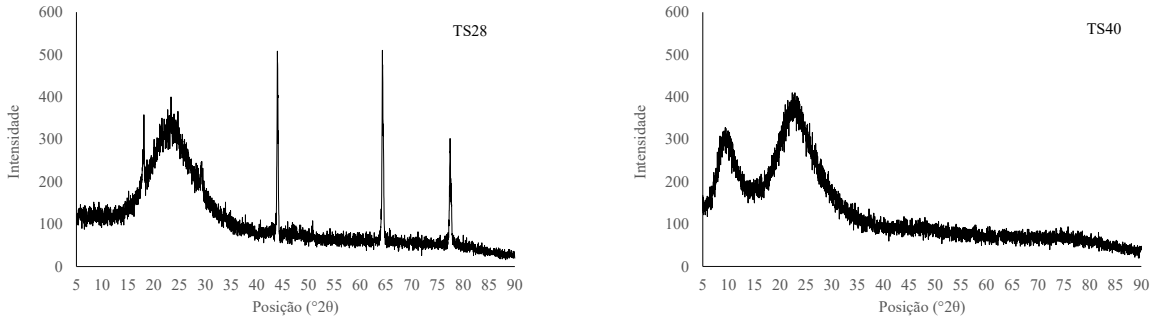
Tabela 3 - Teor de sólidos dos tratamentos

Tratamento	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de sólidos (%)
TS28	50,0	5,46	10,91%
TS40	19,2	10,2	53,13

3.1.2 Difratometria de raios X

Na Figura 1 são apresentados os difratogramas de raios X dos tratamentos. O TS40 exibiu predominantemente contribuição amorfa, sem reflexões intensas, enquanto o TS28 apresentou reflexões discretas sobre um halo amorfo, indicando coexistência de frações amorfa e cristalina. Esse resultado é compatível com diferenças de formulação e de processamento entre os produtos, que podem refletir-se na forma de sílica presente após secagem.

Figura 1 - Difração de raios X dos tratamentos TS28 e TS40, à esquerda e à direita, respectivamente



3.1.3 Fluorescência de raios X

A Tabela 4 apresenta a composição química da fração não volátil dos tratamentos, obtida por FRX. Observa-se que ambos os produtos são dominados por CaO, em teores próximos de 75%, enquanto o SiO_2 constitui o segundo óxido mais representativo, com valores em torno de 12%. Em menores proporções, identificaram-se ainda Fe_2O_3, Al_2O_3, SO_3 e MgO.

Tabela 4 - Composição química dos tratamentos, em %

Composto / Tratamento	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	SO_3	MgO	K_2O	TiO_2	SrO
TS28	75,041	12,133	3,213	3,216	2,312	2,079	1,366	0,347	0,294
TS40	75,397	12,679	3,163	2,945	2,363	1,776	1,051	0,336	0,289

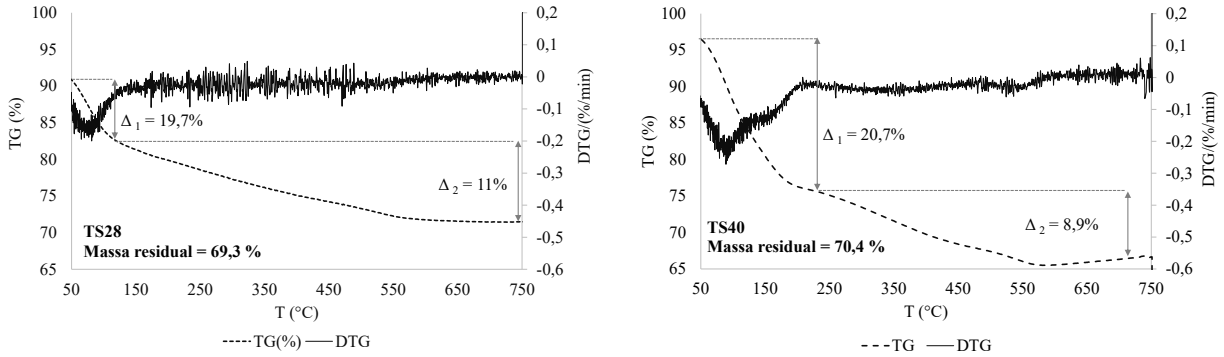
Em termos comparativos, o TS40 exibe teor ligeiramente superior de SiO_2 (12,679% versus 12,133% no TS28), em consonância com sua natureza mais silicosa. As demais variações são discretas, com TS28 apresentando valores marginalmente maiores de Al_2O_3, MgO e óxido de potássio (K_2O), enquanto dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de estrôncio (SrO) permanecem praticamente constantes.

No conjunto, os dados indicam alta similaridade composicional entre os tratamentos, com diferença principal associada ao incremento de SiO_2 no TS40, resultado que corrobora a interpretação dos difratogramas ao sugerir maior contribuição de fases silicosas no resíduo sólido.

3.1.4 Termogravimetria

Na Figura 2 são apresentadas as termogravimetrias dos tratamentos utilizados. Considerando que as curvas TG e DTG foram obtidas a partir da fração não volátil após secagem a 100 °C até massa constante, o primeiro evento térmico deve ser interpretado como a combinação de remoção de água fisicamente adsorvida e de voláteis residuais retidos na rede, além de condensação tardia de grupos silanol com liberação de moléculas leves (principalmente água, e eventualmente álcool). Nessa leitura, o TS28 apresenta o evento principal aproximadamente entre 30 e 125 °C, com perda de massa de 9,3%, enquanto o TS40 estende esse evento até cerca de 220 °C, com perda de 21,14%.

Figura 2 - Termogravimetria dos tratamentos TS28 e TS40, à esquerda e à direita, respectivamente



A maior extensão em temperatura e a maior perda de massa do TS40 são coerentes com sua condição parcialmente pré-hidrolisada e com a maior proporção de sólidos informada para o produto, o que tende a produzir uma rede sol-gel mais conectada e com maior capacidade de retenção de água e espécies voláteis no resíduo seco, prolongando a liberação desses constituintes na TG.

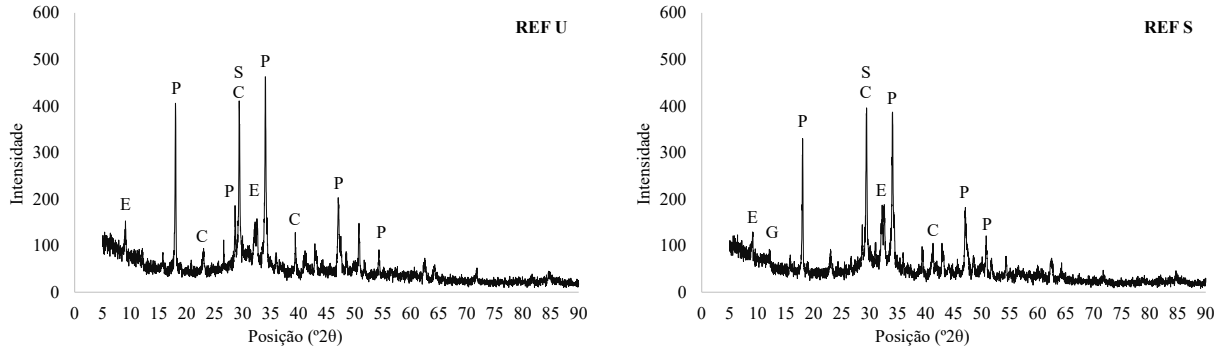
Em temperaturas mais elevadas, a perda de massa passa a ocorrer de forma mais lenta e difusa, compatível com a eliminação de remanescentes orgânicos e com processos de desidroxilação e densificação da fase silicosa até 750 °C. Essa interpretação é consistente com o fato de o TS40 ser globalmente mais "silicoso" que o TS28, tanto pelas especificações do fornecedor quanto pelo SiO_2 ligeiramente maior medido na fração não volátil.

3.2 Avaliações das pastas com os tratamentos de superfície

3.2.1 Difração de raios X

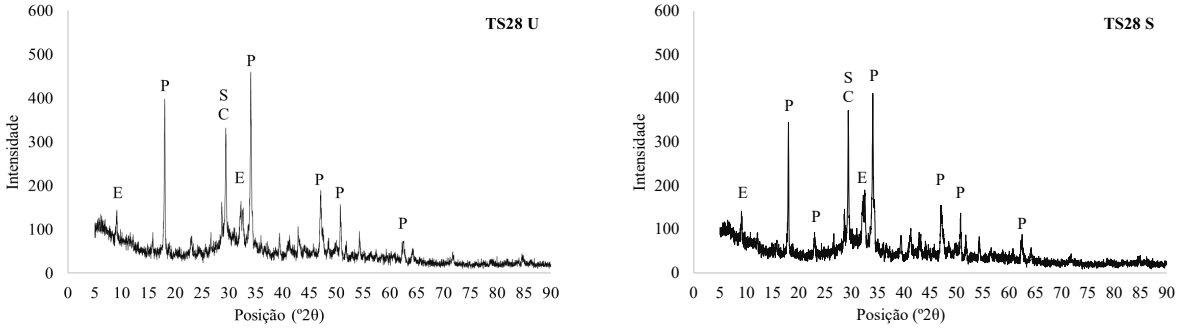
As Figuras 3 a 5 apresentam os difratogramas das pastas aos 28 dias. Identificaram-se etringita, portlandita e calcita, além do halo amorfo associado ao C-S-H. Na referência, a cura selada reduziu a intensidade relativa da portlandita, indicando menor avanço de hidratação. Nas amostras tratadas, observou-se alteração do halo amorfo, sugerindo modificação da região rica em C-S-H. Dada a baixa cristalinidade do C-S-H, a evidência por DRX é qualitativa e deve ser interpretada em conjunto com TG/DTG (Barberena-Fernández; Carmona-Quiroga; Blanco-Varela, 2015; Franzoni; Pigino; Pistolesi, 2013; Sandrolini; Franzoni; Pigino, 2012).

Figura 3 - DRX das amostras de referência em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente



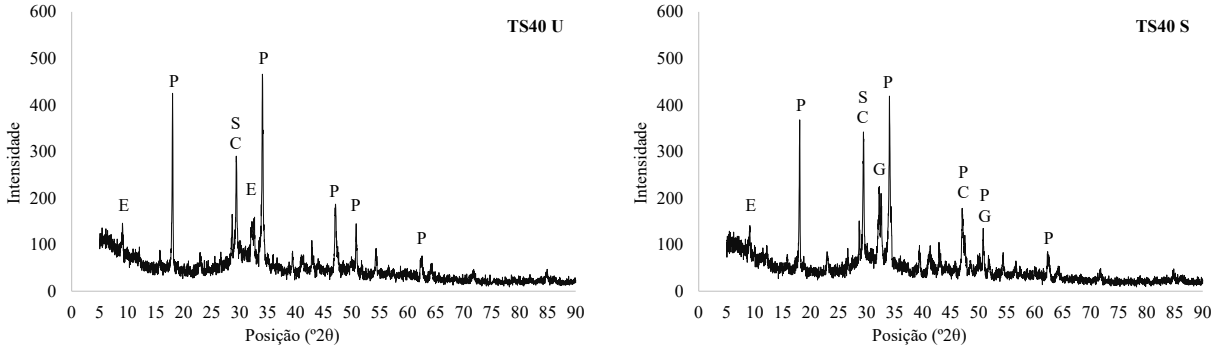
Legenda: P - Portlandita; C - Calcita; S - C-S-H (halo amorfo); G - Gipsita; E – Etringita

Figura 4 - DRX das amostras com tratamento (TS28) em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente



Legenda: P - Portlandita; C - Calcita; S - C-S-H (halo amorfo); G - Gipsita; E – Etringita

Figura 5 - DRX das amostras com tratamento (TS40) em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente



Legenda: P - Portlandita; C - Calcita; S - C-S-H (halo amorfo); G - Gipsita; E - Etringita

3.2.2 Fluorescência de Raios X

A Tabela 5 sintetiza os óxidos obtidos por FRX nas amostras em cura úmida. Observou-se incremento de SiO_2 de 11,909% (REF U) para 12,133% (TS28 U) e 12,679% (TS40 U), acompanhado de redução de CaO em relação à referência. O padrão é compatível com a maior contribuição silicosa do TS40 e reforça que, mesmo com aplicação superficial, há alteração detectável na composição global do material moído, ainda que a FRX possa subestimar mudanças restritas à zona impregnada, devido à homogeneização do pó analisado.

Tabela 5 - Principais óxidos obtidos por FRX nas amostras em cura úmida

Óxido	REF U (%)	TS28 U (%)	TS40 U (%)
CaO	76,909	75,041	75,397
SiO_2	11,909	12,133	12,679
Al_2O_3	3,246	3,216	2,945
Fe_2O_3	3,394	3,213	3,163
SO_3	2,367	2,312	2,363
MgO	n.d.	2,079	1,776
K2O	1,553	1,366	1,051
TiO_2	0,318	0,347	0,336
SrO	0,304	0,294	0,289

3.2.3 Termogravimetria

Foi realizado ensaio de termogravimetria para avaliar, de forma comparativa, alterações nos produtos hidratados associadas ao uso de silicatos como tratamento de superfície. Foram identificadas três faixas principais de perda de massa: a primeira, entre 25 °C e 375 °C, associada à desidratação de compostos hidratados, incluindo C-S-H e fases sulfoaluminatas. A segunda, entre 375 °C e 475 °C, atribuída à desidroxilação da portlandita. A terceira, entre 475 °C e 730 °C, relacionada predominantemente à decomposição de carbonatos. A partir das perdas de massa em cada patamar, foram estimados teores relativos associados às fases de interesse (Figuras 6 a 8). Os valores foram corrigidos para a base de não voláteis, visando permitir a comparação entre condições, procedimento reportado na literatura (Hoppe Filho *et al*., 2017).

Figura 6 - Termogravimetria das amostras de referência em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente

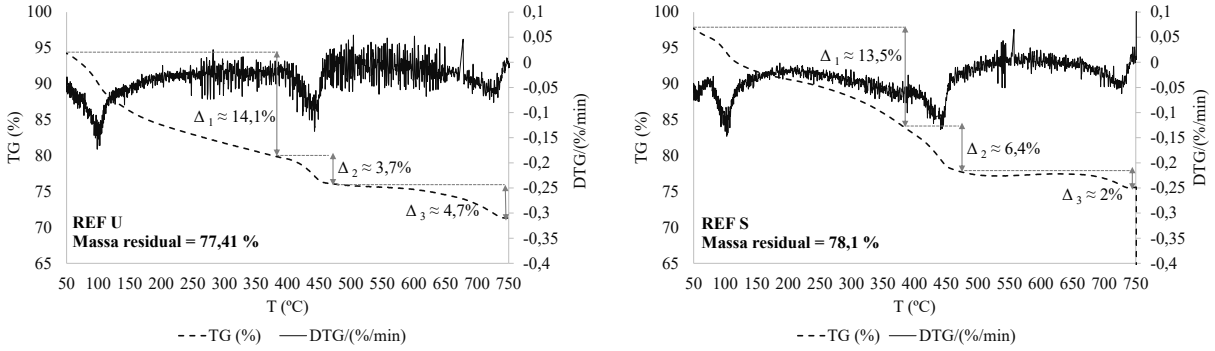


Figura 7 - Termogravimetria das amostras com tratamento (TS28) em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente

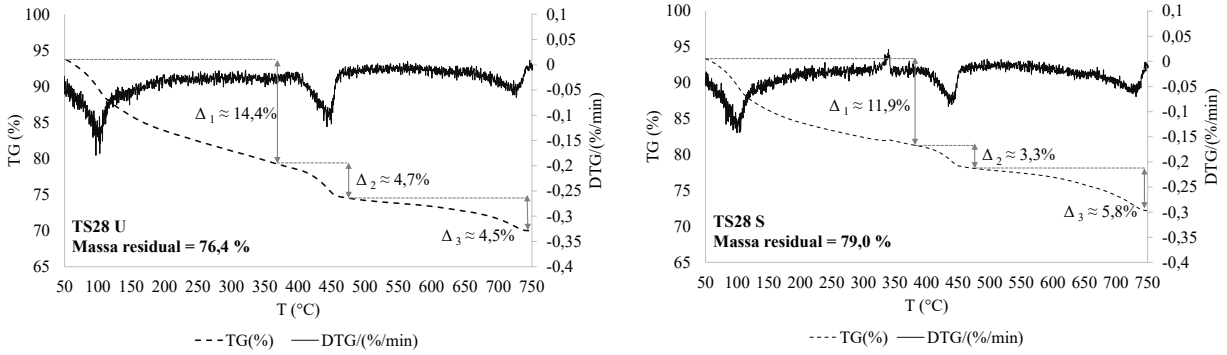
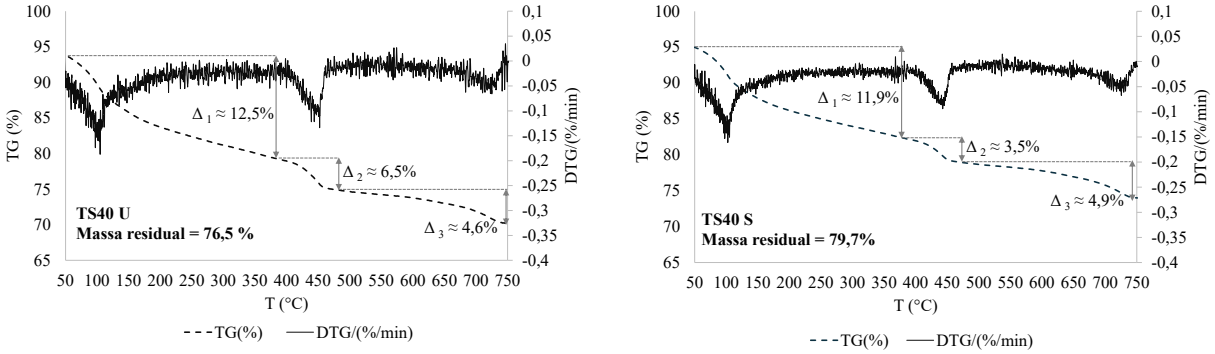


Figura 8 - Termogravimetria das amostras com tratamento (TS40) em 28 dias de cura úmida (U) e cura selada (S), à esquerda e à direita, respectivamente



Nas amostras tratadas, observou-se redução das perdas de massa no intervalo de 25 °C a 375 °C, associado à desidratação de compostos hidratados, com maior evidência nas condições de cura selada. Esse comportamento pode indicar menor grau de hidratação na região analisada e, ou, alteração na distribuição dos produtos hidratados próximos à superfície em função do tratamento.

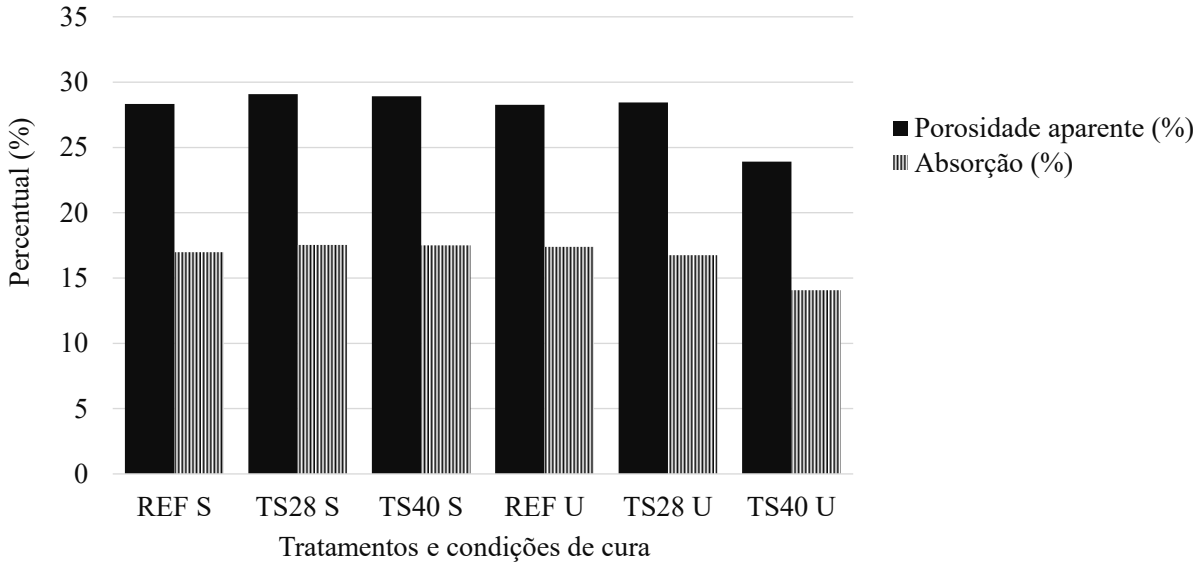
No intervalo de 375 °C a 475 °C, associado à portlandita, verificou-se redução do teor estimado de $Ca(OH)_2$ nas amostras seladas tratadas em relação à referência, comportamento compatível com consumo parcial de CH por reação com sílica e, ou, menor formação de CH por hidratação. Por outro lado, na cura úmida, os valores estimados de $Ca(OH)_2$ foram superiores nas amostras tratadas, o que pode refletir maior avanço de hidratação sob maior disponibilidade hídrica e microambiente superficial distinto, sem evidência conclusiva, aos 28 dias, de consumo líquido de CH. Assim, a interpretação deve ser realizada com cautela, considerando a amostragem, a heterogeneidade superficial e a necessidade de séries temporais e replicatas para consolidar o mecanismo, conforme discutido para TEOS (Barberena-Fernández; Carmona-Quiroga; Blanco-Varela, 2015; Sandrolini; Franzoni; Pigino, 2012).

Sob essa perspectiva, os resultados termogravimétricos devem ser analisados em conjunto com os ensaios físicos, uma vez que alterações na evolução dos hidratos e na disponibilidade de portlandita podem refletir-se, ainda que indiretamente, na estrutura porosa acessível ao transporte de água. Assim, a avaliação de absorção por imersão e porosidade aparente contribui para complementar a interpretação do efeito dos tratamentos na zona superficial das pastas.

3.2.4 Ensaio de Absorção e Porosidade

A Figura 9 apresenta os resultados de porosidade aparente e absorção por imersão das pastas de cimento aos 28 dias, em função do tratamento de superfície e da condição de cura.

Figura 9 - Resultados de porosidade aparente e absorção por imersão das pastas de cimento aos 28 dias, em função do tratamento de superfície e da condição de cura.



De modo geral, em cura selada, os valores de porosidade aparente e absorção permaneceram próximos entre a referência e as amostras tratadas, sem indicação de melhoria relevante, com porosidade em torno de 28% a 29% e absorção próxima de 17%. Em cura úmida, por outro lado, o

tratamento TS40 apresentou os resultados mais favoráveis, com porosidade aparente de 23,91% e absorção de 14,07%, inferiores aos observados para a referência em cura úmida, que apresentou 28,27% e 17,38%, respectivamente.

Com o objetivo de complementar a leitura dos valores absolutos apresentados na Figura 9, a Tabela 6 reúne os resultados de porosidade aparente e absorção, bem como a variação percentual em relação às amostras de referência dentro de cada condição de cura.

Tabela 6 - Resultados de porosidade aparente, absorção e variação percentual em relação às referências, por condição de cura

Condição	Comparação	Porosidade aparente (%)	Absorção (%)	Variação da porosidade aparente (%)	Variação da absorção (%)
Cura selada	REF S	28,33	16,99	—	—
Cura selada	TS28 S em relação à REF S	29,09	17,54	+2,68	+3,28
Cura selada	TS40 S em relação à REF S	28,92	17,51	+2,09	+3,05
Cura úmida	REF U	28,27	17,38	—	—
Cura úmida	TS28 U em relação à REF U	28,44	16,75	+0,60	-3,66
Cura úmida	TS40 U em relação à REF U	23,91	14,07	-15,42	-19,04

A análise da variação percentual reforça a distinção entre os comportamentos observados em cura selada e em cura úmida. Em cura selada, os tratamentos TS28 e TS40 promoveram aumentos discretos tanto na porosidade aparente quanto na absorção, variando de +2,09% a +2,68% para a porosidade e de +3,05% a +3,28% para a absorção, o que sugere ausência de melhoria física relevante nessa condição. Em cura úmida, o tratamento TS28 apresentou comportamento próximo ao da referência, com variação de +0,60% na porosidade aparente e de -3,66% na absorção. Já o TS40 apresentou reduções mais expressivas, de -15,42% na porosidade aparente e de -19,04% na absorção, configurando a resposta mais favorável entre as condições avaliadas.

Esses resultados sugerem que a efetividade do tratamento depende não apenas da formulação empregada, mas também da disponibilidade de água após a aplicação. Em condição úmida, a maior oferta hídrica pode ter favorecido a progressão das reações de hidrólise e condensação do silicato de etila, especialmente no caso do TS40, parcialmente pré-hidrolisado e com maior teor de sólidos, contribuindo para uma modificação mais efetiva da zona superficial e para a redução dos parâmetros associados ao transporte de água. Em cura selada, por outro lado, a restrição hídrica parece ter limitado esse potencial de atuação, o que é coerente com a ausência de melhoria relevante nos ensaios físicos. Ressalta-se, contudo, que os resultados deste ensaio possuem caráter descritivo, uma vez que foi utilizado um corpo de prova por categoria, não sendo possível estabelecer inferências estatísticas a partir desses dados.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os tratamentos à base de silicato de etila TS28 e TS40 apresentam comportamentos distintos quando aplicados sobre pastas de cimento, com respostas dependentes tanto da formulação quanto da condição de cura subsequente. O TS40 destacou-se por apresentar maior teor de sólidos e maior fração não volátil, refletida em resíduo mais elevado nas curvas de TG, além de comportamento compatível com maior potencial de atuação na zona superficial.

As análises de DRX, FRX e TG/DTG indicaram alterações na evolução das fases hidratadas e nos parâmetros térmicos do sistema cimentício, cuja interpretação deve ser realizada de forma integrada e com cautela, em razão da heterogeneidade superficial e da ausência de replicatas em parte dos ensaios físicos. Do ponto de vista das propriedades associadas ao transporte, em cura selada não se observaram melhorias expressivas em relação à condição de referência. Em contrapartida, em cura úmida, o TS40 apresentou a resposta mais favorável, com redução de porosidade aparente e de absorção, indicando melhor desempenho global nessa condição. Esses resultados são coerentes com a maior disponibilidade hídrica para a progressão das reações associadas ao tratamento na zona superficial.

Assim, a efetividade do tratamento de superfície com silicato de etila mostrou-se dependente da combinação entre a natureza do produto e a disponibilidade hídrica após sua aplicação. Entre as condições avaliadas, o uso do TS40 sob cura úmida mostrou-se o cenário mais promissor para a redução dos parâmetros físicos associados ao transporte de água na matriz cimentícia.

À luz do objetivo proposto, conclui-se que ele foi satisfatoriamente atendido, uma vez que os resultados permitiram distinguir o efeito do tipo de silicato de etila e da condição de cura sobre a evolução das fases hidratadas e sobre os parâmetros físicos associados ao transporte de água nas pastas de cimento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Ponta Grossa, em especial ao Programa Voluntário de Iniciação Científica (PROVIC), ao Laboratório de Materiais de Construção e ao Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-labmu). Os autores também agradecem à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado e às empresas Itambé e Datiquim pela doação dos produtos para uso nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BARBERENA-FERNÁNDEZ, A. M.; CARMONA-QUIROGA, P. M.; BLANCO-VARELA, M. T. **Interaction of TEOS with cementitious materials: Chemical and physical effects.** Cement and Concrete Composites, v. 55, p. 145–152, 1 jan. 2015.

CAI, Yamei *et al.* **The use of tetraethyl orthosilicate silane (TEOS) for surface-treatment of hardened cement-based materials: A comparison study with normal treatment agents.** Construction and Building Materials, v. 117, p. 144–151, ago. 2016.

DATIQUIM. **Silicato - Siliethyl TS28**. Disponível em: <https://www.datiquim.com.br/produtos/silicatos/siliethyl-ts28>. Acesso em: 3 fev. 2025.

FRANZONI, Elisa; PIGINO, Barbara; PISTOLESI, Carlo. **Ethyl silicate for surface protection of concrete: Performance in comparison with other inorganic surface treatments.** Cement and Concrete Composites, v. 44, p. 69–76, 1 nov. 2013.

HERGRAND DO BRASIL LTDA. **Catálogo técnico Siliethyl TS28 e Siliethyl TS40**. São Paulo: Hergrand do Brasil Ltda, *[S.d.]*.

HOPPE FILHO, Juarez *et al.* **Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte II): Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), difração de raios-X (DRX) e termogravimetria (TG/DtG).** Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, p. e11873, 2017.

ITAMBÉ. **Relatórios de Ensaio.** Brasil: *[S.n.]*. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/assessoria-tecnica/relatorios-de-ensaio/?pro=371>. Acesso em: 17 jul. 2025.

LANGARO, E. A. **Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-sílica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos.** Tese (Doutorado)—Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2023.

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. **Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption.** Construction and Building Materials, v. 23, n. 3, p. 1476–1484, 1 mar. 2009.

PAN, Xiaoying *et al.* A **review on surface treatment for concrete – Part 2: Performance.** Construction and Building Materials, v. 133, p. 81–90, 15 fev. 2017.

PIGINO, Barbara *et al.* **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part II: Characteristics and performance.** Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 3, p. 313–321, 1 mar. 2012.

SANDROLINI, Franco; FRANZONI, Elisa; PIGINO, Barbara. **Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part I: Pozzolanic effect of ethyl silicate.** Cement and Concrete Composites, v. 34, n. 3, p. 306–312, 1 mar. 2012.