

## Estudo comparativo entre cimento supersulfatado (CSS) e cimento *Portland* (CP V-ARI RS): Análise da resistência e da variação dimensional e de massa devido ao ataque por sulfato de magnésio

## Comparative study between supersulfated cement (CSS) and Portland cement (CP V-ARI RS): Analysis of resistance, dimensional and mass variation due to attack by magnesium sulphate

### RESUMO

O cimento gera grande quantidade de CO<sub>2</sub> em sua produção e diante disso, a pesquisa por materiais que agridem menos o meio ambiente vem se destacando. O cimento supersulfatado (CSS), constituído pela escória de alto-forno, é uma alternativa ao cimento *Portland* (CP), pois apresenta vantagens como a alta resistência à compressão, baixo calor de hidratação e boa durabilidade em ambientes quimicamente agressivos. Assim, este trabalho visa avaliar e comparar o comportamento do CSS em relação ao CP frente ao ataque do sulfato de magnésio, utilizando a metodologia Nist Test. Os resultados obtidos mostraram que o CP comporta-se melhor quanto à resistência e expansão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cimento supersulfatado. Ataque por sulfato. NIST Test. Variação dimensional. Cimento *Portland*. Resistência mecânica.

### ABSTRACT

The Cement generates a large amount of CO<sub>2</sub> in its production and faced with this, the search for materials that attack less the environment has been highlighting. The supersulfated cement (SSC), constituted by blast furnace slag, is an alternative to Portland cement (PC), because it has advantages in relation to this cement, such as high compressive strength, low hydration heat and good durability in environments chemically aggressive. Therefore, this work aims to evaluate and compare the behavior of SSC in relation to PC against the attack of magnesium sulphate, using the NIST Test methodology. The results showed that the PC behaves better about resistance and expansion.

Laura Rorato Maciel Neubern  
Souza  
[laura.rorato.neubern@gmail.com](mailto:laura.rorato.neubern@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Pato Branco, Paraná,  
Brasil

Priscila Ongaratto Trentin  
[priscila-trentin@hotmail.com](mailto:priscila-trentin@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Pato Branco, Paraná,  
Brasil

Janaína Sartori Bonini  
[janatoribon@yahoo.com.br](mailto:janatoribon@yahoo.com.br)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Pato Branco, Paraná,  
Brasil

Caroline Angulski da Luz  
[angulski@hotmail.com](mailto:angulski@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Pato Branco, Paraná,  
Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

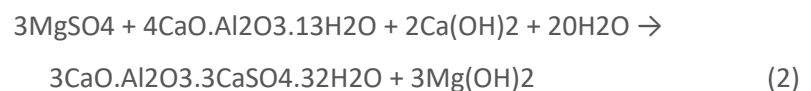


**KEYWORDS:** Supersulfated Cement. Portland Cement. Sulphate Attack. NIST Test. Length Change. Mass variation.

## INTRODUÇÃO

A produção global de cimento tem buscado tornar-se cada vez mais sustentável, estudando a utilização materiais cimentícios ambientalmente e economicamente viáveis, como o cimento supersulfatado (CSS).

O CSS é constituído por até 90% de escória granulada de alto-forno (subproduto do beneficiamento do aço), até 20% de sulfatos e uma pequena quantidade de um ativador alcalino (até 5%), conforme JUENGER (2011). Este cimento possui baixo calor de hidratação e boa durabilidade em ambientes agressivos, como em estruturas expostas à água do mar ou águas subterrâneas contendo sulfato de magnésio. O sulfato de magnésio cria um conjunto de reações que, ao atingirem estruturas de concreto, formam produtos expansivos como a etringita e gipsita (Reação 1 e 2, respectivamente) e a descalcificação do silicato de cálcio hidratado (Reação 3), causando fissuração, redução da resistência e da durabilidade.



Neste contexto, este estudo tem como objetivo analisar o comportamento do cimento supersulfatado ao ataque por sulfato de magnésio, comparando os resultados com aqueles obtidos com o cimento *Portland*.

## MATERIAIS

Para a análise do comportamento do cimento supersulfatado ao ataque do sulfato de magnésio foi utilizado escória proveniente de alto forno de massa específica de 2,83g/cm<sup>3</sup> e superfície específica de 4460 cm<sup>2</sup>/g. Também foi utilizado gipsita, preparada conforme método descrito por Gracioli *et al.* (2017), e o cimento *Portland* tipo V de alta resistência inicial e resistente a sulfatos (CP V-ARI RS) de massa específica de 2,97g/cm<sup>3</sup> e superfície específica de 5027 cm<sup>2</sup>/g.

A composição química dos materiais citados acima está descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química dos materiais utilizados

Óxidos	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SrO	Al*	PF**	SO <sub>3</sub>
Escória	31,3	42,8	13,3	4,8	0,7	0,2	0,4	0,6	-	6	2,6	2,6
Gipsita	1	38,5	0,3	0,2	0,2	-	0,1	-	0,1	-	12,82	46,8
CP V-ARI RS	-	-	-	5,6	-	-	-	-	-	-	4,4	2,9

\*Al: adições inorgânicas; \*\*PF: perda ao fogo

Fonte: Autoria própria (2019).

Como ativador alcalino foi utilizado o cimento CP V-ARI (cimento *Portland* de alta resistência inicial), da marca Itambé, de massa específica de 3,12 g/cm<sup>3</sup> e superfície específica de 5063 cm<sup>2</sup>/g.

Para a preparação da solução de sulfato foi utilizado o sulfato de magnésio anidro (MgSO<sub>4</sub>) granulado com pureza de 98%, distribuído pela empresa Alphatec (P.A), com a concentração de 50 g/L.

Além disso, conforme recomendação de Aleksic, foi utilizado um adesivo estrutural de base epóxi de média fluidez (Master Emaco ADH 227), produzido pela empresa BASF, para proteção das extremidades dos prismas.

## MÉTODOS

Foram preparadas duas formulações de pastas com fator água cimento de 0,45. A primeira formulação era composta de CSS com 80% de escória e 20% de gipsita, sendo utilizado 5% do ativador alcalino (CP V-ARI RS). Já a segunda, apenas para fins de comparação, era inteiramente composta por CP V-ARI RS.

Para a avaliação da variação dimensional e de massa das pastas foi utilizado o método NIST Test estudado por Aleksic, que consiste na moldagem de prismas em miniatura com dimensões de 10x10x60 mm. Foram moldados 7 prismas para cada tipo de cimento e o procedimento de análise da variação dimensional e de massa foi padronizado, conforme Beltrame (2017). Após as aferições de massa e comprimento, os prismas eram imersos em nova solução de sulfato.

Para a avaliação da resistência mecânica, foram moldados 3 corpos de prova para cada tipo de cimento e idade. As informações referentes aos ensaios citados estão contidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Composição química dos materiais utilizados

Ensaio	Idade dos ensaios	Tempo de cura		Tempo de ataque	Equipamento utilizado
		2 dias	2 à 7 dias		
Varição dimensional e de massa	Diariamente nas 2 primeiras semanas e após, semanalmente	Coberto com plástica em câmara úmida*	Cura submersa em Ca(OH) <sub>2</sub> em câmara úmida*	120 dias em solução de MgSO <sub>4</sub>	Balança digital e relógio comparador de comprimento
Resistência mecânica	7,49 e 91 dias			91 dias em solução de MgSO <sub>4</sub>	Prensa hidráulica EMIC DL-30000

\*câmara úmida (U.R. 95-100%), à temperatura de 23±2°C.

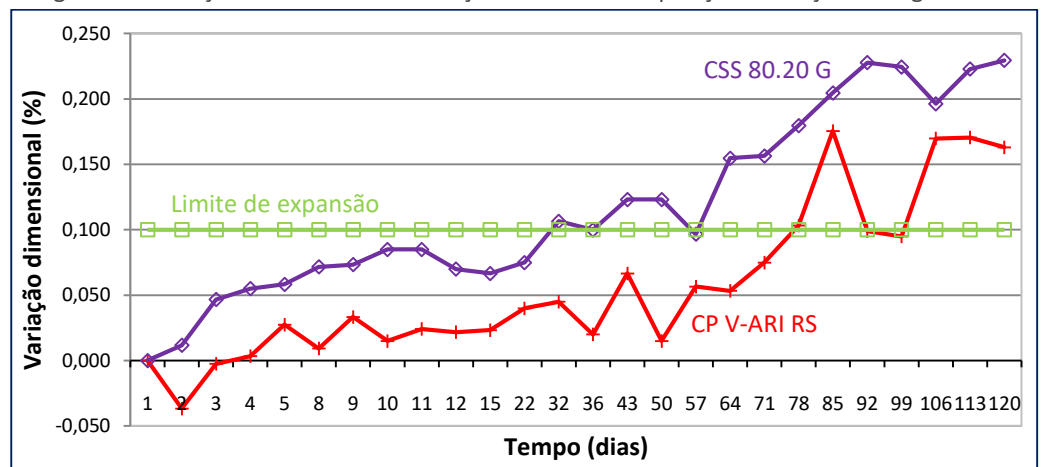
Fonte: Autoria própria (2019).

É importante ressaltar que ao terceiro dia de cura (72 horas) dos prismas, uma mistura de resina epóxi e poliamida era aplicada nas extremidades e laterais (5 mm da extremidade) dos corpos de prova, sendo necessário o tempo de secagem de 6 horas.

### RESULTADOS

Após 120 dias de acompanhamento da variação de massa e dimensional dos prismas, plotou-se os gráficos da Figura 1 e 2, respectivamente.

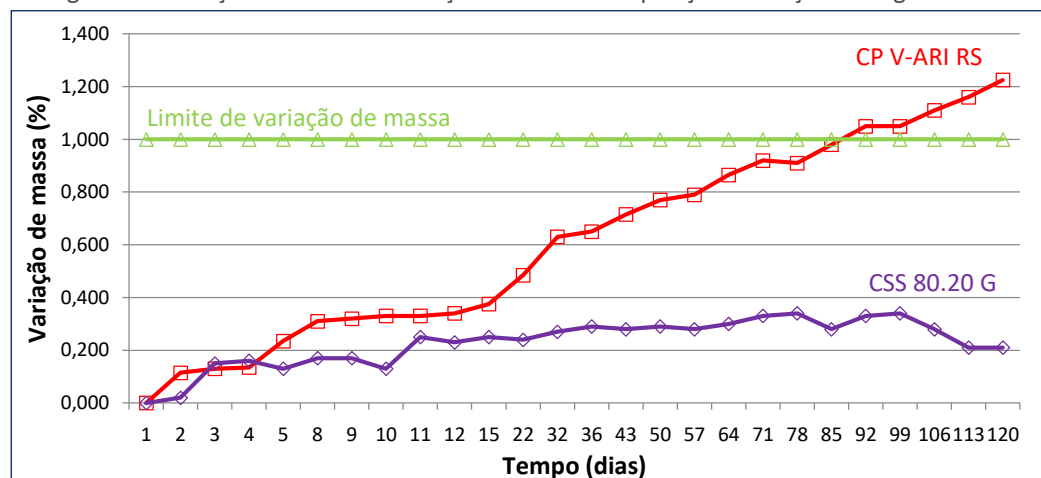
Figura 1 – Variação dimensional em função dos dias de exposição à solução de  $MgSO_4$



Fonte: Autor.

O limite de expansão estabelecido pelo NIST Test é de 0,10% em 56 dias. Analisando a Figura 4, pode-se observar que o cimento supersulfatado ultrapassa o limite de expansão antes mesmo dos 35 dias de ataque pelo sulfato de magnésio. O cimento *Portland* também apresenta comportamento expansivo, porém, se mantém abaixo do limite de 0,10%.

Figura 2 – Variação de massa em função dos dias de exposição à solução de  $MgSO_4$



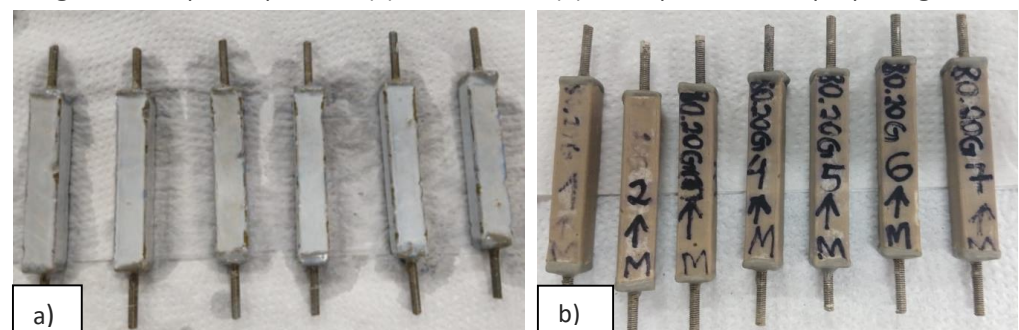
Fonte: Autor.

Já o limite de variação de massa estabelecido pelo NIST Test é de 1% em 42 dias. Analisando a Figura 10, observa-se que tanto o cimento supersulfatado quanto o cimento *Portland* apresentam comportamento abaixo do limite.

Segundo Makhloufi, amostras de cimento *Portland* expostas à solução de sulfato de magnésio, tendem a formar gipsita e brucita na superfície das amostras. Neste estudo, a menor expansão que ocorre com o CP V-ARI RS deve-se a formação de um gel gelatinoso de gipsita e brucita na superfície das pastas, como pode ser observado na Figura 3 (a). O maior aumento de massa apresentado pelo CP V-ARI RS também pode ser justificado em função da formação desse gel.

Analisando a Figura 3 (b), observa-se que nas amostras de CSS não ocorreu a formação do gel gelatinoso na superfície das pastas. Além disso, não foi possível verificar a presença de fissuras ou outros indicativos de degradação.

Figura 3 – Corpos de prova de (a) CP V-ARI RS e (b) CSS expostos ao ataque por  $MgSO_4$



Fonte: Autor.

Quanto aos resultados da resistência à compressão para o cimento supersulfatado e cimento *Portland*, houve um aumento de resistência de 35,21% aos 49 dias (em relação aos 7 dias) e um aumento de 4,36% aos 91 dias (em relação aos 49 dias) para o CP V-ARI RS.

Já para o CSS 80.20 G, houve um aumento de resistência de 42,47% aos 49 dias (em relação aos 7 dias) e um decréscimo de 19,24% aos 91 dias (em relação aos 49 dias).

Comparando os dois traços, aos 91 dias, o cimento *Portland* possui resistência mecânica 48,06% maior que o cimento supersulfatado.

## CONCLUSÕES

Através deste estudo conclui-se que o CSS ultrapassou o limite de expansão (0,10% aos 56 dias) aos 28 dias de ataque por  $MgSO_4$ , o que está em desacordo com diversos autores que apontam que o CSS apresenta boa durabilidade em ambientes agressivos, especialmente quando exposto ao ataque por sulfatos.

No sulfato de magnésio, a elevada expansão, fissuração, perda de massa e queda de resistência apresentadas pelo CSS podem ser explicadas pela redução no pico de CSH e pela formação de etringita como produto expansivo. Esses resultados confirmam a pesquisa realizada por Gruskovnjak *et al.* (2008).

Assim, constata-se que o CP V-ARI RS, em comparação ao cimento supersulfatado, possui melhor comportamento ao ataque por sulfato de magnésio no quesito expansão e resistência à compressão.

### AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora orientadora desse trabalho Prof<sup>a</sup> Dra. Caroline Angulski da Luz, pelo suporte e incentivo à pesquisa. À mestranda Priscila pela amizade e todo o tempo dedicado às minhas dúvidas. À PNPJ Janaína pela disponibilidade e suporte. À todos os colegas do grupo de pesquisa e laboratório, em especial Ana Flávia, Juneor, Leonardo, Isabel, Keila e Mariana pela amizade e ajuda sempre que precisei. Por fim, agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela oportunidade de realizar esta pesquisa científica.

### REFERÊNCIAS

ALEKSIC, M. **Development and Standardization of the NIST Rapid Sulphate Resistance Test**. University of Toronto, 2010.

BELTRAME, N. A. M. **Comportamento do Cimento Álcali Ativado em Ambientes Sulfatados**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

EN 15743, **Supersulfated cement - Composition, specifications and conformity criteria**. European Committee for Standardization, 2010.

GRACIOLI, B.; VARELA, M. F. V.; BEUTLER, C. S.; FRARE, A.; ANGULSKI DA LUZ, C.; PEREIRA FILHO, J. I. **Considerations on the mechanical behavior and hydration process supersulfated cement (CSS) formulated with phosphogypsum**. Revista Matéria, v. 22, n. 01, 2017.

GRUSKOVNJAK, A. et al. Hidration mechanisms of super sulphated slag cement. **Cement and Concrete Research**, v. 38, p. 983–992, 2008.

JUENGER, M. C. G. *et al.* Advances in alternative cementitious binders. **Cement and Concrete Research**, v. 41, p. 1232–1243, 2011.

MAKHLOUFI, Z. *et al.* Effect of magnesium sulfate on the durability of limestone mortars based on quaternary blended cements. **Cement and Concrete Composites**, p. 186–199, 2016.