



20 a 22 de Junho de 2016 - São Paulo/SP

Influência da adição de enxofre sobre o polimorfismo da alita do clínquer de cimento Portland



Antônio Lucas
Gerente de Qualidade
Adrianópolis - PR

Realização



A SECIL no mundo

- Produção e comercialização de Agregados, Cimento e Concreto
- Operação de minas
- Áreas complementares



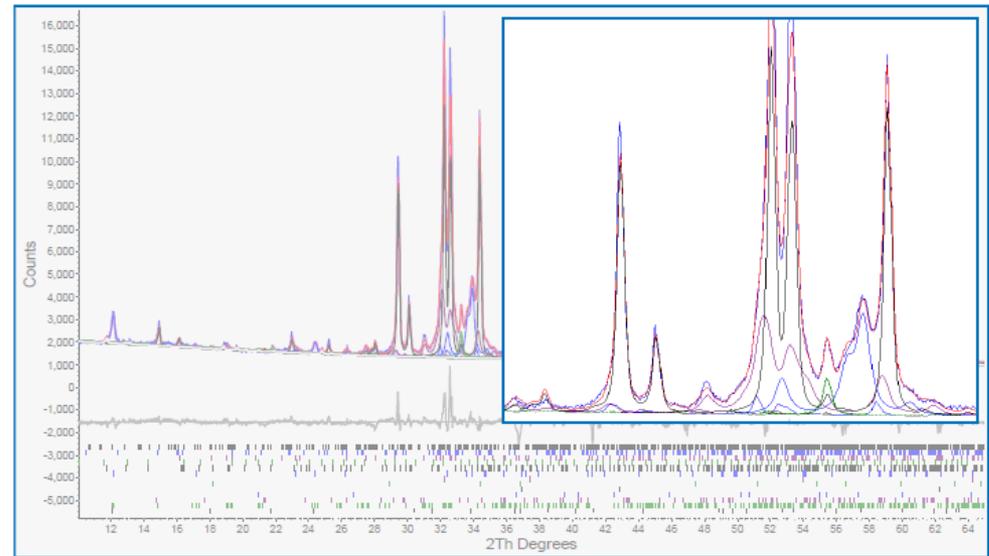
SUPREMO SECIL

**Unidades Fabris no Brasil:
Adrianópolis – Paraná
Pomerode – Santa Catarina**

Unidade Fabril de Adrianópolis – Paraná Controle de Processo e de Qualidade



- **Difração de raios X: Análise Quantitativa de fases**
 - Refinamento de Rietveld
- **Software industrial BRUKER TOPASBBQ**



Unidade Fabril de Adrianópolis – Paraná Quantificação dos compostos cristalinos do clínquer

Objetivos principais:

Ajuste da composição química do cru para controle da alita

Maximização do polimorfo M1 da alita com a introdução de enxofre

✓ Otimização da produção de cimento em função do conteúdo do polimorfo alita M1

XRD	
Hora Min	
	10:39
Alite Sum	65,22 %
Belite	12,37 %
Aluminate	4,07 %
Ferrite	10,62 %
fCaO_XRD	0,58 %
Portlandite	0,07 %
Alite_M3	36,82 %
Alite_M1	28,40 %
Alum_Cubic	3,76 %
Alum_Ortho	0,30 %
Periclase	4,87 %
Quartz	0,00 %
Arcanite	0,12 %
Langbeinite	0,34 %
Aphthitalite	0,60 %

Polimorfismo da Alita

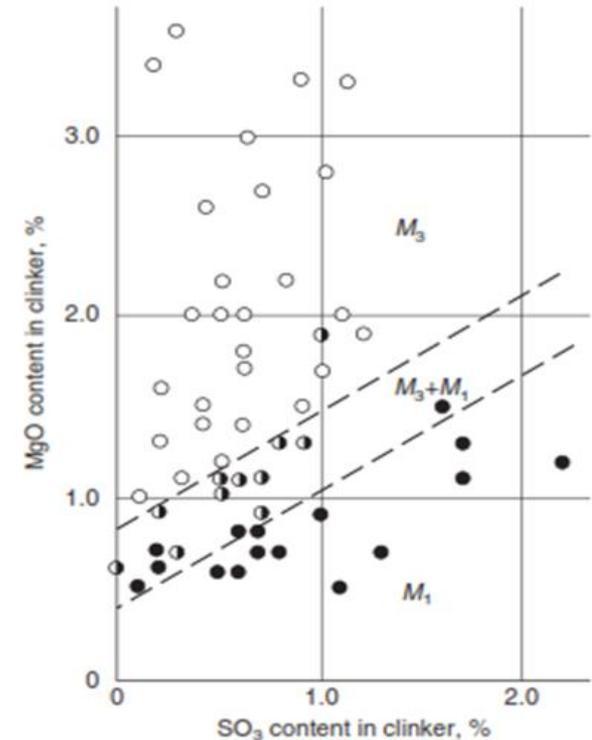
- Sete tipos diferentes de polimorfos:
 - T1, T2, T3 como formas triclinicas;
 - M1, M2, M3 como formas monoclinicas;
 - R como forma romboédrica.



- No clínquer, à temperatura ambiente, podem encontrar-se duas formas monoclinicas de alita (C_3S), a M1 e a M3

Influência da presença de MgO e SO₃ na formação dos polimorfos M1 e M3

- Presença de MgO e SO₃ no clínquer são determinantes na formação do polimorfo C₃S M1:
 - Maiores concentrações de MgO levam à formação de cristais de menores dimensões que invertem para o polimorfo C₃S M3;
 - Maiores concentrações de SO₃ levam a cristais de maior dimensão que invertem para o polimorfo C₃S M1.
- A transformação da fase M3 para M1 pode resultar num aumento de 10% das resistências a 2, 7 e 28 dias (STANĚK e SULOVSKEÝ, 2002)

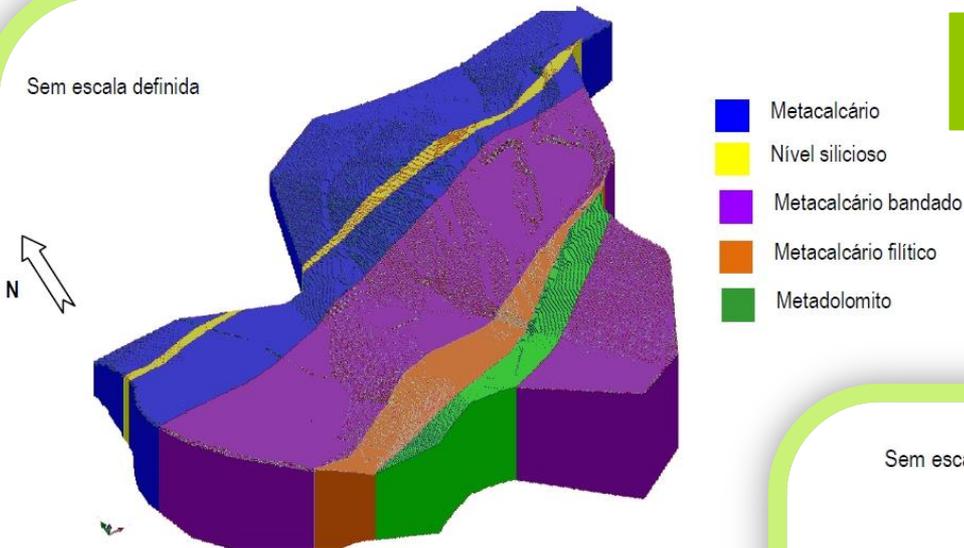


Dependência da formação de M1 e M3 em função do conteúdo de MgO e SO₃ (MAKI, I., & GOTO, 1982)

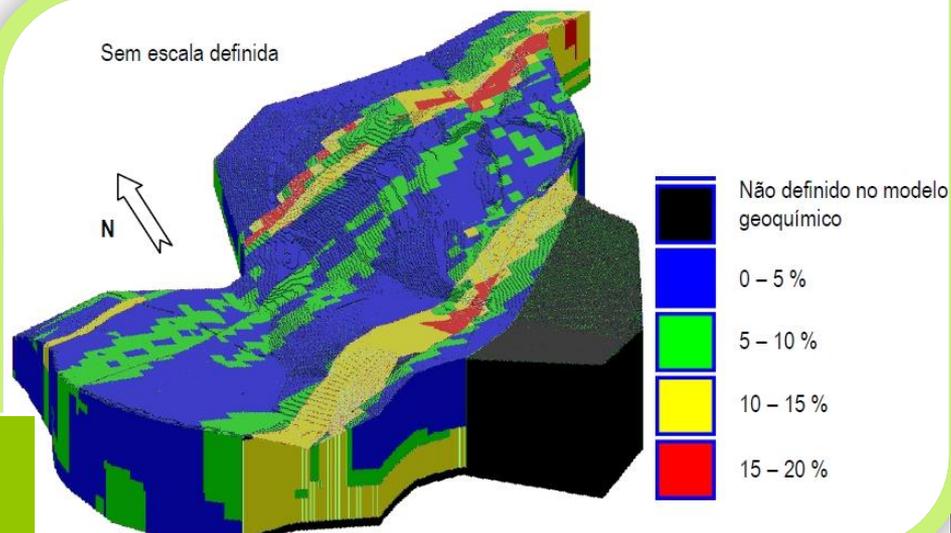
SUPREMO SECIL: O desafio da mina de Adrianópolis-PR

Litologia

Sem escala definida



Sem escala definida



Distribuição de MgO

Exploração Sustentável e Garantia de Qualidade

Plano de Lavra

- Otimização de exploração de todas as litologias existentes

Pré-Homogeneização

- $MgO < 4\%$ - Garantia de cumprimento das Normas dos Cimentos

Clinkerização

- Alita Total $> 65\%$ (DRX) – Obtenção de resistências para Satisfação dos Clientes **maximizando o polimorfo C3S M1**

Clínquer: aumento de C_3S M1 por aumento de SO_3

Comparação de cenários extremos

Cenário 1: sem pet-coque de alto S

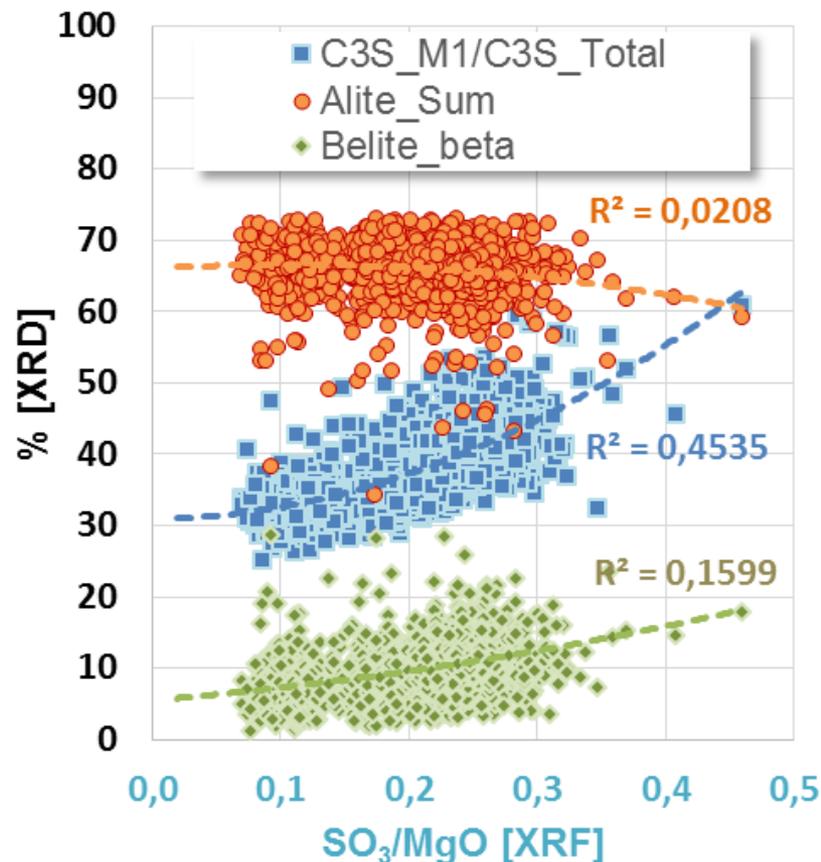
Cenário 2: somente pet-coque de alto S

Composição Química (FRX) e Mineralógica (DRX) do clínquer		Teor em massa (%)		
		Cenário 1	Cenário 2	Δ
Trióxido de enxofre	(SO_3)	0,66	2,15	226%
Óxido de magnésio	(MgO)	5,98	6,76	13%
Relação SO_3 /MgO	(SO_3 /MgO)	0,11	0,32	191%
Alita M3	(C_3S M3)	44,6	34,4	-23%
Alita M1	(C_3S M1)	22,8	32,8	44%
Alita Total	(C_3S)	67,4	67,2	0%
C_3S_M1/C_3S_Total		33,8	48,8	44%

Clínquer: correlações obtidas ao fim de 11 meses

- Correlação entre a relação C_3S M1/ C_3S Total e a relação SO_3 /MgO no clínquer:

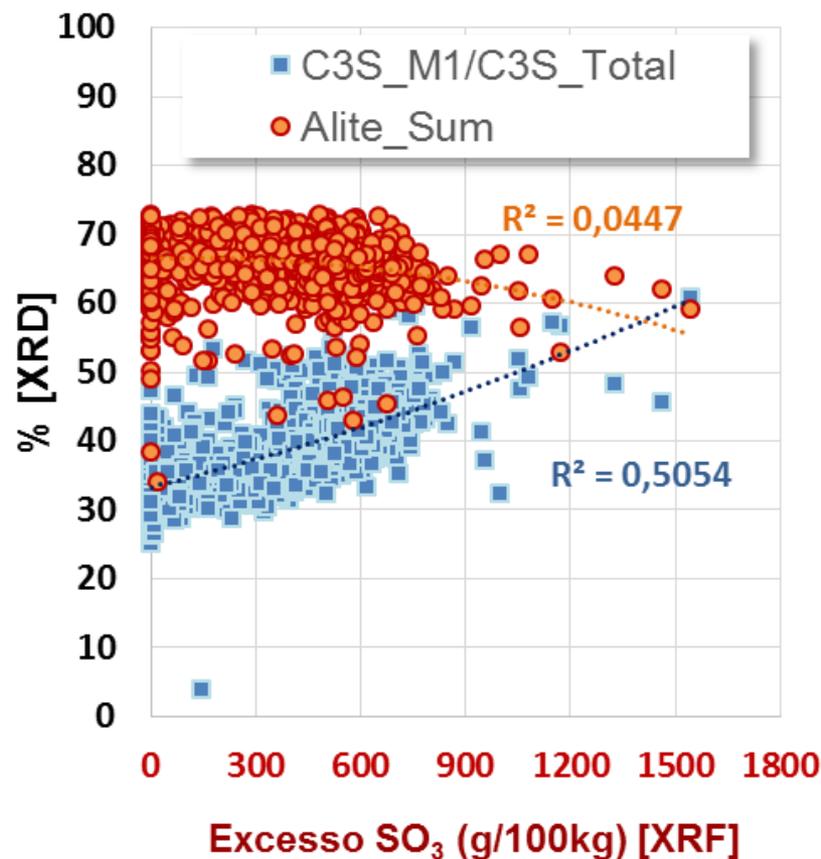
- Aumento de C_3S M1/ C_3S Total com o aumento da relação SO_3 /MgO



Clínquer: correlações obtidas ao fim de 11 meses

- Correlação entre a relação C_3S_{M1}/C_3S_{Total} e o Excesso de Enxofre no clínquer:

- Aumento de C_3S_{M1}/C_3S_{Total} com o aumento do Excesso de Enxofre

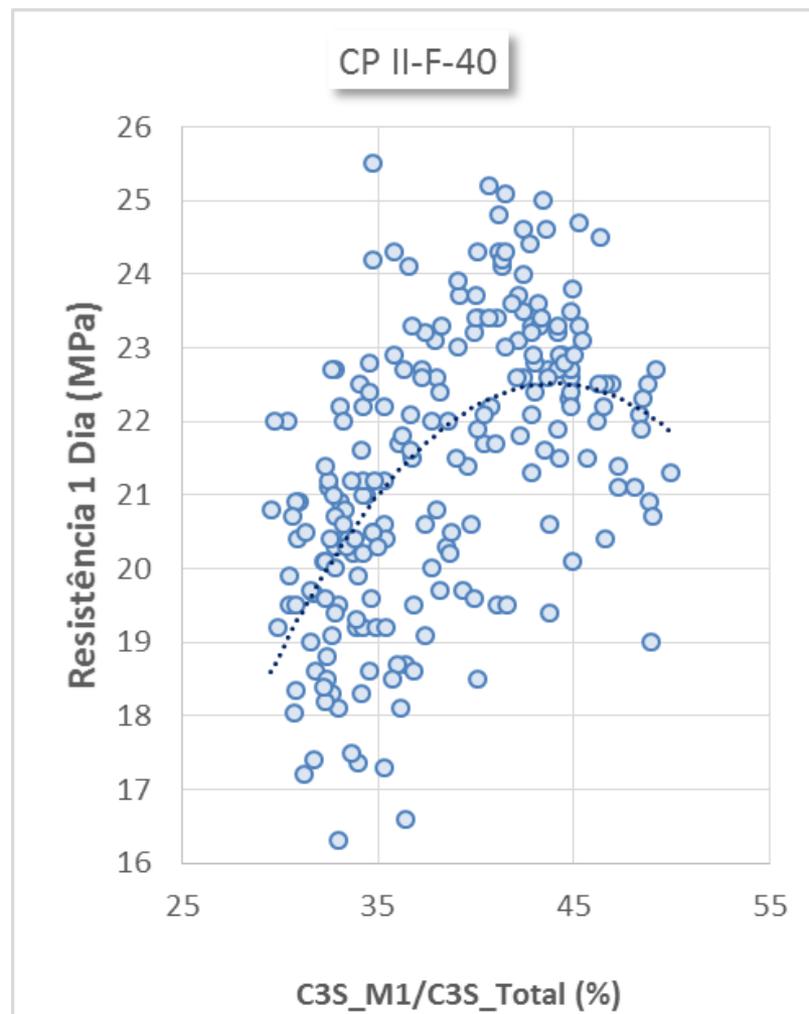


Obs:

$$\text{Excesso de Enxofre (g/100kg}_{\text{clínquer}}) = 1000 * SO_3(\%) - 850 * K_2O(\%) - 650 * Na_2O(\%)$$

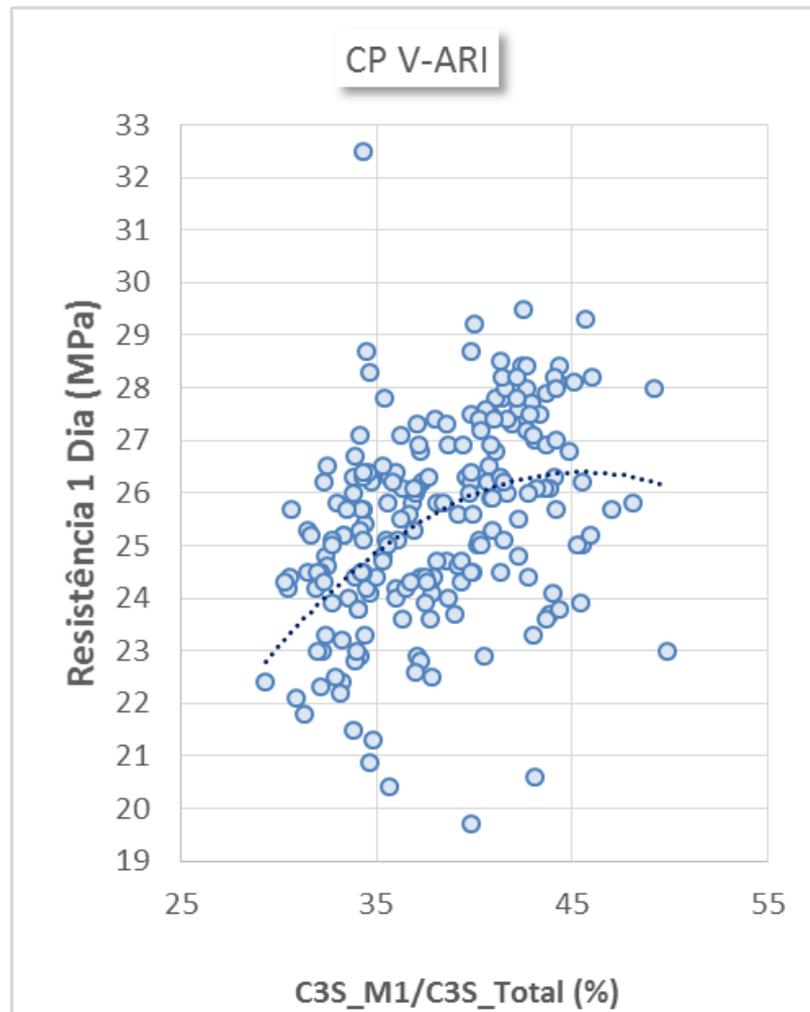
Influência do C_3S M1 na Resistência do cimento

- Correlação entre a Resistência a 1 Dia e a relação C_3S M1/ C_3S Total no cimento CP II-F-40:
 - Aumento da resistência com o aumento da relação C_3S_M1/C_3S_Total



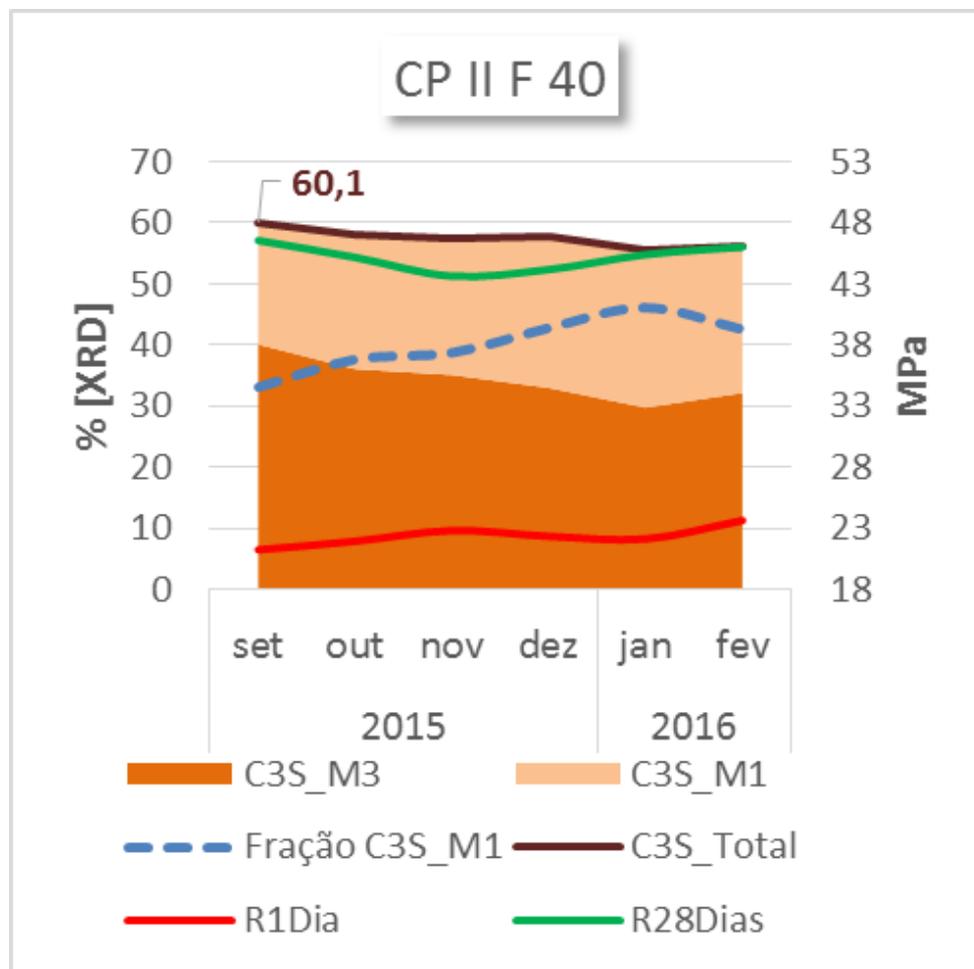
influência do C_3S M1 na Resistência do cimento

- **Correlação entre a Resistência a 1 Dia e a relação C_3S M1/ C_3S Total no cimento CP V-ARI:**
 - Aumento da resistência com o aumento da relação C_3S_M1/C_3S_Total



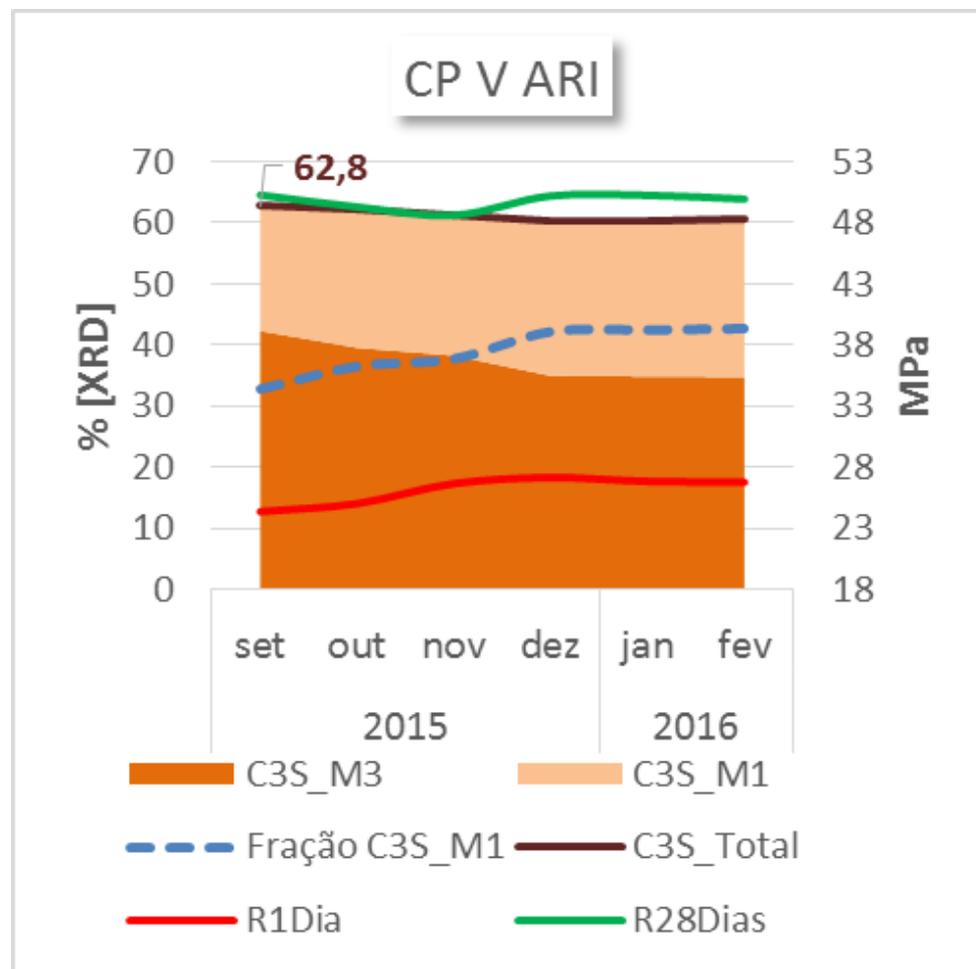
Evolução das características de CP II-F-40

- Aumento da relação C_3S_{M1}/C_3S_{Total}
- Aumento da resistência a 1 dia
- Aumento da resistência a 28 dias
- Otimização da incorporação de clínquer
- Otimização da granulometria do cimento



Evolução das características de CP V-ARI

- Aumento da relação C_3S_{M1}/C_3S_{Total}
- Aumento da resistência a 1 dia
- Aumento da resistência a 28 dias
- Otimização da incorporação de clínquer
- Otimização da granulometria do cimento



Conclusões

- A utilização da difração de raios-X, associada a *software* específico para o efeito, torna a metodologia de determinação de ambos os cristais C_3S M1 e M3 no clínquer um procedimento rotineiro e capaz de revelar informações mais detalhadas sobre o controle do processo;
- O ajuste da relação SO_3/MgO permite a maximização do polimorfo C_3S M1;
- A correlação dos resultados obtidos com a resistência do cimento, sobretudo a idades jovens, permite ajustar a composição do cimento e a sua finura.

Obrigado

Antônio Manuel Farias Lucas

antonio.lucas@supremocimento.com.br

Renato Figueira da Silva

renato.silva@bruker.com