

# Cimento Portland Versus Ligantes Geopoliméricos: Considerações Económicas Sobre as Implicações do Mercado do Carbono no Custo dos Betões

Fernando Pacheco Torgal<sup>\*</sup>, J. P. Castro-Gomes<sup>\*\*</sup>, Said Jalali<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Departamento de Engenharia Civil  
Escola Superior de Tecnologia  
Instituto Politécnico de Castelo Branco  
Avenida do Empresario - Castelo Branco  
Telf: + 351 272 339300; fax: +351 272 339399; e-mail: [fernandotorgal@est.ipcb.pt](mailto:fernandotorgal@est.ipcb.pt)

<sup>\*\*</sup> Departamento de Engenharia Civil  
Universidade da Beira Interior  
Calçada Fonte do Lameiro - Covilhã  
Telf: +351 275 329 925; fax: +351 275 329 972; e-mail: [castro.gomes@ubi.pt](mailto:castro.gomes@ubi.pt)

<sup>\*\*\*</sup> Departamento Engenharia Civil  
Universidade do Minho  
Campus de Azurém - Guimarães  
Telf: +351 253 510200; fax: +351 253 510213, e-mail: [said@civil.uminho.pt](mailto:said@civil.uminho.pt)

**Resumo** - No presente trabalho são analisados alguns cenários, em que se estima a viabilidade económica de betões à base de ligantes do tipo geopolimérico, face aos betões corrente. Os resultados obtidos em termos de custo de materiais, permitem concluir pela manutenção da competitividade dos betões correntes em termos de custo por metro cúbico, a menos que o cimento tivesse aumentos da ordem dos 120%. Em termos de rácio custo /resistência a perda de competitividade dos betões correntes só começará a fazer sentir-se para aumentos da ordem dos 50%.

as licenças de emissão de CO<sub>2</sub>, estavam a estavam a transaccionar nos 10,7 euros por tonelada métrica, contudo é previsível que esse valor tenha tendência para subir no futuro, havendo inclusive alguns cenários que apontam para valores entre 23 a 38 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> [4,5], o que constitui entre 27% a 45% do custo do cimento Portland, pelo que se torna necessário analisar de que forma o previsível aumento do custo deste tipo de ligante em virtude da sua carga poluente, reduz a sua competitividade comparativamente a ligantes do tipo geopolimérico responsáveis por um menor nível de emissões.

## 1. Introdução

Uma das maiores, senão mesmo a maior, desvantagem dos betões à base de ligantes obtidos por activação alcalina, reside no facto daqueles apresentarem um custo substancialmente superior aos betões correntes à base de cimento Portland [1] não existem no entanto estudos que permitam quantificar quais as variáveis que expliquem as diferenças entre aqueles dois tipos de ligantes e onde futuras investigações, possam alcançar reduções significativas. Além disso a entrada em vigor do comércio de emissões de carbono em Janeiro de 2005 [2], veio contribuir para que se iniciasse uma nova forma de contabilização dos custos dos materiais, imputando-lhes o seu custo ambiental beneficiando os materiais amigos do ambiente e penalizando os materiais responsáveis por elevados níveis de emissões como é o caso do cimento Portland (a produção de 1 ton. cimento gera 1 ton. de CO<sub>2</sub>, o que constitui 7 vezes mais que o nível de emissão dos ligantes geopoliméricos [3]). Em Março do corrente ano

## 2. Análise do custo dos betões

A tabela I apresenta a composição e a resistência á compressão de quatro tipos de betões. Dois são do tipo geopolimérico (GA e M9), e os restantes dois são betões à base cimento Portland, um deles tem na sua composição cimento tipo I da classe 42,5 com substituição de 60% de cimento por cinzas volantes (CV60), e o outro é um betão corrente da classe C20/25, á base de cimento tipo II da classe 32,5 (PPC).

Na tabela 2 apresenta-se o custo dos betões, relativamente aos quais se quantificou somente o custo dos materiais com IVA já incluído a 19%, porquanto o custo da mão-de-obra representa apenas uma pequena parte do custo global do betão e que se pode considerar invariável nos diferentes tipos de betões apresentados, já que se entendeu considerar simplificada que os betões teriam todos a mesma

Tabela I

Betões: Composição e resistência à compressão

Tipo de betão	Composição ( Kg/m <sup>3</sup> )							Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)
	Agregados	Areia	Cimento Portland	Cinzas volantes	Metacaulino	Silicato de sódio	Hidróxido de sódio	
GA [6]	930	792	-	-	300	200	100 (15M)	57
M9 [7]	1756	-	-	476	-	120	48 (8M)	60
PPC C20/25	880	812	370 Tipo I I	-	-	-	-	25
CV 60 [8]	850	774	200 Tipo I	300	-	-	-	35

Tabela II

Custo dos betões (só materiais)

Tipo de betão	Custo dos materiais em (€ /m <sup>3</sup> ) e em percentagem (%)							Custo total	
	Agregados (7,7 € / ton)	Areia ( 7,1 € / ton)	Cimento Portland Tipo II (85€ / ton) Tipo I (139€ / ton)	Cinzas volantes (20€ / ton)	Metacaulino (30€ / ton)	Silicato de sódio em sol. ( 420 € / ton)	Hidróxido sódio palhetas (714 € / ton)	(€ / m <sup>3</sup> )	(€ / MPa)
GA	7 (5%)	6 (5%)	-	-	9 (7%)	84 (63%)	27 (20%)	133	2,3
M9	14 (17%)	-	-	10 (12%)	-	50 (61%)	8 (10%)	82	1,4
PPC	7 (16%)	6 (14%)	31 (70%)	-	-	-	-	44	1,8
CV 60	7 (15%)	6 (13%)	28 (59%)	6 (13%)	-	-	-	47	1,3

trabalhabilidade, o que não sucede. O custo é apresentado por metro cúbico e também em termos de rácio custo/resistência.

Pode constatar-se da análise da tabela II, que em termos do custo por  $m^3$ , os betões de base geopolimérica são bastante mais caros que os betões à base de cimento Portland. Este resultado não é compatível com considerações económicas feitas por Palomo acerca do custo por metro cúbico, de betão activado alcalinamente à base de cinzas volantes e que só pode explicar-se devido a diferenças no preço dos materiais em Espanha [9].

Pode constatar-se que o betão geopolimérico de menor custo M9 é 74% mais caro que o betão tradicional de maior custo CV 60. A explicação para o custo algo invulgar dos betões geopoliméricos, reside fundamentalmente no custo dos activadores alcalinos, em percentagens relativamente ao custo global de respectivamente 83% no betão GA e 71% para o betão M9, o que quer dizer que o custo dos precursores é quase irrelevante, não sendo exequível conseguir reduções no custo final através de reduções neste material. Uma solução mais correcta será a de se actuar ao nível da quantidade do activador e da concentração da molaridade do hidróxido de sódio, como aconteceu entre os betões GA e M9, em que essa alteração originou uma redução de 62% no custo por metro cúbico. Aliás, as investigações actuais no domínio dos ligantes geopoliméricos incidem bastante sobre a questão dos activadores, procurando melhorar o desempenho dos existentes, quer em termos das suas propriedades quer em termos do seu custo, através de melhorias em termos da economia da sua produção.

Em termos de custo por MPa no entanto, as diferenças já são bastante menos expressivas, nesse caso o betão de base geopolimérica com o custo menor M9, tem um custo somente 8% acima do custo do betão tradicional de menor custo, PPC. Contudo o betão tradicional de custo mais elevado CV60 apresenta um custo 28% superior ao do betão geopolimérico de menor custo M9.

As figuras 1 e 2 mostram de que forma um aumento do custo do cimento Portland, em virtude do contexto da economia do carbono, em que as empresas terão que começar a imputar ao custo dos materiais que produzem o custo da sua poluição, vai influenciar a competitividade dos betões executados com este ligante face aos seus equivalentes de matriz geopolimérica. Em termos de custo por metro cúbico o panorama, só começa a alterar-se a partir de um aumento do custo do cimento acima dos 100%, o que quer dizer que tão cedo dificilmente o cimento Portland perderá a sua competitividade. No entanto se análise for feita em termos de rácio custo/resistência, para um aumento do custo do cimento de aproximadamente 50%, os ligantes geopoliméricos já se tornam uma alternativa efectiva. Além disso dever ser também levado em linha de conta que a utilização de betões com resistências superiores às resistências convencionais, permitem consideráveis reduções do consumo de aço e do próprio consumo de betão, por redução da secção, Hegger et. al. [10] mencionam reduções na ordem dos 50% no consumo de aço em pilares e de 33% no consumo de betão, para um aumento de 3 vezes da capacidade resistente do betão. Apesar disso e paradoxalmente a procura no mercado de betão pronto em

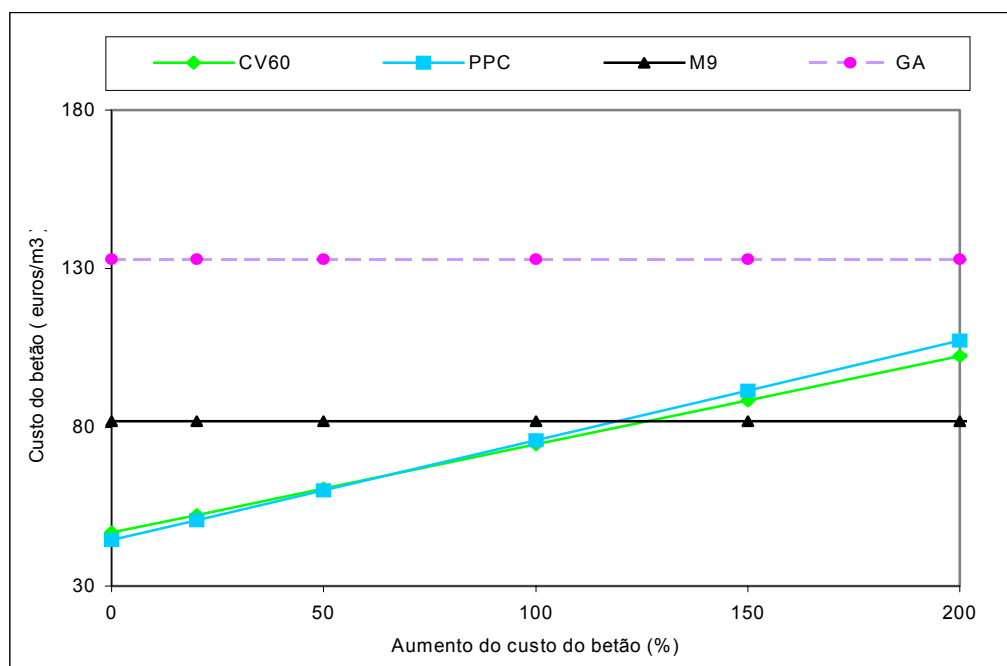


Fig. 1 – Evolução do custo do betão por metro cúbico com o aumento do custo do cimento

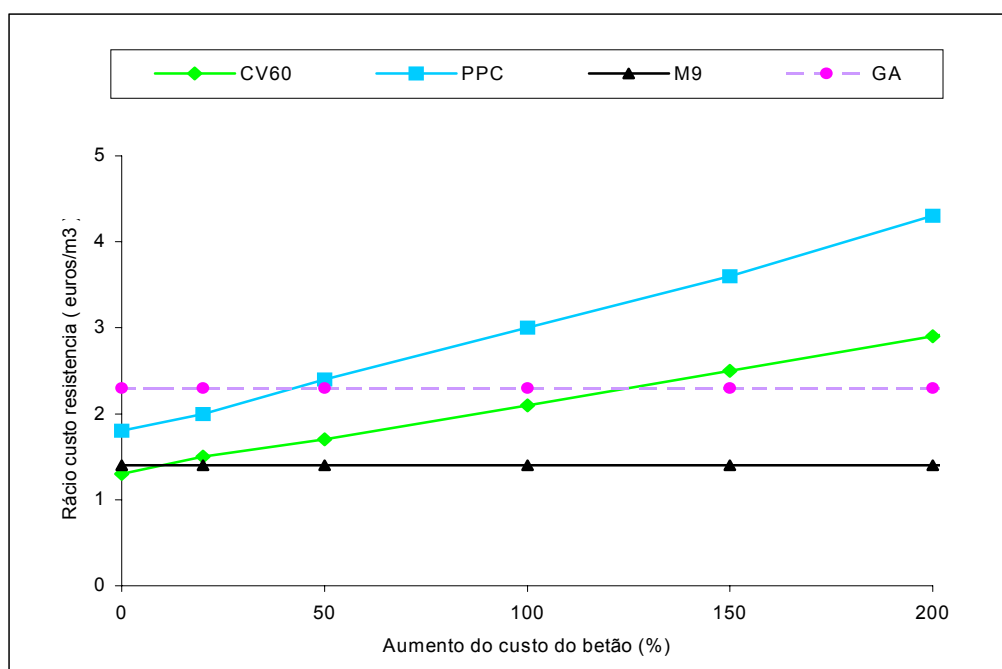


Fig. 2 – Evolução do rácio custo do betão/resistência com o aumento do custo do cimento

termos de classe de resistência é globalmente bastante baixa, em Portugal 35% dessa procura situa-se no intervalo [15-25 MPa], 55% no intervalo [25-35 MPa] e somente 10% acima dos 35 MPa e não tendo sequer a média europeia uma distribuição superior, sendo essa respectivamente 51%, 33% e 9%, o que significa que o mercado de betão pronto é caracterizado pelo uso generalizado de baixas classes de resistência, o que constitui um obstáculo aos ligantes de altos desempenhos [11].

Importa frisar que não foram objecto de contabilização a favor dos ligantes geopoliméricos, o facto destes terem uma vida útil muito mais longa, de permitirem a colocação das estruturas em serviço muito mais cedo, reduzindo de forma substancial o prazo de conclusão das obras e também o facto de ao serem constituídos por resíduos, permitirem poupanças em termos de taxas de deposição, cujo custo é tendencialmente crescente.

### 3. Conclusões

Os betões correntes são actualmente materiais com custos extremamente competitivos, devido ao baixo custo do cimento Portland. Contudo o elevado nível de emissões de  $\text{CO}_2$ , geradas na produção deste ligante e também o facto de recentemente ter entrado em vigor o mercado de emissões de carbono, levará a que o custo daquele material venha a médio prazo a englobar o seu custo ambiental, reduzindo consideravelmente sua competitividade face ao aparecimento de ligantes mais amigos do ambiente, como são os ligantes geopoliméricos.

### Referências

- [1] Deventer, S. J. "Opportunities and obstacles in the commercialisation of geopolymers". Geopolymer 2002. Melbourne.
- [2] Directive 203/87/EC - European Union CO2 emissions trading scheme
- [3] Davidovits, J. "Environmentally driven geopolymer cement applications". Proceedings of 2002 Geopolymer Conference. Melbourne. Australia.
- [4] Bohringer, C.; Lange, A. "Efficiency, compensation, and discrimination: What is at stake when implementing the EU emissions trading scheme?" Centre for European Economic Research, University of Heidelberg, Germany
- [5] Zhang, Xiang Zhang, "Greenhouse gas emission trading and the world trading system". *Journal of World Trade* 32 (1998) 219-239
- [6] Teixeira Pinto, A., "Sistemas ligantes obtidos por activação alcalina de metacaulino". Tese de Doutoramento, 2004, Universidade do Minho.
- [7] Hardjito, D.; Wallah, S. E.; Sumajouw; Rangun, B. V. "Fly ash based geopolymer concrete, Construction material for sustainable development". *Concrete World: Engineering & Materials*, American Concrete Institute 2004 India
- [8] Camões, A.; Aguiar, J. B.; Rocha, P.; Jalali, S.; Pereira, J. C., "Betões de elevado desempenho de custo reduzido utilizando materiais correntes". *Betão* (1999) 34-38.
- [9] Fernandez-Jimenez, A.; Palomo, J., "Alkali activated fly ash concrete: Alternative material for the precast industry". In proceedings of 2002 Geopolymer Conference. Melbourne, Australia.
- [10] Hegger, J.; Nitsch, A Burkhardt, J., "Hochleistungsbeton im Fertigteilbau. *Betonwerk Fertigteil - Technik* 2 (1997) pp. 81-90
- [11] ERMCO - European ready-mixed concrete. Industry statistics, year 2003, Julho de 2004