



Prof. Pierre Claude Aïtcin

Livro : “*Binders for Durable and Sustainable concrete*”

Série : Modern Concrete Technology – 15

Taylor & Francis -2008

O Prof. Pierre Claude Aïtcin , autor do livro “*High Performance Concrete*”-(1998), já traduzido para o Brasil como “*Concreto de Alto Desempenho*”, acaba ( 2008 - 2009) de publicar o livro “*Binders for Durable and Sustainable Concrete*”.

Nesse livro, após analisar os cimentos atuais, ele mostra como seria o “ CIMENTO PORTLAND IDEAL”.

Os teores dos diversos componentes do Cimento Portland Ideal do Prof. Aïtcin, foram marcados nos gráficos das composições dos atuais cimentos.

Fica evidente a necessidade de mudanças.

### **Texto do Prof. Aïtcin :**

#### Produzindo um clínquer belítico

“... Como já mencionado , foi para agradar aos construtores que os fabricantes de cimento começaram a produzir cimento com rápido endurecimento, que permitia uma retirada mais rápida das formas. Esses cimentos visavam acelerar o processo construtivo.

Para alcançar tal objetivo, os fabricantes de cimento começaram a produzir cimentos mais ricos em C3S e C3A e mais finamente moídos.

Muitos cimentos encontrados hoje no mercado têm um teor de C3S maior que 65%.

É difícil, no entanto, ver qual a vantagem competitiva que esses cimentos representam, quando todos os construtores têm acesso a esses cimentos.

Não é necessário demonstrar as numerosas desvantagens técnicas que esses cimentos têm nas variações volumétricas do concreto, na fissuração nas primeiras idades do concreto, na trabalhabilidade do concreto , e de um modo mais geral, na durabilidade do concreto.



De fato, para compensar esse “nervosismo” do clínquer, é necessário aumentar a quantidade de água para se obter um concreto com a trabalhabilidade necessária.

Qualquer aumento na quantidade de água resulta em uma redução da durabilidade.

Além disso, esses cimentos “nervosos” tem uma reologia difícil de controlar, de tal modo que frequentemente é necessário “colocar mais água” no concreto antes do lançamento.

A resposta ao anseio dos construtores está mais na redução da relação água/cimento do que no aumento do teor de C3S e da finura do cimento.

Como atualmente estão disponíveis super-plastificantes eficientes, não é mais necessário fabricar cimentos com tão elevado teor de C3S e C3A, para que se obtenha uma alta resistência inicial.

É bem conhecido, por mais de 100 anos, que a resistência do concreto é mais relacionada com a relação água/cimento do concreto do que com a resistência do cimento : quanto mais próximos os grãos do cimento no concreto fresco mais resistente o concreto.

Naturalmente, quando não era possível aproximar mais entre si as partículas de cimento, era necessário usar uma maior quantidade de água para deflocular essas partículas.

Desse modo, era necessário desenvolver grande quantidade de C-S-H para obter resistência. Altos teores de C3S e C3A eram então pré-requisitos para obter uma alta resistência inicial.

Mas agora que os super-plastificantes estão disponíveis, é possível aproximar as partículas de cimento, tanto quanto necessário.

Por isso não é mais necessário fazer tanta “cola” para se obter resistência.

Isso explica por que pesquisas realizadas no U.S. Corps of Engineers e na Universidade de Sherbrooke mostraram que o melhores cimentos nos U.S.A. para obter um concreto com 200 MPa de resistência são os cimentos ASTM Type V ou o cimento canadense Type 20 M usado pela Hydro-Quebec para



fazer concreto massa. Esses cimentos têm baixo teor de C3S e C3A. Esses concretos podem alcançar uma resistência de 50MPa em 24 horas.

Portanto, o uso de um cimento com alto teor de C2S não significa mais uma resistência inicial baixa.

A fabricação de um cimento com alto teor de C2S implica em um consumo menor do calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) e em conseqüência em uma emissão menor de  $\text{CO}_2$  para o meio ambiente, assim como um consumo menor de combustível (novamente menos  $\text{CO}_2$  para a atmosfera).

*Ver comentários de E.C.S.Thomaz no Anexo 2, no final.*

O único caso em que esse cimento rico em C2S não é indicado é quando ele é misturado com um componente mineral, porque ele produz menos cal  $\text{CaO}$  que um cimento rico em C3S.

...”

### **Meu Cimento Portland Ideal**

Após analisar os cimentos atuais, o Prof. Aïtcin mostra como seria o "MEU CIMENTO PORTLAND IDEAL" (dele).

#### **Texto do Prof. Aïtcin :**

“...

Os bons “velhos” cimentos de ontem, que eram mais grossos e com menor teor de  $\text{C}_3\text{S}$ , eram usados para fazer concretos cuja resistência à compressão continuava a crescer após os vinte e oito dias, ao passo que os nossos “modernos” e eficientes cimentos alcançam quase toda a resistência possível até os vinte e oito dias.

Para o calculista, e para o fabricante do cimento, esses conceitos são equivalentes.

Para o proprietário, preocupado com os custos de manutenção e com a vida útil, os bons “velhos” concretos eram realmente mais “fortes” e mais resistentes do que indicavam as suas resistências à compressão aos vinte e oito dias.

O Meu Cimento Portland Ideal, não precisaria ser fino.

É melhor não ser fino, sob o ponto de vista da fissuração e da durabilidade do concreto.

Eu imporia uma finura Blaine máxima de  $350 \text{ m}^2/\text{kg}$ .



Seria exigido o teor máximo de 2,3% para o SO<sub>3</sub>, teor que já é usado hoje para o cimento ASTM tipo V, cimento esse que tem um teor de C<sub>3</sub>A fixado em 5%.

Ao invés de fixar uma resistência mínima para a argamassa padrão de cimento e areia, seria exigida uma resistência máxima.

Essa exigência seria supérflua, pois eu fixaria também os teores máximos de C<sub>3</sub>S, C<sub>3</sub>A e a finura Blaine.

Além disso, eu exigiria algo que está faltando nas normas atuais, isto é, um teste que garantisse que a reologia inicial do concreto não sofresse qualquer alteração durante a primeira hora e meia após a mistura da água.

Os atuais tempo de início e tempo de fim de pega (com agulha de Vicat) não são adequados para controlar a reologia do concreto. Usar o ensaio mini-slump.

*Ver Anexo 1, no final.*

... ”

Componentes	Especificações	
	Cimento IDEAL	Cimento Tipo V da ASTM Resistente a sulfatos
Teor de C <sub>3</sub> S	< 50% a 55%	-
Teor de C <sub>3</sub> S + C <sub>3</sub> A	= 60% a 65%	-
Teor de C <sub>3</sub> A	< 5%	< 5%
Teor de SO <sub>3</sub>	< 2,3%	< 2,3%
Teor de( C <sub>4</sub> AF + 2C <sub>3</sub> A)	< 25%	< 25%
Álcalis solúveis ( em Na <sub>2</sub> O equivalente )	> 0,4%	-
Teor de MgO	< 6,0 %	< 6,0 %
Perda ao fogo	< 0,75%	< 0,75%
Resíduos insolúveis	< 3%	< 3%
Finura Blaine	300 < Blaine < 350 m <sup>2</sup> /kg	> 280 m <sup>2</sup> /kg
Teor de ar incorporado	< 12%	< 12%
Escoamento inicial medido usando o teste <i>mini-cone slump</i> com A/C=0,42	> 100 mm	-
Perda de trabalhabilidade em 1h30min medida usando o teste <i>mini-cone slump</i> com A/C=0,42	< 20%	-

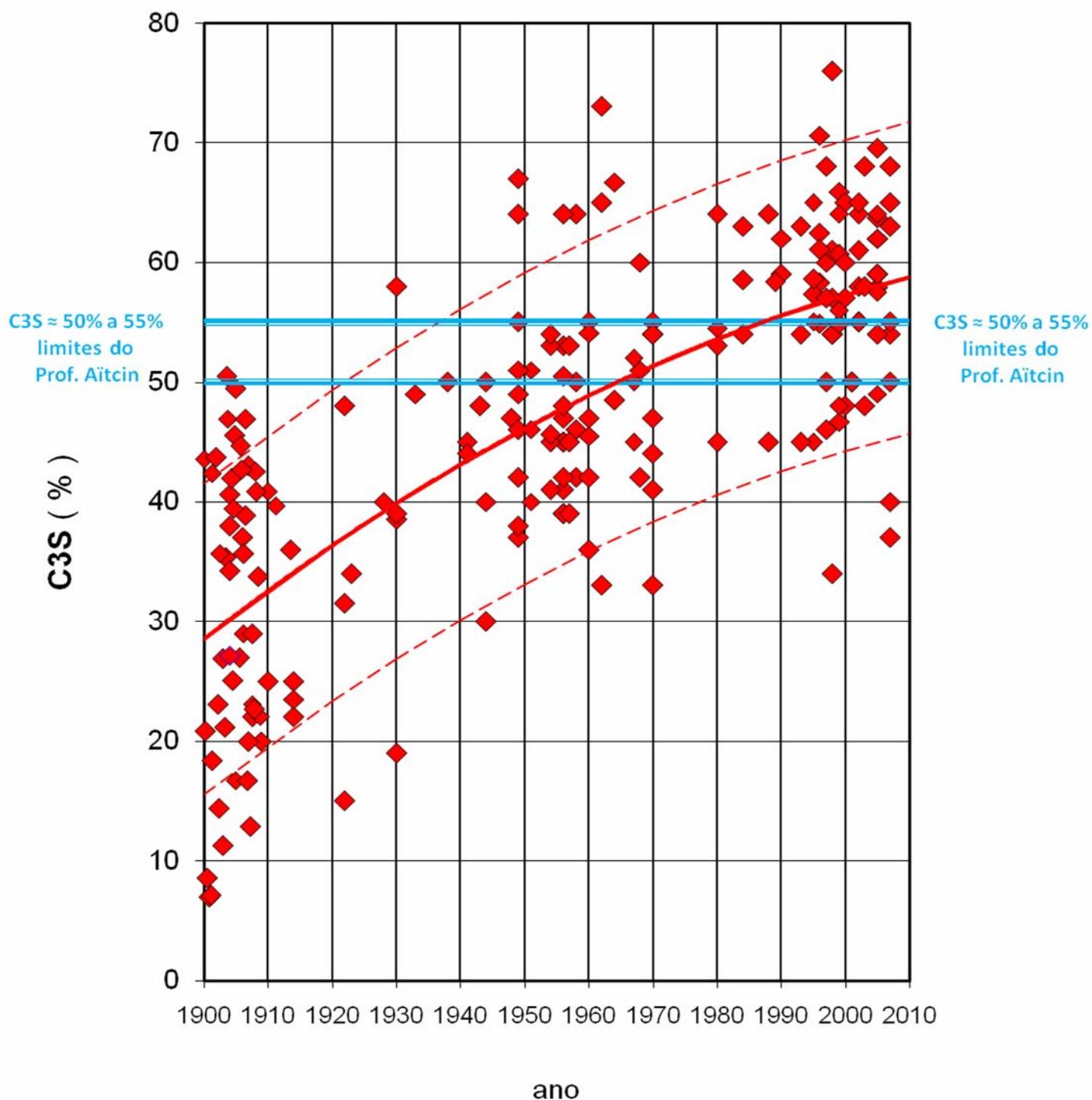


Tempo de pega ( agulha de Vicat )	Inicial - não usar Final - não usar	Inicial > 45 min Final > 75 min
-----------------------------------	----------------------------------------	------------------------------------

- Gráficos de E.C.S.Thomaz, mostrando os limites definidos por Prof. Aïtcin -2008/2009.

**Prof. AÏTCIN - 2009 - Cimento Portland IDEAL - Teor de  $C_3S$  = 50% a 55%**

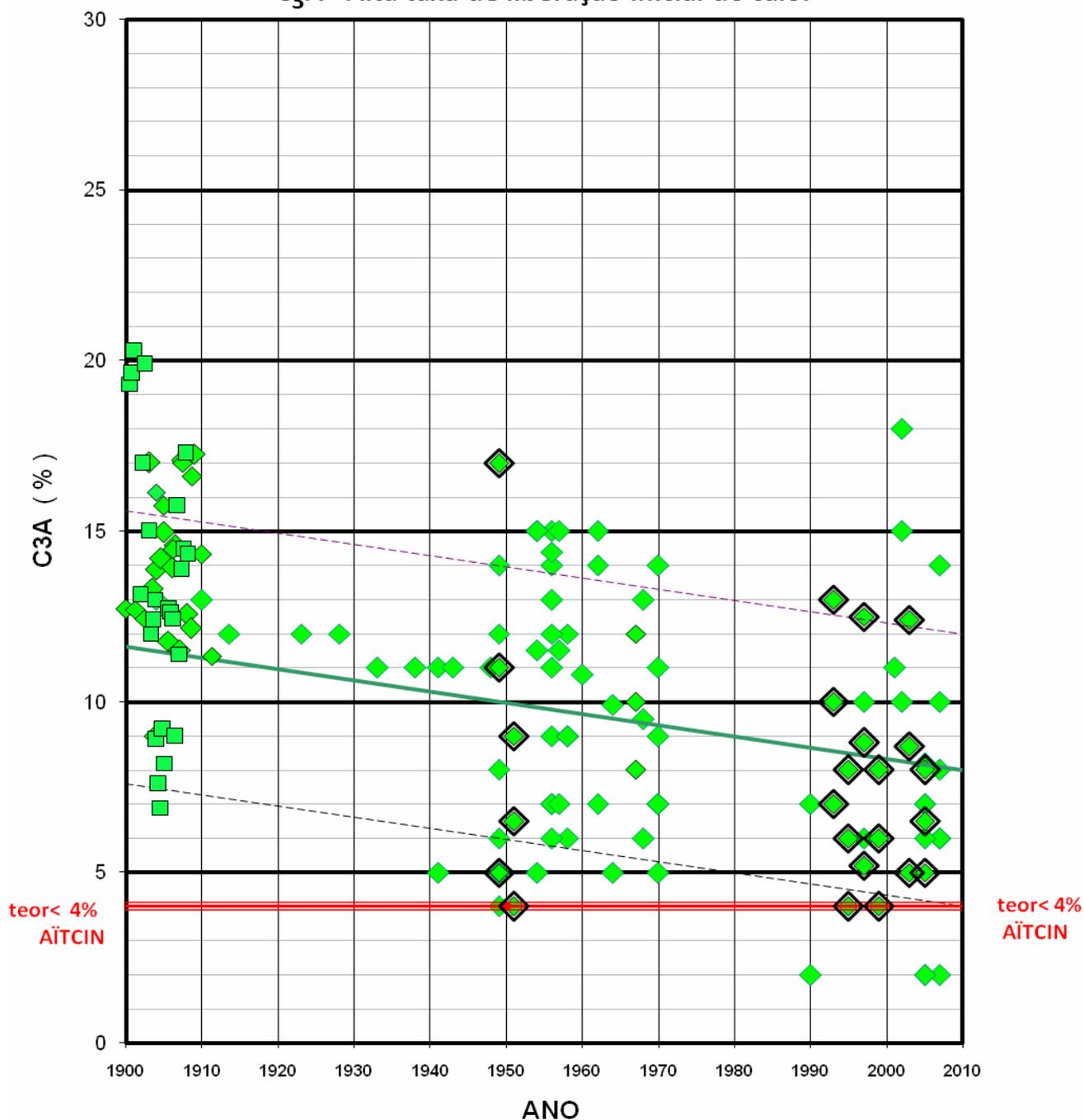
$C_3S$  = endurecimento rápido, alto calor de hidratação, alta resistência inicial





Observa-se no gráfico que é necessário mudar a composição química dos atuais cimentos.

Prof. AÏTCIN - 2009 - Cimento Portland IDEAL - Teor máximo de  $C_3A$  = 4%  
 $C_3A$  - Alta taxa de liberação inicial do calor

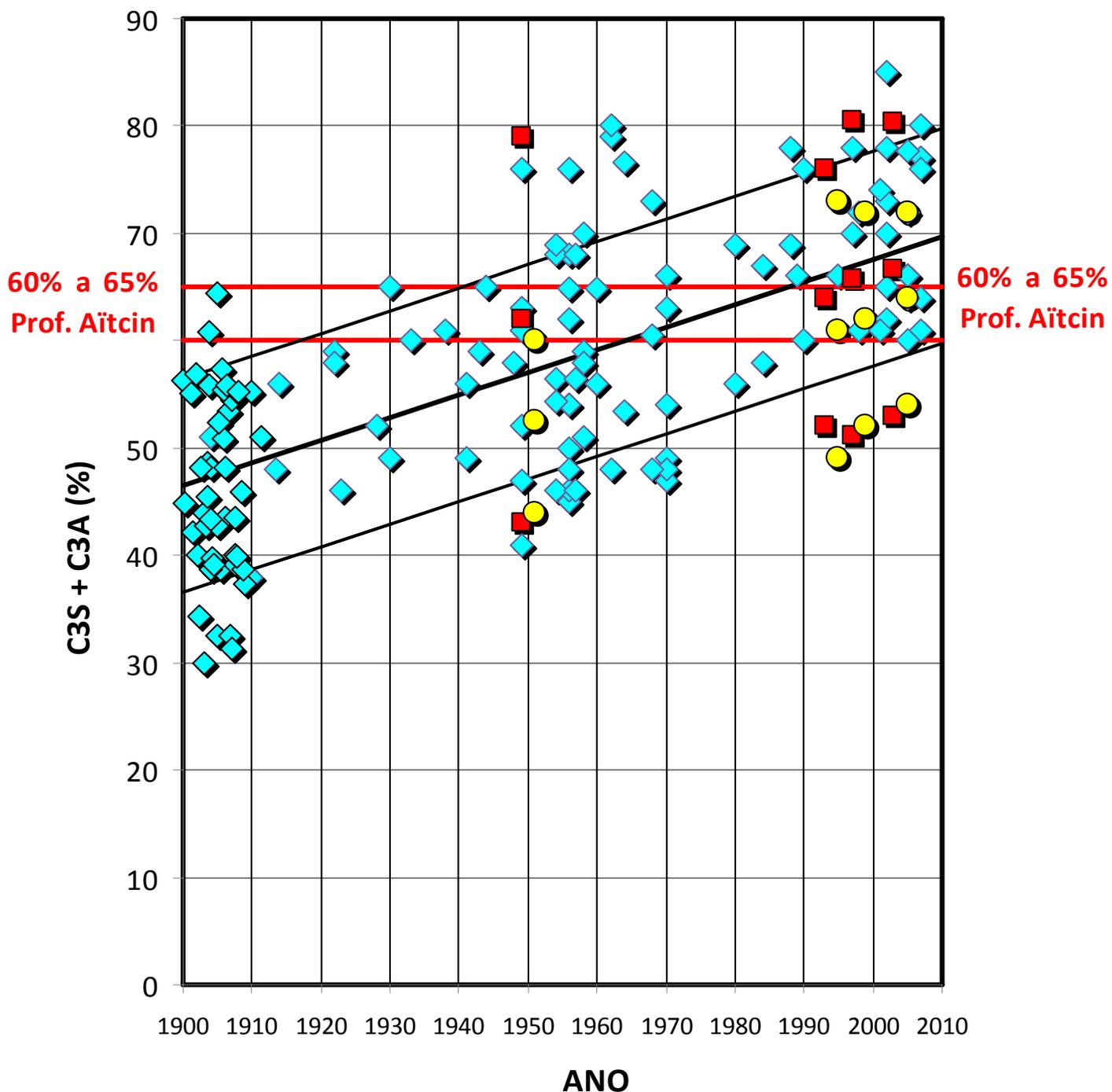


Obs : Pontos com moldura são da PCA em 2008

Observa-se no gráfico que é necessário mudar a composição química dos atuais cimentos.



**Prof . Aïtcin 2009 : C3S + C3A = 60% a 65%**

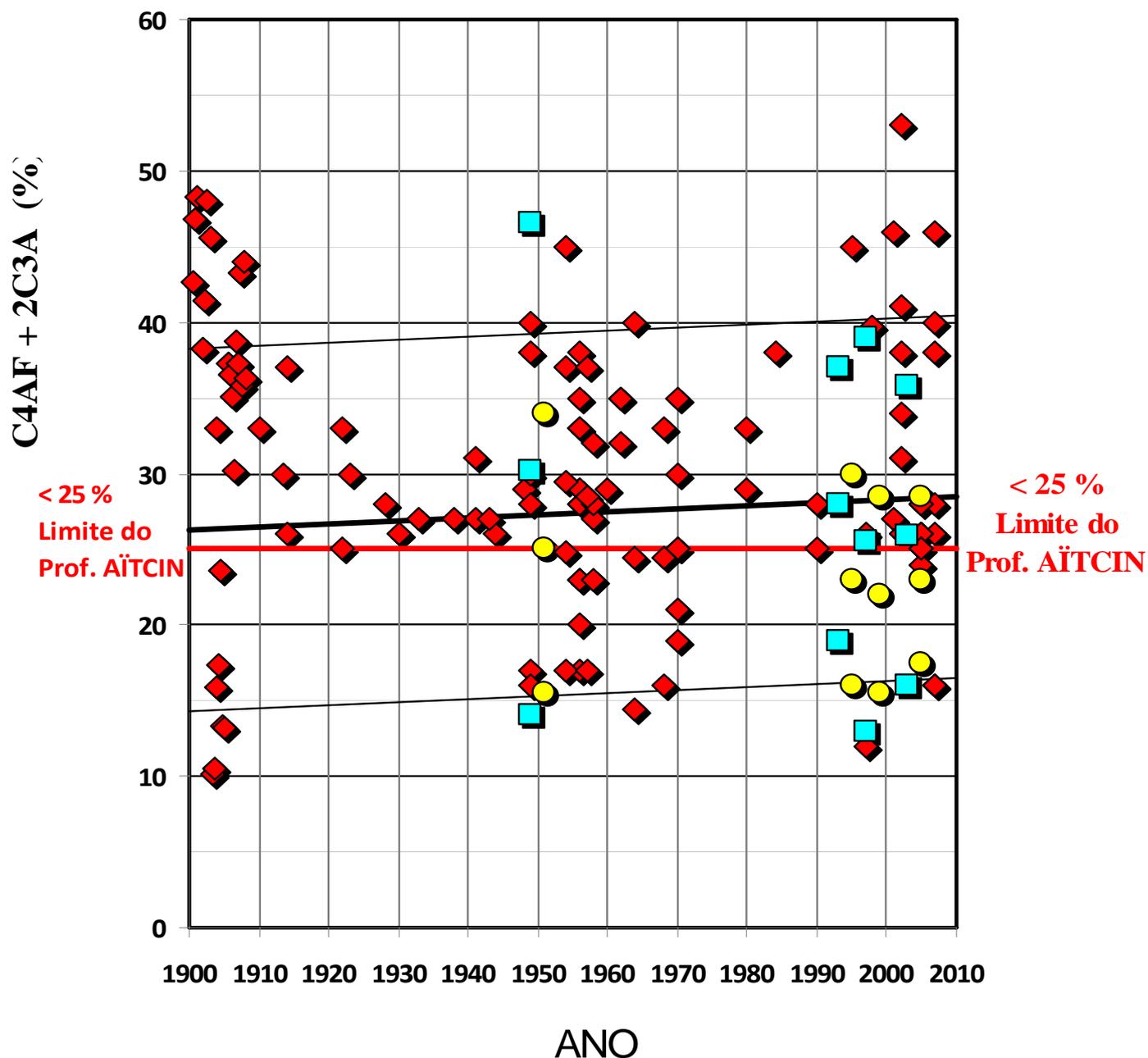


Os pontos em amarelo ( CPI ) e em vermelho ( CP II ) são pontos da PCA 2009.

Observa-se no gráfico que é necessário mudar a composição química dos atuais cimentos.



### Prof. AÏTCIN - Limite para ( C4AF + 2C3A ) = 25%



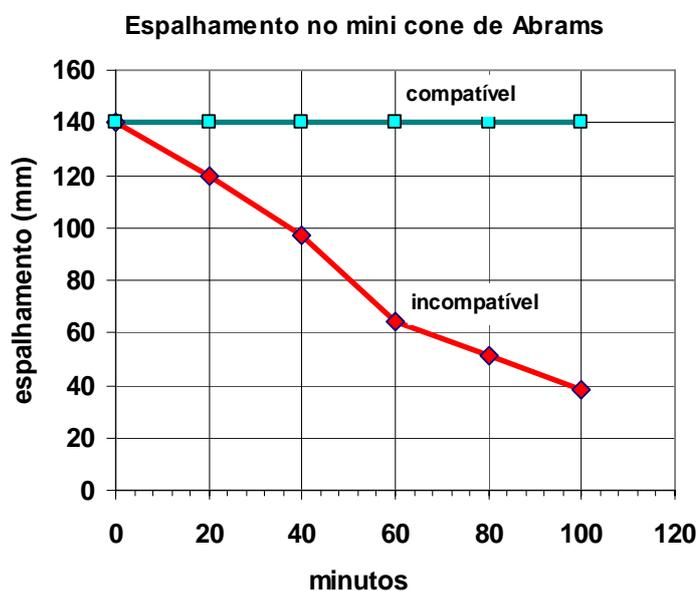
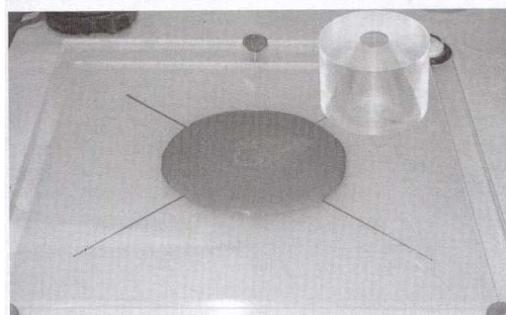
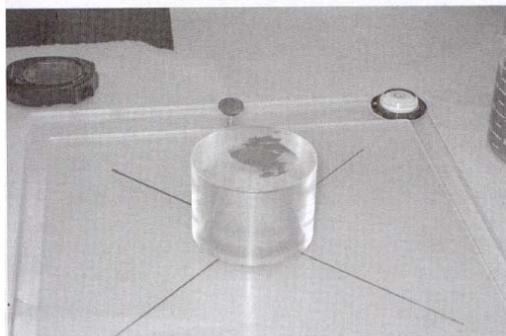
Os pontos em azul ( CPI ) e em amarelo ( CPII ) são pontos da PCA 2008

Observa-se no gráfico que é necessário mudar a composição química dos atuais cimentos.



## Anexo 1 - Mini Slump Test

Testar reologia na primeira hora e meia.



Exemplos de ensaios de mini-cone :

- Um cimento com um bom espalhamento mantido durante 100 minutos e com reologia compatível com a execução de um concreto trabalhável
- Um cimento com grande perda de *slump*, e com reologia incompatível com a execução de um bom concreto.

- Figura 7.16 do excelente livro “Binders for Durable and Sustainable Concrete” do Prof. P.C.Aïtcin



## Anexo 2 - Meio Ambiente :

### *Antecipando Comentários*

- Argumentos ambientais indicam a fabricação de cimentos com baixo teor de C3S e alto teor de C2S, justamente ao contrario do que se faz hoje em dia no mundo inteiro.
- Para fabricar um cimento com baixo teor de C3S emite-se menos CO2 para atmosfera do que para se fabricar cimento com alto teor de C3S.
- O componente do cimento  $C3S = (CaO)_3.(SiO_2)$ , tendo mais Cálcio que o componente  $C2S = (CaO)_2.(SiO_2)$ , libera mais CO2 para a atmosfera quando da decomposição do calcário  $CaCO_3 = (CaCO_3 > CaO + CO_2)$  durante a fabricação do cimento.
- O C2S se forma a uma temperatura mais baixa (  $1000^{\circ}C$  ) que a temperatura na qual se forma o C3S (  $1350$  a  $1450^{\circ}C$  ), necessitando pois de menos combustível e liberando menos CO2 para a atmosfera.  
O C3S é o componente que gera calor rapidamente, ao se hidratar, ao contrario do C2S.  
O C3S causa problemas de fissuração, por retração térmica nos primeiros dias.
- Segundo J.H.Sharp em “ *Industrial trial production of low energy cement, belite(C2S) cement* ”- Cement & Concrete Composites 25 (2003) :  
“ A energia consumida durante a produção de clínquer com baixo teor de C3S é 500-540kJ/kg menor que a energia consumida produzindo o cimento usual com alto teor de C3S. A liberação de C2O para a atmosfera também é menor.”