

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PEGA EM PASTA DE CIMENTO

G.A. Cunha; A.C.J. Evangelista; V.C. Almeida*
Centro de Tecnologia, Escola de Química. Bloco E sala 206
Ilha do Fundão – CEP 21941-909 valeria@eq.ufrj.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Resumo

É comum o aparecimento fissuração por retração quando se utiliza o agregado miúdo proveniente da moagem de rejeitos da construção, após pouco tempo de seu emprego em função do desconhecimento da interação deste material com o cimento. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do tempo de pega das misturas cimento com diferentes resíduos de construção. Foram analisados os resíduos classificados como: misto (mistura de resto de tijolos, argamassas, caco cerâmico, concreto), o resíduo cerâmico esmaltado (cerâmica convencional) e o resíduo proveniente de sobras de porcelanato. Foram preparadas pastas de cimentos nas proporções de: 50% cimento + 50% de resíduos, 75% cimento + 25% resíduos com a relação água/cimento em torno de 0,3 . A determinação do tempo de pega foi realizada utilizando-se o aparelho de Vicat. Os resultados obtidos mostram que em função da natureza do resíduo pode ocorrer um retardamento ou aceleração das reações de hidratação.

Palavras- chaves ; pasta de cimento, resíduos, tempo de pega.

INTRODUÇÃO

O incessante avanço tecnológico, em busca do progresso, consome muita matéria-prima na produção de bens que são utilizados para atender à demanda social do mundo moderno. Os inúmeros processos industriais de fabricação trazem consigo uma vasta gama de resíduos que, muitas vezes, são depositados de maneiras inadequadas no meio ambiente.

Atualmente, a degradação ambiental é alvo de inúmeras leis e normas (ISO 14000) que visam tornar o consumo o mais sustentável possível, ou seja, com desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental.

A quase totalidade dos materiais descartados pelas obras de construção civil, apesar de sua heterogeneidade, apresenta um alto valor agregado e de boa resistência mecânica, como areia, concreto, tijolo, caco cerâmico, argamassas endurecidas etc...Atualmente existem empresas construtoras que reciclam os rejeitos de construção no próprio canteiro de obras para minimizar custos, por meio de moagem de argamassas, tijolos, concretos, vidro, cal.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do tempo de pega das misturas cimento com diferentes resíduos de demolição e construção. Foram analisados os resíduos classificados como: misto (mistura de resto de tijolos, argamassas, caco cerâmico, concreto), o resíduo denominado de cerâmico esmaltado (cerâmica esmaltada convencional) e o resíduo proveniente de sobras de porcelanato (produto resultante do desenvolvimento tecnológico da indústria de revestimento cerâmico).

MATÉRIAS E MÉTODOS

Na realização da parte experimental desta pesquisa foram utilizados os materiais abaixo relacionados:

- Sobras de uma cerâmica esmaltada.
- Sobras de porcelanato.
- Sobras de entulho (resto de tijolos, argamassas, caco cerâmico, concreto) denominado resíduo misto.
- Cimento Portland CII – 32 F Cimento Portland.

O resíduo cerâmico esmaltado, porcelanato e misto foram coletados de forma aleatória em fragmentos de tamanhos variados sendo inicialmente submetidos, a processos mecânicos de quebra e moagem.

O processo de moagem iniciou-se com quebra manual com auxílio de martelo com a finalidade de adequar os resíduos à abertura de alimentação do britador de rolos e em seguida foram cominuídos em um pulverizador de disco. A determinação do tempo de pega foi feita para todas as misturas propostas utilizando-se o aparelho de Vicat de acordo com a norma técnica específica MB-3434.

O fenômeno da pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de endurecimento, propriedades essencialmente físicas, conseqüente, entretanto, a um processo químico de hidratação. É definida como o momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho conformacional (Bauer 1994). Geralmente, na hidratação de um cimento se verifica, inicialmente, uma pequena geração de calor. Segue um período dormente após o qual a precipitação de hidratos ocorre e um correspondente aumento na evolução de calor é observado. Dessa forma, por meio da introdução de um termopar na pasta de cimento o aumento de temperatura pode ser detectado e usado como medida das suas reações de hidratação e conseqüente endurecimento. As medidas de temperatura foram monitoradas em função do tempo, com auxílio de um termopar conectado a um sistema automático de aquisição de dados (LoggerPro)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos na determinação do tempo de pega das mistura cimento+ água e cimento + resíduos são mostrados abaixo:

➤ Cimento Puro

Observa-se que a pega do cimento puro teve início por volta de 2:30h (duas horas e trinta minutos), condizente com os valores estabelecidos para este tipo de cimento (CII-32F)

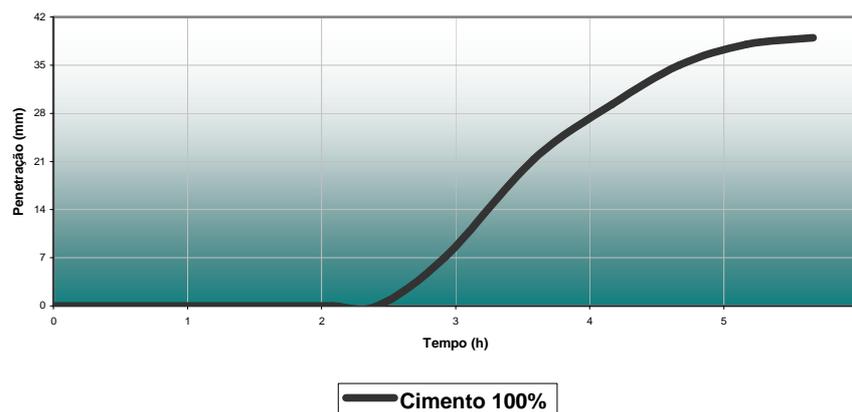


Figura 1: Tempo de pega do cimento puro

O processo de hidratação do cimento inicia-se quando a água entra em contato com a superfície das suas partículas e a fase líquida torna-se rapidamente saturada em várias espécies iônicas.

Este processo de dissolução continua até que a solução atinja um nível de saturação suficiente para promover uma precipitação massiva, seguida dos crescimentos dos cristais de sulfoaluminato de cálcio hidratado. Este processo proporciona a formação de uma rede interconectada conferindo resistência mecânica ao corpo cerâmico. A velocidade de hidratação e de precipitação é fortemente dependente da composição cristalina do material de partida, bem como da estrutura dos produtos que se formam durante a precipitação.

Apesar de favorecida, a precipitação dos hidratos envolve um processo lento de nucleação, durante o qual não ocorre precipitação. Este tempo é necessário para que se atinjam condições ideais para a precipitação dos hidratos é conhecido como “período de indução”. Este estado de equilíbrio metaestável é mantido até que se vença a barreira de energia de ativação para a formação dos primeiros núcleos de cristais dos hidratos, sendo que quanto maior a energia de ativação mais lenta é a cinética pra um determinado processo.

A nucleação é um fenômeno dinâmico. As ligações entre espécies ocorrem aleatoriamente, sendo constantemente formadas e rompidas. Em algum momento um conjunto de espécies pode permanecer unido por um tempo maior que o médio, permitindo assim o aumento de seu tamanho por meio da ligação de outras espécies. Ao atingir um determinado tamanho crítico verifica-se a formação de um núcleo estável.

A partir da formação dos primeiros núcleos estáveis, a velocidade de precipitação passa a não ser mais limitada pela energia de ativação uma vez que deste momento em diante o processo deve ocorrer por meio do crescimento dos núcleos.

Uma curva típica de liberação de calor em pastas de cimento Portland é composta por 4 etapas principais, conforme ilustrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A Etapa I ocorre instantaneamente (minutos), enquanto que as Etapas II e III ocorrem em horas e a Etapa IV em dias.

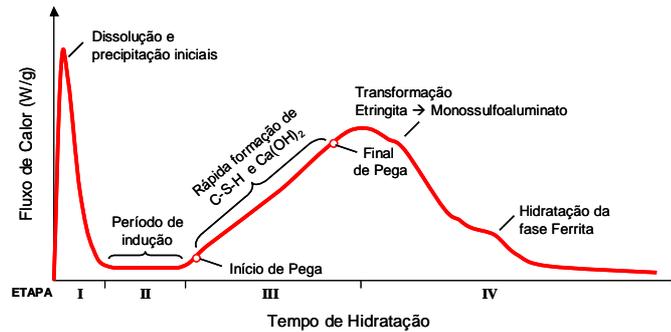


Figura 2. Curva típica de hidratação de cimento Portland

Nos primeiros 30 minutos, após a adição de água no cimento anidro, ocorre uma grande liberação de calor devido à molhagem e dissolução dos aluminatos e sulfatos. Na Etapa II, período de indução, a liberação de calor permanece constante, devido a formação de um gel ao redor da partícula e por isso pode ser chamada também de período de dormência. Em seguida, na Etapa III, quando a liberação de calor passa a aumentar, indica que está ocorrendo a rápida formação de C-S-H (a partir do C_3S) e hidróxido de cálcio. Nesta fase são observados o início e o final de pega.

Por fim, na última etapa ocorre a formação do monossulfatoaluminato a partir da etringita formada inicialmente e, com mais de 24 horas de hidratação, ocorre a hidratação da fase ferrita.

No entanto, o mecanismo de hidratação depende do tipo e da finura do cimento, da relação entre água e cimento (a/c), da temperatura de cura e da presença de aditivos químicos e minerais.

Dessa forma, por meio da introdução de um termopar na pasta de cimento o aumento de temperatura pode ser detectado e usado como medida das suas reações de hidratação e conseqüente endurecimento.

O acompanhamento da liberação do calor de hidratação para as reações de hidratação do cimento puro pode ser visualizado no gráfico abaixo:

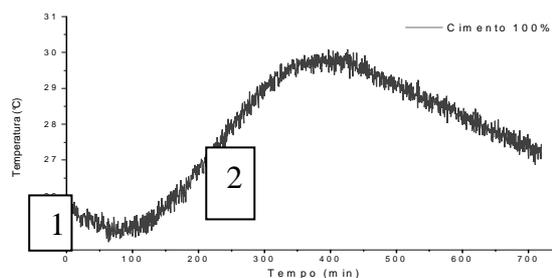


Figura 3: Calor liberado na reação de hidratação do cimento

A temperatura máxima alcançada foi 30°C em 300 minutos. Observam-se duas zonas características: área 2 (área de indução) e área 3 (crescimento de C-S-H e $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

➤ **Resíduo Cerâmico esmaltado**

Pelo gráfico (figura 4) é possível observar que introdução do resíduo de cerâmico esmaltado (CE) à pasta de cimento provoca um retardamento nas reações de hidratação do cimento, visto que ocorre um aumento do início do tempo de pega. A pega do cimento puro teve início por volta de 2:30h e a do cimento mais resíduo cerâmico em torno de 3 horas. É possível observar também que não há uma influência do teor do resíduo adicionado ao cimento uma vez que as duas curvas estão praticamente sobrepostas.

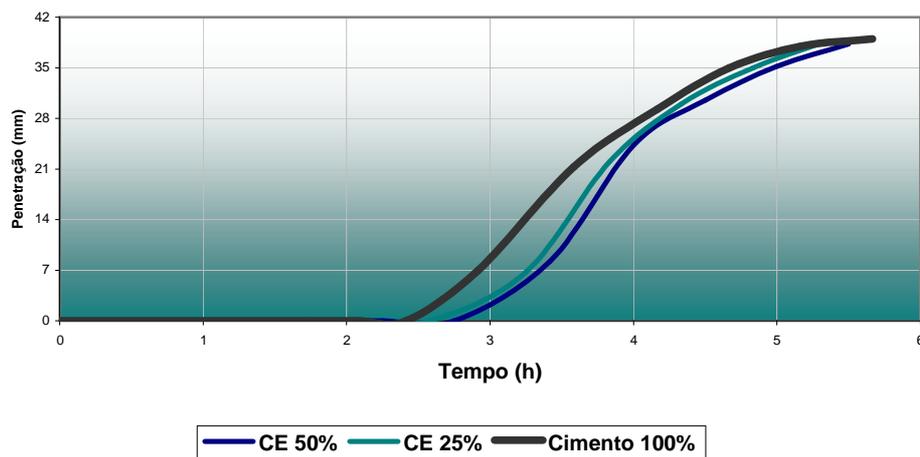


Figura 4 - Determinação do tempo de pega para o resíduo cerâmico esmaltado

O acompanhamento da liberação do calor de hidratação por estas reações de hidratação pode ser visualizado nos gráficos abaixo:

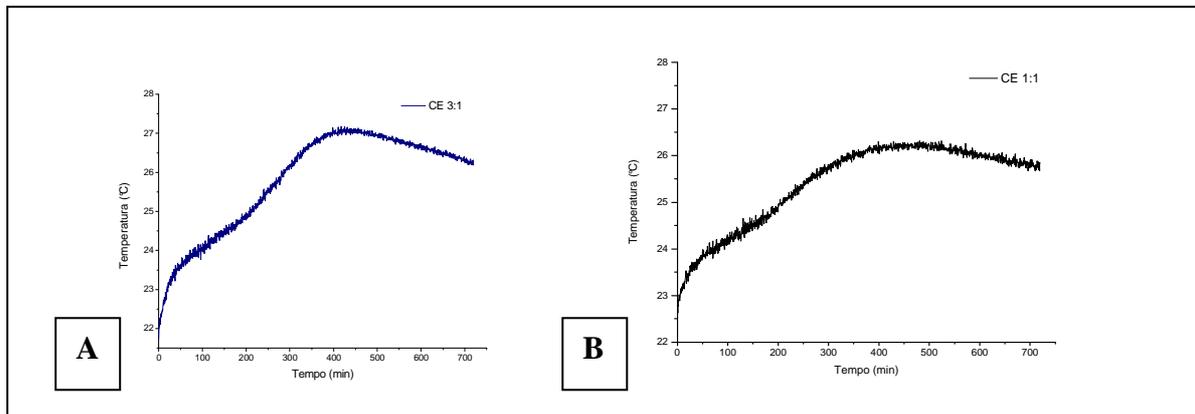


Figura 5: Calor liberado na reação de hidratação (A) –para a mistura 75% cimento + 25% de resíduo cerâmico esmaltado (B) mistura 50% de cimento + 50% de resíduo cerâmico esmaltado

Para a mistura (A) a temperatura máxima alcançada foi 27,1 °C alcançada em torno de 350 min. Para a mistura (B) a temperatura máxima foi 26,3°C em torno de 300 minutos. Pelo gráfico verifica-se que a adição deste resíduo a pasta de cimento conduz a um mecanismo de hidratação diferente. Não se observa o período de indução. Percebe-se o aumento da liberação de calor desde o início indicativo que está ocorrendo a rápida formação de C-S-H (a partir do C_3S) e hidróxido de cálcio. Nesta fase são observados o início e o final de pega. Pode-se ainda observar que o calor liberado é menor à medida que o teor de resíduo adicionado à pasta de cimento aumenta.

O retardamento do processo de hidratação do cimento pode ser atribuído a um aumento no tempo requerido para que o processo de dissolução das fases anidra do cimento proporcione os valores de concentrações de Ca^{2+} e $Al(OH_4)^-$ necessárias para se iniciar o período de indução (saturação da sílica).

➤ **Resíduo Porcelanato**

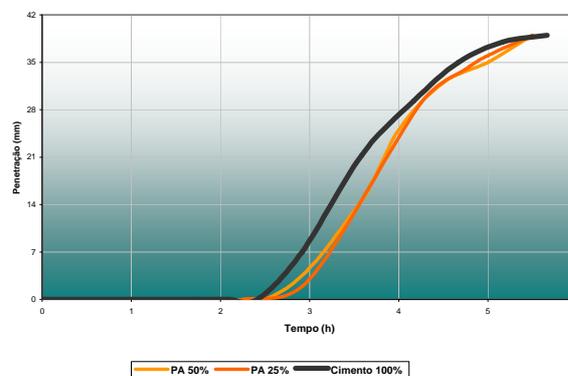


Figura 6: Determinação do tempo de pega para o resíduo porcelanato

Pelo gráfico (figura 6) o resíduo de porcelanato (P) adicionado à pasta de cimento acarreta um retardamento das reações de hidratação do cimento, assim como foi observado na adição do resíduo cerâmico esmaltado. A pega do cimento puro teve início por volta de 2:30h e a do cimento mais resíduo porcelanato em torno de 3horas. É possível observar também que não há uma influência do teor do resíduo adicionado ao cimento uma vez que as duas curvas estão praticamente sobrepostas.

O acompanhamento da liberação do calor de hidratação por estas reações de hidratação pode ser visualizado nos gráficos abaixo:

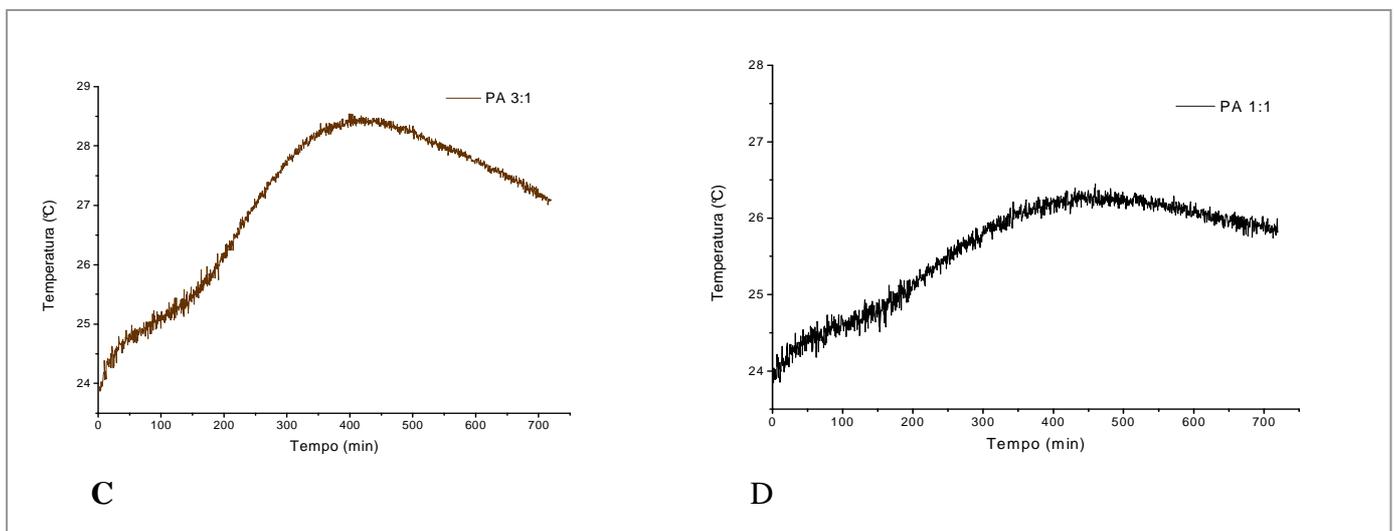


Figura 7: Calor liberado na reação de hidratação **(C)** –para a mistura 75% cimento + 25% de resíduo porcelanato **(D)** mistura 50% de cimento + 50% de resíduo porcelanato

Para a mistura (C) a temperatura máxima alcançada foi 28,5 °C alcançada em torno de 350min. Para a mistura (D) a temperatura máxima foi 26,4°C em torno de 300 minutos. Não se observa o período de indução. Percebe-se o aumento da liberação de calor desde o início indicativo que está ocorrendo à rápida formação de C-S-H (a partir do C_3S) e hidróxido de cálcio. Nesta fase são observados o início e o final de pega. Pode-se ainda observar que o calor liberado é menor à medida que o teor de resíduo adicionado à pasta de cimento aumenta.

A fotomicrografia da pasta cimento + resíduo porcelanato mostra o hidróxido de cálcio formado

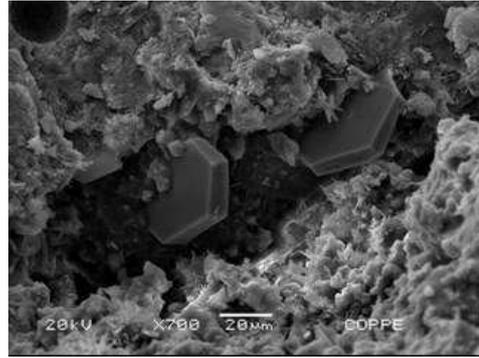


Figura 8 : Fotomicrografia da pasta 50% cimento + 50% resíduo porcelanato
A análise por fluorescência de raios X mostrou a seguinte composição para o resíduo:

Tabela 2 - Composição química elementar do resíduo de porcelanato

Componente	% massa resíduo de porcelanato	Componente	% massa Resíduo de porcelanato
SiO ₂	62,013	Na ₂ O	1,350
Al ₂ O ₃	23,212	P ₂ O ₅	0,078
CaO	7,467	ZrO ₂	0,423
Fe ₂ O ₃	1,901	MnO	-
K ₂ O	1,909	SrO	0,037
TiO ₂	0,568	ZnO	0,318
SO ₃	0,093	Rb ₂ O	0,011
MgO	0,620	CuO	-

➤ **Resíduo Misto**

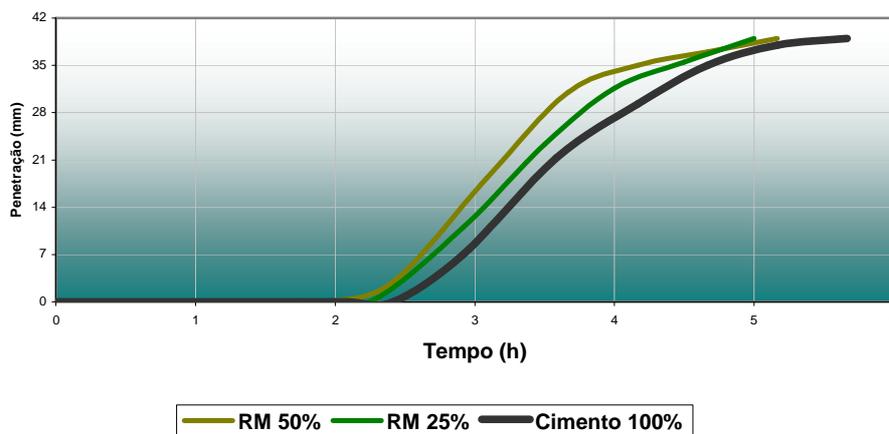


Figura 9: Determinação do tempo de pega para o resíduo misto

Pelo gráfico é possível observar que a adição do resíduo misto à pasta de cimento acarretou uma aceleração das reações de hidratação do cimento. A pega do cimento puro teve início por volta de 2:30h e a do cimento mais resíduo misto em torno de 2:10 horas. É possível observar também uma pequena influência do teor do resíduo adicionado ao cimento, isto é, quanto maior o teor de resíduo adicionado à pasta maior é a aceleração.

Uma possível explicação para a pega mais rápida observada pode ser atribuída a presença de cal ainda ativa presente no resíduo misto como pode ser observada pelas análises de difração de raios X e fluorescência de raios X.

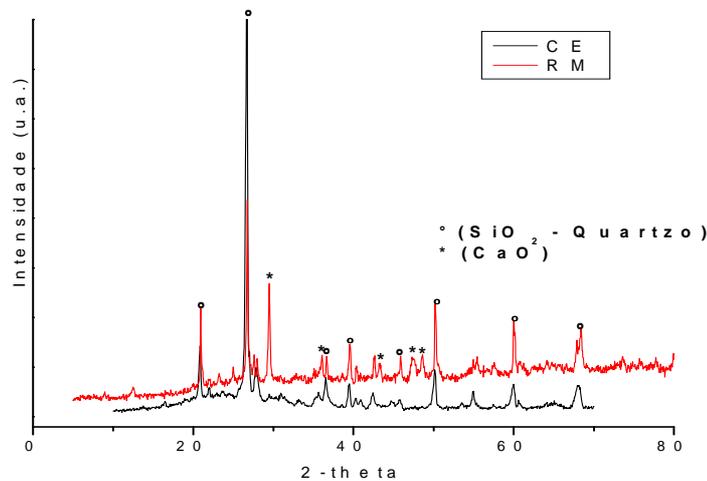


Figura 10: Difratograma do resíduo misto e do resíduo de cerâmica esmaltada

Tabela 3 - Composição química elementar do resíduo misto

Componente	% (massa) RM	Componente	% (massa) RM
SiO ₂	48,521	Na ₂ O	0,358
Al ₂ O ₃	23,525	P ₂ O ₅	0,132
CaO	17,573	ZrO ₂	0,116
Fe ₂ O ₃	5,351	MnO	0,078
K ₂ O	2,043	SrO	0,047
TiO ₂	0,863	ZnO	0,043
SO ₃	0,697	Rb ₂ O	0,013
MgO	0,628	CuO	0,01

A alteração da concentração de íons cálcio em solução, devido à presença de cal, altera a cinética de hidratação do cimento. A supersaturação de íons cálcio

ocorre em menos tempo e, em conseqüência, o período de aceleração das reações é antecipado. Em conclusão, a cal hidratada é um acelerador da cinética de hidratação do cimento Portland.

O acompanhamento da liberação do calor de hidratação para estas reações de hidratação pode ser visualizado nos gráficos abaixo:

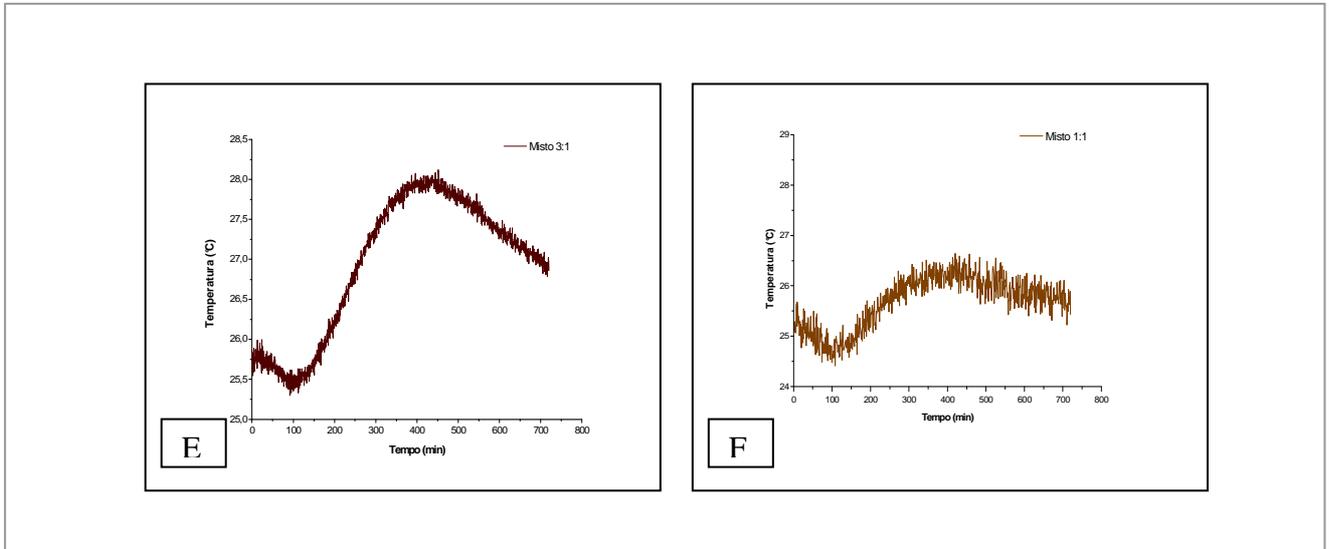


Figura 11: Calor liberado na reação de hidratação **(E)** - para a mistura 75% cimento + 25% de resíduo misto **(F)** mistura 50% de cimento + 50% de resíduo misto

Para a mistura (E) a temperatura máxima alcançada foi 28,1°C alcançada em torno de 350 min. Para a mistura (D) a temperatura máxima foi 26,7°C em torno de 300 minutos. Observa-se a área de indução e a área de crescimento de C-S-H. Pode-se ainda observar que o calor liberado é menor à medida que o teor de resíduo adicionado à pasta de cimento aumenta.

A fotomicrografia da pasta de cimento + resíduo misto mostra o C-S-H formado

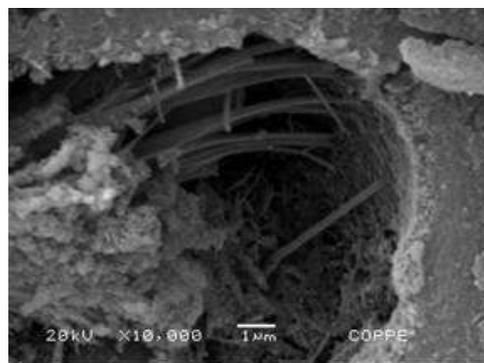


Figura 12: Fotomicrografia da pasta 50% cimento + 50% resíduo misto

Na fotomicrografia é possível observar a etringita que cristaliza na forma de agulhas.

CONCLUSÃO

A composição química dos resíduos irá influenciar no mecanismo de hidratação e conseqüentemente influenciará no tempo de pega, quando estes forem adicionados a novas pastas de cimento. Com relação às diferenças entre as curvas de hidratação do resíduo misto, que apresenta tempo de indução e dos resíduos cerâmicos que já iniciam o processo sem este período de dormência, pode-se dizer que a presença de cal livre no resíduo misto, contido nos entulhos de argamassas e concretos, seja um provável indicador das diferenças encontradas nestas análises.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Garcia,J.R.; Oliveira,I.R.; Pandolfelli, V.L. Processo de hidratação e os mecanismo de atuação dos aditivos aceleradores e retardadores de pega do cimento de aluminato de cálcio.” Cerâmica, 53, pg 42-56 , 2007.
- Oliveira,I.R.; Garcia,J.R.; Pandolfelli, V.L. “ Influência de aditivos dispersantes e aceleradores na hidratação de cimento e cimento-matriz”. Cerâmica, 52, pg 184-193, 2006.
- Taylor,H.F.W. Cement Chemistry, 2ed, London, Thomas Telford, 1997.

INFLUENCE OF ADDITION OF RESIDUES OF CONSTRUCTION IN DETERMINING THE SETTING TIME IN CEMENT PASTE

ABSTRACT

The early appearance of cracks is usual when construction and demolition waste fine materials were used in cement + wastes mixtures. It occurs mainly because of the absence of information to understand the behavior of the interaction of this material with the cement. The objective of the present work was to evaluate the influence of ceramic wastes on the setting time of the cement pastes with different construction wastes. The residues had been classified and analyzed as mixed (mixture of remaining portion of bricks, mortar, concrete, ceramic), the ceramic residue (conventional ceramic) and the residue proceeding from porcelain leftovers. Cement paste had been prepared in the ratios of: 50% cement + 50% of residues, 75% cement + 25% residues, all of them with the relation water/cement around 0,3. The determination of the setting time was carried through using the Vicat device. The results showed that in function of the residue type it can occurs a retardation or acceleration of the setting reactions.

Key-words: cement, residues, setting time.