

CAPÍTULO 9 – CONCLUSÕES

9.1. Conclusões Finais

O trabalho que fica atrás descrito destinou-se basicamente a averiguar a aptidão para a activação alcalina de certos alumino-silicatos relativamente abundantes em Portugal, os caulinos, dando por essa via lugar à formação de produtos finais dotados de bom comportamento mecânico e estáveis perante um conjunto de condições agressivas, quer do ponto de vista químico como físico, a que podem estar sujeitos de modo mais ou menos continuado.

A formulação de conclusões finais deve ser avaliada sob a reserva que é própria de situações em que é limitado o número de matérias primas estudadas e limitado também o número de provetes submetidos a ensaio. Todavia, parece poder estabelecer-se com alguma segurança que:

- Os caulinos do tipo que foram usados no trabalho quando activados alcalinamente produziram pastas que uma vez endurecidas à temperatura ambiente revelaram assinaláveis propriedades ligantes.
- Mesmo os caulinos brutos, não submetidos a prévio tratamento de selecção e lavagem, revelam a natural condição de reagirem em meio altamente alcalino dando lugar a materiais estáveis e resistentes.
- A activação alcalina processa-se sobre uma fase desidratada dos caulinos, convencionalmente designada como

metacaulino e que é preparada em laboratório por tratamento térmico.

- Os metacaulinos (desidratação dos caulinos) podem ser preparados a 750°C durante 2 horas, sendo as alterações estruturais confirmadas por EIV e RMN essencialmente.
- A activação alcalina dos metacaulinos é simples, não envolve qualquer processo sofisticado e dispendioso ou exige técnicas de manipulação especializadas e ou perigosas.
- A produção de metacaulino reduz consideravelmente as emissões gasosas de CO₂ quando em comparação com o Cimento Portland, não só porque a temperatura de processamento térmico é mais baixa, mas também porque dele apenas se liberta água.
- É possível associar as pastas activadas de metacaulinos a agregados (areias e britas) de vários tipos, dando lugar à formação de argamassas e geobetões com comportamento mecânico rápido e muito elevado, quer em tracção como em compressão.
- As condições de cura são exigentes mas facilmente asseguradas desde que se evite completamente qualquer troca de água com o meio envolvente.
- A cura é normalmente conseguida em condições de temperatura ambiente e pressão atmosférica num prazo de 48 a 72 horas, mas pode ser reduzida a pouco mais de uma hora

sob a temperatura de 80°C e de um ambiente saturado (>95% H.R.).

- As argamassas e betões, além de atingirem patamares de elevada resistência mecânica, resistem muito bem ao desgaste e ao ataque dos ácidos, mesmo em forte concentração.
- A melhoria das resistências mecânicas pode ser conseguida se as razões entre os principais óxidos presentes na fase sólida e na fase líquida se situar num intervalo de valores mais amplo do que o referido na bibliografia.
- Em especial a correcção de composição parece poder fazer-se indiscriminadamente na fase líquida ou na fase sólida, sem com isso afectar o desempenho estrutural dos materiais geopoliméricos.
- O seu fabrico permite integrar uma considerável panóplia de resíduos sólidos inorgânicos, ricos em sílica e alumina, bem como materiais finos sem grandes exigências de escalonamento granulométrico.
- Esta integração faz-se sem grandes perdas de comportamento mecânico ou de durabilidade.
- São materiais com excelente comportamento às altas temperaturas, mantendo assinalável integridade estrutural mesmo após severas condições de ensaio.
- Parecem apresentar alguma debilidade à penetração de fluidos por capilaridade ou debaixo de pressão, mas o

processo parece influenciado pelas condições de cura, em particular a temperatura e o grau de humidade relativa a que o material é curado.

- Finalmente parece aceitável a ideia de integrar os mecanismos reactivos que estão presentes na activação alcalina de alumino-silicatos num conceito mais geral de reacção pozolânica que estará na base da constituição de muitas das rochas naturais.

Não parece haver dúvidas quanto à necessidade de coligir mais informação sobre diversas características e aspectos muito próprios dos metacaulinos por forma a identificar claramente os processos reactivos e a função de cada uma das fases intervenientes, a ser possível elaborar procedimentos de fabrico, especificações de ensaio e códigos que habilitem a implementação deste novo tipo de materiais.

9.2. Principais Aplicações e Trabalhos Futuros

Não é possível a comparação directa, em termos de custos, com os materiais fabricados com cimento Portland, fabricados à escala industrial um pouco por toda a parte. Ainda que fabricados com materiais abundantes e em certa medida excedentes de outras actividades industriais, mas não produzidos à mesma escala que o cimento Portland, os geopolímeros comportam actualmente um encargo directo mais elevado. Parece justo que devessem ser contabilizadas a seu favor todas as reduções no impacte ambiental decorrentes da diminuição da temperatura de fabrico em relação ao cimento Portland (apenas no caso de metacaulino, pois nas cinzas vulcânicas, volantes ou escórias o consumo energético é nulo ou praticamente nulo), pela reduzida emissão de CO₂ nessa mesma produção, pela capacidade de integração de todo um conjunto de resíduos

sólidos inorgânicos, alguns mesmo classificados como problemáticos, e ainda pela menor pressão exercida sobre a paisagem com a diminuição das explorações de calcários e de pedreiras em geral.

Mesmo assim, apesar de um custo actual mais elevado, os materiais geopoliméricos oferecem, em relação aos betões correntes de cimento Portland, melhores condições de desempenho em situações em que sejam exigidos altos níveis de comportamento mecânico e elevada resistência a meios agressivos ou de desgaste continuado. Podem ser usados em revestimento de estruturas convencionais degradadas por ataque químico, em revestimentos anti-fogo, ou em todos os locais onde abundem matérias inorgânicas residuais de depósito difícil ou dispendioso e que assim podem constituir matéria prima utilizável.

A possibilidade de recuperação de monumentos ou construções em pedra é possível com estes materiais, pois com agregados da mesma origem e um estudo mínimo da tonalidade do ligante, não é difícil reconstruir a pedra original, garantindo-se também por activação alcalina uma boa ligação à pedra existente. É possível reconstruir granitos de vários tipos, basaltos, calcários e outras rochas.

Muitos dos aspectos básicos das reacções químicas que estão na base da activação alcalina são ainda mal conhecidos e por isso mal controlados. Desconhece-se muito particularmente o efeito que podem ter na reacção final determinados tipos de compostos considerados impurezas e que estão presentes nas matérias primas, sejam elas metacaulinos, cinzas volantes ou outras.

Por outro lado, há que conhecer em mais profundidade a micro-estrutura destes novos materiais, perceber a influência que ela tem no comportamento dos produtos finais e, deste modo, dominar a forma de controlar o desenvolvimento desta ou daquela propriedade, que favoreçam as aplicações mais específicas.

Se no domínio estrito dos materiais que foram estudados neste trabalho se percebe bem o alcance que pode ter o desenvolvimento de um novo tipo de materiais ligantes que são dotados de bom comportamento mecânico e elevada durabilidade, apenas se conjecturam as possibilidades enormes que podem abrir-se em outros domínios como o da Geotecnia no tratamento de solos problemáticos de natureza argilosa.

Ficam abertas portas a mais detalhada investigação e em quase todas elas há material e campo profícuo de pesquisa. As hipóteses que o desenrolar da investigação foi permitindo formular precisam de ser exploradas, necessitam de revisão ou de confirmação. No trabalho realizado, a abordagem geral permitiu evidenciar alguns aspectos que parecem mais relevantes e que poderão constituir ponto de partida ou linhas de orientação para uma análise mais específica.

Espera-se que este trabalho modesto possa ser útil a quem pretenda prosseguir com a tarefa que aqui apenas fica apontada – reproduzir os fenómenos de aglutinação de que a Natureza se serviu e se serve para a formação de grande parte das rochas que constituem a crosta terrestre e permitir colocar de uma forma racional os resultados desse conhecimento ao serviço do Homem e das suas realizações.