

# ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO DE ÓLEOS DESCOFRANTES

Brito\*, J.; Branco\*\*, F. A.; Santos\*\*\*, J. R.

\*Professor Auxiliar. DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal

\*\*Professor Catedrático. DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal

\*\*\*Assistente. DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal



## RESUMO

*Os óleos descofrantes de base vegetal tiveram num passado recente um desempenho técnico menos conseguido, o que induziu em determinadas agentes da indústria da construção alguma relutância na sua aplicação como substitutos mais ecológicos dos produtos mais correntes de base mineral. No âmbito de um programa de investigação, patrocinado pela Comunidade Europeia e parcialmente desenvolvido no IST, foi calibrada e implementada uma série de ensaios que permitiu demonstrar ser possível obter um desempenho técnico com óleos descofrantes de base vegetal tão bom ou melhor que o dos seus congéneres de base mineral. Neste artigo, descrevem-se os procedimentos propostos para esses ensaios que incidiram fundamentalmente na interacção com o betão e com a cofragem.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os óleos descofrantes das peças de betão à base de subprodutos do petróleo têm diversos inconvenientes associados ao ambiente, à saúde dos trabalhadores e à segurança no trabalho [1]. Esses inconvenientes são anulados ou, no mínimo, fortemente minorados com a utilização de produtos de base vegetal.

No entanto, as primeiras experiências com óleos descofrantes deste tipo revelaram algumas insuficiências no seu desempenho técnico que têm contribuído, entre outros factores, para que a sua quota de mercado seja ainda bastante pequena em termos europeus e praticamente nula em Portugal. No âmbito da Comunidade

Europeia, foi desenvolvido o projecto SUMOVERA cujo principal objectivo é o de apoiar a implementação da substituição dos óleos descofrantes de base mineral por óleos descofrantes de base vegetal (VERA).

Desenvolveu-se no IST uma campanha de ensaios, calibrados para avaliar o desempenho técnico absoluto dos óleos VERA assim como o seu desempenho relativamente aos produtos equivalentes de base mineral.

A campanha incidiu fundamentalmente sobre dois campos: a interacção do descofrante com a superfície de betão descofrada e a interacção do descofrante com a cofragem propriamente dita.

## 2. INTERACÇÃO COM O BETÃO

Neste grupo de ensaios, foram analisados os potenciais aspectos negativos na superfície de betão resultantes da utilização de óleos descofrantes:

- falta de hidratação do cimento superficial;
- falta de aderência do revestimento;
- não uniformidade da cor do betão;
- porosidade deficiente do betão.

### 2.1 Hidratação do cimento

Verificou-se que em determinadas circunstâncias (cofragens de madeira tradicional não tratada e/ou concentrações muito elevadas de óleo em emulsões com água [1]) se forma uma camada pulverulenta de cimento não hidratado, quer na superfície descofrada de betão quer nas paredes da cofragem.

Para avaliar este fenómeno, propôs-se um método baseado no ensaio de aderência descrito em detalhe num artigo recente [1]. Nesse ensaio, a aderência entre a cofragem e o betão, a tradução directa do desempenho técnico do descofrante, é avaliada indirectamente através do coeficiente de atrito entre o betão e a cofragem em provetes normalizados.

São preparados e testados diversos provetes com os diferentes tipos de cofragem a testar e com diferentes relações óleo / água [2]. Os coeficientes de atrito assim obtidos são comparados com a situação de ausência de descofrante, considerando-se aceitáveis as relações óleo / água a que correspondam valores 20% menores. A comparação com óleos de base mineral pode também ser feita desta forma.

A existência de deposição não desprezável de cimento não hidratado, quer no betão quer na cofragem, é também uma condição para a não aceitação da cofragem e/ou relação óleo / água em análise.

### 2.2 Aderência do revestimento

Desenvolveu-se o seguinte ensaio para testar a aderência do revestimento às

superfícies descofradas de betão [3]. Para cada tipo de revestimento, deve ser preparado um provete cúbico de 15 cm de aresta com o óleo em análise. Neste assim como nos ensaios seguintes, a aplicação do descofrante, a betonagem, descofragem e cura do provete seguem os procedimentos normalizados descritos para o ensaio de aderência [1]. O revestimento é então aplicado da forma normal e deixado secar / curar antes de se proceder ao ensaio de arranque.

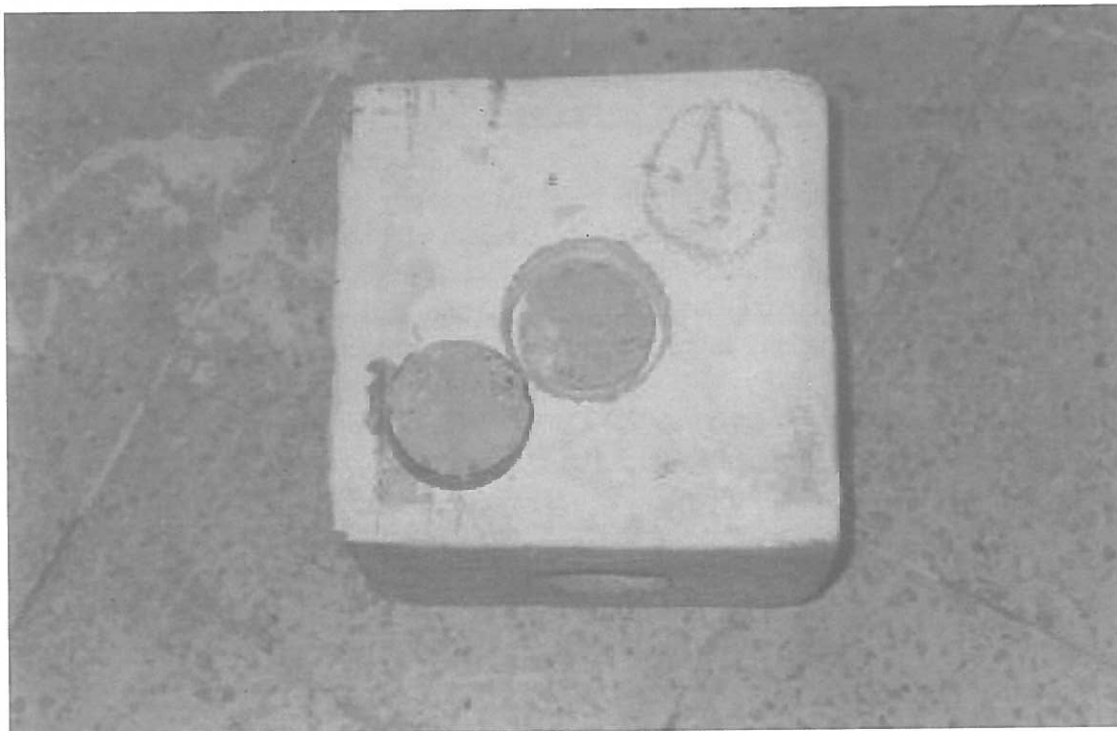
É colada uma pastilha circular na superfície acabada que é depois arrancada com o equipamento do ensaio de *pull-out* ou outro semelhante adaptado para o efeito. Quando o revestimento é relativamente espesso (reboco), deve-se recorrer a uma coroa circular para obter uma carote com base na massa de betão (pelo menos 10 mm) e que contenha a pastilha. Para revestimentos finos (pinturas), pode-se usar uma faca afiada para separar a pastilha do resto da área revestida. Em ambos os casos, o objectivo é garantir que o mecanismo de rotura é condicionado exclusivamente pela tracção dos materiais (Fig. 1).

O valor absoluto da força aplicada não é importante desde que se registre que a rotura se dá quer na massa de betão quer no interior do próprio revestimento mas não na interface. A validação estatística do ensaio é conseguida pela sua repetição 3 vezes por cada combinação de tipo de revestimento e cofragem.

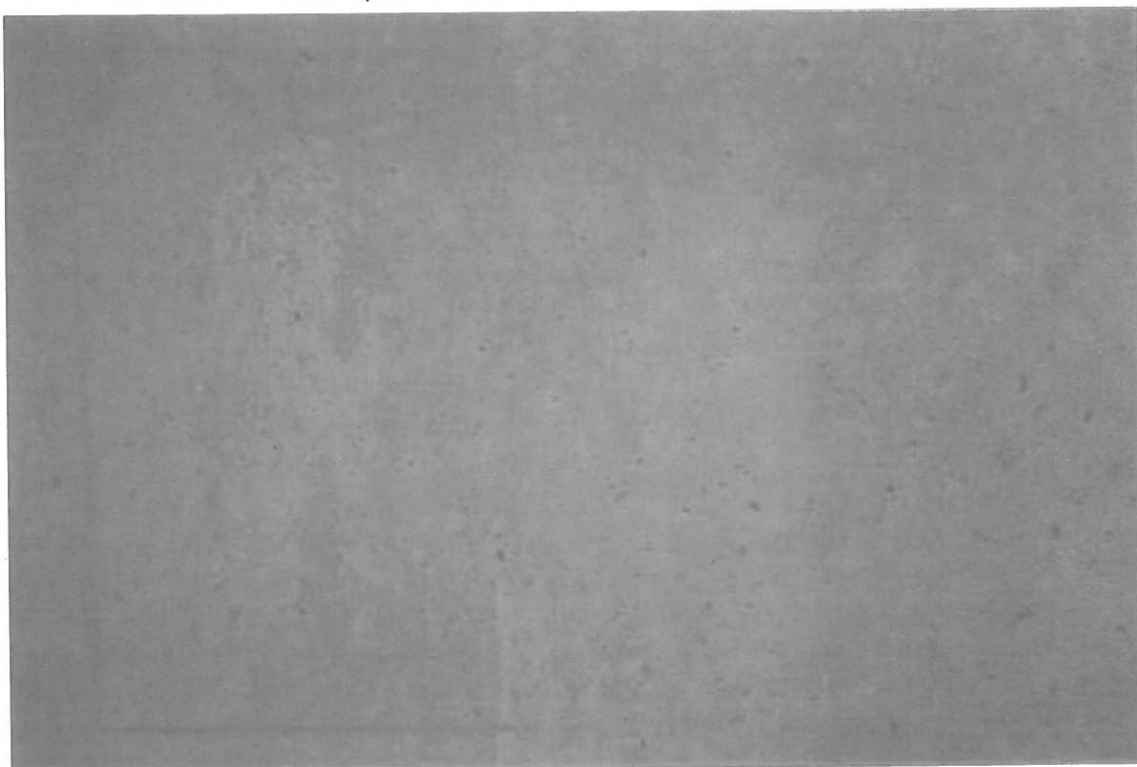
### 2.3 Uniformidade da cor do betão

O ensaio desenvolvido para avaliar a uniformidade da cor das superfícies descofradas de betão consiste na betonagem, descofragem e cura de um painel de pelo menos 1 m<sup>2</sup> de área, que é sujeito a uma observação visual rigorosa pelo menos 48 horas após a descofragem (Fig. 2).

É proposto o seguinte critério de classificação [4]: se a área total de manchas de cor não uniforme for menos de 5 % da área total, considera-se o betão bom; se essa área manchada estiver entre 5 e 20 % da área total, considera-se o betão aceitável; fora



**Fig. 1 [3]** - Superfície de um provete revestido com tinta após o ensaio de arranque



**Fig. 2 [4]** - Aspecto de um painel no qual foi utilizado um óleo VERA

destes limites, o óleo descofrante é rejeitado em termos de uniformidade da cor do betão.

No entanto, este critério só deve ser aplicado se for demonstrado em iguais circunstâncias que é o descofrante a causa do problema, já que este também pode ser

provocado por vibração deficiente, segregação dos inertes, hidratação deficiente do cimento ou outras causas.

## 2.4 Porosidade do betão

Para avaliar a porosidade visível das superfícies descofradas de betão, recorre-se a um painel idêntico ao utilizado no ensaio anterior, o qual é analisado cuidadosamente para detectar eventual porosidade excessiva (Fig. 2).

Determina-se o número  $n$  de poros de diâmetro de 1 mm ou mais numa área de 1 m<sup>2</sup>, representativa do painel em termos de porosidade, assim como o respectivo diâmetro máximo  $\phi$ .

É proposto o seguinte critério de classificação [5]: se  $n$  estiver entre 300 e 600 e, simultaneamente,  $\phi$  for menor que 4 mm, considera-se o betão bom; se estas condições não forem cumpridas e  $n$  estiver entre 600 e 1200 e ainda  $\phi$  não exceder 8 mm, considera-se o betão aceitável; fora destes limites, o óleo descofrante é rejeitado em termos de porosidade do betão.

Mais uma vez, este critério só deve ser aplicado se for demonstrado em iguais circunstâncias que é o descofrante a causa do problema, já que este também pode ser provocado por outras causas.

## 3. INTERACÇÃO COM A COFRAGEM

Neste grupo de ensaios, foram analisados os potenciais aspectos negativos relacionados com a cofragem resultantes da utilização de óleos descofrantes:

- corrosão de cofragens metálicas;
- sucção da água de emulsão em cofragens de madeira não tratada;
- efeitos da chuva após aplicação do óleo;
- número limitado de reutilizações sem limpar as cofragens;
- instabilidade de cofragens metálicas sob vibrações;
- instabilidade de cofragens metálicas ao calor;

- período de eficiência muito limitado.

### 3.1 Corrosão de cofragens metálicas

As cofragens são armazenadas, no exterior ou no interior de armazéns, por vezes por períodos prolongados e sem serem limpas dos resíduos dos descofrantes. Os óleos de base mineral não só não são prejudiciais mas contribuem para a protecção das cofragens metálicas à corrosão. O comportamento dos óleos VERA é menos conhecido.

Para avaliar esta questão, desenvolveu-se um ensaio [6] que consiste em dividir uma cofragem metálica escolhida ao acaso (limpa e sem produtos de corrosão visíveis) em duas áreas: na primeira, não é utilizado qualquer descofrante; a segunda é pulverizada com o óleo em estudo. Numa variante ao ensaio, podem-se criar mais áreas para analisar comportamentos relativos de mais do que um tipo de óleo.

A cofragem é depois armazenada nas mesmas condições das restantes por um período longo (cerca de 6 meses). Se as condições de armazenamento variarem, este ensaio poderá ser reproduzido para o ter em conta. No fim desse período, é feita uma observação visual rigorosa da cofragem (Fig. 3), comparando a área não pulverizada com a(s) restante(s).

### 3.2 Humidade em cofragens de madeira não tratada

Em cofragens de madeira tradicional, corre-se o risco de que esta ao secar absorva parte da água da emulsão, contribuindo para a hidratação deficiente do cimento através de um aumento da concentração do óleo orgânico [1]. Sob este ponto de vista, humidificar ou mesmo saturar a cofragem de madeira poderia ter um efeito positivo.

Para avaliar este efeito, desenvolveu-se um ensaio [7] que consiste em saturar com água a superfície exterior de uma cofragem de madeira tradicional que é depois, conjuntamente com uma cofragem

inteiramente idêntica, pulverizada com o óleo descofrante em análise.

Após a cura dos dois provetes provenientes dessas cofragens, as respectivas superfícies exteriores são analisadas cuidadosamente para registrar diferenças, nomeadamente nos seguintes aspectos [7]: rugosidade da superfície da argamassa; existência de pedaços de argamassa aderentes à cofragem; pó de cimento na cofragem ou nos moldes (Fig. 4).

### 3.3 Chuva após aplicação do óleo

A humidade, nomeadamente sob a forma de chuva, pode ter três efeitos negativos [8]: diminuir a aderência dos óleos à cofragem; alterar a relação óptima óleo / água; lavar a emulsão.

Para avaliar este efeito, desenvolveu-se um ensaio que consiste em pulverizar com o óleo descofrante em análise duas cofragens do material existente em estaleiro. Cerca de 30 minutos após a aplicação do óleo e antes da betonagem, é simulado numa das cofragens o efeito da chuva através de cerca de 1800 gotas por m<sup>2</sup> deixadas cair de uma altura de aproximadamente 20 cm durante cerca de 1 minuto [8].

Ambos os provetes provenientes dessas cofragens são ensaiados através do ensaio de aderência normalizado [1]. O valor absoluto dos coeficientes de atrito obtidos não é relevante já que o que interessa conhecer é o comportamento relativo das duas cofragens, com e sem chuva.

Adicionalmente, a superfície dos provetes e das cofragens devem ser alvo de uma observação visual cuidadosa para detectar eventuais diferenças de textura, eficiência na descofragem ou hidratação deficiente do cimento (Fig. 5).

Este ensaio não pretende avaliar os efeitos de chuva intensa nas cofragens após a aplicação do descofrante. Nessas situações, há fortes probabilidades de que a chuva lavar, pelo menos parcialmente, o óleo, pelo que este deve ser aplicado

novamente após a chuva e antes da betonagem.

### 3.4 Número de reutilizações sem limpar as cofragens

Após a descofragem, pode facilmente acontecer que as cofragens não sejam cuidadosamente limpas em cada reutilização antes de serem pulverizadas novamente. Isto pode ser devido a um controle de qualidade na construção deficiente ou à necessidade de maximizar o rendimento das cofragens em estaleiros de difícil acesso ou nos quais o factor tempo é extremamente condicionante. Em todas estas situações, é de esperar um declínio no desempenho do óleo descofrante em termos de aderência, podendo conduzir a um nível de qualidade da superfície do betão inaceitável.

Para analisar este efeito, foi desenvolvido um ensaio que consiste no seguinte [9]: é preparada uma cofragem de cada material utilizado no estaleiro recorrendo ao procedimento normalizado descrito para o ensaio de aderência [1]; este é realizado e o respectivo resultado registado; sem que a cofragem seja limpa de quaisquer impurezas ou irregularidades, o óleo é aplicado novamente, o provete preparado, o ensaio repetido e o novo resultado registado e comparado com o anterior; o ensaio termina quando uma das seguintes situações ocorre [9]:

- a) a superfície da cofragem torna-se demasiado rugosa para garantir uma textura aceitável da argamassa do provete;
- b) o provete adere à cofragem;
- c) ficam pedaços de argamassa aderentes à cofragem;
- d) o coeficiente de atrito medido após uma reutilização é superior ao registado na primeira utilização de uma percentagem igual ou superior a cerca de 30 %;
- e) o coeficiente de atrito medido após uma reutilização é semelhante ao que se obteria sem recurso a qualquer descofrante (Fig. 6).

No caso a), o número aceitável de reu-



Fig. 3 [6] - Cofragem metálica protegida por um óleo VERA exposta ao meio ambiente exterior durante 6 meses



Fig. 4 [7] - Pó de cimento depositado na superfície de uma cofragem de madeira tradicional não tratada

tilizações da cofragem sem a limpar é igual ao número de ensaios de aderência executados menos um. Nos restantes casos, ainda se deve descontar mais um teste.

### **3.5 Estabilidade de cofragens metálicas sob vibrações**

Sobretudo na indústria da pré-fabricação, as cofragens são sujeitas à acção de vibrações vigorosas após a betonagem, o que pode vir a afectar o desempenho dos descofrantes. As cofragens metálicas, por terem um coeficiente de amortecimento menor, são as mais susceptíveis a este efeito potencial.

Foi desenvolvido um ensaio para estudar este aspecto e que consiste em pulverizar duas cofragens metálicas idênticas com o óleo descofrante em análise. Logo após a betonagem, uma das cofragens é colocada numa mesa vibratória durante um período de 15 segundos [10]. De acordo com os procedimentos normais, é mais tarde efectuado o ensaio de aderência normalizado [1] e registados os valores obtidos. Apenas o valor relativo entre as situações de com e sem vibração é relevante para este ensaio.

### **3.6 Estabilidade de cofragens metálicas ao calor**

As cofragens podem ser sujeitas a um aquecimento anormal após a betonagem. Isto pode dever-se a diversas razões [11]: exposição solar directa sobretudo no Verão; calor de hidratação da amassadura em particular em elementos espessos; no Inverno ou na indústria da pré-fabricação, as cofragens podem ser aquecidas com água quente para acelerar a presa. As cofragens metálicas, pela sua maior condutibilidade térmica, são potencialmente as mais susceptíveis a este efeito.

O ensaio implementado para o estudar consiste em pulverizar duas cofragens metálicas idênticas com o óleo descofrante em análise. Logo após a betonagem, uma das cofragens é colocada num forno a uma temperatura de 60 °C durante 15 horas [11].

De acordo com os procedimentos normais, é mais tarde efectuado o ensaio de aderência normalizado [1] e registados os valores obtidos. Apenas o valor relativo entre as situações de com e sem aquecimento é relevante para este ensaio.

### **3.7 Período de eficiência após aplicação do óleo**

Após a aplicação do descofrante, as cofragens podem ser deixadas por períodos de mais de um dia sem que se dê a betonagem. Isto pode dever-se a mudanças de turno no estaleiro da obra, à optimização das condições de betonagem em termos da hora do dia, ao facto de a aplicação do descofrante poder ter de ocorrer longe do local da betonagem ou a outros factores imprevistos [12]. Sempre que haja uma razão fundamentada para pôr em causa a eficiência do descofrante devida a estas situações, é aconselhável aplicá-lo novamente antes da betonagem. Verifica-se, no entanto, que as emulsões VERA parecem secar rapidamente na superfície das cofragens, pelo que é importante conhecer um limite seguro para o seu período de eficiência.

Para o obter, desenvolveu-se um ensaio que consiste em pulverizar com o óleo descofrante em análise duas cofragens de cada material utilizado no estaleiro, sendo que numa delas a betonagem é instantânea e na outra só ocorre após um período de tempo idêntico ao período de eficiência indicado pelo fabricante / fornecedor do descofrante. As condições climatéricas devem, na medida do possível, reproduzir as esperadas no estaleiro da obra, nomeadamente em termos de temperatura do ar, exposição ao sol, humidade ambiente, chuva e outras.

São seguidos os procedimentos normalizados para executar o ensaio de aderência [1] em ambos os provetes resultantes das cofragens e registados os valores obtidos. Mais uma vez, o que é relevante é o valor relativo entre as situações de demora na betonagem e de ausência dessa demora.

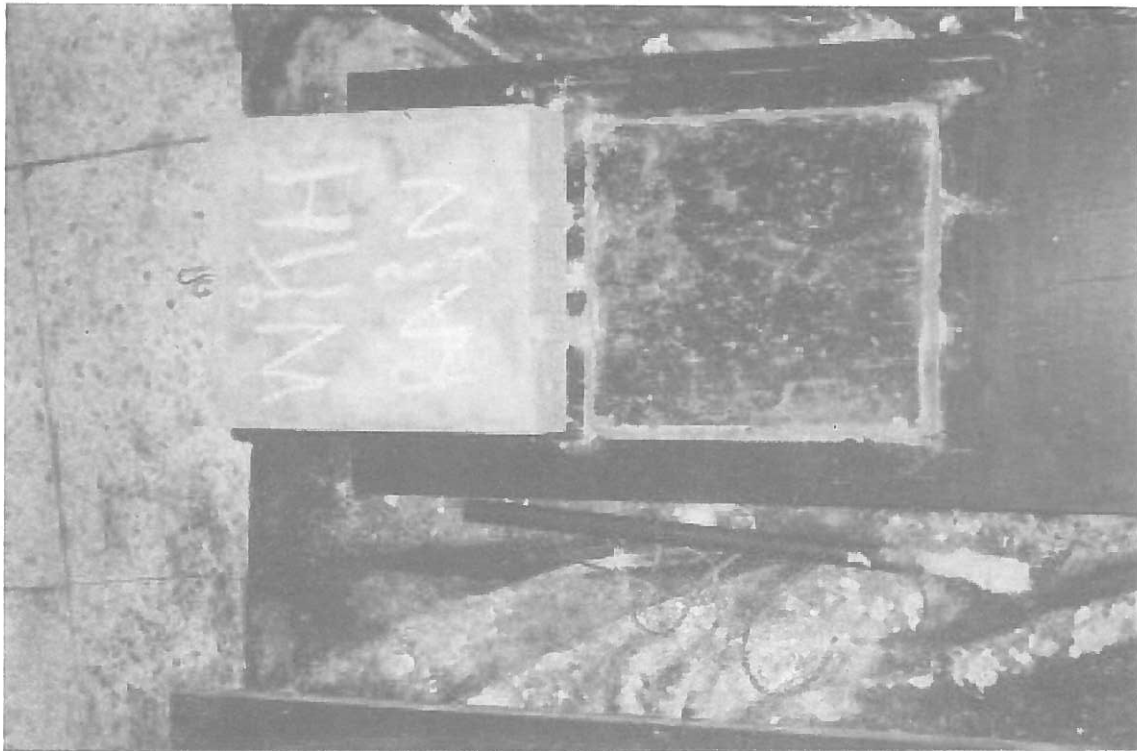


Fig. 5 [8] - Provede e cofragem de contraplacado sujeita à acção da chuva antes da betonagem



Fig. 6 [9] - Cofragem metálica após a 4ª utilização



O ensaio é considerado bem sucedido, ou seja, o período de eficiência esperado fica demonstrado como adequado, se nenhuma das seguintes situações ocorrer [12]:

- a) a superfície da cofragem pulverizada com antecedência torna-se demasiado rugosa para garantir uma textura aceitável da argamassa do provete;
- b) o provete adere à cofragem pulverizada com antecedência;
- c) ficam pedaços de argamassa aderentes à cofragem pulverizada com antecedência;
- d) o coeficiente de atrito medido no provete correspondente à cofragem pulverizada com antecedência é superior ao registado no outro de uma percentagem igual ou superior a cerca de 30 %;
- e) o coeficiente de atrito medido no provete correspondente à cofragem pulverizada com antecedência é semelhante ao que se obteria sem recurso a qualquer descofrante.

Em qualquer destas situações, o ensaio deve ser repetido para um período de eficiência menor até que se possa chegar a uma conclusão satisfatória sobre este parâmetro.

A influência deste intervalo entre a aplicação do descofrante e a betonagem pode também reflectir-se no aspecto da superfície exterior da argamassa do provete que deve ser observada cuidadosamente. Os seguintes aspectos merecem especial atenção [12]: rugosidade da superfície da argamassa; existência de pedaços de argamassa aderentes à cofragem; pó de cimento na cofragem ou nos moldes (Fig. 7). Adicionalmente, antes da betonagem deve-se registar se as cofragens têm ou não uma aparência de secas. Um teste empírico da capacidade de lubrificação do óleo consiste em passar com o indicador na cofragem e sentir se está ou não gorduroso.

Este ensaio não pretende avaliar os efeitos de atrasos na betonagem em condições climatéricas excepcionalmente desfavoráveis, tais como a temperaturas muito altas ou baixas, exposição solar directa em dias muito quentes, humidade ambiente anormal ou chuva muito intensa em cofragens desabrigadas. Por outro lado, também não se pretende validar períodos de espera particularmente extensos. Em qualquer destas circunstâncias, é recomendável a reaplicação do descofrante imediatamente antes da betonagem.



Fig. 7 [12] - Observação visual da superfície dos provetes para períodos de eficiência de 6 e 24 horas

#### 4. CONCLUSÕES

Os óleos descofrantes de base vegetal (VERA) têm diversas vantagens incontestáveis sobre os produtos equivalentes de base mineral nos domínios da preservação do ambiente e dos recursos naturais, diminuição dos acidentes de trabalho e melhoria da segurança durante e após a construção.

No entanto, no início do projecto SUMOVERA, cujo principal objectivo era exactamente o de promover essa mesma substituição, havia dúvidas sobre o seu desempenho técnico, alimentadas por experiências menos bem conseguidas na utilização de determinados produtos VERA há mais de duas décadas.

No sentido de chegar a conclusões cientificamente fundamentadas sobre este assunto, foi concebida e realizada no IST uma série de ensaios para verificar o comportamento dos óleos VERA. Esta campanha de ensaios foi dividida em duas partes, relativas respectivamente à interacção dos descofrantes com o betão (ou argamassa) e à interacção dos descofrantes com as cofragens.

Na primeira parte, foram analisados aspectos como a hidratação deficiente do cimento, a aderência dos revestimentos e a porosidade e uniformidade da cor do betão.

Na segunda parte, os aspectos analisados foram a corrosão e a estabilidade a vibrações e ao calor das cofragens metálicas, a pré-humidificação das cofragens de madeira tradicional, o efeito da chuva antes da betonagem, o número de reutilizações sem limpeza das cofragens e o período de eficiência dos descofrantes.

Este conjunto de ensaios permitiu confirmar que o desempenho técnico dos óleos VERA é globalmente satisfatório, na maioria dos casos idêntico ao dos produtos de base mineral já afirmados no mercado, apresentando mesmo algumas vantagens na indústria da pré-fabricação, já que permitem a obtenção de superfícies de betão mais bem acabadas, de maior homogeneidade e menor porosidade.

#### 5. AGRADECIMENTOS

O projecto foi desenvolvido em conjunto pelas seguintes instituições:

- a) Chemiewinkel University of Amsterdam - Holanda;
- b) Kooperationsstelle Hamburg - Alemanha;
- c) Instituto Superior Técnico - Portugal;
- d) Helsinki University of Technology - Finlândia;
- e) Bouygues Challenger - Direction Développement Sociale - França;
- f) European Federation of Building and Wood Workers

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] Santos, J. R.; Branco, F. A.; Brito, J. - "Caracterização Experimental do Comportamento de Óleos Descofrantes de Base Vegetal" - *Mecânica Experimental*, n.º 3, APAET, 1998
- [2] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.5.2 - Concrete Surface Lack of Hydration" - IST/UTL, 1997.
- [3] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.5.3 - Adherence of the Finishing" - IST/UTL, 1997.
- [4] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.5.4 - Concrete Colour uniformity" - IST/UTL, 1997.
- [5] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.5.5 - Concrete Porosity" - IST/UTL, 1997.
- [6] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.3 - Corrosion Effects in Steel Moulds" - IST/UTL, 1997.
- [7] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.4 - Humidity in Plain Wood Moulds Before Spraying" - IST/UTL, 1997.
- [8] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.5 - Rain Effects After Spraying" - IST/UTL, 1997.
- [9] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.6 - Number of Re-utilisations Without Cleaning" - IST /UTL, 1998.
- [10] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.7 - Stability of Steel Moulds Under Vibration" - IST /UTL, 1998.
- [11] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.8 - Stability of Steel Moulds Under Heating" - IST /UTL, 1998.
- [12] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.9 - Efficiency Period After Spraying" - IST /UTL, 1998.