CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE ÓLEOS DESCOFRANTES DE BASE VEGETAL

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

*Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia de Estruturas. Instituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal
**Professor Catedrático. DECivil, Insituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal
***Professor Auxiliar. DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal

RESUMO

Na indústria da construção utilizam-se frequentemente óleos de base mineral como descofrantes das peças de betão. Estes óleos são poluidores e podem provocar doenças de pele aos operários que os utilizam. Em alternativa, estão presentemente a ser lançados na Europa Comunitária óleos descofrantes de base vegetal, que são biodegradáveis e não apresentam problemas de toxicidade. Neste artigo apresentam-se os resultados de uma campanha de ensaios realizada no IST, tendo em vista a avaliação do comportamento dos óleos sob várias condições de utilização, por intermédio da medição do atrito betão-cofragem, utilizando-se uma técnica especialmente desenvolvida para este fim.

1. INTRODUÇÃO

O objectivo do uso de óleos descofrantes é facilitar a remoção da cofragem de elementos de betão. Os óleos descofrantes de uso corrente são de base mineral e podem conter solventes orgânicos voláteis, pondo em risco a saúde dos operários que os utilizam e contribuindo para a poluição ambiental.

No âmbito da Comunidade Europeia (Programa INNOVATION) foi desenvolvido o projecto SUMOVERA (*Substitution of Mineral Oil based concrete mould release agents by non-toxic, readily biodegradable, VEgetable oil based Release Agents in the construction industry)* com o intuito de apoiar a implementação da substituição dos óleos descofrantes de base mineral por óleos descofrantes de base vegetal.

As principais vantagens dos óleos de base vegetal em relação aos de base mineral são as seguintes:

- não são inflamáveis;
- não irritam a pele;
- têm um cheiro menos desagradável;
- não contêm solventes voláteis;
- são biodegradáveis no ambiente.

O uso de óleos descofrantes de base vegetal pode, por outro lado, proporcionar efeitos laterais indesejáveis tanto na cofragem como no betão, como por exemplo a falta de hidratação superficial da pasta de

cimento.

Desenvolveu-se então no IST uma campanha de ensaios, que incluiram o estudo do comportamento dos óleos em termos de aderência ao betão, estabilidade ao aquecimento e vibração, período de eficiência, entre outros factores.

Como a operação de descofragem consiste basicamente em desligar a cofragem dos elementos de betão, a grandeza física escolhida para medir a eficiência do óleo descofrante nos vários tipos de ensaio foi a aderência do betão à cofragem.

2. ADERÊNCIA COFRAGEM-BETÃO

Num caso geral, a forma mais lógica de se medir a aderência cofragem-betão é através do ensaio de arrancamento (*pull-out test*). Isto obriga na prática à construção de provetes com dimensões apreciáveis pois, caso contrário, o ensaio é sujeito a algumas dificuldades, tais como:

- as forças medidas seriam pequenas demais e pequeníssimos erros seriam equivalentes a uma perda de precisão inaceitável;
- para medir a aderência entre as duas superfícies, seria necessário levantar o provete, sendo o peso deste muito maior que a aderência (em muitos casos, o valor medido seria o peso próprio e seria impraticável diferenciar entre duas diferentes situações);
- em alguns casos, uma significativa força artificial de aderência é criada devida à solidificação entre as peças verticais e horizontais dos moldes, uma situação que dá resultados duvidosos, pois não se trata de um fenómeno de aderência.

Devido às dimensões reduzidas dos provetes a utilizar, idealizou-se um ensaio alternativo no qual se mediu o coeficiente de atrito estático (relação entre a força horizontal necessária para fazer o provete começar a deslizar na superfície da cofragem e o seu peso).

O problema do pequeno peso do provete e a eventual perda de precisão foi contornado colocando-se algumas peças com peso calibrado sobre o topo do provete, o que também simula a pressão do betão nas cofragens.

Outra vantagem deste tipo de ensaio é a possibilidade de comparar a eficiência relativa de diferentes óleos descofrantes com a situação de não utilização dos mesmos e, no caso de óleos de base vegetal emulsionados em água, avaliar a melhor relação água / óleo.

O ensaio padrão foi então calibrado para a obtenção de resultados fiáveis utilizando-se um equipamento pouco sofisticado. A calibração do ensaio de aderência foi também utilizada na optimização da relação água / óleo para o óleo vegetal emulsionado usado neste estudo (MIRACOL fabricado pela CASTROL).

3. ENSAIO DE ADERÊNCIA

3.1 Considerações gerais

A calibração do ensaio de aderência constou em moldar provetes de argamassa sobre dois tipos de cofragem (aço ou contraplacado de madeira) (Fig.1), os quais foram previamente pulverizados, com o óleo descofrante de base vegetal (emulsionado ou não). Posteriormente, avaliou-se o coeficiente de atrito estático provete-cofragem. A Fig.2 apresenta a aplicação do óleo descofrante à cofragem.

Devido às pequenas dimensões dos provetes e, consequentemente, ao pequeno valor da força horizontal necessária para o deslizamento dos mesmos na superfície da cofragem, desenvolveu-se uma técnica para medição desta força, utilizando-se para tal um transdutor de forças especialmente criado para este fim.

O funcionamento do transdutor baseia-se na deformação axial de uma chapa metálica fina. A partir do módulo de elasticidade da mesma e tendo em conta a Lei de Hooke obtém-se o esforço axial desejado.

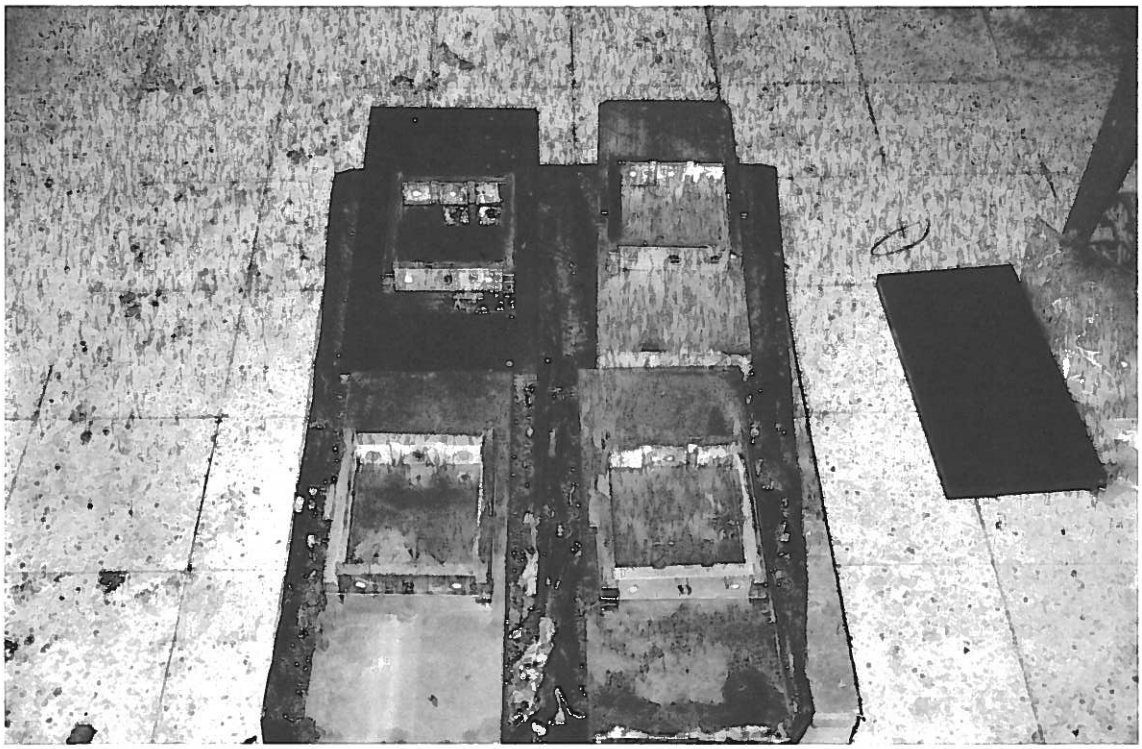

Fig.1 - Tipos de cofragem utilizados nos ensaios

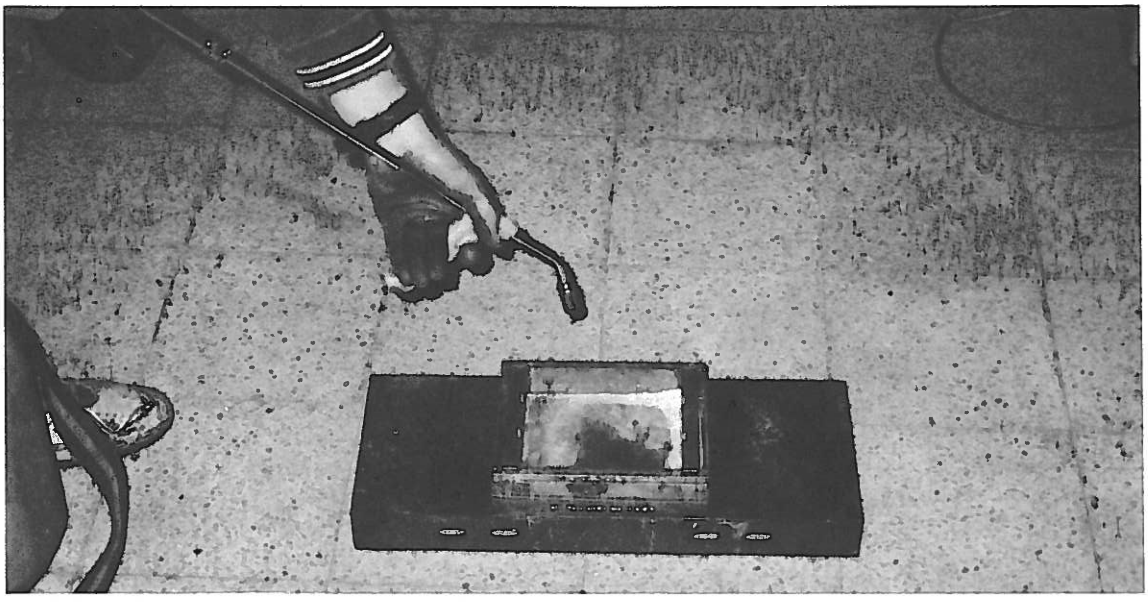

Fig.2 - Aplicação do óleo descofrante à cofragem de aço

3.2 Técnica de avaliação do coeficiente de atrito betão-cofragem

O coeficiente de atrito betão-cofragem foi avaliado pela seguinte expressão:

$$\nu = \frac{F_h}{(P+G)} \qquad (1)$$

onde ν - coeficiente de atrito betão-cofragem;

F_h - força horizontal necessária para o deslizamento do provete na superfície da cofragem;

P - peso do provete;

G - peso total das peças colocadas sobre o provete.

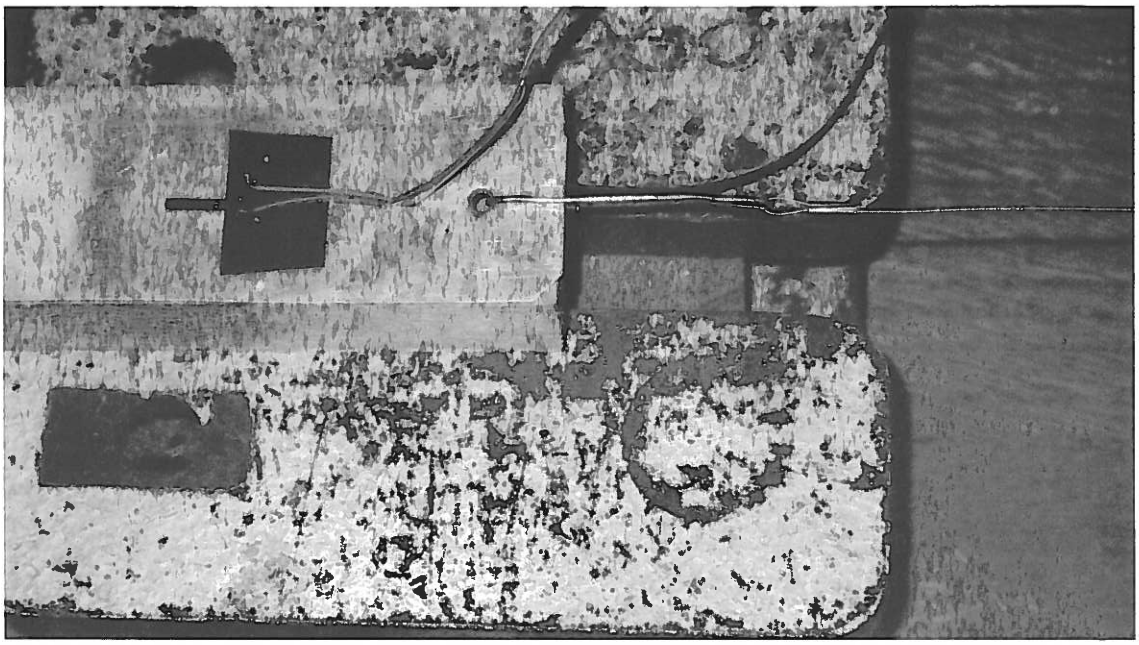

Fig.3 - Pormenor do furo na extremidade da chapa para ligação da mesma ao fio de aço

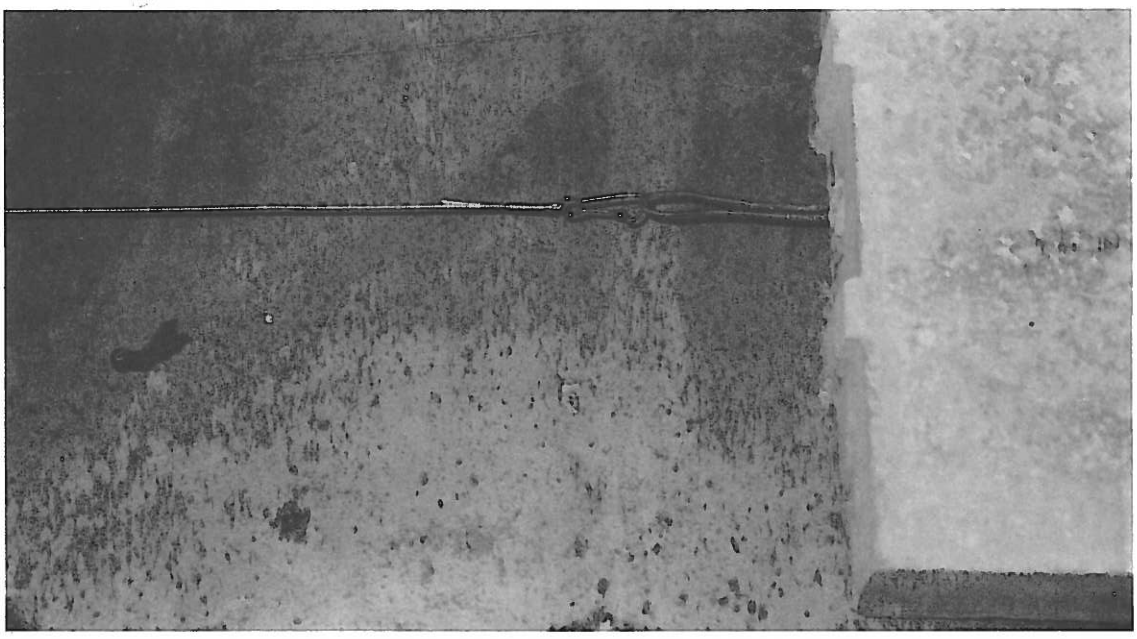

Fig.4 - Pormenor do laço metálico instalado na extremidade do provete antes da betonagem e da ligação do mesmo ao fio de aço

A avaliação de F_h foi feita recorrendo-se ao dispositivo referido em 3.1. Trata-se de uma chapa metálica fina com dimensões apropriadas para a sua ligação a um pequeno prisma de madeira e com rigidez axial compatível com a força horizontal esperada.

Foi feito um pequeno orifício em cada extremidade da chapa, sendo um para a ligação ao prisma e o outro para a ligação a um fio de aço muito fino (Fig.3). Este fio permite a transferência da força horizontal no provete para o esforço axial na chapa metálica. Na extremidade do provete foi instalado um pequeno laço metálico, antes da colocação da argamassa, para ligação ao fio de aço (Fig.4).

A deformação axial da chapa foi registada por um par de extensómetros de resistência eléctrica colados, um em cada

face. Estes extensómetros, além de dois outros colados em faces opostas de uma chapa do mesmo material não solicitada, foram ligados a uma ponte extensiométrica numa ligação de tipo ponte completa, compensando assim os efeitos das temperaturas. O sinal registado (eixo y do registador) foi dividido por dois, o que permitiu a compensação de um eventual efeito de flexão na chapa activa.

A força horizontal correspondente ao instante do deslizamento foi determinada com o auxílio de um transdutor de deslocamentos encostado à outra extremidade do provete, sendo o sinal do início do movimento registado no eixo x do registador.

Admitindo-se válida a lei de Hooke, o valor de F_h pode ser avaliado através da seguinte equação:

$$F_h = \frac{\varepsilon}{2} AE \qquad (2)$$

onde ε - extensão total registada;

A - área da secção transversal da chapa;

E - módulo de elasticidade da chapa (avaliado experimentalmente).

Para que o valor registado na escala correspondesse directamente a uma força, determinou-se analiticamente a força axial na chapa associada a uma extensão de 1 x 10^{-6}.

3.3 Descrição do ensaio

Inicialmente, foi feita a preparação da superfície da cofragem que estará em contacto com o provete. Posteriormente, utilizando-se um pulverizador apropriado, aplicou-se o óleo descofrante à cofragem (incluindo as paredes). Nos ensaios realizados, aplicou-se o óleo de base vegetal fabricado pela CASTROL (MIRACOL) puro e emulsionado em água com relações óleo / água de 1:10, 1:20, 1:30, 1:40, 1:50.

Os provetes tinham uma forma prismática com secção transversal de 0,15 x 0,15 m^2 e espessura de 0,04 m. Após um período de 48 horas, retiraram-se as paredes dos moldes, sendo os provetes sujeitos ao ensaio de aderência. O peso total das peças colocadas sobre os provetes (G) foi de 50 N.

O ensaio de aderência propriamente dito constou em aplicar ao provete, manual e gradualmente (utilizando-se para tal o prisma de madeira ligado à chapa metálica), uma força horizontal capaz de fazer com que o mesmo deslize na superfície da cofragem. Com a chapa metálica ligada ao fio de aço e consequentemente ao provete, a força de tracção registada indicou a força horizontal aplicada ao provete. A Fig.5 apresenta o equipamento do ensaio, enquanto que a Fig.6 representa a realização do mesmo.

3.4 Tratamento estatístico dos resultados

Os resultados obtidos nos ensaios manifestaram uma variação significativa, decidindo-se então pelo registo de 10 valores de ε para cada ensaio e pelo tratamento estatístico dos mesmos.

Inicialmente, calcula-se a média aritmética dos 10 valores registados (μ). Determina-se então o desvio padrão (σ) através da seguinte expressão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (v_i - \mu)^2}{n-1}} \qquad (3)$$

onde v_1 a v_n - valores de ε registados;

n - nº de registos.

O coeficiente de variação (δ) é calculado pela seguinte expressão:

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \qquad (4)$$

No caso de $\delta \leq 0{,}15$, o ensaio em análise é aceite como a média aritmética calculada para os 10 valores registados. Caso contrário, é retirado do cálculo da média e do desvio padrão o registo mais afastado da média. Determina-se então novamente o coeficiente de variação, repetin-

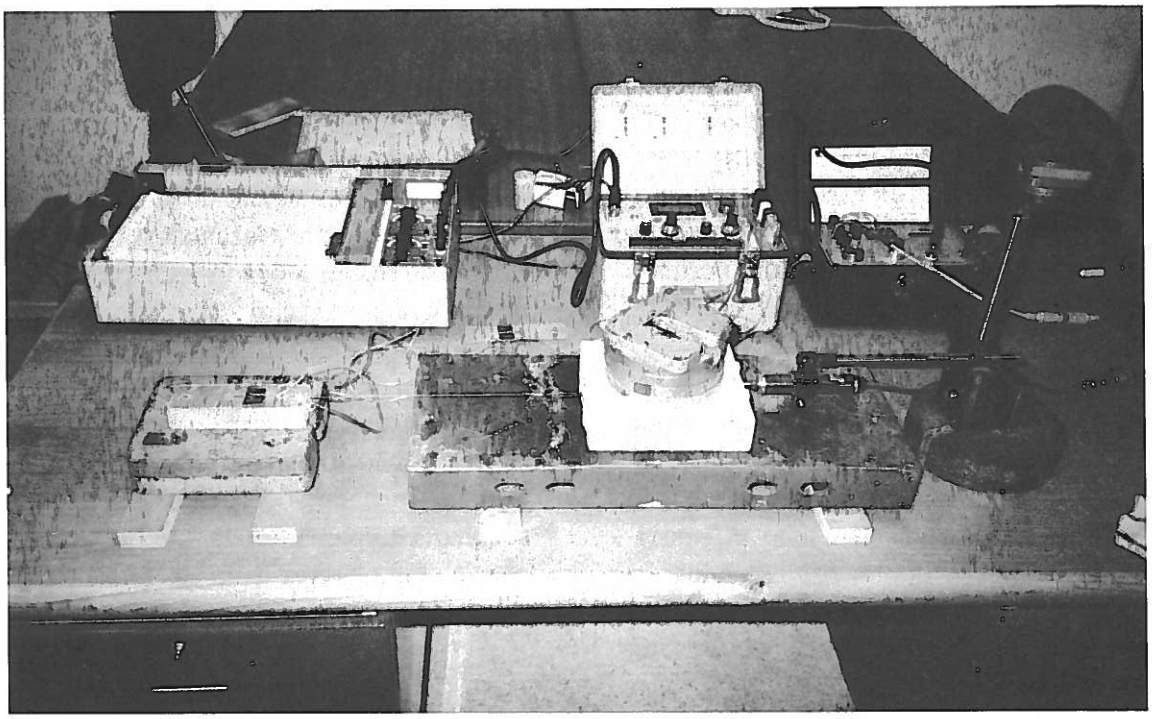

Fig.5 - Equipamento utilizado no ensaio de aderência

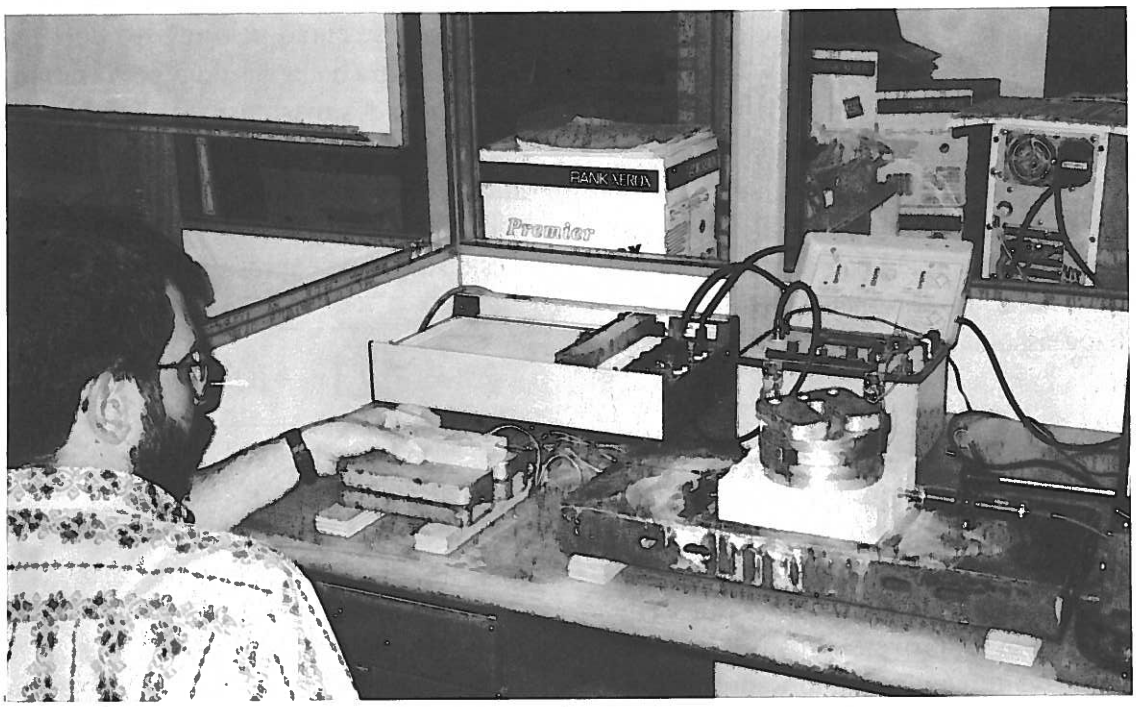

Fig.6 - Realização do ensaio de aderência

do-se o processo até se alcançar $\delta \leq 0,15$. Um ensaio só é aceite desde que existam no mínimo 5 registos válidos.

4. RESULTADOS NO ÂMBITO DO PROJECTO SUMOVERA

Na avaliação experimental do módulo de elasticidade da chapa metálica, obteve-se um valor de 60,8 GPa. A chapa tinha uma secção transversal de 3,98 x 0,05 cm^2.

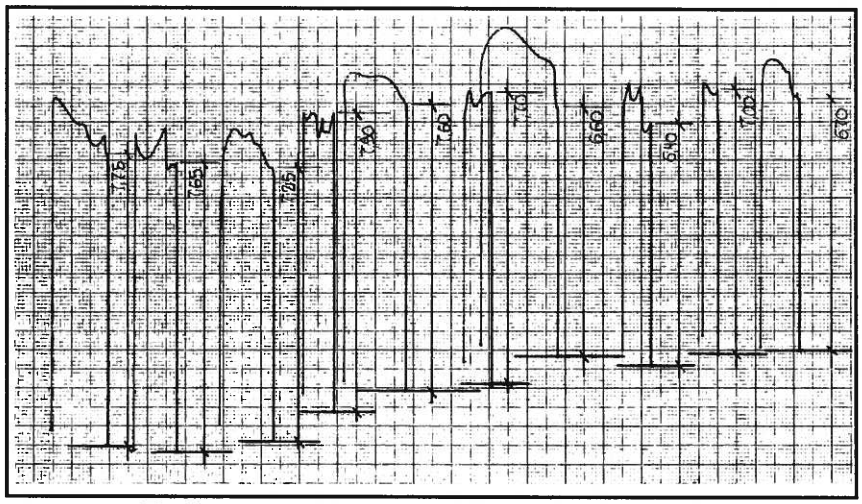

Fig.7 - Obtenção gráfica do registo dos extensómetros

Tab.1 - Resultados obtidos num dos provetes ensaiados

Nº DO PROVETE - 48		
RELAÇÃO ÓLEO / ÁGUA = 1:20		
TIPO DE COFRAGEM: AÇO		
n	**y_n (cm)**	**$(y_n - \mu)^2$**
1	5,15	0,027778
2	6,15	1,361111
3	4,8	0,033611
4	5,4	0,173611
5	6	1,033611
6	4,4	0,340278
7	4,4	0,340278
8	4,1	0,780278
9	4,45	0,284444
MÉDIA ARITMÉTICA (μ) = 4,98		
DESVIO PADRÃO (σ) = 0,74		
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (δ) = 0,15		
EXTENSÃO REGISTADA (ε) = 1,53 x 10^{-5}		
FORÇA HORIZONTAL MEDIDA (F_h) = 18,46 N		
PESO DO PROVETE = 19,36 N		
COEFICIENTE DE ATRITO = 0,27		

O peso de cada provete era de cerca de 20 N. Através das características da chapa, concluiu-se que uma extensão na mesma de 1 x 10^{-6} correspondia a uma força axial de 1,21 N.

A Fig.7 apresenta como exemplo o registo gráfico dos extensómetros.

A força horizontal necessária para o deslizamento do provete na superfície da cofragem (F_h) foi determinada através da equação (2). Após a determinação de F_h, o coeficiente de atrito betão-cofragem foi avaliado por intermédio da expressão (1).

A Tab.1 e a Fig.8 apresentam os resultados obtidos num dos provetes ensaiados e o respectivo tratamento estatístico dos mesmos.

Na Tab.1 e na Fig.8 o termo y_n representa a medida registada na escala escolhida.

Os ensaios em que o óleo de base vegetal foi aplicado puro resultaram na falta de hidratação da camada superficial dos provetes, quer no uso de cofragem de aço,

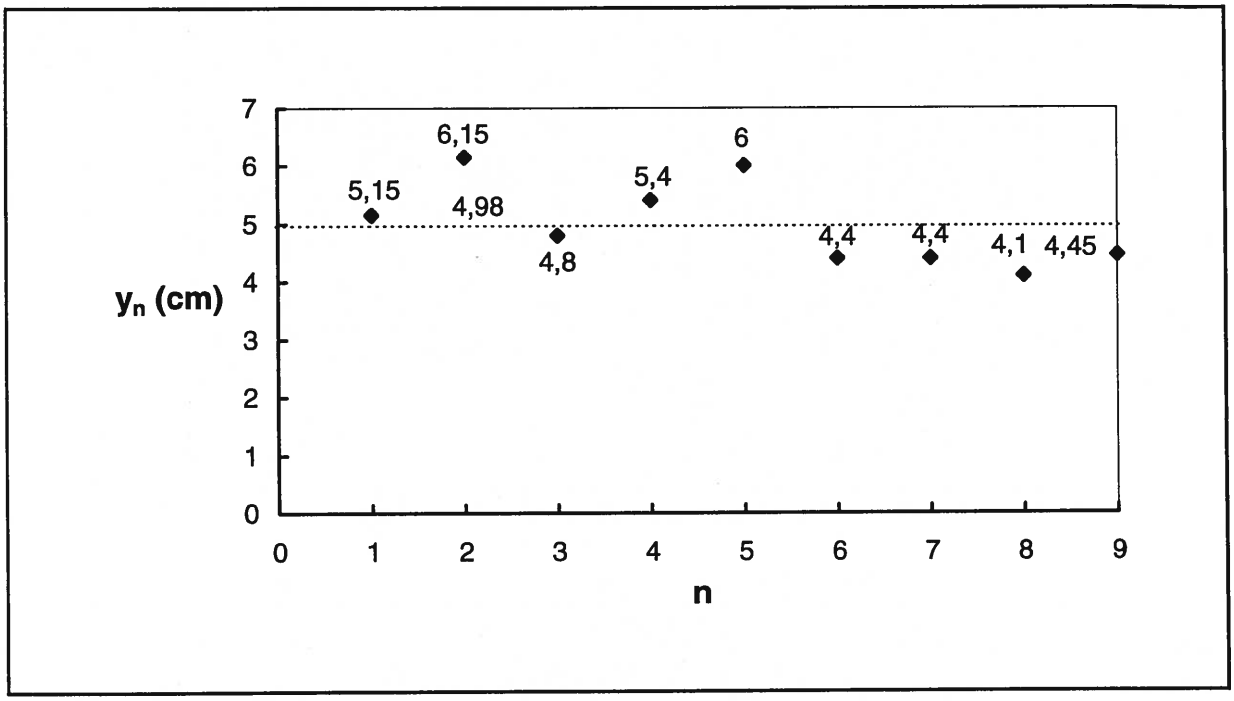

Fig.8 - Diagrama com os resultados obtidos num dos provetes ensaiados

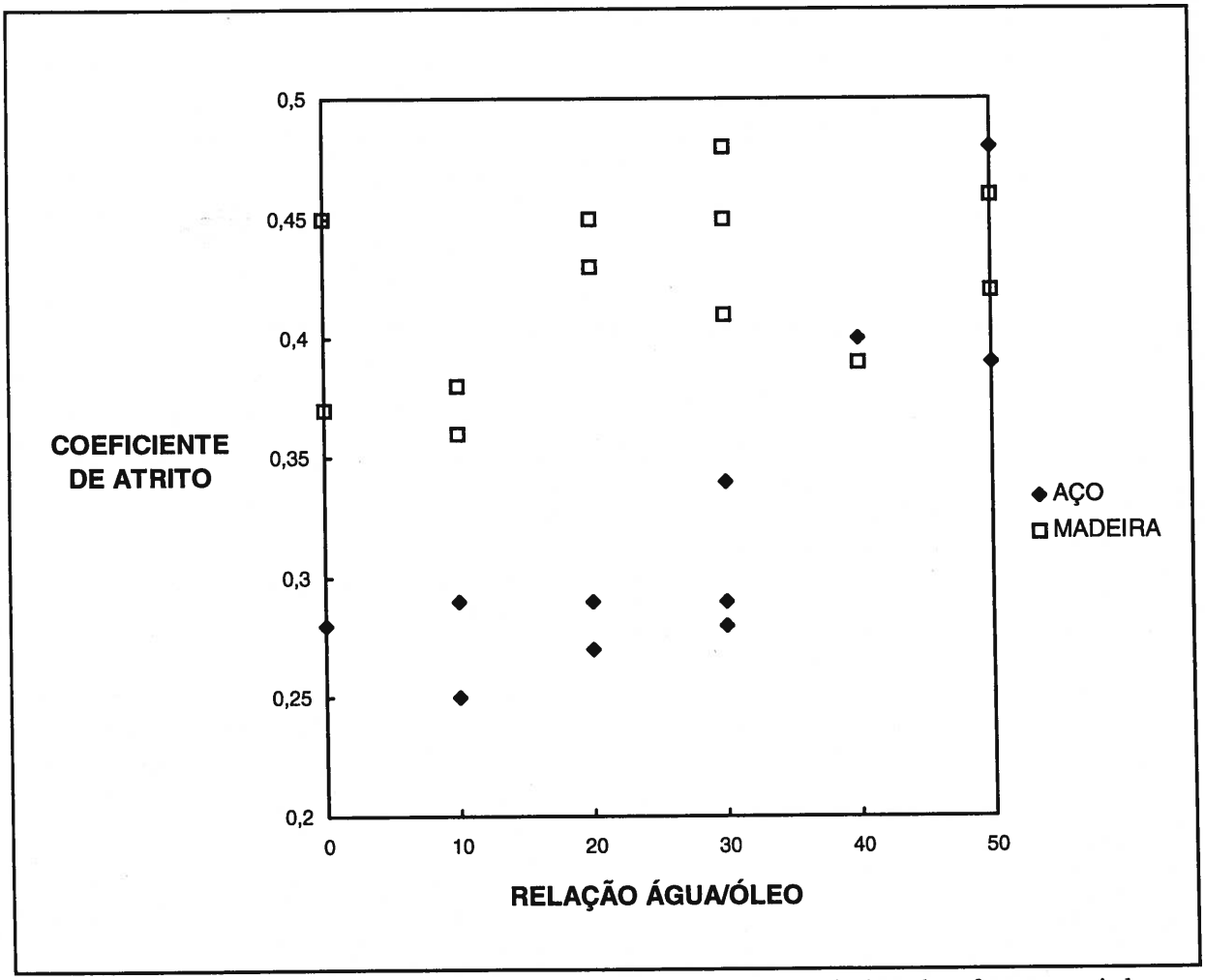

Fig.9 - Evolução do coeficiente de atrito com a relação água / óleo nos dois tipos de cofragem ensaiados

quer no uso de cofragem de madeira. A região do provete em contato com a cofragem ficou com uma aparência pulverulenta, desagregando-se ao simples toque de um dedo. De facto, as características orgânicas dos óleos de base vegetal podem levar a uma reacção com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento, provocando uma deficiência na hidratação da mesma.

Provou-se através dos ensaios, e para dois tipos de cofragem, que uma relação óleo / água de 1:10 é também prejudicial à hidratação do cimento contido na pasta.

Com o uso de relações óleo / água de 1:40 e 1:50, muito embora o problema da falta de hidratação da camada superficial do provete tenha desaparecido, obtiveram-se valores muito altos para o coeficiente de atrito, quase idênticos aos obtidos nos ensaios em que nenhum óleo descofrante foi aplicado à cofragem.

Verificou-se ainda que o problema da falta de hidratação do cimento ocorria em cofragens de madeira tradicional de pinho, independentemente da relação óleo / água utilizada. Daqui se pode concluir não ser este tipo de cofragem adequado à utilização de óleos descofrantes de base vegetal. Isto não se constitui como uma limitação a estes tipos de óleos descofrantes, já que efectivamente não é compatível em termos técnicos a utilização de descofrantes em cofragens de baixa tecnologia.

A Fig.9 apresenta um diagrama coeficiente de atrito X relação água / óleo para os dois tipos de cofragem ensaiados.

Do diagrama da Fig.9 pode-se concluir que, em termos gerais, os coeficientes de atrito obtidos no caso de cofragens de aço são menores que os correspondentes valores para cofragens de madeira. Para as cofragens de aço, foram obtidos valores relativamente baixos do coeficiente de atrito para valores da relação água / óleo até 30. Acima de 30, com a diminuição do peso relativo de óleo, o coeficiente de atrito aumenta rapidamente.

No caso das cofragens de contraplacado de madeira, o coeficiente de atrito aumenta rapidamente para valores da relação água / óleo maiores que 10, mas mais ou menos estabiliza para valores de 30 ou mais.

No caso de nenhum tipo de óleo descofrante ter sido aplicado às cofragens, o coeficiente de atrito alcançou um valor médio de 0,54 tanto nas cofragens de madeira como nas de aço.

Com a relação água / óleo de 30, foram alcançados no laboratório resultados aceitáveis em termos de coeficiente de atrito, sendo que o mesmo não ocorreu num ensaio in situ. Por esta razão, optou-se por usar uma relação de 20 em todos os ensaios de comportamento.

5. CONCLUSÕES

O projecto SUMOVERA foi desenvolvido no âmbito da Comunidade Europeia (Programa Innovation) com o intuito de promover a substituição dos óleos descofrantes de base mineral, altamente tóxicos e poluentes, por óleos de base vegetal biodegradáveis.

Foi realizada no IST uma série de ensaios para verificar o comportamento dos óleos de base vegetal em termos de aderência ao betão, etc. A grandeza adoptada para caracterização deste tipo de óleo, comparação com o óleo de base mineral e escolha da relação água / óleo ideal foi a aderência betão-cofragem. Para medição indirecta da aderência betão-cofragem, foi desenvolvida uma técnica que permite medir o coeficiente de atrito entre ambos.

Concluiu-se, após a realização de ensaios sobre cofragens de madeira e aço, que os óleos de base vegetal funcionam melhor para as últimas, as quais são mais frequentes em obras em que normalmente se utilizam óleos descofrantes.

6. AGRADECIMENTOS

O projecto foi desenvolvido em conjunto pelas seguintes instituições:

- Chemiewinkel University of Amsterdam - Holanda;
- Kooperationsstelle Hamburg - Alema-

nha;

- Instituto Superior Técnico - Portugal;
- Helsinki University of Technology - Finlândia;
- Bouygues Challenger - Direction Developpement Sociale - França;
- European Federation of Building and Wood Workers

7. REFERÊNCIAS

[1] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.1- Introduction" - IST/UTL, 1997.

[2] Branco, F. A.; Brito, J.; Santos, J. R. - "Sumovera Report 3.6.2- Adherence Moulds-Concrete" - IST/UTL, 1997.