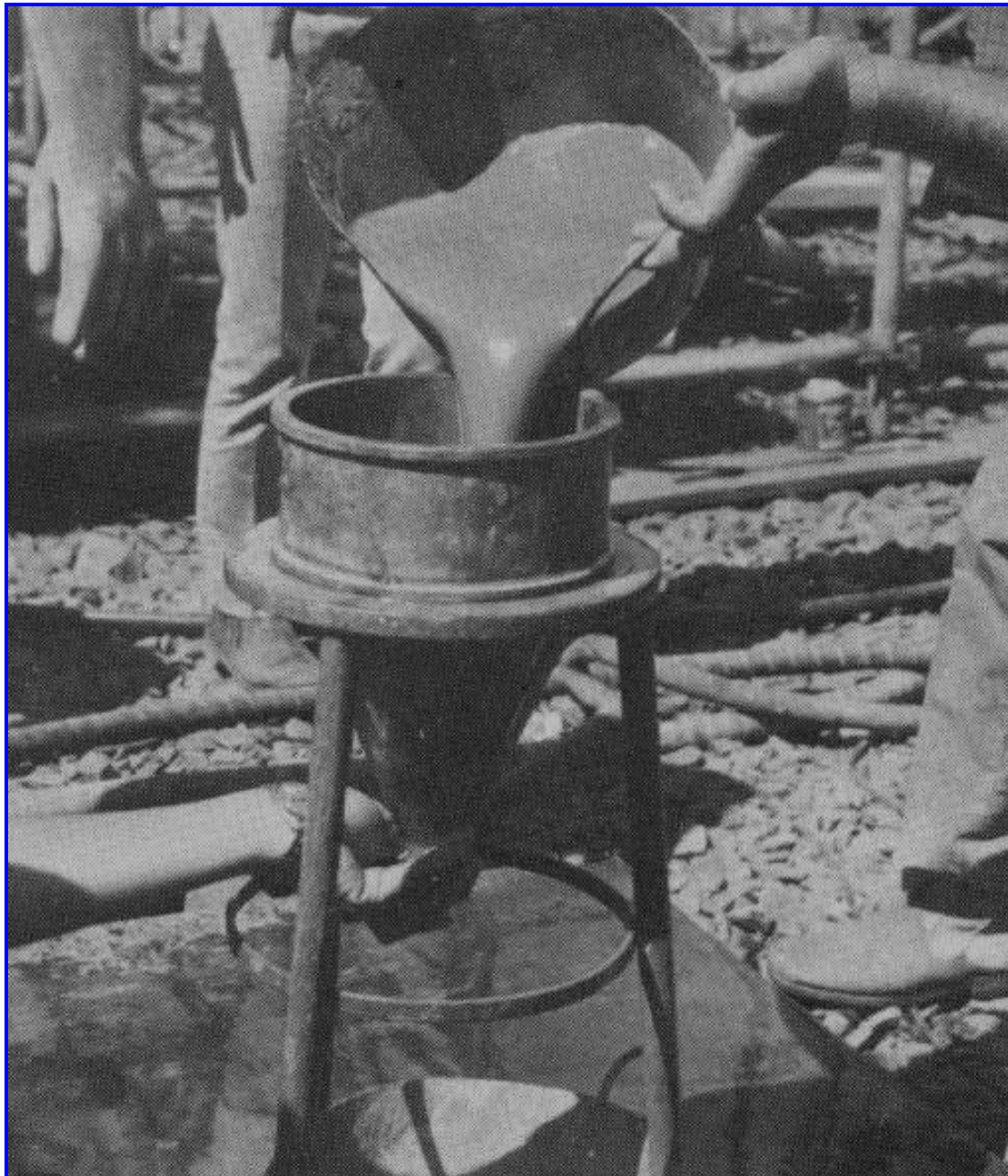




Calda para injeção dos cabos :

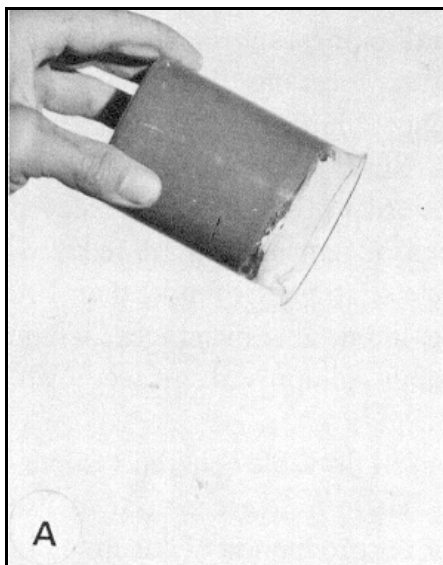
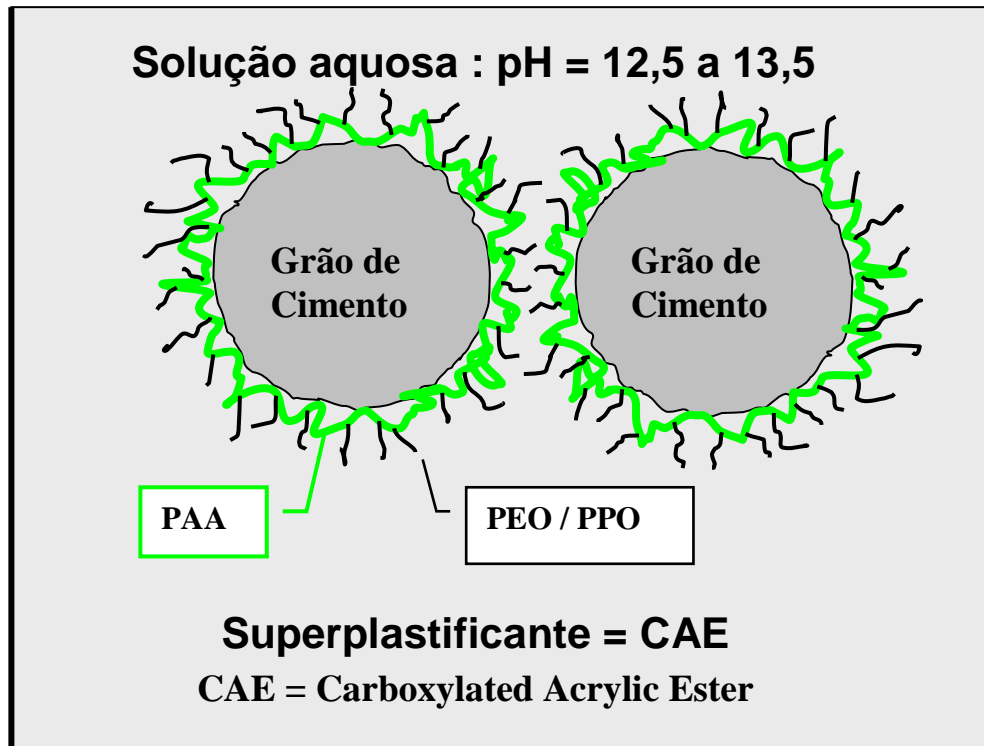
Cimento + Água + Aditivos

Fluidez : Medir o tempo de passagem da nata através de funil no Cone de Marsh ou no Cone do Corps of Engineers

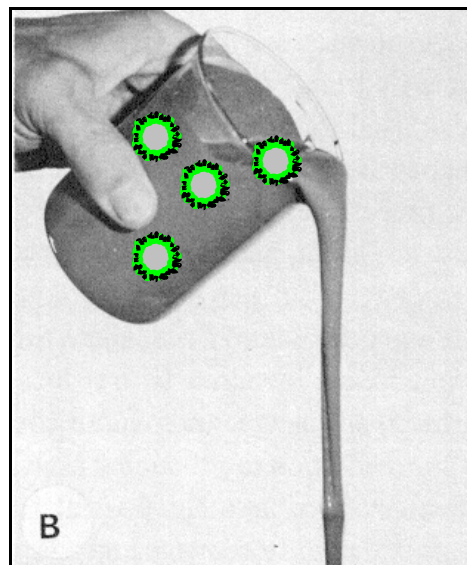




Efeito dos Aditivos Plastificantes



Sem plastificante

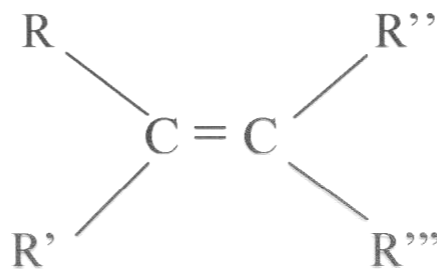


Com Plastificante



*Introdução a Polímeros – 2ª edição - Eloisa Biasotto Mano
Editora Edgard Blücher –1999*

Monômeros Olefinicos



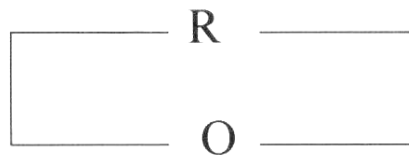
Polímero	Monômero	-R	-R'	-R''	-R'''
PAA	Ácido acrílico	-COOH	-H	-H	-H

The PAA used had a molecular weight of ≈ 5000 g/mol



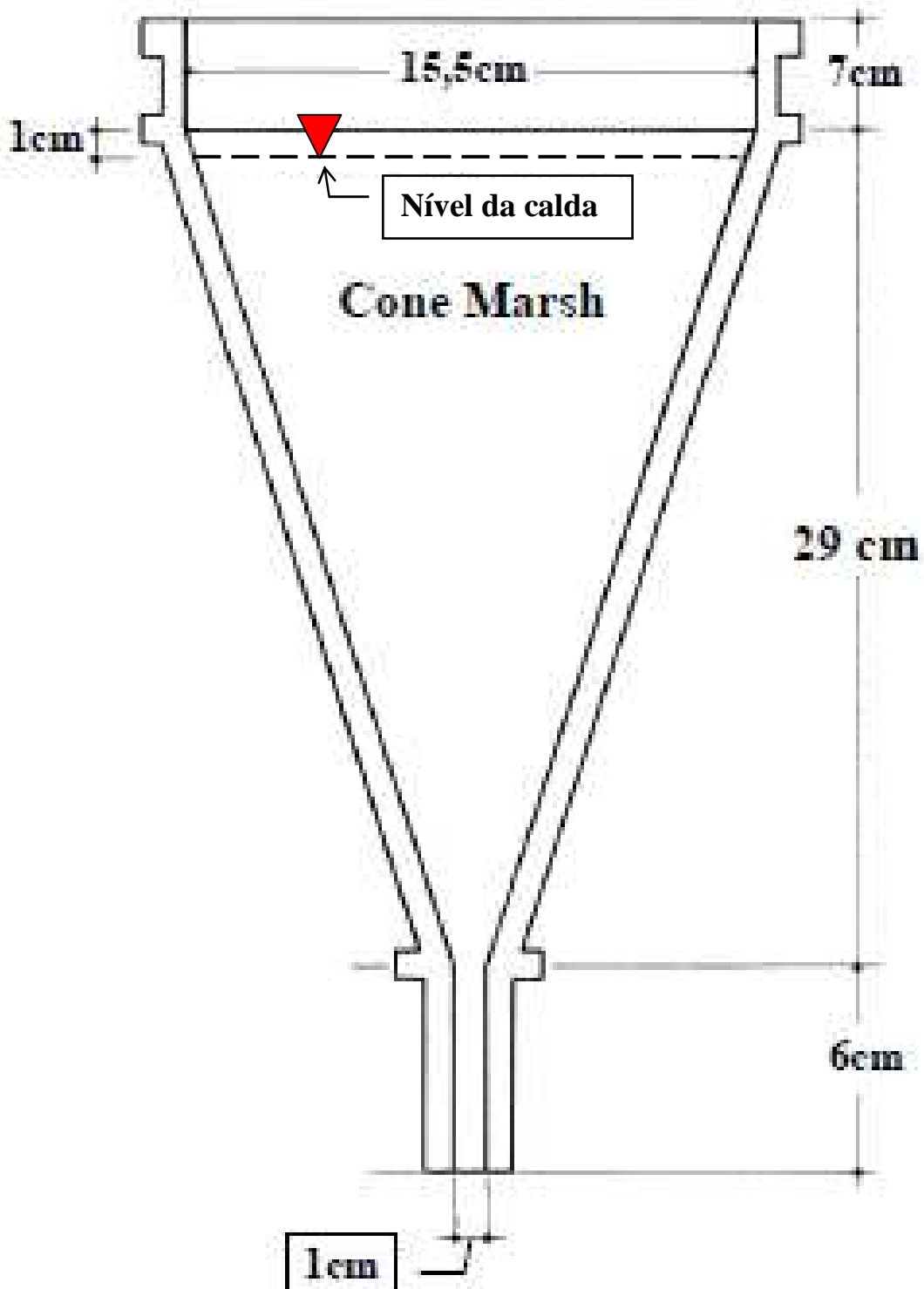
*Introdução a Polímeros – 2^a edição - **Eloisa Biasotto Mano**
Editora Edgard Blücher –1999*

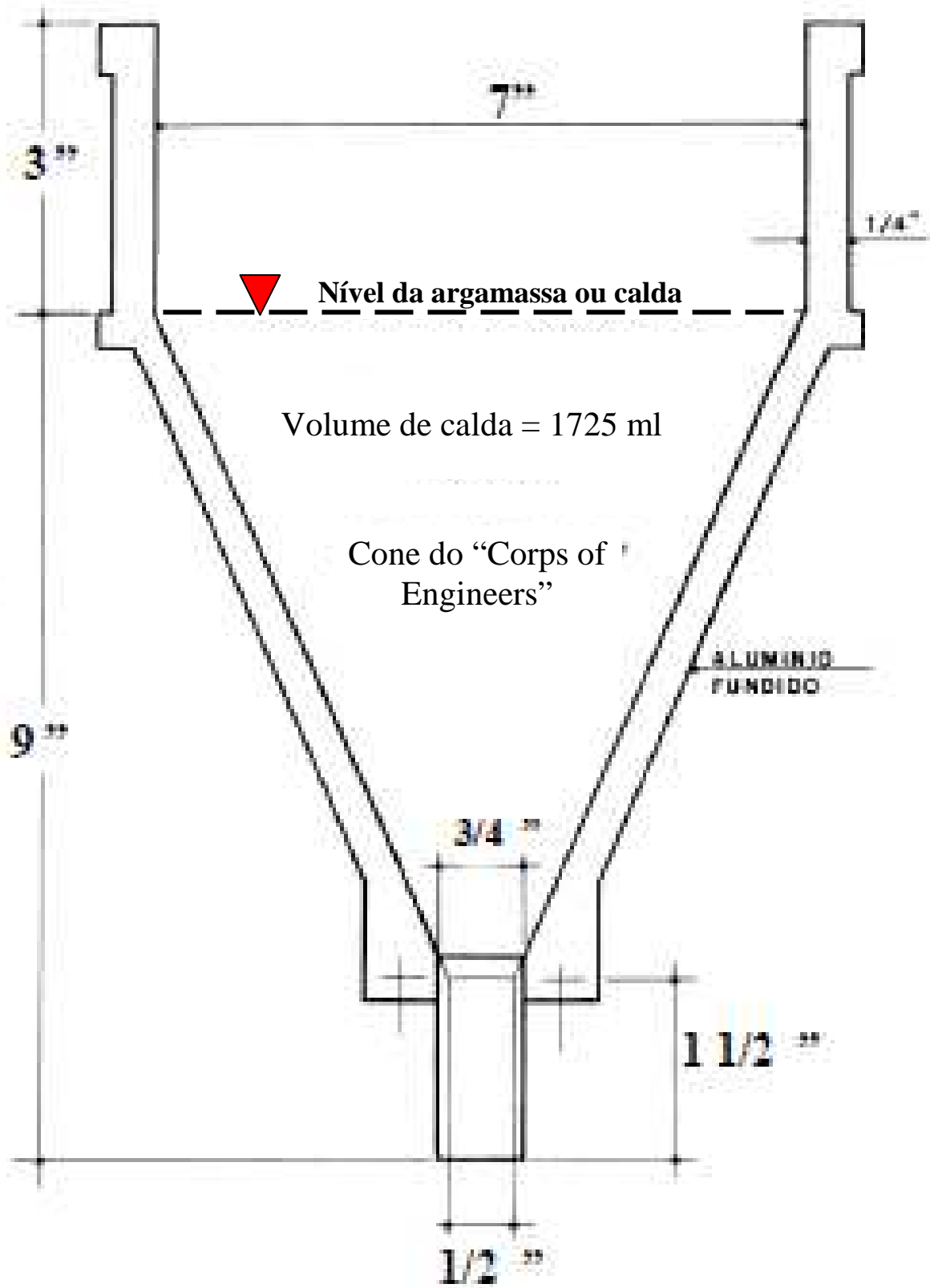
Monômeros epoxídicos



	Monômero	Substituinte -R-
PEO	Óxido de etileno	-CH₂-CH₂-
PPO	Óxido de propileno	-CH₂-CH(CH₃)-

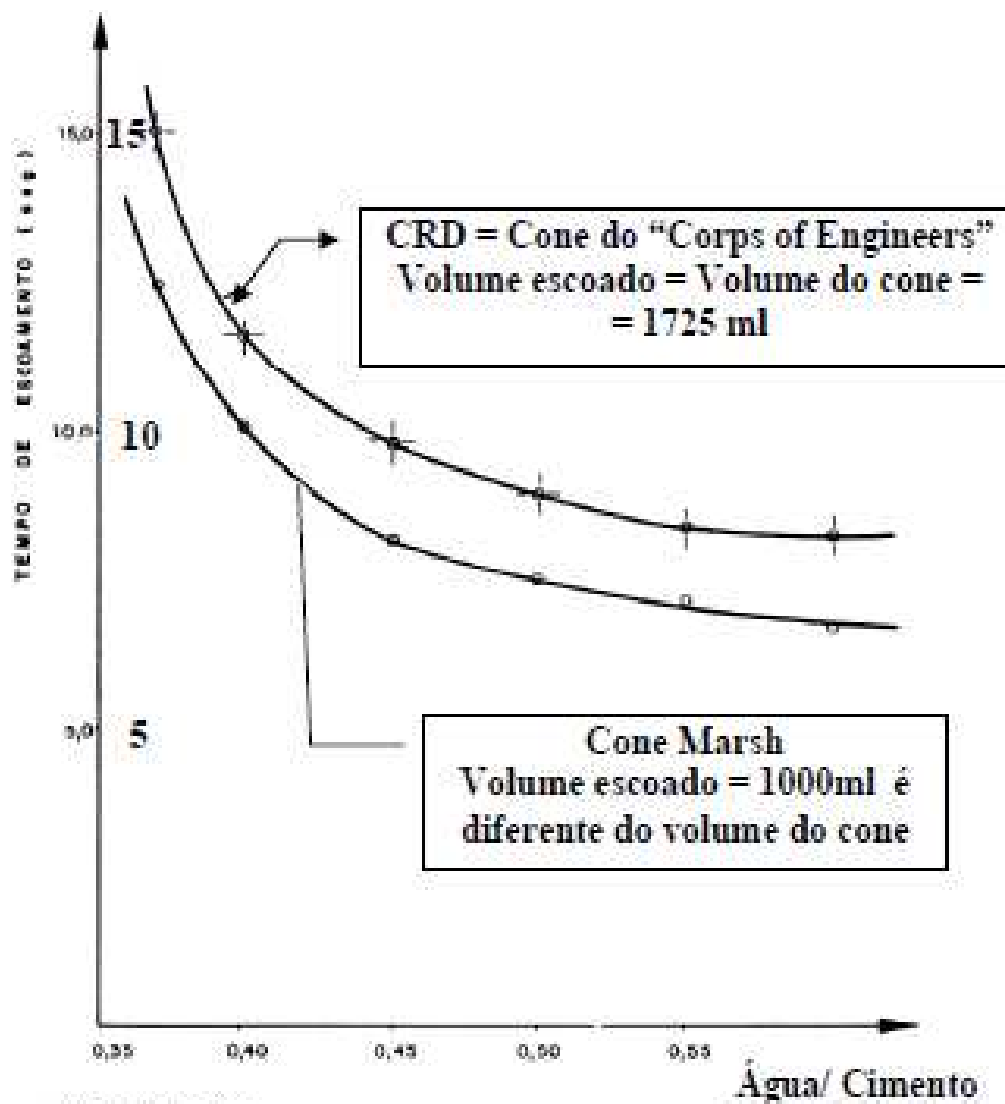
*The **PEO / PPO / PEO** tri-block had a total molecular weight of 8400 g/mol
with a hydro-phobic, **PPO** segment molecular weight of roughly 2000 g/mol*







Tempo de escoamento (segundos)



Observação:

Marsh : Água = 6,0 seg.

CRD : Água = 7,2 seg.

- A fluidez recomendada é de 9 segundos a 15 segundos no ensaio do cone Marsh.
- A fluidez deve ser mantida por um período de 3 horas para que o serviço de injeção das bainhas seja feito sem perda de qualidade da nata de injeção.
- A temperatura da nata deve ser mantida baixa para que não haja perda de fluidez. Em tempo quente fabricar a calda com adição de gelo.
- Fabricar a calda de injeção com uma temperatura de 10°C.
Ensaio [1] mostram que para cada 6°C de aumento da temperatura o índice de fluidez aumenta em 1,5 segundos.



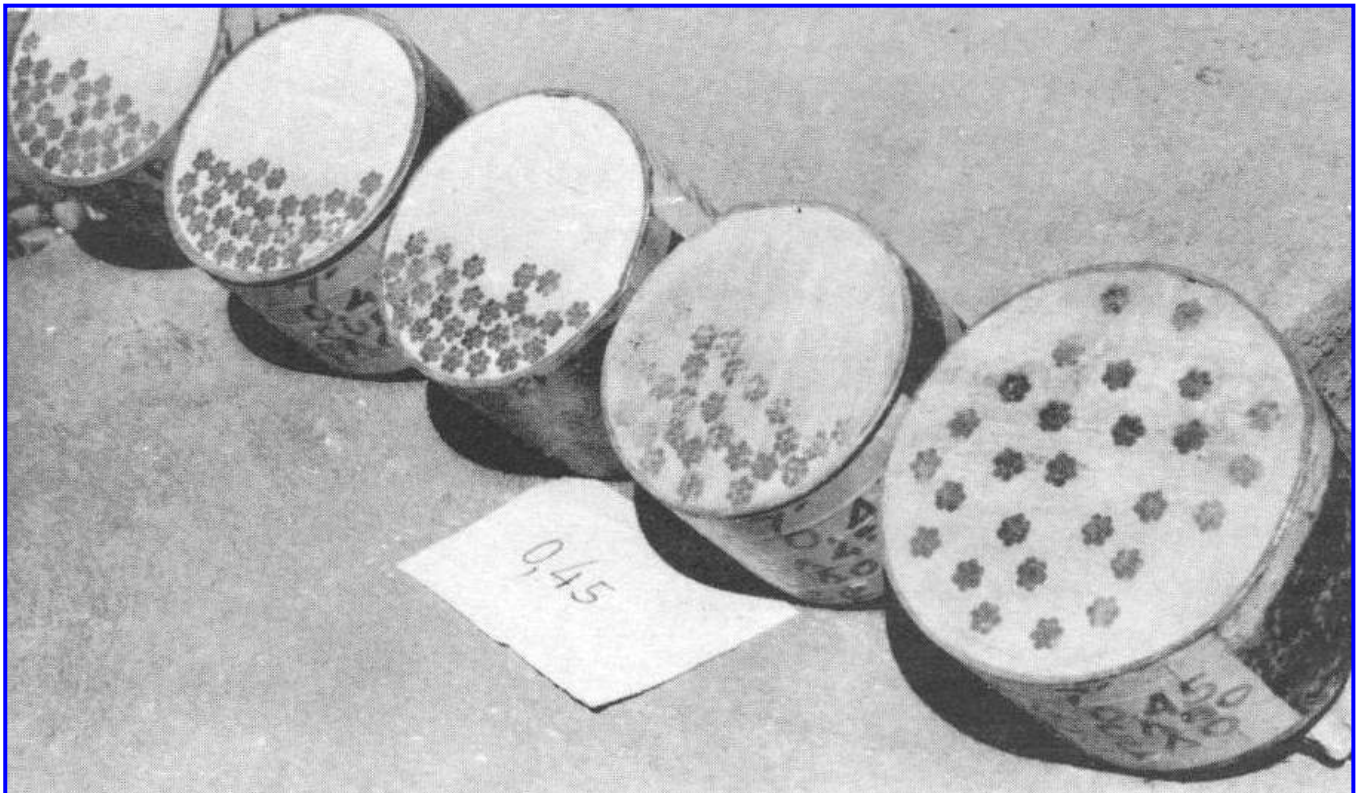
Enchimento de um Cone CRD



Medição do tempo de escoamento da Pasta através do cone CRD



Preenchimento das bainhas



Pasta com fator $\text{Água} / \text{Cimento} = 0,45$



Outros dados sobre natas de injeção

Ver nas próximas páginas as recomendações para a nata de injeção, feitas pelas firmas PROTENDE e RUDLOFF para os itens abaixo relacionados,

- Resistência média à compressão $> 30\text{MPa}$
- Cimento a usar
- Água
- Aditivos
- Fator Água/Cimento = 0,38 a 0,50
- Alcalinidade $\text{pH} > 12$
- Ausência de elementos agressivos ao aço de protensão
- Exsudação
- Retração moderada 2,8mm/m a 3,5mm/m
- Absorção capilar de água moderada 1g/cm² após 14 dias para uma nata com 28 dias
- Tempo de início de pega > 2 horas
- Tempo de fim de pega > 3 horas
- Expansão



Corte das cordoalhas com esmeril



O corte das cordoalhas é feito com disco de vidia.

É proibido usar o maçarico para cortar as pontas dos cabos.



Firma PROTENDE

<http://www.protende.com.br>

<http://www.protende.com.br/produtos/injecoesdenata.htm>

INJEÇÃO DAS ARMADURAS DE PROTENSÃO

A finalidade da nata de injeção é garantir uma proteção eficaz das armaduras protendidas contra a corrosão e garantir a ligação mecânica das armaduras protendidas com o concreto.

Para injetar perfeitamente, é necessário dispor de uma nata que tenha as seguintes qualidades:

- ausência de agentes agressivos,
- fluidez suficiente durante toda a injeção,
- boa estabilidade,
- pouca retração,
- resistência mecânica conveniente,
- pouca absorção capilar.

Diversos parâmetros influenciam a qualidade das natas, dentre os quais podemos citar:

- natureza, idade e temperatura do cimento,
- temperatura da água,
- condições de misturação,
- temperatura ambiente e
- temperatura no interior da bainha.

A NBR 14931 de 2004 em seu anexo B normatiza a execução da injeção de calda de cimento em concreto protendido com aderência posterior.

- Conforme os itens B.5.1.3.2 e B.5.1.3.6 da referida norma, os equipamentos de injeção e seus acessórios devem resistir a pressão mínima de 15 Kgf/cm².
- O item B.8.2.4 define a injeção de forma contínua e regular em uma pressão imenor estabelecida no item B.5.1.3.2.
- Usualmente utiliza-se a pressão numa faixa entre 3 a 8 Kgf/cm², sendo a pressão de 5 Kgf/cm² a mais apropriada.
- Cabos verticais e casos especiais podem exigir pressões mais elevadas, tomando-se o cuidado de evitar a incorporação de ar, através de um controle maior da velocidade da injeção.

A- NATAS TRADICIONAIS

A.1. CONSTITUINTES DAS NATAS:

Componentes das Natas de Cimento

– **Cimento Portland** – sacos 50 kg.

- 1ª Opção – CPI – 25, 32 ou 40 (Cimento Portland Comum) fabricado apenas sob encomenda, e de difícil programação.



- 2ª Opção – CP II F – 25,32 ou 40 (Cimento Portland Composto de Filer = Carbonáticos, próprio calcário da jazida) encontrado com razoável facilidade.
- 3ª Opção – CP II E – 25, 32 ou 40 (Cimento Portland Composto de Escória de Alto Forno) encontrado com grande facilidade.
Este cimento deverá ter as seguintes características:
 - Teor do composto $\leq 10\%$
 - Teor de enxofre de sulfetos $\leq 0.20\%$
 - Cloro de cloretos $\leq 0.10\%$Atender itens 4.1a e b da NBR 7681 e NBR 5732.
- Outros cimentos tipo CP II Z, CP III, CP IV e CP V não deverão ser utilizados na injeção de cabos protendidos.

- **Água potável**, com porcentagem de cloro inferior a 500 mg/litro, e isentos de detergentes – NBR 7681.

- **Aditivos:**

- Os aditivos poderão ser plastificantes, retardadores de pega e expansores.
- O uso dos aditivos deve ser em função dos tipos de cabos de protensão a serem injetados e deverão ser feitos ensaios de compatibilidade com o cimento disponível.

A.2. CARACTERÍSTICAS DAS NATAS TRADICIONAIS:

- **FLUIDEZ**

O índice de fluidez corresponde ao tempo de enchimento de uma proveta de um litro, através do cone de Marsh. O tempo deverá ser compreendido entre 9 a 15 segundos – NBR 7682.

- **EXSUDAÇÃO**

Este valor deverá ser medido em provetas de 1000 ml. A porcentagem de água exsudada deverá ser inferior a 2% - NBR 7683.

- **EXPANSÃO**

Medida na mesma proveta, usada para medir a exsudação, o valor habitual aconselhado é de 3 a 4% no máximo – NBR 7683.

A.3. OUTRAS CARACTERÍSTICAS:

- Retração
- Tempo de pega – NBR 7685
- Início de pega – NBR 7685
- Fim de pega – NBR 7685
- Tempo de injetabilidade – NBR 768
- Resistência mecânica – NBR 7684
- Absorção capilar

O tempo de início de pega medido a 30°C, deverá ser superior a 2 horas.

Em resumo, para cada tipo de estrutura e em função de sua utilização, deverá ser feito um plano de injeção e um traço de nata específico, bem como o dimensionamento dos equipamentos de injeção. Devendo os cuidados se iniciarem durante a montagem dos cabos de protensão e localização correta dos purgadores.



Firma RUDLOFF

<http://www.rudloff.com.br/publicacoes-tecnicas/>

CORTE DAS EXTREMIDADES E FECHAMENTO DOS NICHOS

As pontas das cordoalhas devem ser cortadas junto ao bloco, ficando aproximadamente 3cm para fora do clavete (cunha).

O corte das cordoalhas para a confecção dos cabos deve ser feito a frio, por tesouras ou esmerilhadeiras (fixa ou manual).

Conforme NBR 10789/1989, §6.4: "É vedado efetuar no elemento tensor, o corte com maçarico, bem como o endireitamento através de máquinas endireitadoras ou qualquer outro processo, pois esses procedimentos alteram radicalmente as propriedades físicas do aço."

Após o corte das cordoalhas, deve ser feito um apicoamento na superfície de concreto, limpeza dos blocos, execução de ferragem (quando for o caso) e colocação de forma juntamente com as mangueiras para injeção.

Após limpeza dos nichos, deve ser efetuada sua concretagem ou groutamento. Eventualmente, os nichos poderão ser vedados com o uso de durepox.

INJEÇÃO DOS CABOS DE PROTENSÃO

Após a análise dos alongamentos da protensão e liberação dos cabos, deve ser feita a operação de injeção de nata de cimento nas bainhas, conforme recomendações a seguir.

Toda a operação de injeção deve ser executada com equipamentos RUDLOFF.

Para a execução dos serviços de injeção, todos os funcionários deverão obrigatoriamente usar os equipamentos de proteção - EPI's - tais como, capacete, botas de borracha, luvas de borracha, máscara de proteção facial cristal, etc.

Todos os cabos aderentes devem ser injetados a fim de proteger a armadura de protensão e garantir seu funcionamento como peça aderente.

A injeção deve ser feita de modo contínuo e sem golpes. Deve ser suficientemente lenta para não provocar a segregação da pasta de cimento.

Não se recomenda executar a injeção com a temperatura ambiente acima de 30° C.

Se a operação for assim mesmo necessária, deve ser utilizada nesta água a baixa temperatura.

As injeções serão realizadas a partir do ponto mais baixo de cada cabo, com a calda de injeção, devidamente ensaiada e aprovada pela fiscalização.

A água a ser usada na fabricação da pasta deve ser potável, sem conter impurezas, matéria orgânica ou quaisquer outras substâncias que possam conferir desempenho ruim à calda e à sua aderência com as peças e estruturas com as quais está em contato.



É desejável usar água resfriada entre 5°C e 10°C na preparação da calda, para se poder manter uma faixa de consumo a/c, em peso, entre 0,38 e 0,42.

A água pode ser armazenada em tambores limpos ou em reservatórios tipo caixa de água, que permitam a introdução de barras de gelo para conservá-la resfriada à temperatura desejada. Devem ser tomados cuidados para que não ocorram contaminações na água armazenada, por elementos nocivos.

O cimento da nata de injeção deve ser Portland comum, sem adições, ou cimento de alta resistência inicial.

Deverá respeitar a NBR5732 e estar em temperatura inferior a 30°C, obedecendo as seguintes restrições:

Em nenhuma hipótese poderá ser usado com sua temperatura de fabricação;

Teor de cloro proveniente de cloretos: no máximo igual a 0,10%;

Teor de enxofre proveniente de sulfetos: no máximo igual a 0,20%.

A RUDLOFF sugere os seguintes cimentos, na ordem:

1. CP I - 32
2. CP I S - 32
3. CP II E - 32 (desde que se faça ensaio e o cimento atenda as restrições acima)
4. CP II Z - 32
5. CP II F - 32

Para a nata de injeção apresentar as boas condições aqui especificadas, deverá ser usado em sua composição um cimento com menos de 15 dias de armazenamento na obra.

Além disso, recomenda-se que no armazenamento do cimento não seja efetuado um empilhamento superior a 4 camadas.

Os aditivos a serem usados na calda devem ser plastificantes, na dosagem de 0,3 a 1% do peso do cimento utilizado.

Para atender os requisitos de expansão ou, no mínimo, retração nula, poderá ser usado um aditivo expansor ou um aditivo plastificante que alie as qualidades de expansor.

Quando um aditivo expansor for empregado, a expansão total livre deve ser no máximo 7% do volume inicial de calda, medida 3 horas após a mistura, conforme NBR 7683.

Não é admitida calda cujo índice de fluidez ultrapasse o valor 18 segundos, durante o período de 30 minutos, após a conclusão da mistura, determinado conforme NBR 7685.

A pasta de injeção deve atender os seguintes requisitos:

- Alcalinidade e ausência de elementos agressivos, que ataquem a armadura;
- Apresentar resistência suficiente após a pega (f_{ck28} da obra ou $f_{ck28} > 25$ MPa);



- Preencher totalmente os espaços livres, sem deixar remanescentes de água ou ar (por isso, não é permitida a injeção com ar comprimido);
- Apresentar fluidez adequada, necessária ao bom funcionamento das máquinas, durante tempo que confira segurança a toda a operação de injeção prevista;
- **Ter índice de fluidez, imediatamente antes de ser injetada, não excedendo o valor de 18 segundos, determinado pelo funil de Marsh, conforme NBR 7682;**
- **Conter água isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas**, com pH entre 5,8 e 8,0 e os seguintes limites máximos:
 - Matéria orgânica: 3mg/l
 - Resíduo sólido: 5000mg/l
 - Sulfatos: 300mg/l
 - Cloretos: 500mg/l
 - Açúcar: 5mg/l;
- Conter a menor quantidade de água possível (para isso recomenda-se o uso de um plastificante, que reduz o volume de água necessário);
- Ser homogênea, o que será conseguido através da agitação mecânica, cuja rotação seja maior ou igual a 1500rpm no motor;
- Não apresentar segregação (para isso recomenda-se o uso de um anti-segregante);
- Ter expansão sólida no mínimo nula, ou seja, ausência de retração.
- A ordem usual para introdução dos materiais na misturadora (salvo indicação diferente do fabricante do aditivo), é a seguinte:
 1. Água
 2. Aproximadamente 2/3 do cimento
 3. Aditivos
 4. Restante do cimento.
- A mistura da calda de injeção deve ser feita mecanicamente, com equipamento RUDLOFF. Não é admitida mistura manual.
- A calda, logo após ser fabricada, deve escoar para o recipiente de recepção e estocagem, onde deve permanecer continuamente em movimento, inclusive durante a operação de injeção. Em hipótese alguma pode ser acrescentada água nesse recipiente, para melhorar a fluidez da calda.
- A água exsudada deve ser no máximo 2% do volume inicial da calda, medida 3 horas após a mistura, conforme NBR 7683.
- A calda deve ser injetada em um tempo tal que pelo menos 70% da expansão total livre ocorra dentro da bainha.



- Durante a injeção de cabos com várias curvaturas, quando a pasta de injeção sai em um purgador com consistência idêntica à da pasta de entrada, ele deverá ser fechado e deve-se continuar a injeção até o próximo purgador, e assim sucessivamente até a pasta sair na extremidade oposta do cabo.
- O fechamento dos purgadores intermediários deverá ser feito por meio de dobramento e amarração, após verificar que a nata escoou em cada um deles sem bolhas de ar e com fluidez idêntica àquela da nata de entrada.
- Após o fechamento dos eventuais purgadores intermediários e, sucessivamente, do de saída, deve-se manter a calda com pressão de trabalho acrescida de 0,1MPa, durante pelo menos um minuto.
- O respiro de injeção poderá então ser fechado, sem qualquer perda de nata na operação.
- O corte ou remoção dos respiros poderá ser efetuado somente após decorridas pelo menos 24 horas do término das operações de injeção.
- Os incidentes que poderão ocorrer mais comumente na operação de injeção são entupimento e fugas de nata.
- Quaisquer incidentes que ocorram na operação de injeção devem ser informados à Rudloff e ao projetista, para serem então solucionados conforme recomendações destes.
- Na ocorrência de qualquer acidente durante a operação de injeção, devem ser tomadas providências para sua correção, devendo o fato ser devidamente registrado.
- Decorridas 24h do término da injeção e após verificação do completo preenchimento do tubo e respiros de injeção, estes devem ser cortados cuidadosamente.

Referências :

1. Francisco R Andriolo , Márcio H. G. Pagnano - Protensão e Injeção dos Pilares do Vertedouro de Superfície de Ilha Solteira - Centrais Elétricas de São Paulo S.A. – 1975
2. José Carlos Gam – Injeções de cabos protendidos – II Seminário Nacional de Concreto Protendido. Rio de Janeiro – 1978
3. Jean François Nieto – S.T.U.P.- Diretrizes para Injeções e Reinjeções das bainhas das obras de Concreto Protendido – 1978
4. Rudloff – Catálogos de Concreto Protendido - 2012 - <http://www.rudloff.com.br/publicacoes-tecnicas/>
5. Protende – Catálogos de Concreto Protendido - 2012 – <http://www.protende.com.br> ; <http://www.protende.com.br/produtos/injecoesdenata.htm>