

Ensaio para Controle de Adesivos Epóxi destinados a Estruturas de Concreto (1ª parte)

Paulo R. L. Helene, Coordenador do Laboratório de Materiais e Componentes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e ex-Pesquisador do Agrupamento de Avaliação de Componentes e Sistemas da Divisão de Edificações - DEd

"Estes artigos são de autoria dos técnicos da Divisão de Edificações do IPT — Instituto de Pesquisas Tecnológicas, baseados em estudos e pesquisas conduzidos pela Instituição. Sua publicação representa um esforço conjunto do IPT e das revistas A CONSTRUÇÃO/ EDITORA PINI.

1 Introdução

Quando os adesivos sintéticos de base epóxi se tornaram conhecidos a partir da patente de Pierre Castan em 1936, na Suíça, com propriedades adesivas melhores e mais reprodutíveis que as até então disponíveis, novos empregos foram encontrados em praticamente todas as indústrias. Na indústria da construção civil, estes produtos têm sido cada vez mais empregados e solicitados a desempenhar funções de maior responsabilidade, tendo especial aplicação na construção pré-fabricada e na correção de manifestações patológicas, tais como fissuras, reforços estruturais, juntas de concreto velho com novo, lábios de juntas de movimentação, chumbadores etc. Atualmente, o consumo no Brasil é da ordem de 3 mil t/ano de resina epóxi para a construção civil, estando entre os cinco maiores consumidores mundiais.

No mesmo período, se por um lado houve evolução tecnológica dos processos construtivos e dos métodos de cálculo, por outro a tecnologia dos materiais, por si só mais complexa e, por natureza, mais dependente de fenômenos experimentais que envolvem um sem-número de variáveis aleatórias, ainda não consegue responder à altura com a rapidez e precisão que a técnica atual exige, algumas questões relacionadas ao comportamento químico, físico e mecânico dos materiais disponíveis.

Enquanto para a grande maioria dos materiais tradicionais já existem um conjunto de normas, regras, recomendações e procedimentos consagrados e amplamente divulgados no meio técnico, para outros, ainda que patenteados há 50 anos, isto ainda não acontece. É a situação dos produtos orgânicos, em sua maioria derivados do petróleo e oferecidos em larga gama de opções. Para agravar a situação, se considerarmos a formação adquirida pelo engenheiro civil, a estrutura dos produtos é complexa, além de a com-

posição química desses materiais, sintetizados sob processos na maioria das vezes guardados como segredos industriais, ser permanentemente modificada ou alterada para a obtenção de novos produtos.

Os adesivos epóxi podem ser classificados como plásticos termoestáveis ou termofixos, ou seja, uma vez endurecidos não mudam a forma sob a ação de temperaturas menores que 70°C. Acima desse valor começam a se degradar e com temperaturas da ordem de 300°C carbonizam-se. Os adesivos compõem-se de dois componentes: a resina epóxi propriamente dita (epiclorhidrina e bisfenol A, mais recentemente bisfenol F) e o endurecedor (poliaminas, poliamidas e polisulfidas). Segundo Lee and Neville (1) em seu "Handbook of Epoxy Resins", existem cerca de 63 tipos de resinas epóxi e 62 tipos de endurecedores que, combinados dois a dois, chegam a mais de quatro mil sistemas epóxi, cada qual com características mais apropriadas a certo uso.

É interessante notar que, dentre to-

dos os adesivos sintéticos disponíveis no mercado, os que são à base de epóxi se têm mostrado mais eficientes sob todos os pontos de vista, segundo opinião de Dannenberg e May(2), conforme se visualiza na Tabela 1. Essa opinião, acrescida ao fato de os adesivos comerciais disponíveis para fins de aplicação em engenharia civil serem de natureza epoxídica, justifica esta proposta de metodologia para controle de adesivos epóxi, que poderá ser transformada em texto-base de normalização através do CB-18 da ABNT.

2 Concepção e significado dos ensaios

A nível de normalização internacional, no caso de adesivos de base epóxi para coberturas de concreto, a especificação atual mais completa parece ser a "ASTM C-881/78 Epoxy - Resin-Base Bonding Systems for Concrete", e no caso geral de produtos à base de epóxi considera-se bastante completo o texto da recomendação "ACI-503 Use of Epoxy Compounds with Concrete",

RESINA ADESIVA	Aderência					Resistência				Custo Relativo
	Papel	Madeira	Meta	Cerâmica	Borracha	Água	Solventes	Alcalis	Ácidos	
Alquídica	6	7	5	6	7	7	2	2	5	3
Nitrato de celulose	5	3	1	5	5	3	2	2	4	5
Resina epoxídica	10	10	8	8	8	8	9	9	8	7
Resina furânica	8	7	1	8	7	7	10	10	8	5
Resina melamínica	10	10	2	2	2	7	9	5	5	5
Resina fenólica	9	8	2	6	7	8	10	7	8	4
Poliéster	6	8	2	5	7	7	6	1	6	4
Poli (etil acrilato)	3	4	3	5	6	8	2	5	7	5
Poli (vinil acetato)	8	7	7	7	3	3	3	4	6	3
Poli (vinil cloruro)	5	7	6	7	6	8	6	10	9	4
Copolímero de polivinil	4	7	6	7	7	8	7	8	9	4
Silicone	4	6	7	7	8	10	7	6	0	6
Uretana	8	10	10	9	10	7	8	4	4	9

0= deficiente

10= excelente

Tabela 1 — Comportamento dos adesivos sintéticos

publicada no "Manual of Concrete Practice" do American Concrete Institute, em 1986.

Estas recomendações, no entanto, aplicam-se a produtos comerciais disponíveis no mercado americano, produtos estes já fabricados em atendimento à classificação (tipo, classe, gradação) presente nas normas citadas. Não é a situação que se encontra no momento no Brasil e outros países do Terceiro Mundo, onde não há especificações nacionais e cada fabricante, com origem em diferentes países do mundo, produz seus materiais segundo as respectivas exigências nacionais. Esse panorama, somado à permanente solicitação do meio técnico sobre a qualidade dos produtos disponíveis no mercado, levou-nos a apresentar uma metodologia de caráter geral, que deve ser adaptada a cada situação particular⁽³⁾.

O primeiro passo a ser dado é a avaliação do **desempenho** do ou dos produtos disponíveis para os fins a que se destinam. A seguir são efetuados os ensaios de **caracterização** dos componentes do adesivo, ou seja, a resina, o endurecedor e, eventualmente, a carga. Os índices obtidos dessas características principais do ou dos adesivos anteriormente aprovados nos ensaios de desempenho, serão utilizados para fins de **controle de recebimento** do produto em obra. São ensaios rápidos (a resposta pode ser obtida em 24 horas) e econômicos, porque não envolvem mão-de-obra na preparação de corpos de prova especiais, nem a espera do endurecimento do adesivo, já que são efetuados nos seus componentes, individualmente. Os resultados obtidos a curto prazo permitem a liberação imediata dos lotes para emprego.

Aprovado um lote de material, deve-se proceder aos ensaios de **acompanhamento**, que irão fornecer subsídios indispensáveis à boa aplicação do produto em obra. São ensaios efetuados no canteiro de obras, sob as mesmas condições de exposição do componente estrutural. Além destes, pode-se também realizar os ensaios de caracterização do **sistema** ou da **formulação** em si, ou seja, da mistura fresca e endurecida de seus componentes. A nosso ver, estes ensaios têm mais interesse acadêmico, tendo utilidade prática somente aquelas propriedades que possam ser correlacionadas ao desempenho efetivo do produto em obra.

Com relação à amostragem, a especificação "ASTM-C 881/78" recomenda que se tome pelo menos 5% do volume de material homogêneo e de mesma partida para fins de ensaios de controle. Consideramos esse valor útil somente como referência, sendo

mais prudente o estabelecimento de um plano de amostragem e controle adequado a cada caso, levando-se em consideração pelo menos as seguintes variáveis: volume de material a ser empregado; responsabilidade técnica do serviço; prazo e custo total e parcial dos serviços.

3 Avaliação de desempenho

A avaliação de desempenho é efetuada com base na verificação do comportamento do sistema epóxi — resina, endurecedor e carga — na união de partes de componentes estruturais. Normalmente, empregam-se corpos de prova de concreto simples (não armado), que são moldados com uma união estrategicamente localizada. Os ensaios normalmente empregados estão descritos de 3.1 a 3.4.

3.1 Resistência à tração por flexão

Este ensaio pode ser efetuado em prisma de concreto de 125 x 125 x 565 mm³, conforme Figura 1. Trata-se de uma adaptação do método "ASTM C-78 Flexural Strength of Concrete", onde o referido prisma é ensaiado à flexão.

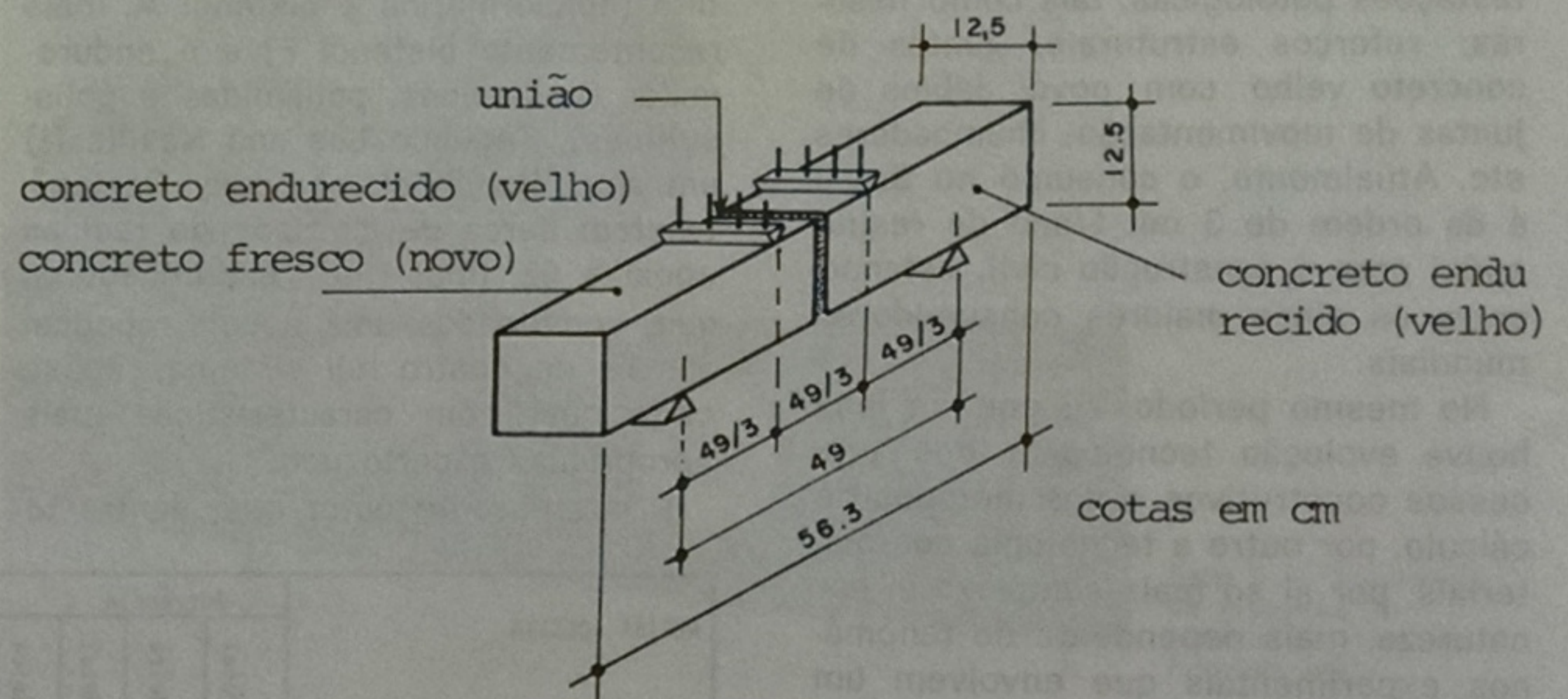


Figura 1 — Esquema do corpo de prova de flexão

Emprega-se em geral um conjunto de prismas (≥ 2) para cada avaliação: concreto velho/concreto velho ou concreto velho/concreto novo. Esses prismas são moldados em Laboratório, com um concreto previamente caracterizado e, se possível, semelhante aos que irão ser unidos em obra. Após adensados energeticamente e curados em câmara úmida, UR $\geq 90\%$ e temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ até a idade que se considere suficiente para o ensaio, são retirados da câmara úmida, cortados ao meio com disco diamantado, deixando-se secar pelo menos 48 horas até atingir o equilíbrio com as condições do ambiente do Laboratório.

Sempre que se tratar da união do

concreto velho/concreto velho, basta limpar adequadamente as superfícies cortadas — pode-se empregar acetona para este fim, pois é um excelente solvente e seca rapidamente —, aplicar o adesivo na espessura recomendada pelo fabricante (≤ 1 mm preferencialmente) e unir novamente as metades, com o auxílio de "torniquetes". A pressão exercida nesse caso é só devida ao peso próprio da metade superior. Após 24 horas, os corpos de prova podem retornar à câmara úmida onde aguardarão, junto com os dois corpos de prova testemunhos de concreto íntegro — o endurecimento completo da formulação, que normalmente é de sete dias.

Esta metodologia discorda da empregada e citada na literatura estrangeira, onde o prisma é primeiramente rompido à flexão, empregando-se apenas o cutelo central e depois colado nessa seção para ser submetido novamente à flexão, após o endurecimento da formulação. Acreditamos que, dessa maneira, se solicitam as seções de concreto próximas à seção rompida a tensões muito elevadas e, conseqüentemente, pré-enfraquecendo o concreto, o que não é objetivo do estudo. Daí a preferência pelo corte com disco diamantado.

No caso da união concreto velho/concreto novo, as duas metades, após cortadas e secas, são recolocadas em duas fôrmas, aplicado o adesivo e reconcretadas as metades faltantes (vide Foto 1). Como, normalmente, não interessa ter dois concretos com características mecânicas muito distintas, é necessário estudar as dosagens dos dois concretos em função da idade em que se pretende romper os corpos de prova. Naturalmente, é necessário aqui também moldar corpos de prova de referência — concreto íntegro — com o concreto novo. Após cura adequada do concreto em câmara úmida e endurecimento total do adesivo, procede-se ao ensaio.



Foto 1 — Moldagem dos corpos de prova destinados ao ensaio de resistência à tração por flexão

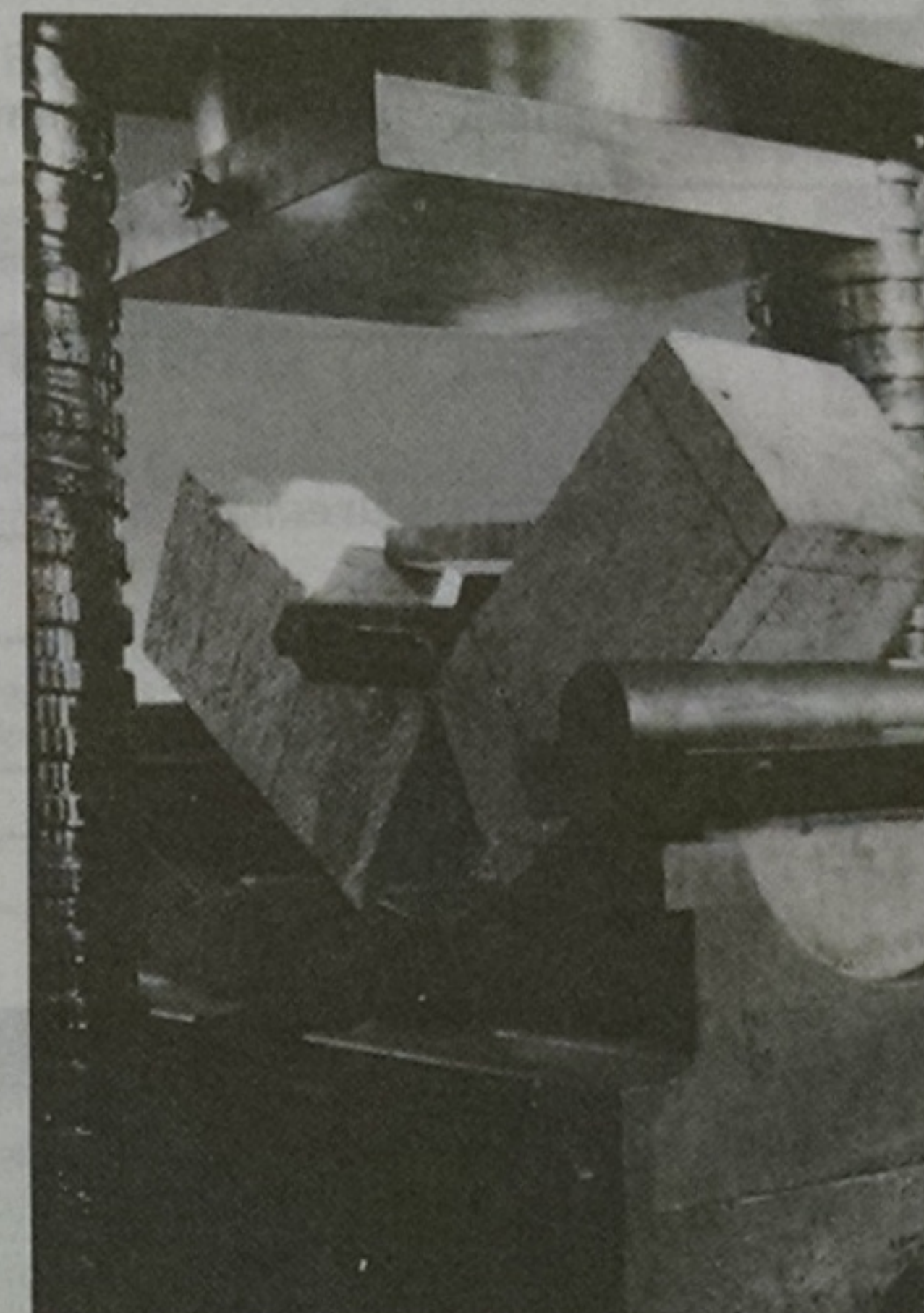


Foto 2 — Ruptura típica de viga unida com adesivo epóxi

Adotamos o carregamento nos terços médios, dois cutelos, pois assim se garante toda uma região central sob mesma solicitação de momento fletor e força cortante, oferecendo iguais probabilidades de ruptura a várias secções. O desempenho do adesivo é avaliado através da observação do local onde se deu a ruptura — fora ou na junta unida — e da comparação da tensão de ruptura dos prismas unidos com as tensões obtidas dos prismas de referência (vide Foto 2).

A nosso ver, este ensaio deixa a desejar, porque o mínimo que se pode esperar de uma formulação epóxi com finalidade estrutural é a de que possua aderência e resistência à tração superior à do concreto, que, como bem sabemos, é bastante baixa, ou melhor, é a sua propriedade mecânica menos importante. Na Tabela 2 apresentam-se resultados típicos de ensaios efetuados recentemente nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas

3.2 Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento puro é sempre difícil de medir. Por melhor

que seja a montagem do ensaio sempre existe o risco de aparecimento de excentricidades que dão origem a momentos e trações que prejudicam a avaliação correta do cisalhamento e a reprodutibilidade dos ensaios. Têm-se obtido resultados satisfatórios adaptando o método recomendado pelo "Corps of Engineers — U. S. Army, CRD C 590", que consiste basicamente num ensaio de compressão realizado sobre uma "estrutura" composta de três prismas, conforme Figura 2.

Para comparar e conhecer as características do concreto é conveniente moldar corpos de prova $\varnothing 15 \times 30 \text{ cm}^3$, como referência. Essa determinação

só pode ser realizada facilmente para verificação da união concreto velho com velho. A avaliação deve ser efetuada com base na observação da superfície da união e na carga obtida. A Tabela 3 apresenta resultados típicos de tensão de cisalhamento e as Fotos 3 e 4 os diferentes comportamentos dos adesivos de epóxi disponíveis no mercado.

3.3 Reconstituição do cilindro

Considerando que a resistência do concreto para fins estruturais é avaliada através da tensão de ruptura axial, medida em corpos de prova cilíndricos de $15 (\varnothing) \times 30 \text{ cm}^3$, dois

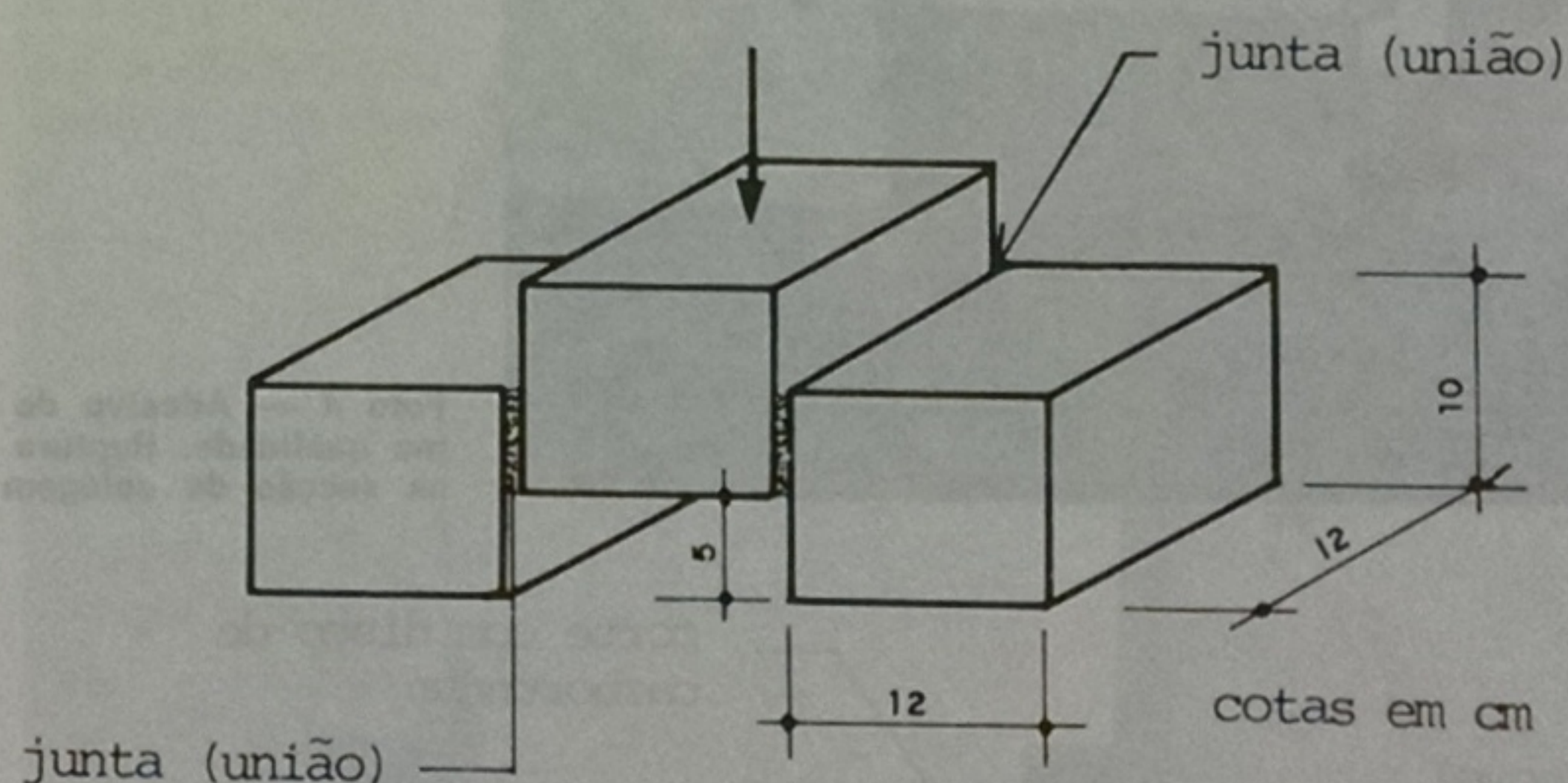


Figura 2 — Esquema de ensaio de cisalhamento

Tabela 2 — Resistência à tração na flexão

CONDIÇÃO	Absoluto	Relativo	Produtos
	MPa	%	
Referência (novo)	3,8	100	-
União velho (endurecido) com novo (fresco)	1,8	47	sem adesivo
	3,7	97	adesivo A
	3,9	102	adesivo B
	3,8	100	adesivo C
União velho (endurecido) com velho	3,7	97	adesivo D
	4,5	118	adesivo A
	4,5	118	adesivo B
	4,3	113	adesivo C
	4,0	105	adesivo D

pesquisadores americanos, Krieg e Nordby⁽⁴⁾, propuseram um ensaio onde é possível verificar de maneira global o desempenho do adesivo. Trata-se de ensaiar um corpo de prova cilíndrico de $15 (\varnothing) \times 30 \text{ cm}^3$, previamente cortado com disco diamantado em duas metades, através de uma superfície, formando um ângulo de 30° com a geratriz do cilindro, conforme Figura 3.

Após cortado e seco, é novamente unido, permitindo avaliar o desempe-

Tabela 3 — Resistência ao cisalhamento

CONDIÇÃO	Absoluto	Relativo	Produto
	MPa	%	
União de concreto endurecido (velho) com endurecido	4,7	75	adesivo A
	6,3	100	adesivo B
	4,0	63	adesivo C
	2,8	44	adesivo D

Obs.: Concretos de $f_{cm} = 35$ MPa

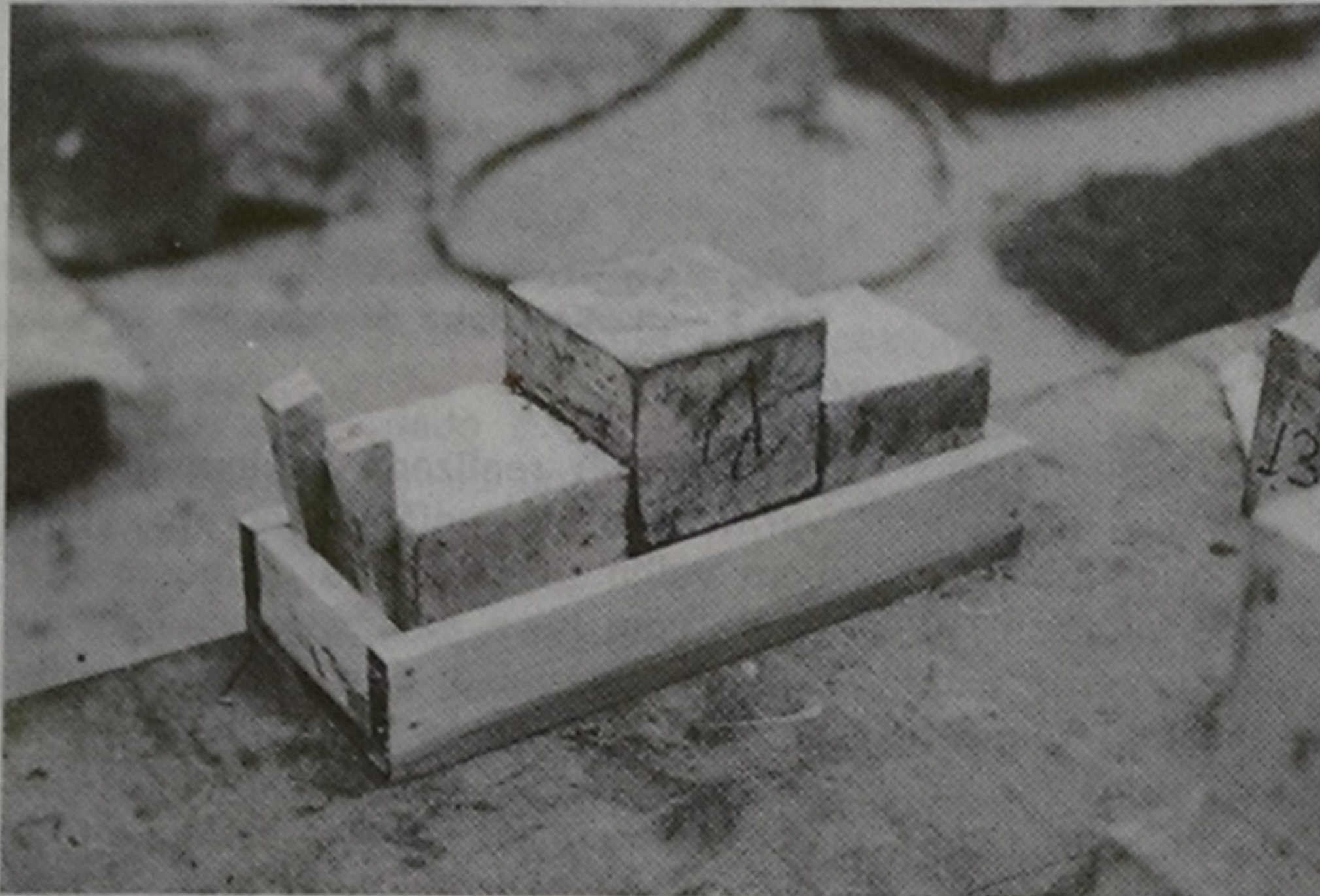


Foto 3 — Moldagem dos corpos de prova destinados ao ensaio de cisalhamento

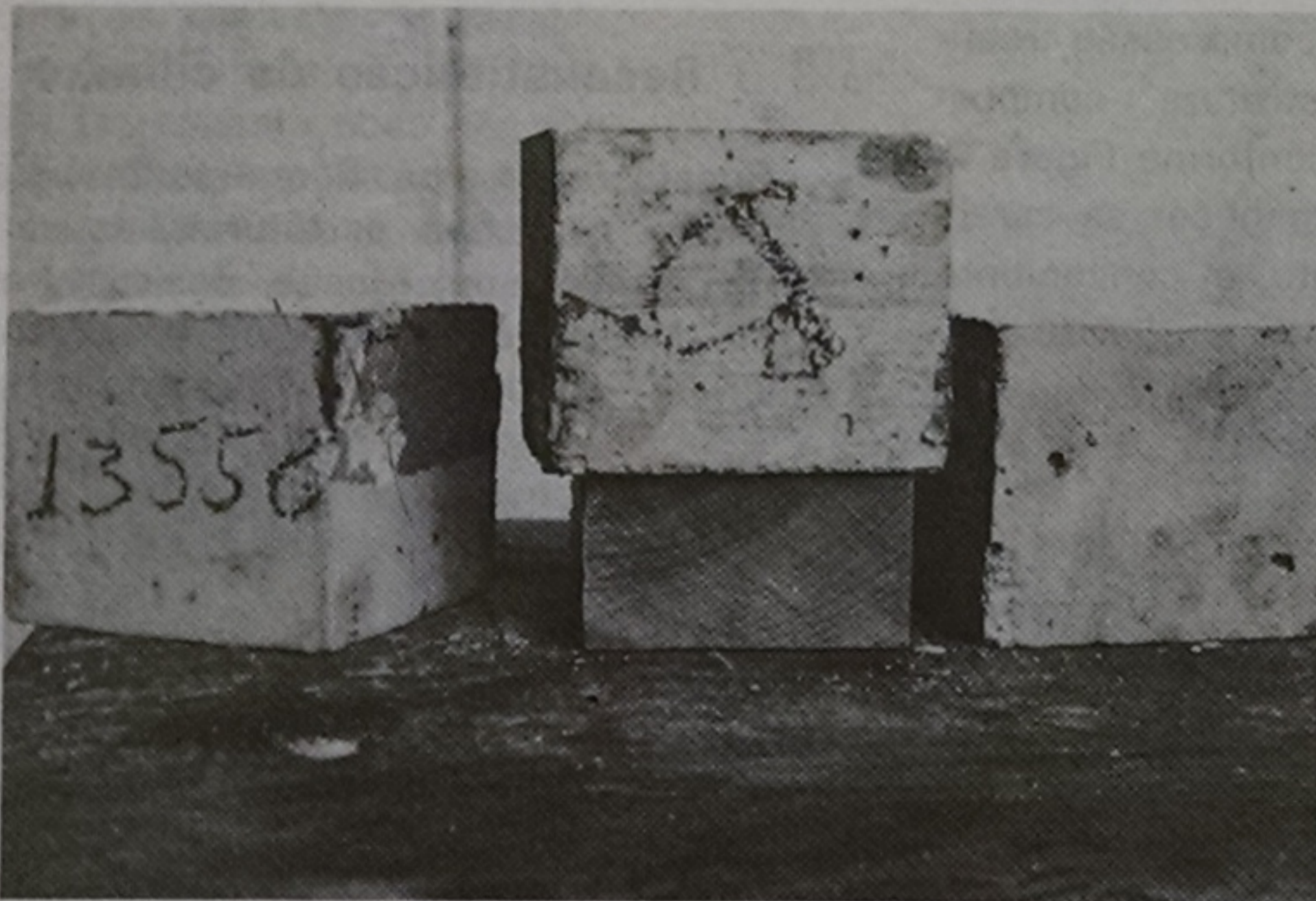


Foto 4 — Adesivo de má qualidade. Ruptura na secção de colagem

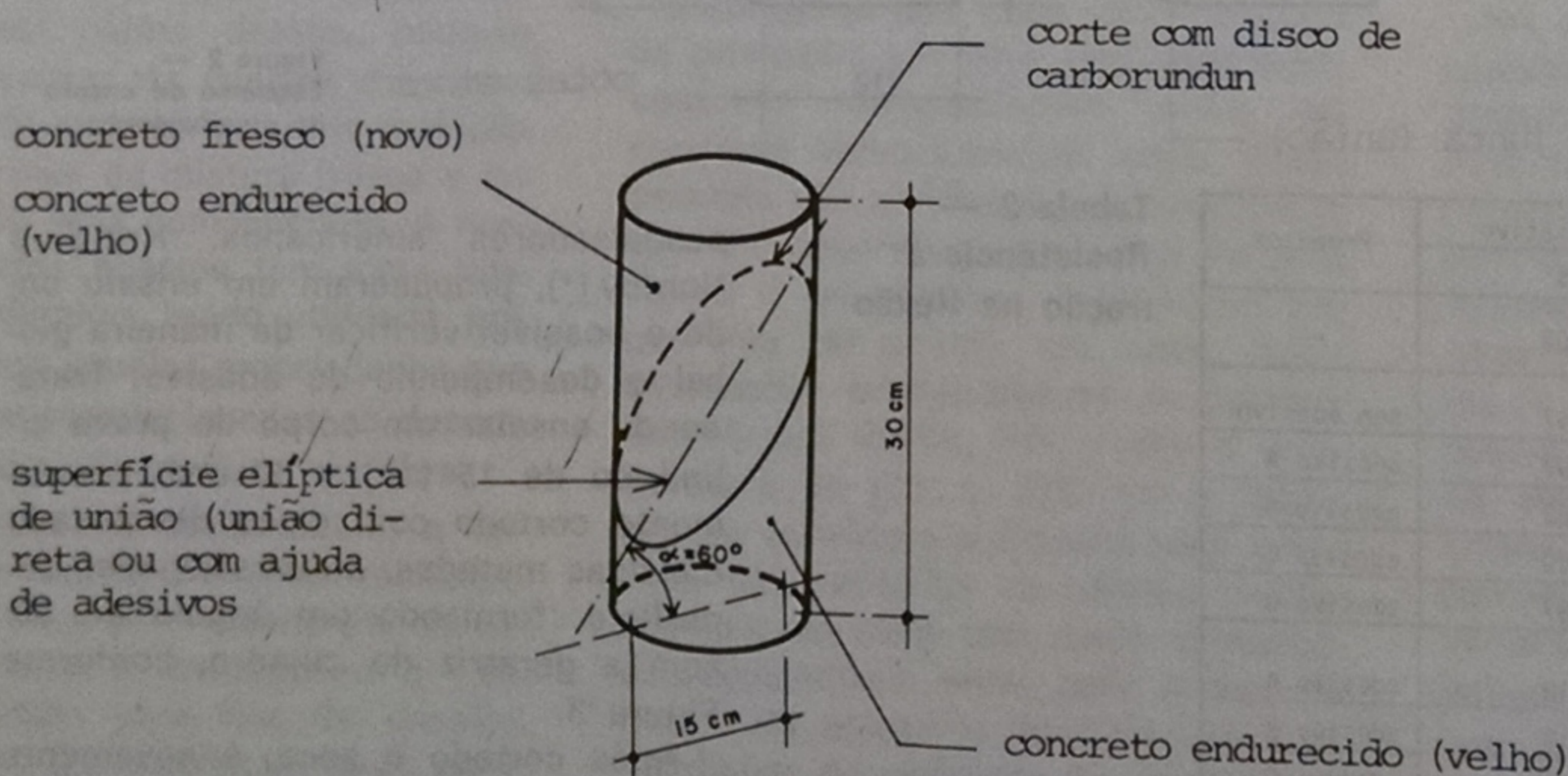


Figura 3 — Corpo de prova para ensaio de reconstituição do cilindro

nho de uniões concreto velho/concreto velho e concreto velho/concreto novo. Os corpos de prova, novamente recompostos, estarão sujeitos a tensões de compressão, cisalhamento e tração tal qual originalmente. O desempenho é facilmente calculado a partir da verificação da capacidade do adesivo em reconstituir, em toda a sua plenitude, as características do corpo de prova original confeccionado com concreto íntegro e de referência. Nesta avaliação, é interessante medir a tensão de ruptura axial para fins de comparação e observar, ou mesmo fotografar, a forma de ruptura do corpo de prova, no sentido de avaliar a capacidade de reconstituição da formulação ensaiada.

Nossa experiência tem demonstrado ser este o melhor ensaio de desempenho para adesivos estruturais, ao mesmo tempo que é o mais fácil, mais econômico e mais reprodutível, pois utiliza técnicas já consagradas e usuais de tecnologia do concreto. O ensaio tem por referência o método descrito no "ABNT MB-2 (74) Confecção e Cura de Corpos de Prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos" e "ABNT MB-3 (74) Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Prismáticos de Concreto" no que diz respeito a condições de superfície dos topos, velocidade de carregamento, cura do concreto etc.

Em 1978, a "ASTM C-882/78 Bond Strength of Epoxy — Resin Systems Used with Concrete", normalizou um método de ensaio semelhante a este, porém efetuado em corpos de prova de argamassa. Além desta modificação, o cálculo da tensão de ruptura é efetuado pela relação entre a carga máxima lida na prensa dividida pela área da superfície elíptica originada pelo corte do corpo de prova, exigindo valores superiores a 18,6 MPa.

Ao nosso ver, o método tal qual como está proposto na "ASTM" oferece menos informações que aquele efetuado diretamente com um concreto em tudo semelhante ao que irá ser unido em obra. Na Tabela 4 apresentam-se os resultados típicos dessa avaliação e nas Fotos 5 e 6 um detalhe da superfície de colagem após ruptura.

Ensaio para Controle de Adesivos Epóxi destinados a Estruturas de Concreto (2ª parte)

Paulo R. L. Helene, Coordenador do Laboratório de Materiais e Componentes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e ex-Pesquisador do Agrupamento de Avaliação de Componentes e Sistemas da Divisão de Edificações · DEd

"Estes artigos são de autoria dos técnicos da Divisão de Edificações do IPT — Instituto de Pesquisas Tecnológicas, baseados em estudos e pesquisas conduzidos pela Instituição. Sua publicação representa um esforço conjunto do IPT e das revistas A CONSTRUÇÃO/ EDITORA PINI.

3.4 Outros ensaios

A seguir relacionam-se, a título de informação, alguns ensaios de desempenho já normalizados na "American Society for Testing and Materials", que podem, eventualmente, ser interessantes para casos específicos:

1) ASTM B 117 Salt Spray (Fogo) Testing — que descreve o ensaio de avaliação do desempenho do adesivo frente à ação de névoa salina.

2) ASTM D 648 — Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load — que corresponde à verificação da temperatura em que, sob uma tensão prefixada (a de serviço, por exemplo), o material deflete de um valor especificado.

3) ASTM C 883 Effective Shrinkage of Epoxy — Resin Systems Used with Concrete — que descreve o modo de se avaliar a variação dimensional (retração) do material frente a variações



Foto 5 — Adesivo de boa qualidade. Ruptura normal do corpo de prova, fora da seção de colagem.

Tabela 4 — Reconstituição do cilindro

CONDIÇÃO	Absoluto	Relativo	Produtos
	MPa	%	
Referência (novo)	31,8	100	-
União endurecido (velho) com fresco (novo)	26,3	82	Sem adesivo
	15,8	50	adesivo A
	27,1	85	adesivo B
	31,9	100	adesivo C
União endurecido (velho) com endurecido (velho)	25,0	79	adesivo D
	19,9 ³	62	adesivo A
	31,3	99	adesivo B
	32,3	101	adesivo C
	28,7	90	adesivo D



Foto 6 — Adesivo de má qualidade. Ruptura na seção de colagem

de temperaturas. Naturalmente, com uma pequena adaptação do método, pode-se medir esta variação dimensional a qualquer temperatura.

4) ASTM C 896 Resistance of Adhesive Bonds to Chemical Reagents —

que corresponde à verificação do desempenho dos adesivos frente a agentes progressivos.

5) ASTM D 1151 — Effect of Moisture and Temperature on Adhesive Bonds — que define as condições pa-

ra a determinação do desempenho do adesivo frente a situações particulares de temperatura e umidade.

6) ASTM D 3166 Fatigue Properties of Adhesive in Shear by Tension Loading — que descreve o modo de se avaliar o comportamento do adesivo sob tensões cíclicas de cisalhamento.

7) ASTM D 570 Water Absorption of Plastics — uma grande absorção d'água pode indicar também variação na aderência seco/saturado. A resistência a ataques químicos de um material é inversamente proporcional à sua capacidade de absorção do líquido em contato. Da mesma forma, as propriedades mecânicas e elétricas variam com a porosidade e absorção de um material.

8) ASTM C 884 — Thermal Compatibility between Concrete and an Epoxy — Resin Overlay — que descreve o método de avaliação dos efeitos de variação dimensional devida à dilatação e contração térmica de uma argamassa de epóxi aplicada sobre um substrato de concreto, pois o coeficiente de dilatação térmica do sistema epóxi é bastante superior ao do concreto.

4 Controle de recebimento

4.1 Nas resinas

Do ponto de vista químico, as resinas são classificadas como materiais orgânicos artificiais, ou seja, constituídas essencialmente pela combinação sob pressão e temperatura controladas, de átomos de Carbono (C, peso atômico = 12) e Hidrogênio (H, peso atômico = 1). A estes elementos podem estar associados também o Oxigênio (O, peso atômico = 16), o Nitrogênio (N, peso atômico = 14), o Cloro (Cl, peso atômico = 35) etc.

As resinas encontradas comercialmente podem estar puras ou combinadas com cargas, a fim de conferir propriedades especiais ao material original. Normalmente, somente as resinas destinadas à injeção de fissuras com espessuras inferiores a 1 mm estão isentas da adição de cargas minerais. Os ensaios de controle a seguir sugeridos referem-se a resinas de um modo geral, ou seja, tanto as resinas combinadas quanto as resinas puras, apesar que está implícito que o Laboratório de Ensaios deverá tomar as devidas precauções em cada caso, a fim de fornecer resultados que sejam comparáveis entre si.

● Teor de epóxi

Num sentido amplo, o termo epóxi refere-se ao grupo químico constituído

de um átomo de Oxigênio, ligado espacialmente a dois átomos sucessivos de Carbono, dispostos em cadeias. O mais simples grupo epóxi é o óxido de etileno, podendo-se ter ainda o óxido de ciclohexano, grupo glicidil etc. O teor de epóxi ou equivalente epóxi de uma resina pode ser determinado através do método descrito na "ASTM D 1652-73 Epoxy Content of Epoxy Resins", que consta basicamente da determinação do consumo de ácido bromídico (HBr) dissolvido em ácido acético necessário para reagir estequiometricamente com os grupos epóxi presentes (1). O resultado obtido em equivalente grama de grupos epóxi/100 g de resina tem a utilidade de indicar quantitativamente a presença de grupos epóxi na resina.

Como referência inicial para o planejamento de um controle de recebimento, apresenta-se o resultado obtido para o controle de uma mesma resina (30 resultados de controle):

— teor de epóxi obtido para uma mesma resina:

a) média = \bar{x} = 0,528

b) desvio-padrão = s = 0,005

c) coeficiente de variação = v = 1%

Para resinas semelhantes a esta, no caso uma resina pura empregada em formulações epóxi para argamassa, é usual aceitar lotes cujos resultados estejam entre 0,51 e 0,56, sem que isso, necessariamente, indique uma mudança significativa no desempenho final do material, desde que mantidas constantes as outras variáveis.

● Teor de carga mineral

A quantidade de carga mineral ou "filler" adicionado à resina, pode ser determinada por uma adaptação do método descrito na "ASTM D 482-79 Ash from Petroleum Products". Neste método, o teor de carga mineral expresso em porcentagem é medido através da relação entre a massa do material residual presente no cadinho de porcelana após submetido a temperatura de até 550°C, em relação à quantidade total de resina submetida ao ensaio.

A natureza físico-química e granulometria da carga são, também, de fundamental importância nas propriedades finais da resina combinada, sendo, no entanto, duas características de difícil determinação do teor de carga, nos casos correntes. Quando se trata de resina combinada, cuja finalidade é produzir uma massa adesiva ao ser misturada com o endurecedor, esta carga mineral pode estar por volta de 50%. A variabilidade do teor de carga de uma resina é geralmente muito pequena, não alcançando os 2%.

● Teor de voláteis

A grande maioria, senão a totalidade dos solventes orgânicos são materiais voláteis que, adicionados à resina, modificam as suas propriedades reológicas, em especial a viscosidade. Este componente de uma resina pode ser necessário em alguns casos de revestimentos, porém, nunca desejáveis em formulações com função estrutural do tipo adesivo, pois estes produtos devem endurecer em locais confinados, sendo difícil a evaporação do solvente, além de tóxico. Cabe lembrar também que o solvente não contribui para a melhora das características mecânicas do adesivo, até pelo contrário.

Para a determinação do teor de voláteis, ou seja, materiais que não participam do processo de colagem, pode-se utilizar o procedimento descrito no método "ASTM D 1259-74 Non-volatile Content of Resin Solutions", que consta, simplesmente, em submeter uma certa massa conhecida da resina à temperatura de 105°C em estufa com circulação forçada de ar, por um prazo de duas horas. O teor de voláteis, em porcentagem, é a diferença entre a massa antes de ser submetida ao ensaio e a massa obtida após o ensaio em relação à massa inicial. Na realidade, é o complemento a 100% do valor obtido pelo procedimento descrito no método citado. A "ASTM C 881-78" fixa em 3% o teor máximo de voláteis permitido para uma formulação, ou seja, teor de voláteis da resina mais teor de voláteis presentes no endurecedor.

● Viscosidade

A viscosidade de uma resina epóxi fornece de maneira indireta uma indicação da estrutura química do grupo funcional orgânico presente no material. Fixada uma pressão e temperatura a cada índice de viscosidade medida corresponde uma única resina epóxi pura. Comercialmente, para fins de "Marca Registrada", esta propriedade, junto com o teor de epóxi, é a mais utilizada. No entanto, para fins de aplicação e utilização de uma resina, esta propriedade, medida na resina, independentemente do seu endurecedor, de nada nos serve. A utilização desta determinação é exclusivamente para fins de controle de aceitação (recebimento).

Esta determinação pode ser efetuada no viscosímetro tipo "Brookfield" ou similar, conforme descrição do método "ABNT MB-987/77 Determinação da Viscosidade de uma Resina ou Verniz por Viscosímetro a Impulsor Ro-

tativo". Como referência inicial para o planejamento de um controle de aceitação, obteve-se que a viscosidade de uma dada resina empregada em formulações epóxi para argamassa pode variar de 8 a 12 Pa.s sem que haja alteração substancial no desempenho da mistura final.

● Espectrofotometria infravermelha

Enquanto o teor de epóxi fornece quantitativamente a massa de grupos epóxi presentes na resina, o espectro obtido por radiação infravermelha nos dará quantitativamente a estrutura do grupo funcional orgânico presente. Esta informação nem sempre pode ser obtida do ensaio de viscosidade porque na maioria das vezes, comercialmente, a resina se encontra combinada com diferentes cargas, o que impede a associação direta, pura e simples, da viscosidade com a estrutura do grupo epóxi presente.

O espectro é obtido segundo princípios descritos no método "ASTM D-297-79 Rubber Products — Chemical Analysis", através de um aparelho de espectrofotometria infravermelha. Este instrumento, o espectrofotômetro infravermelho, mede a absorção da radiação infravermelha como uma função do comprimento de onda absorvido por cada grupo funcional. Esta absorção ou transmissão do material é dependente do arranjo molecular de seus átomos, o que permite identificar de modo inequívoco a homogeneidade e a constância da estrutura molecular de uma resina, mesmo que não seja possível identificar com se-

gurança quais os grupos funcionais orgânicos presentes. A Figura 4 apresenta um espectro de absorção infravermelho típico de uma resina epóxi.

● Aspecto

Verificar sistematicamente o aspecto de uma resina é de fundamental importância em obra. Variações de cor, textura, homogeneidade e viscosidade detectadas, ainda que apenas visualmente, podem indicar mudanças significativas no desempenho do material. Nem todo o material é ensaiado rigorosamente, de forma que esta observação é sempre necessária. Uma boa prática é colocar um pouco do material em um vidro bem tampado e transparente, de modo que os operadores possam "conhecer" melhor o produto que vão utilizar. Eventualmente, pode-se até deixar à disposição alguns frascos vazios do mesmo tipo, para que sirvam de comparação um pouco mais refinada sempre que houver dúvida.

4.2 Nos endurecedores

As resinas por si só não têm, em geral, aplicação prática. No entanto, devido às propriedades químicas dos grupos epóxi, estes são capazes de reagir com os hidrogênios ativos de determinadas substâncias orgânicas, dando lugar a reações de polimerização. Devido a seu baixo custo e facilidade de obtenção, normalmente são empregados como agentes endurecedores as aminas e seus derivados, tais como poliaminas, poliamidas e ácidos e anidridos orgânicos. Podem ser encontrados no estado natural, sem adições, ou mais comumente com-

binados com cargas, agentes tixotrópicos, agentes diluentes etc.

● Teor de amina total

Num sentido amplo, do ponto de vista químico, as aminas podem ser classificadas como compostos orgânicos derivados da amônia, pela substituição de um ou mais de um de seus hidrogênios por radicais de hidrocarbonetos. O teor de amina pode ser determinado através do método descrito na "ASTM D 2073-76 Total, Primary, Secondary and Tertiary Amine Values of Fatty Amines, Amidoamines and Diamines by Referee Potentiometric Method", que consta basicamente da titulação do endurecedor com ácido clorídrico (HCl).

O resultado obtido em mg de hidróxido de potássio (KOH) equivalente à alcalinidade encontrada em 1 g de amostra tem a utilidade de indicar, quantitativamente, a presença de amina no endurecedor. Como referência inicial para o planejamento de um controle de aceitação, temos que o teor de amina obtido para um mesmo endurecedor pode estar entre 100 e 140 para endurecedores empregados em formulações epóxi para argamassa polimérica. As demais propriedades: teor de carga mineral, teor de voláteis, espectro-infravermelho e aspecto, determinam-se de forma similar ao já citado.

5 Ensaio de acompanhamento

Denominam-se ensaios de acompanhamento aqueles que são efetuados

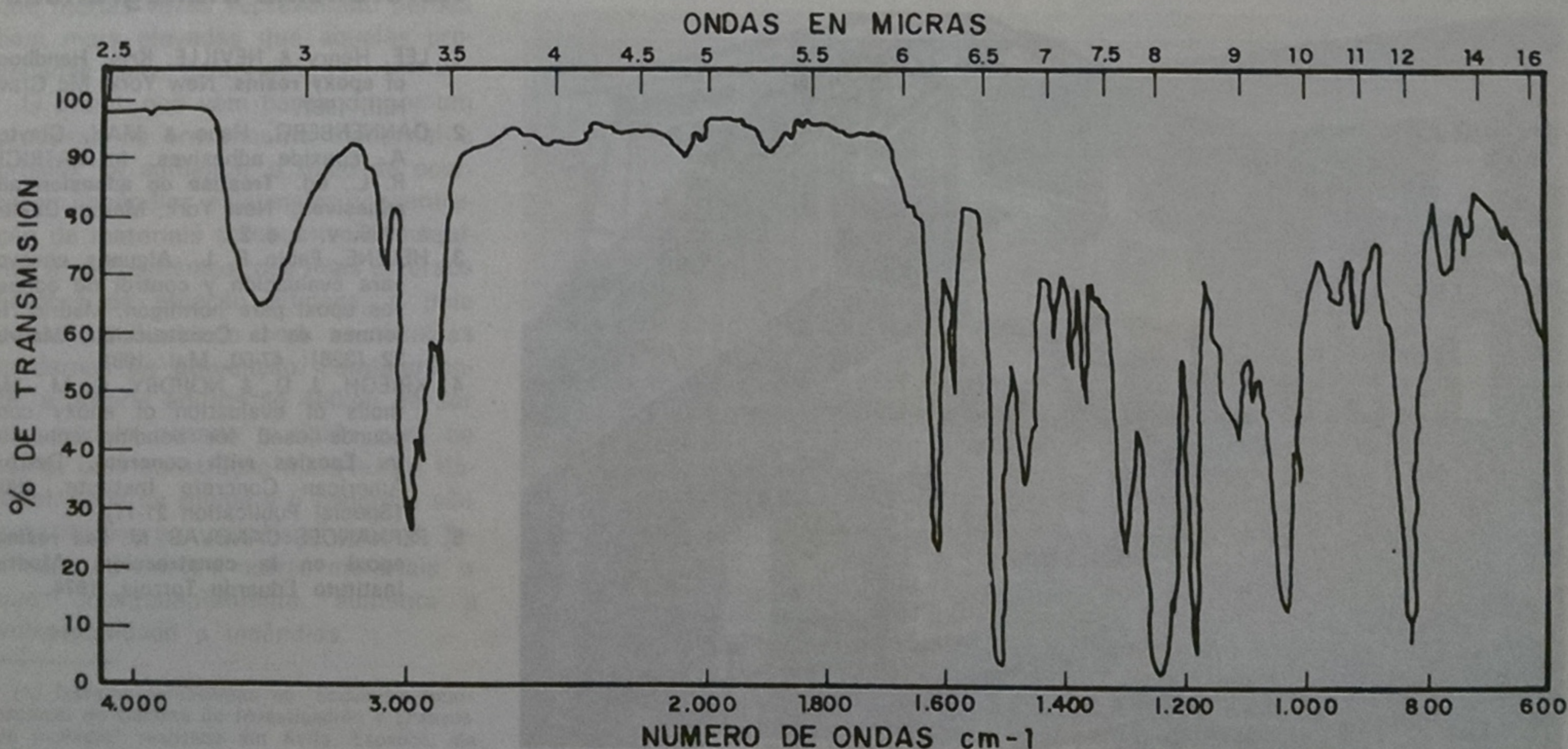


Figura 4 — Espectro de absorção infravermelho típico de uma resina epóxi

no canteiro sob as mesmas condições termo-higrométricas do local de aplicação. Estes ensaios tanto podem ser os descritos na parte referente a ensaios de caracterização da formulação como os denominados ensaios de desempenho. Trata-se simplesmente de obter uma correlação do comportamento da mistura no serviço que está sendo efetuado com o comportamento da mistura em um dos ensaios já citados, ou outro qualquer que se julgue mais interessante.

A liberação do cimbramento e esforço de compressão entre aduelas da ponte Rio-Niterói (Foto 7) em balanços sucessivos, por exemplo, só podia ser efetuado no momento em que cinco corpos de prova prismáticos de 20 x 20 x 80 mm³ alcançassem resistência média à tração por flexão de 20 MPa. O ensaio foi efetuado próximo ao local de colagem. Neste caso, houve uma comprovação experimental de que sempre que a resina alcançasse essa resistência no ensaio, a peça já estava suficientemente colada à anterior.

Este acompanhamento deve ser efetuado sempre que se configure uma variação significativa das condições termo-higrométricas. Sabe-se, por exemplo, que com temperaturas de cerca de 15°C o tempo de uso é bastante longo e, abaixo de 10°C, a formulação pode não endurecer. Da mesma forma, acompanhar a mudança do tempo de uso (**pot-life**) e do tempo de colagem (**open-time**) em temperaturas acima de 25°C é essencial, pois, com cerca de 35°C — valor facilmente encontrado em superfícies de concreto sob ação de raios solares — estes prazos podem cair à quinta parte, pre-

judicando sobremaneira o desempenho do produto, caso não se tomem medidas preventivas.

6 Ensaios de caracterização do sistema

Esses ensaios são utilizados normalmente para medir a resistência à compressão, à tração, ao cisalhamento, o módulo e outras características do sistema endurecido, ou seja, a resina combinada com o endurecedor e, eventualmente, a carga. Não tem utilidade, a não ser para catálogos, uma vez que os sistemas destinados a adesivos não vão trabalhar nas condições características desses ensaios. A única informação que normalmente pode ser aproveitada desses ensaios é o tempo de uso (**pot-life**) e o tempo de colagem (**open-time**) da formulação, que devem reger a organização do trabalho no canteiro.

7 Considerações finais

A metodologia apresentada tem sido utilizada com sucesso no selecionamento e escolha de produtos comerciais, assim como no controle de aceitação e acompanhamento de obras. Deve-se observar, também, a maturidade dos componentes de uma formulação adesiva, pois apesar de nem sempre estar explícito, sabe-se que são garantidos por um período não superior a um ano. Além desse prazo pode ocorrer a degradação dos compostos orgânicos presentes ou sua parcial polimerização. Não se trata de degradação da formulação endurecida — pois esta parece ser muito durá-



Foto 8 — Aplicação de adesivo epóxi para colagem de aduelas. Necessidade de ensaios de acompanhamento.

vel — mas sim dos componentes isolados que, muitas vezes, são armazenados em locais precários.

Acredita-se que a observação das regras aqui apresentadas reduzirá as falhas de construção, onde uma pequena quantidade de material não adequado ou não bem aplicado pode comprometer toda uma estrutura, com inevitáveis prejuízos econômicos, estéticos e técnicos. Nossa experiência tem mostrado casos de adesivos comerciais que conseguiram diminuir a resistência da união em cerca de 30% em relação à união direta (sem adesivos) concreto endurecido (velho)/concreto fresco (novo).

Referências bibliográficas

1. LEE, Henry & NEVILLE, Kris. **Handbook of epoxy resins**. New York, Mc Graw-Hill, 1967.
2. DANNENBERG, Hans & MAY, Clayton A. Epoxide adhesives. In: PATRICK, R. L., ed. **Treatise on adhesion and adhesives**. New York, Marcel Dekler, 1966, v. 1 e 2.
3. HELENE, Paulo R. L. Algunos ensayos para evaluación y control de adhesivos epoxi para hormigón. Madrid, **Informes de la Construcción**, Madrid, 32 (328); 47-60, Mai, 1981.
4. KRIEGH, J. D. & NORDBY, G. M. Methods of evaluation of epoxy compounds used for bonding concrete. In: **Epoxies with concrete**. Detroit, American Concrete Institute, 1968. (Special Publication 21-11).
5. FERNANDES CANOVAS, M. **Las resinas epoxi en la construcción**. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1974.



Foto 7 — Colagem de aduelas pré-moldadas, Ponte Rio-Niterói.