

IBRACON

38^a REIBRAC - IBRACON

S.A.P.

19 a 23 de agosto de 1996 - RIBEIRÃO PRETO - SP

VOLUME I

PAVIMENTOS
DE CONCRETO

REABILITAÇÃO
DE ESTRUTURAS
DE CONCRETO

EQUIPAMENTOS E
MÉTODOS PARA
PRODUÇÃO, APLICAÇÃO E
CONTROLE DO CONCRETO

INDUSTRIALIZAÇÃO
DA CONSTRUÇÃO
EM CONCRETO

Patrocinadores:

CIMENTO ITAÚ

SÍLICA FUMÉ
SILMIX
PARA CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO

Belgo Mineiro
AÇÕES PARA CONSTRUÇÃO CIVIL
DEDINI
BEMAF

CIMENTO ELDORADO
CPV-ARI

CIMINAS S.A.

CIMENTO VOTORAN
A MARCA DE QUEM CONSTRÓI O BRASIL



ABCOP ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE CIMENTO
PORTLAND

CAMARGO CORREA

Jika
Sika S.A.

Apoio: **finep**

ALGUMAS APLICAÇÕES DA RESINA POLIURETANA DERIVADA DO ÓLEO DE MAMONA PARA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

F 383a

Engº. Osny Pellegrino Ferreira
Engº. Jefferson B.L. Libório 162 108

Engº. Isac José da Silva

ESCOLA de ENGENHARIA de SÃO CARLOS - USP

RESUMO

A resina poliuretana desponta como um novo material a ser utilizado na Construção Civil, quer como uma manta impermeabilizante de elementos das estruturas de concreto armado, quer como produto a ser utilizado em restaurações estruturais. Pode ser empregada como agente hidrofugante para painéis de fachadas, além de matriz em texturizações superficiais, conferindo inúmeros benefícios aos elementos assim tratados.

Neste trabalho, como tecnologia emergente, apresentam-se algumas possibilidades de aplicação na Engenharia Civil, mormente no comportamento como impermeabilizante de lajes, além de realçar outros parâmetros como o aumento: da resistência à compressão de elementos de concreto, da resistência à tração, módulo de deformação longitudinal; perfeita interrupção de capilares reduzindo praticamente a zero a absorção de líquidos; excelente comportamento frente a diversas atmosferas viciadas e de alta agressividade. Também faz-se referência aqui de outros resultados avaliados, como: resistência à abrasão e aderência.

De outra forma, o material tem respondido bem à associação com outros produtos de interesse na Construção Civil, possibilitando a execução de componentes maciços de baixa massa específica ($4,4\text{ kN/m}^3$). Outros materiais que podem ser associados a essa resina poliuretana são o pó de calcário, vermiculita, argila expandida, e produtos diversos, caracterizáveis como rejeitos, provenientes de processamento industrial.

1. Introdução

A resina poliuretana obtida a partir do óleo de mamona apresenta-se como um polímero alternativo para a aplicação em concretos polímeros e outros ramos da Construção Civil e, por ser um material alternativo, fatalmente terá um lugar de destaque entre outros polímeros de uso industrial. Segundo ARAÚJO (1992), seu desenvolvimento tem importância pela sua aplicabilidade no âmbito dos "plásticos de engenharia", representando um promissor campo de pesquisa de novos materiais. Isto se torna possível por ser a resina poliuretana um material nobre, leve e de alta resistência mecânica, e constitui um sistema de polímeros versátil para aplicações em diferentes setores da Indústria. Esta versatilidade tem maior importância, especialmente quando se utilizam nestes sistemas de polímeros "óleos vegetais" como matéria prima, representando com isso soluções alternativas dentro da tecnologia da Construção Civil, com a utilização de novos materiais e novos insumos de grande interesse nacional.

Além disso, a poliuretana derivada do óleo de mamona constitui-se em um material obtido a partir de recurso natural renovável, sem prejuízos à saúde de quem a manipula.

9643
2895
EEESC

09/7643

28.02.97

3.21.01.00-0

A resina poliuretana é um material preparado a partir de espécies quimicamente ativas contendo o grupo -NCO resultando, destes pólios funcionalmente ativos, polímeros com diferentes características e dotados de excelentes propriedades.

Desta forma, estas resinas poliuretanas podem ter amplas aplicações, sendo materiais de grande versatilidade, e prestando-se a inúmeras utilizações. Basta alterar-se sua formulação para obter-se a variabilidade nas suas características como:

- reologia- viscosidade, fluidez, tixotropia, e comportamento sob variação de temperatura;
- resistência a tensões superficiais, porosidade e penetração capilar;
- tempo máximo e mínimo de processamento;
- período de endurecimento e condições de cura.

A estabilidade térmica das poliuretanas ensaiadas, encontram-se na faixa de 215 a 340°C, compatível com a faixa de estabilidade térmica apresentada por outras resinas.

A aplicação da resina poliuretana em concreto apresenta sensíveis vantagens, que irão variar dependendo da formulação da poliuretana utilizada, bem como do método de introdução ou associação da resina à matriz de concreto. De maneira geral, algumas vantagens são alcançadas pelo uso da resina poliuretana no concreto, as quais incluem:

- proteção do concreto contra o processo de corrosão;
- aumento da durabilidade sob ação de agentes agressivos;
- aumento da resistência final do concreto impregnado;
- melhoria da estética quando a utilizados pigmentos no tratamento superficial;
- redução da absorção e permeabilidade;
- melhoria da resistência à abrasão e da aderência à outros materiais;
- a resina não necessita de fonte de energia externa para a polimerização.

Este trabalho relata a aplicação ou a associação da resina poliuretana a base de óleo de mamona com o concreto comum de cimento Portland ou a outros materiais, avaliando-se o comportamento desta associação a partir da determinação das propriedades dos compósitos resultantes, como também dos outros materiais, de variadas características, como por exemplo elastômeros e adesivos.

2. Programa experimental

A abordagem experimental consistiu em desenvolver os compósitos constituídos com resina poliuretana a base de óleo de mamona e analisar as suas propriedades, compreendendo:

- tratamento superficial do concreto, utilizando a impregnação de argamassas de cimento Portland;
- produção de concreto de resina com diferentes densidades, a partir do uso de diferentes agregados e adições;
- material para uso em sistemas de impermeabilização e como adesivo.

A execução deste programa experimental se justifica por ser a resina poliuretana a base de óleo de mamona um material novo, com pouquíssimas informações sistematizadas sobre a sua utilização na Construção Civil. Dessa forma, são necessários de estudos que possibilitem a determinação de procedimentos para a sua utilização.

Estes novos produtos gerados a partir da aplicação da resina poliuretana a base de óleo de mamona, tais como concreto resina, tratamento superficial (impregnação), impermeabilização, adesividade, etc., para serem introduzidos no mercado da Construção Civil, como alternativa a outros produtos já existentes, necessitam de uma avaliação prévia dos seus desempenhos referentes as suas propriedades mecânicas e durabilidade, evitando deste modo eventuais problemas futuros devido ao desconhecimento do comportamento desses materiais.

2.1. Materiais utilizados

A resina utilizada foi a poliuretana originária do óleo de mamona, empregando-se neste trabalho três tipos de composições de resina, obtidas a partir da variação do tipo de poliól e do pré-polímero. Dependendo das características destes dois componentes pode-se obter polímeros com maior ou menor dureza, maior ou menor viscosidade, bastando para tanto variar-se as características do poliól e do pré-plímero, como também a quantidade de solvente, produto que afeta significativamente a viscosidade da resina.

O inconveniente da utilização de solvente para influir na viscosidade é que o mesmo prejudica a formação da cadeia no instante da polimerização da resina, ou seja, ao invés de se ter a formação de uma cadeia polimérica longa e contínua no instante da polimerização, a presença do solvente quebra essa cadeia tornando-a segmentada. Por outro lado cabe considerar que durante a reação de polimerização, a resina torna-se mais viscosa (densa) dificultando a saída total do solvente presente na mistura.

As resinas empregadas neste trabalho foram adotadas de acordo com a classificação do GQATP - Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros do Instituto de Química de São Carlos - USP, e a composição do polímero resultante variou da forma abaixo:

a) Para impregnação, concreto de resina e ensaios de adesividade:

poliól	pré-polímero
Q-442*	F-331*, com 20% de solvente
Q-351	F-141

b) Para impermeabilização de elementos estruturais:

poliól	pré-polímero
Q-270	F-141

As características físicas desses polímeros são apresentadas na Tabela 1.

Como adições aos concretos resinas foram utilizados agregados comumente empregáveis em concreto de cimento Portland, tais como vermiculita, microssilica, pó de calcário e argila expandida.

Para o tratamento superficial foram utilizados três tipos de argamassas cujas características encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 - Propriedades físicas da resina poliuretana a base de óleo de mamona.

Propriedades	Q-442 F-331 *	Q-351 F-141	RESINA Q-270 F-141
Resistência à tração (MPa)	13,0	13,7	1,4
Resistência à compressão (MPa)	19,5	25,7	---
Módulo de deformação (MPa)	241,6	372,8	5,1
Dureza (Short B)	60	62	---
Alongamento (%)	19,1	8,6	32,8
Cura (polimerização) (minutos)	30	25	60
Resistência à radiação ultravioleta (Lâmpada GT15T8U.V. longa vida, 15 W Philips) 1200 horas de exposição		Não houve alteração visual	

Tabela 2 - Dosagens das argamassas de cimento Portland utilizadas no tratamento superficial.

Traço	1:2	1:3	1:4
Cimento kg/m ³	675	500	390
Areia kg/m ³	1350	1500	1560
Água kg/m ³	253,12	247,5	263
H %	12,5	12,4	13,5
Relação A/C	0,375	0,495	0,675

3. Resultados obtidos

3.1. Tratamento superficial

Ao se promover o tratamento superficial do concreto com a resina poliuretana, o mesmo terá maior probabilidade de conservar as suas características mínimas de funcionalidade, resistência e aspectos externos exigíveis. Isto ocorre em razão de que este tratamento confere ao concreto uma maior proteção e durabilidade, a partir do momento que promove a obstrução e fechamento dos poros e microfissuras, reduzindo drasticamente a absorção e permeabilidade a líquidos e gases, retardando assim os fatores que aceleram o processo de corrosão da armadura- umidade e oxigênio.

A resina poliuretana ao penetrar no concreto ou argamassa colabora para a manutenção da alcalinidade da matriz, tanto na região onde a resina penetrou quanto na parte mais interna da matriz onde a mesma não está presente.

Essa capacidade parece conferir uma proteção adicional aos elementos e componentes armados, podendo permitir a redução do cobrimento das armaduras quando o elemento de concreto encontra-se sujeito a ação de agentes agressivos.

Esse fato pôde ser observado quando aplicou-se uma solução de fenolftaleína nos corpos-de-prova ensaiados, cuja solução revelou a presença de alcalinidade tanto na região da matriz de cimento onde a resina penetrou quanto na parte mais interna onde não foi atingida pelo tratamento superficial.

Um fato importante de nota é que a penetração da resina nos corpos-de-prova ensaiados variou de 17% a 60% da área da seção transversal dos mesmos, oscilando este percentual em função do consumo de cimento, ou seja, para traços mais pobres ocorreu uma

maior penetração da resina, e nos traços mais ricos houve menor penetração da resina no interior dos corpos-de-prova.

Na Tabela 3 são apresentados as propriedades das argamassas cujos corpos-de-prova foram submetidos ao tratamento superficial por impregnação.

3.2. Concreto resina

O concreto resina constitui-se neste trabalho apenas como um meio para a avaliação do desempenho da resina em estudo quando aplicada na forma de aglomerante. O parâmetro considerado neste caso foi a resistência à compressão de corpos-de-prova preparados com os vários compósitos obtidos.

Os agregados empregados no concreto resina foram aqueles comumente utilizados no concreto de cimento Portland e não tiveram nenhum tratamento específico, apesar de sabido que a granulometria dos materiais inertes é fundamental para este tipo de concreto, não só do ponto de vista de resistência, mas também no que se refere ao consumo de aglomerante e consequentemente a sua influência no custo final do compósito.

As características físicas e mecânicas do concreto resina estão intimamente relacionadas com as propriedades do sistema de resina empregado como aglomerante. Algumas formulações de resina poliuretana a base de óleo de mamona mostraram-se adequadas para esta modalidade de concreto polímero, sendo que na confecção do concreto resina foram utilizadas as composições poliol Q-442 e pré-polímero F-331, e poliol Q-351 e pré-polímero F-141 (ver Tabela 1).

A composição poliol Q-351 e pré-polímero F-141, mostrou-se mais adequada para tal utilização, pois este sistema possibilita um maior tempo para o manuseio e aplicação, menor viscosidade e possui custo inferior ao outro sistema acima referido.

O concreto contendo esta resina como aglomerante apresentou um bom desempenho nas experiências empreendidas em laboratório, podendo-se considerá-lo de grande potencial para a aplicação em elementos pré-fabricados como tubos moldados em concreto resina compactados por centrifugação, em revestimento interior de tubos de concreto de cimento Portland, pisos em geral e material para reparos de elementos moldados em concreto de cimento Portland.

As propriedades do concreto de resina poliuretana a base de óleo de mamona, dependem da quantidade e do tipo de formulação da poliuretana empregada, ou da utilização ou não de solventes. Nos concretos polímeros ensaiados, com massa específica em torno 2,2 kg/dm³, a proporção de resina variou entre 10% a 15% da massa dos agregados empregados.

Os estudos empreendidos revelam que adições como cargas minerais de natureza calcária ou silicosa, dependendo das características da resina utilizada, podem promover a constituição de concretos polímeros diferenciados, tanto de baixa como de média massa específica (0,8 kg/dm³ a 2,2 kg/dm³), bastando alterar-se a formulação da resina ou a quantidade de carga incorporada ao aglomerante.

Para a produção de concretos polímeros de baixa massa específica, por exemplo, a adição de carga mineral é variável, ficando a quantidade de monômero oscilando de cerca de 10% a 18% em massa, em relação à carga respectiva.

Nas experiências empreendidas em laboratório, com adição de pó de calcário, conseguiu-se compósitos com massa específica variando de 400 kg/m³ a 440 kg/m³, com os quais confeccionou-se tijolos e corpos-de-prova (ver Tabelas 4 e 5).

Tabela 3 - Propriedades das argamassas submetidas ao tratamento superficial (por impregnação)

Propriedades	Argamassa tratada com resina poliuretana			Argamassa não tratada		
	1:2	1:3	1:4	1:2	1:3	1:4
Absorção de resina %	1,7	3,1	7,7	0,0	0,0	0,0
Resistência à compressão MPa	58,1	38,2	39,1	50,9	30,1	18,3
Resist. à tração por comp. MPa	5,2	3,7	3,1	4,9	2,4	1,7
Módulo de deformação GPa	23,6	21,7	22,3	21,5	19,6	16,6
Absorção de água por imersão %	0,06	0,09	0,11	7,3	9,6	9,7
Resist. à abrasão % perda de massa (g)	0,5	0,7	0,7	2,1	2,5	3,6
Resist. a solução 10%HCl. % perda de massa (g)	+0,1	0,0	-1,7	-17,9	-17,1	-14,7
Resist. a solução 10%H ₂ SO ₄ . % perda de massa (g)	+2,7	+3,2	-0,2	-16,9	-17,0	-13,3
Resist. a solução 10%CH ₃ OOH. % perda de massa (g)	+1,6	+1,1	+0,2	-17,6	-18,5	-13,5
Resist. a solução 20%NaCl. % perda de massa (g)	+0,5	+0,8	+0,9	-0,1	-0,3	-0,9
Resist. a solução 10%Hipoclorito de Sódio. % perda de massa (g)	+0,6	+0,6	+0,6	+0,7	+0,6	+0,7
Resist. a solução 10%Cloreto de Sódio. % perda de massa (g)	+1,1	+1,1	+0,1	+0,8	+1,2	1,0
Água do mar	+0,2	+1,1	+1,1	+1,0	+1,1	+1,1

Nota: Os corpos-de-prova não tratados com resina poliuretana foram submetidos às soluções ácidas por um período de 7 dias, os corpos-de-prova tratados com a resina poliuretana foram submetidos às soluções ácidas por um período de 28 dias. Nas demais soluções agressivas tanto os corpos-de-prova tratados como os não tratados superficialmente foram submetidos a essas soluções por um período de 68 dias.

Foram utilizados para esses ensaios constados na Tabela 3, as seguintes normas: NBR 7215 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto; NBR 7222 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos; NBR 8522 - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama, tensão deformação; NBR 9778 - Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica; BS 812: part 1 for - Sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers. Londres, 1975; ASTM C-167 - Chemical resistance of mortars, grouts and monolithic surfacings

O calcário finamente moido apresenta-se como um bom material para produção de elementos de baixa massa específica, face ao seu custo relativamente baixo e devido ainda a sua boa interação com a resina, mesmo em presença de umidade.

Na produção de elementos de baixa massa específica é empregada uma resina apropriada para obter a expansão e a formação de bolhas homogeneamente distribuídas em todo o elemento. A formulação desta resina difere das composições empregadas no concreto de resina de densidade normal (acima de 2,0 kg/dm³), do concreto impregnado ou das resinas utilizadas em sistemas de impermeabilização. Na Tabela 4 e 5 são apresentadas algumas características de ensaios com tijolos e corpos-de-prova de baixa massa específica, e na tabela 6 está apresentada o valor da resistência à compressão de concreto resina com densidade em torno de 2,2 kg/dm³.

A expansão de volume, que ocorre no concreto polímero de baixa densidade, pode variar de 10 a 20 vezes o volume inicial, constituindo-se após a polimerização, num material poroso que, além de leve, apresenta-se com resistências à compressão variando de 1,5 a 3,0 MPa.

O processo de mistura do concreto polímero não diverge daquele empregado no caso do concreto de cimento Portland. Praticamente todos os equipamentos utilizáveis no concreto convencional de cimento Portland podem ser empregados no primeiro caso.

Algumas alterações ou adaptações nas características dos dispositivos de ensaio utilizáveis em laboratório podem melhorar as possibilidades de produção do concreto polímero, minimizando assim os trabalhos de limpeza dos recipientes de mistura e fôrmas utilizadas.

Pode-se considerar que as técnicas de produção do concreto resina, utilizando resina poliuretana, não diferem consideravelmente daquelas empregadas dentro da tecnologia dos concretos de cimento Portland, podendo-se adotar os processos correntes utilizados para a composição granulométrica, mistura, lançamento, adensamento e controle tecnológico dos concretos convencionais.

Na fabricação do concreto de resina poliuretana de massa específica normal (2,2 kg/dm³) faz-se necessário que os agregados encontrem-se sem a presença de umidade superficial. Caso haja alguma umidade esta poderá provocar a expansão de volume do compósito, e consequente perda de resistência, devido à formação de vazios na matriz. A polimerização ocorre por reação de adição e tem o seu início ao se promover a mistura do poliol ao pré-polímero, sem necessidade de se recorrer a agentes externos como por exemplo energia calorífica.

Tabela 4 - Densidade, resistência à compressão de tijolos confeccionados com pó de calcário e resina poliuretana.

Série de tijolos	Densidade em (kg/m ³)	Resistência à compressão (MPa)
T - I	400	0,9 - 1,1
T - II	500	1,0 - 1,3
T - III	600	1,2 - 1,8

Nota - O consumo de resina variou de 12% a 18% em relação a massa do material inerte.

Tabela 5 - Densidade, resistência à compressão simples de corpos-de-prova confeccionados com pó de calcário e resina poliuretana.

Série de corpos-de-prova	Massa dos Cps (g)	Volume dos Cps (cm ³)	Massa específica (kg/m ³)	Resistência à compressão (MPa)
A	83,40	188,57	440	1,5
B	91,51	188,57	485	2,2
C	97,23	192,05	506	1,9
D	108,96	188,75	580	2,8
F	140,46	187,09	750	3,1
G	159,99	188,57	850	3,2
H	162,29	188,57	860	3,2

Nota - O consumo de resina variou de 12% a 18% em relação à massa do material inerte.

Tabela 6 - Resistência à compressão de concreto de resina poliuretana de massa específica normal utilizando areia quartzoza.

Polímero	Relação polímero/agregado	Resistência à
		compressão (MPa)
Resina Q-442 F-331	1:7	36
Resina Q-442 F-331 + 30% Solvente	1:7	18
Resina Q-351 F-141	1:8	25,7
Resina Q-351 F-141 + 30% Solvente	1:8	15,3

Além da utilização da resina poliuretana como aglomerante de pó de calcário ou de agregados comumentes utilizados em concreto de cimento Portland, foram realizados ensaios com outros materiais tais como: vermiculita, argila expandida, silica e microsilica, carvão vegetal moido. Como alternativa para a melhoria de algumas propriedades mecânicas desses compósitos foram utilizadas malhas trançadas ou fibras multifilamento de fios de polipropileno.

Esses ensaios foram realizados apenas com caráter de investigação preliminar, não sendo realizadas as demais verificações de suas propriedades mecânicas. Diante da grande interação verificada entre a resina poliuretana e as adições acima referidas pode-se vislumbrar grande viabilidade para as adições à resina de materiais como fibras de polipropileno ou fibras vegetais, ou também de resíduos industriais que não se apresentem com propriedades deletérias à resina poliuretana.

3.3. Sistemas impermeabilizantes e Hidrófugos

A investigação sobre a utilização da resina poliuretana derivada do óleo de mamona, como material integrante de sistemas de impermeabilização para construções em geral, foi empreendida em laboratório visando sua utilização preferencial em coberturas de edifícios, constituídas por lajes de concreto armado.

A impermeabilização com esta resina poliuretana pode ser empreendida de forma análoga aos sistemas de impermeabilização baseados em soluções elastoméricas convencionais existentes no mercado tais como: Hypalon, Neoprene, borracha butylíca, silicone, etc..

Devido a resina poliuretana apresentar algumas características tais como: elevada elasticidade, impermeabilidade, resistência e cura rápida, é permitida a sua aplicação sobre o elemento estrutural através de rolo, pincel ou por qualquer outro meio, em curto espaço de tempo.

O método de execução é um fator que deve ser levado em conta no momento da escolha da impermeabilização e esta pode ser feita sob duas formas: pré-fabricada e moldada no local. A resina poliuretana, como visto anteriormente, pode ser utilizada como sistema de impermeabilização moldado no local, onde a aplicação da resina é feita em pelo menos duas demãos, sendo a primeira camada (ou primer) de baixa viscosidade para boa penetração na base. O espalhamento da resina na superfície é feito, preferencialmente, através de rolo de espuma plástica, nas duas direções e de modo a manter total continuidade de espessura da camada.

A resina poliuretana é aplicada a frio, e polimeriza-se por catalisação, constituindo uma membrana monolítica altamente impermeável e totalmente insolúvel em água.

Alguns parâmetros da resina poliuretana utilizada em impermeabilização foram determinados neste trabalho como resistência à tração (sentido longitudinal e transversal), carga de ruptura, alongamento na ruptura, módulo de deformação, cura e resistência à exposição aos raios ultravioleta, cujos resultados se encontram apresentados na Tabela 7; entretanto muitos outros parâmetros deverão ser avaliados em trabalhos posteriores, visando possibilitar a determinação do desempenho deste sistema de impermeabilização, frente às normas em vigor.

Materiais auxiliares como fibras curtas, telas, tecidos, ou feltros podem ser utilizados e têm a função de colaborar para uma maior resistência aos esforços de tração, e que possam vir a solicitar a manta ou membrana impermeável, evitar o escorramento do material em superfícies inclinadas e garantir a homogeneidade da espessura da camada. Algumas mantas de resina poliuretana foram confeccionadas utilizando no seu interior telas trançadas constituídas de fios de polipropileno com finalidade de reforço. Cabe ressaltar que a utilização desta tela ou outros materiais auxiliares são de caráter opcional.

Também, podem ser adicionados à resina poliuretana cargas minerais, mais especificamente óxidos metálicos, com a finalidade de aumentar a resistência da resina à ação dos raios ultravioleta.

A segunda camada de resina pode também ser aplicada com rolo de espuma, nos mesmos moldes da primeira camada, tomando-se o cuidado quanto a homogeneidade de sua espessura, já que pelo fato de sofrer a adição de carga mineral, sua viscosidade é bem mais acentuada que a camada inicial. O resultado dessa aplicação é a formação de uma membrana polimérica termofixa, flexível, moldada no local.

Além dos ensaios que caracterizam algumas das propriedades da resina poliuretana, cujos parâmetros são apresentados na Tabela 7, a avaliação em situação real vem sendo realizada com este sistema de impermeabilização. Foram já executadas diversas aplicações em lajes de cobertura de edificações, e paredes de reservatórios de água potável, no período de março de 1995 a abril de 1996.

Tabela 7 - Propriedades físicas da resina poliuretana a base de óleo de mamona utilizada para impermeabilização.

Propriedades	Q-270 F-141
Resistência à tração (MPa)	1,4
Módulo de deformação (MPa)	5,1
Carga de ruptura (N)	39
Alongamento (%)	32,8
Cura (polimerização) (minutos)	60
Resistência à radiação ultravioleta (Lâmpada GT15T8U.V. longa vida, 15 W Philips)	Não houve alteração
1200 horas de exposição	visual

3.4. Aderência

Dois tipos de ensaios foram idealizados para proceder-se a verificação de adesividade da resina poliuretana. O objetivo destes ensaios é o de colaborar na obtenção de dados sobre a eficiência da resina poliuretana a base de óleo de mamona, avaliando a sua utilização como material aderente, no preenchimento de fissuras, reparos em peças de concreto e colagem de elementos de concretos e argamassas de cimento Portland. Os ensaios foram realizados, primeiro buscando avaliar a capacidade de restabelecer a monoliticidade de corpos-de-próva e, segundo, tentando verificar o poder de aderência da resina na colagem de peças constituídas por matrizes de cimento.

Para avaliar o restabelecimento de monoliticidade foi necessário fissurar o corpo-de-próva, para que este pudesse ser recomposto com o preenchimento de resina. O procedimento utilizado neste ensaio foi o de provocar a fissura, através de aplicação de carga no corpo-de-próva até a sua ruptura e, após fissurado, este foi saturado em resina. Após sua polimerização os elementos foram submetidos a uma nova aplicação de carga, verificando-se a capacidade de restaura da monoloticidade. Estes resultados, média de seis corpos-de-próva, são apresentados na Tabela 8.

No ensaio empreendido para avaliar a capacidade de aderência da resina poliuretana, para a colagem de matrizes de cimento, utilizou-se do teste de compressão-cisalhamento, e na Figura 1 estão apresentados os modelos dos corpos-de-próva, de junta inclinada a 30° e a 63,43°, baseados no métodos de ensaio adotados por GODART (1987) e por HRANILOVIC (1987), respectivamente, onde os valores são obtidos a partir da formulação matemática a seguir apresentada:

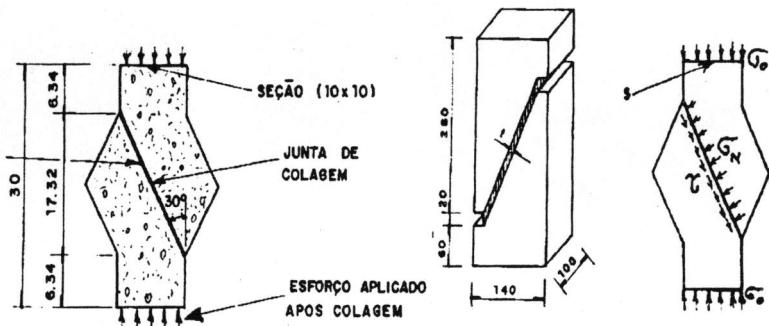


Figura 1 - Exemplos de corpos-de-prova adotados para ensaio de adesividade, compressão-cisalhamento.

$$\sigma_N = \sigma_0 \cdot \cos^2 \alpha \quad (4)$$

$$\tau = \sigma_0 \cdot \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

$$\sigma_0 = \frac{P}{S} \quad (6)$$

onde σ_N = esforço normal ao plano da superfície colada, τ = esforço tangente ao plano da superfície colada e σ_0 = tensão divida pela área de apoio da carga.

Os valores obtidos a partir deste ensaio, média de doze corpos-de-prova, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 8 - Restauração da capacidade resistente em corpos-de-prova previamente rompidos e submetidos à posterior impregnação.

Traço	Resistência à compressão dos corpos-de-prova de referência (MPa)	Resistência à comp. dos corpos-de-prova de referência rompidos, após impregnação (MPa)
1:3	35,2	35,4
1:4	18,3	19,1

Tabela 9 - Resistência à aderência da resina poliuretana.

Resina	Resistência da matriz (argamassa) (MPa)	Resistência de aderência compressão-cisalhamento/junta inclinada (MPa)					
		$\alpha = 30^\circ$			$\alpha = 63,40^\circ$		
	σ_0	σ_N	τ	σ_0	σ_N	τ	
A*	50,9	17,0	12,8	7,4	20,4	4,0	8,1
B*	50,9	14,5	10,9	6,3	18,7	3,7	7,5

* Resina A - pré-polímero (Q-442) poliol (331) B - pré-polímero (Q-351) poliol (331)

4. Considerações finais

A execução desde desenvolvimento experimental proporcionou:

- uma maior compreensão a respeito da importância de algumas das possibilidades de aplicação de polímeros nos vários tipos de concretos polímeros- no caso em questão a resina poliuretana a base de óleo de mamona;
- identificação de algumas limitações desta resina quanto ao seu emprego sob presença de umidade contida no elemento, principalmente a superficial;
- obtenção de informações importantes a respeito das propriedades e comportamento da resina e seus compostos nas diversas formas de aplicações.

O presente trabalho mostra ainda os benefícios quanto a utilização da resina poliuretana a base de óleo de mamona na impregnação de elementos de concreto de cimento Portland, em concreto resina, impermeabilização, aderência, ou seja, nos diversos campos da Construção Civil.

Essa importância tem uma grande relevância principalmente pelo fato de que, apesar dos inúmeros trabalhos desenvolvidos no exterior, e alguns no Brasil, sobre a utilização de polímeros em compósitos- concretos polímeros, muito pouco se tem noticiado sobre a utilização da resina poliuretana nesses compósitos. Os trabalhos que se tem conhecimento, empregando resina poliuretana derivada da indústria petroquímica, apresentam algumas ressalvas quanto a sua limitação tais como pelos prejuizos à saúde de quem a manuseia, e pela possível degradação por ação de raios ultravioleta a que esta resina está sujeita.

Essa degradação é favorecida pela grande presença de materiais aromáticos, no caso da poliuretana derivada da indústria petroquímica, problemas que não se apresentam quando é utilizada a resina derivada do óleo de mamona.

5. Conclusões

Este trabalho permite concluir que a aplicação da resina poliuretana derivada do óleo de mamona em concretos convencionais é satisfatória no tocante a melhoria das propriedades mecânicas e pela maior resistência à ação de substâncias agressivas, incrementando a durabilidade.

Em todos os ensaios efetuados neste estudo, a impregnação parcial da argamassa com polímero possibilitou ganho de resistência à compressão, principalmente nos traços de menor conteúdo de cimento. Igual melhoria foi observada com relação a resistência à tração e módulo de deformação.

Através dos ensaios efetuados, depreende-se que com a impregnação parcial ocorreu melhorias significativas na resistência à abrasão, absorção de água, resistência à ação de agentes agressivos, comparativamente aos corpos-de-prova não impregnados.

Em vista destes resultados, a resina poliuretana derivada do óleo de mamona pode ser considerada como adequada para a impregnação de elementos de concreto ou argamassa submetidos a ação de agentes agressivos, face a melhoria de qualidade e desempenho do material impregnado.

Como aglomerante, possibilita a confecção e moldagem de elementos pré-fabricados como tubos de concreto de resina com grande resistência à agentes químicos e satisfatória resistência mecânica; produção de elementos leves visando a utilização em painéis de vedação, e painéis para tratamento térmico e acústico.

Como sistema de impermeabilização, a resina poliuretana apresenta-se com boa aplicabilidade para coberturas de edifícios e em utilizações onde não são permitidos a liberação de vapores tóxicos, caso de reservatórios fechados ou câmaras frigoríficas.

A resina poliuretana mostra ter um comportamento adesivo bastante satisfatório, não só por obturar as fissuras apresentadas pelo concreto, agindo como elemento aderente, preenchendo-as e vedando-as externamente mas, também, servindo como adesivo para elementos de concreto endurecido, proporcionando o restabelecimento total do monolitismo de corpos-de-prova previamente rompidos e submetidos posteriormente a impregnação.

Outros fatores importantes de nota observados neste estudo são a seguir elencados.

- a) A pouca aplicação do concreto polímero verificado no Brasil é em parte influenciada por diversos fatores, entre eles, a falta de conhecimento das propriedades desse material, falta de especificação referente ao concreto polímero, falta de experiência e, muitas vezes, falta de capacitação dos interessados em aplicar o referido material. Isso decorre da pequena divulgação e promoção do produto por parte das indústrias, pesquisadores de universidades, e fornecedores da matéria prima utilizada na fabricação.
- b) Pode-se alterar a formulação das composições da resina poliuretana a base de óleo de mamona, de forma que a mesma possa ser aplicada em grande número de situações de trabalho, podendo com isso, adequar-se suas propriedades como viscosidade, resistência mecânica, módulo de elasticidade, etc, situação essa que dificilmente ocorre com o uso de outros tipos de resinas, onde a indústria oferece apenas pacotes fechados, especificando um determinado tipo de aplicação, sem possibilidade de mudança de formulação da mesma.
- c) A resina poliuretana não apresenta problemas referentes a segurança da saúde de quem a manuseia, restrição esta presente na maioria das resinas comerciais.
- d) O custo referente a esta resina deverá ser suficientemente reduzido quando a mesma começar a ser produzida em escala comercial, possibilitando um maior incentivo a sua utilização.

A seguir são evidenciadas algumas potenciais aplicações da resina poliuretana a base de óleo de mamona:

- por impregnação

aplicação:

- Argamassa, concreto, concreto protendido, pré-moldados e artefatos de cimento Portland;
- sistema de tratamento e proteção de superfícies de concreto estruturais;
- proteção a elementos de concreto e argamassa;
- proteção e revestimento de elementos de vedação;
- proteção de base de máquinas;
- proteção de pisos industriais;
- reparos de elementos de concreto e argamassa;
- reparos e recuperação de pisos em ambiente quimicamente agressivo.

- no concreto resina

aplicação:

- Elementos pré-fabricados para ambiente quimicamente agressivo;
- pisos industriais;
- revestimento de painéis de vedação;
- artefatos pré-moldados para fins diversos, como: tanques, pias, soleiras, vasos, etc.;
- tubulação para águas residuárias, esgotos, etc.;

- revestimento para tubos de concreto de cimento Portland aumentando sua resistência à ataque de sulfatos, ácidos, álcalis, etc.;
- calhas para mineradoras que utilizam produtos químicos na lavagem e extração de minerais;
- painéis leves para fechamento, divisórias de ambientes;
- enchiamento leve para elementos estruturais tais como lajes rebaixadas;
- placas para tratamento e isolamento térmico;
- placas para tratamento e isolamento acústico;
- componentes de pequena dimensão, como tijolos e blocos de baixa massa específica;
- elementos pré-moldados com adição de fibras naturais (coco, bagaço de cana) para habitação de interesse social;
- câmaras frias, etc..

- em impermeabilização

aplicação:

- tratamento superficial de paredes e pisos de cozinhas indústriais;
- tratamento superficial de coberturas;
- membranas impermeáveis moldadas no local para coberturas;
- membranas impermeáveis moldadas no local para coberturas, com utilização de fibras, telas, tecidos, feltros, etc..

- como adesivo

aplicação:

- Adesivo para concreto, argamassa, madeira, etc.;
- reabilitação de peças deterioradas.

6. Bibliografia

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D - 695M - 90 -
Compressive Properties of Rigid Plastics [Metric].

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D - 638M - 91a -
Tensile Properties of Plastics [Metric].

ARAÚJO, Luís C. Ribeiro, - "Caracterização química, térmica e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos." Dissertação de mestorado apresentada ao Instituto Física e Química de São Carlos, 1992.

GODART, B. - Etude experimentale de l'adhesion entre un béton et une résine époxydique lors de l'assemblage par collage de voussoirs préfabriqués dans les ponts en béton précontraint.. Adhesion between polymers and concrete: bonding, protection, repair. Polymer-impregnated concrete. RILEM, 1986, pp. 474-483.

HRANILOVIC, Marko - Failure criteria for structural joints. Adhesion between polymers and concrete: bonding, protection, repair. Polymer-impregnated concrete. RILEM, 1986, pp. 650-660.

SILVA, Isac José da- Contribuição ao Estudo da Utilização da Resina Poliuretana a base de Óleo de Mamona na Construção Civil. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, área - Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos, 1996.