



15º Simpósio Brasileiro
de Impermeabilização 2018



Instituto de
Impermeabilização

ANAIS DO 15º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

4 e 5 de junho de 2018 - São Paulo / SP

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ENSAIOS DE DESEMPENHO E DE CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS DE POLIURÉIA E POLIURETANO

VASCONCELOS, Paulo Henrique

Mestre em Estrut. e Constr. Civil – UnB
Brasprefer Indústria e Comércio LTDA
Brasília – DF
ph@brasprefer.com.br

BAUER, Elton

Prof. Dr. Chefe do L.E.M. - UnB
Universidade de Brasília – UnB
Brasília - DF
elbauerlem@gmail.com

RESUMO

O uso dos sistemas elastoméricos impermeabilizantes, sobretudo a base de Poliuretano e Poliuréia, têm crescido muito no cenário mundial e nacional. No entanto, pouco ou nada se discute sobre suas propriedades mecânicas, presumindo-se, assim, que todos os tipos comercializados são adequados para aplicações em impermeabilizações na construção civil. Este trabalho objetiva apresentar ensaios de desempenho de membranas de poliuréia e poliuretano, notadamente, flexão de lajes e abrasão por ação de pneus e seus respectivos ensaios de caracterização. Concluiu-se que os sistemas impermeabilizantes a base de poliuréia aplicada a quente apresentaram melhor desempenho do que os sistemas com os demais elastômeros e foi possível correlacionar o alongamento das poliuréias a quente e a abertura máximas das fissuras das lajes no ensaio de flexão no momento da ruptura de suas respectivas membranas. Foi também possível correlacionar a resistência à abrasão por ação de pneus com o índice de resistência à abrasão obtido pela metodologia da norma DIN ISO 4649.

Palavras chaves: Sistemas Impermeabilizantes; Poliuréia; Poliuretano; Desempenho

1 – INTRODUÇÃO

Os sistemas impermeabilizantes são definidos pela norma brasileira NBR 9575:2010, como sendo conjunto formado pelos materiais e demais insumos dispostos em camadas ordenadas que objetivam a impermeabilidade de uma construção, e tem apresentado considerável evolução tecnológica tanto no aspecto de novos materiais como em novas técnicas de aplicação.

Com o passar do tempo, sistemas a base de asfalto tem recebido adições poliméricas, as mais diversas, com o objetivo de melhorar o desempenho em obras de construção civil. Em paralelo, sistemas a base de cimento também apresentaram evolução substancial tendo em vista o aparecimento e incorporação de novos polímeros que tem possibilitado até mesmo o surgimento de produtos com comportamento elastomérico.

No entanto, vários requisitos mecânicos, químicos ou logísticos, como a necessidade de um produto que tenha alto alongamento, todavia com alta dureza e resistência à tração, resistência ao contato com produtos químicos agressivos ou redução drástica de prazo de execução, não são possíveis de serem cumpridos com os sistemas tradicionais a base de cimento ou asfalto e vários sistemas puramente poliméricos vêm surgindo no âmbito comercial, com o intuito de atender essas solicitações.

Nesse cenário, surgiram, no Brasil, os impermeabilizantes a base de elastômeros de poliuréia e poliuretano entre vários outros comercializados no mercado.

Com o advento desses novos materiais poliméricos, de performance mais elevada se comparado aos materiais tradicionais, outrora destinados a outras diversas aplicações, e hoje, sendo gradualmente modificados para o uso em construção civil, sobretudo como revestimentos impermeabilizantes, novos desafios são lançados. A questão do detalhamento executivo continua sendo importante, todavia, a discussão sobre os critérios de desempenho passa a ser fundamental, pois estes passam a interferir em um nível muito maior na qualidade e durabilidade futura do que os critérios executivos.

Os sistemas impermeabilizantes a base de elastômeros de poliuréia e poliuretano, por serem compostos por materiais de elevado desempenho, destinados a aplicações mais nobres e apresentarem custos mais elevados, justificam a necessidade de um melhor estudo sobre os seus respectivos desempenhos.

Seria esperado que nas normas específicas de cada sistema impermeabilizante, os requisitos de dimensionamento em função do atendimento às características citadas na NBR 9575:2010, fossem abordados, mas o que se verifica é que essas normas se limitam a tipificar os novos materiais impermeabilizantes com relação as suas propriedades e requisitos mínimos de fabricação sem que haja uma correlação entre eles e o desempenho desejado para o sistema aplicado.

Para elucidar o parágrafo anterior, toma-se como exemplo a NBR 15487:2007 "Membrana de Poliuretano para Impermeabilização", que apresenta o requisito de que uma membrana de Poliuretano deve atingir um alongamento mínimo de 50% e resistência à tração na ruptura mínima de 2,0 MPa. No entanto, não sabemos se estes parâmetros são adequados e suficientes para a aplicação em uma laje de concreto armado que apresenta movimentações de origem térmica, estrutural, por carregamento e peso próprio, e até mesmo retrações plásticas e de outras origens.

Portanto, a impermeabilização de elementos construtivos se torna uma atividade totalmente empírica, projetada e especificada com base na experiência do profissional projetista sem qualquer proximidade com aspectos e abordagem científica.

Em paralelo a isso, constata-se a pouca quantidade de artigos técnicos e científicos sobre o tema que não incentivam a pesquisa sobre critérios de dimensionamento de sistemas de impermeabilização.

Nos novos sistemas elastoméricos de Poliuréia e Poliuretano, a aderência completa ao substrato, fazem com que todos os esforços mecânicos da estrutura sejam totalmente transferidos para a camada de impermeabilizante. Este fato, associado à maior simplicidade de aplicação e facilidade nos arremates da camada impermeabilizante, faz com que a incidência de patologias seja alterada e faz-se necessário uma análise bem mais profunda do comportamento estrutural em conjunto com as propriedades do material impermeabilizante.

Percebe-se, portanto, a necessidade de um maior critério quanto à compatibilidade das propriedades mecânicas desses elastômeros com os seus respectivos desempenhos enquanto sistemas impermeabilizantes aplicados, quando for analisada as solicitações às quais serão submetidos.

2 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental desta pesquisa foi dividido em três etapas de acordo com a figura à seguir:



Figura 2.1 - Fluxo do programa experimental

Após a obtenção dos resultados, foram realizadas análises buscando correlações entre as propriedades mecânicas dos materiais e dos respectivos comportamentos de seus sistemas impermeabilizantes.

2.1 – Seleção dos materiais e sistemas de impermeabilização

Para a seleção dos materiais e membranas a serem pesquisados foi feita uma busca no mercado sobre os elastômeros de poliuréia e poliuretano disponíveis e foi adotado como critério principal de escolha como sendo a maior diversificação possível no que diz respeito às características técnicas desses produtos aliado à aceitação dos mesmos na comunidade técnica.

Ou seja, buscou-se produtos que conseguissem a maior variação possível dentro espectro de valores de referência de alongamento, resistência à tração, resistência ao rasgo, dureza, resistências à abrasão e composição química.

Quadro 2.1 – Poliuréias selecionadas para a pesquisa (Bauer e Vasconcelos, 2014)

MEMBRANA SELECIONADA	TIPO DE APLICAÇÃO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	ELASTICIDADE	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E AO RASGO	DUREZA
POLIURÉIA 1	À QUENTE	HÍBRIDA	ALTO ALONGAMENTO	MÉDIA	MÉDIA
POLIURÉIA 2	À QUENTE	PURA	ALTO ALONGAMENTO	MÉDIA	MÉDIA
POLIURÉIA 3	À QUENTE	HÍBRIDA	BAIXO ALONGAMENTO	ALTA	ALTA

Com relação aos poliuretanos, foi selecionado um tipo especial constituído de três camadas distintas indicado, tais quais as poliuréias acima, à impermeabilização e, simultaneamente ao tráfego veicular.

Quadro 2.2 – Valores de referência de algumas propriedades dos poliuretanos selecionadas para a pesquisa (Granato, 2014)

Membrana Selecionada	Teor de sódios	Resistência à Tração na ruptura	Alongamento	Dureza Shore A	
Membrana Multicamadas de Poliuretano	Camada de base	90-92%	3,0 – 3,2 MPa	600-700%	50-60
	Camada Intermediária	82%	5,2 MPa	90%	60-70
	Camada Superior	72%	22 MPa	120%	85-95

Portanto, foram consolidados os seguintes sistemas de acordo com a tabela à seguir para os ensaios.

Quadro 2.3 – Resumo dos sistemas adotados para a pesquisa

MATERIAL PRINCIPAL DO SISTEMA		SISTEMA PESQUISADO	CÓDIGO DA PESQUISA	CAMADAS DO SISTEMA IMPERMEABILIZANTE	TÉCNICA DE APLICAÇÃO	ESPESSURA DESEJADA PARA O ESTUDO
NUMERO	DESCRIÇÃO					
1	POLIURÉIA HÍBRIDA APLICADA A QUENTE COM ALTO ALONGAMENTO	1	1A	PRIMER + POLIURÉIA 1	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		2	1C	PRIMER + CAMADA BASE EM POLIURETANO + POLIURÉIA 1	EQUIPAMENTO PLURAL E DESEMPENADEIRA	3 mm
2	POLIURÉIA PURA APLICADA A QUENTE COM ALTO ALONGAMENTO	3	2A	PRIMER + POLIURÉIA 2	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		4	2C	PRIMER + CAMADA BASE EM POLIURETANO + POLIURÉIA 2	EQUIPAMENTO PLURAL E DESEMPENADEIRA	3 mm
3	POLIURÉIA HÍBRIDA APLICADA A QUENTE COM BAIXO ALONGAMENTO	5	3A	PRIMER + POLIURÉIA 3	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		6	3C	PRIMER + CAMADA BASE EM POLIURETANO + POLIURÉIA 3	EQUIPAMENTO PLURAL E DESEMPENADEIRA	3 mm
4	POLIURETANO	7	4A	MULTICAMADAS DE MEMBRANAS DE POLIURETANO	ROLO + DESEMPENADEIRA METÁLICA	2 mm

2.2 – Ensaios de caracterização

- Alongamento da Ruptura - ASTM D412

Este ensaio foi realizado com o auxílio da máquina universal modelo AME 5, de fabricação da OSWALDO FILIZZOLA, com capacidade de carga máxima de 5 kN, f numa velocidade de tração de 500 mm / minuto. Foi utilizado o corpo de prova tipo D da norma ASTM D412, acoplado a um extensmetro, fornecendo assim o alongamento máximo na ruptura. O alongamento medido em porcentagem é obtido dividindo-se o deslocamento final do trecho central do corpo de prova por 25 mm que é o tamanho inicial deste trecho.

- Resistência à Abrasão – DIN ISO 4649:2006

Para a determinação da resistência à abrasão, foi tomada como base a norma DIN ISO 4649:2007, que é o ensaio mais utilizado no Brasil para esse tipo de avaliação. Para tal foi utilizado o abrasímetro de polímeros de fabricação da MAQTEST.

Este ensaio constitui basicamente da aplicação de um peso de 5N sobre um corpo de prova circular contra uma lixa padrão com seu fator de lixa devidamente aferido. Este corpo de prova percorrerá toda a extensão da lixa numa velocidade padrão, enquanto esta faz o movimento de rotação.

O índice de resistência à abrasão, que é a relação entre a perda de volume da borracha de referência e a perda de volume da membrana testada, dentro das mesmas condições:



Figura 2.2 - (a) Balança de precisão e abrasímetro de polímeros – (b) Corpos de prova do ensaio de abrasão segundo a DIN ISO 4649

2.3 – Ensaio de Desempenho

- Ensaio de Flexão de Lajes

As membranas elastoméricas de Poliuretano e Poliuréia tem uma série de vantagens sobre vários sistemas impermeabilizantes, como por exemplo o fato de não possuírem emendas; no entanto, pelo fato destas serem, totalmente aderidas ao substrato, suas principais patologias estão relacionadas com o aparecimento de fissuras, quando as lajes, sobre a qual estão aplicadas, são submetidas à trabalho, seja por ação de deformação estrutural, seja por ação térmica cíclica.

Para simular essa situação em laboratório, foram moldadas lajes sub armadas (dimensões 200 cm x 50 cm x 7 cm), sobre as quais foram aplicados os sistemas objeto desta pesquisa.



Figura 2.3 – Formas preparadas para receber o concreto para moldagem das lajes.

Neste ensaio, as lajes foram submetidas a uma deformação até uma flecha máxima de 3,5% ou 70 mm, com o auxílio de uma prensa hidráulica com capacidade de 30 t, e foram anotadas a abertura das fissuras na laje de concreto (pela lateral) com o auxílio de um paquímetro até que o momento em que as membranas se rompessem, bem como a flecha no vão central e a carga atuante, melhor ilustrado no croqui da figura 2.5. Como isso foi avaliado a capacidade de cada sistema impermeabilizante de alongar-se sem rompimento de sua membrana pelo efeito da abertura de fissuras na estrutura de concreto.

Conforme já citado, a medição da abertura das fissuras da laje foram executadas pela lateral conforme figura 2.4.

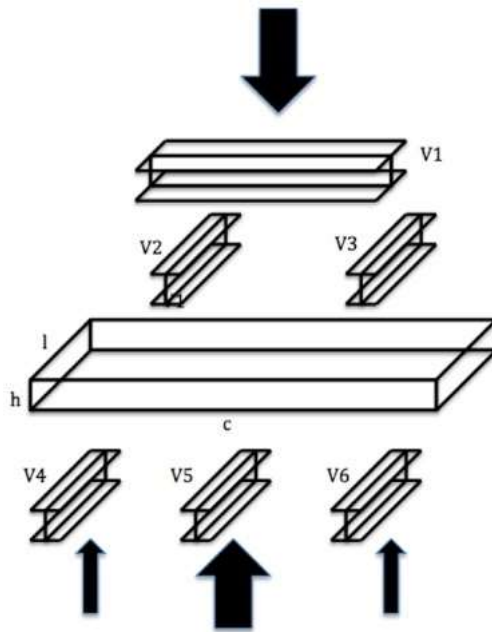


Figura 2.4 – Croqui ilustrativo da maneira de medição das aberturas das fissuras na lateral das lajes com os sistemas impermeabilizantes aplicados

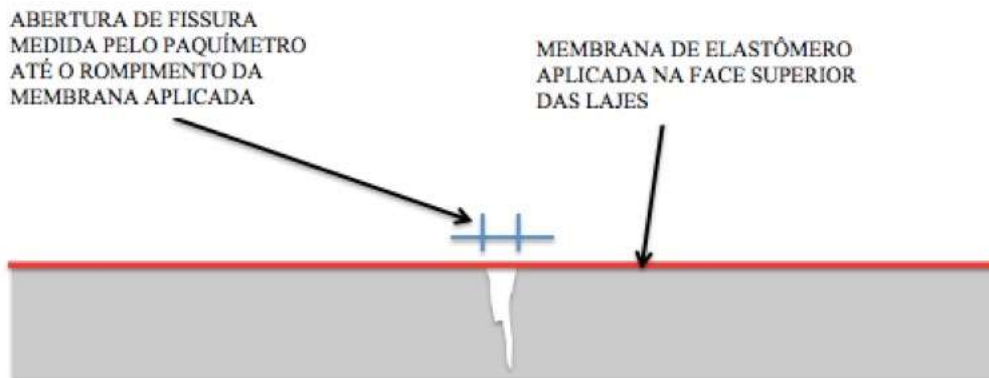


Figura 2.5 - Croqui ilustrativo da maneira de medição das aberturas das fissuras na lateral das lajes com os sistemas impermeabilizantes aplicados

- Ensaio de Abrasão por atrito com pneus

Esse ensaio foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o comportamento das membranas quando sujeitas ao desgaste pela ação de pneus.

A figura 2.6. mostra o projeto do equipamento desenvolvido. É possível observar que um motor é acoplado num redutor que faz com que o eixo gire sobre a laje.

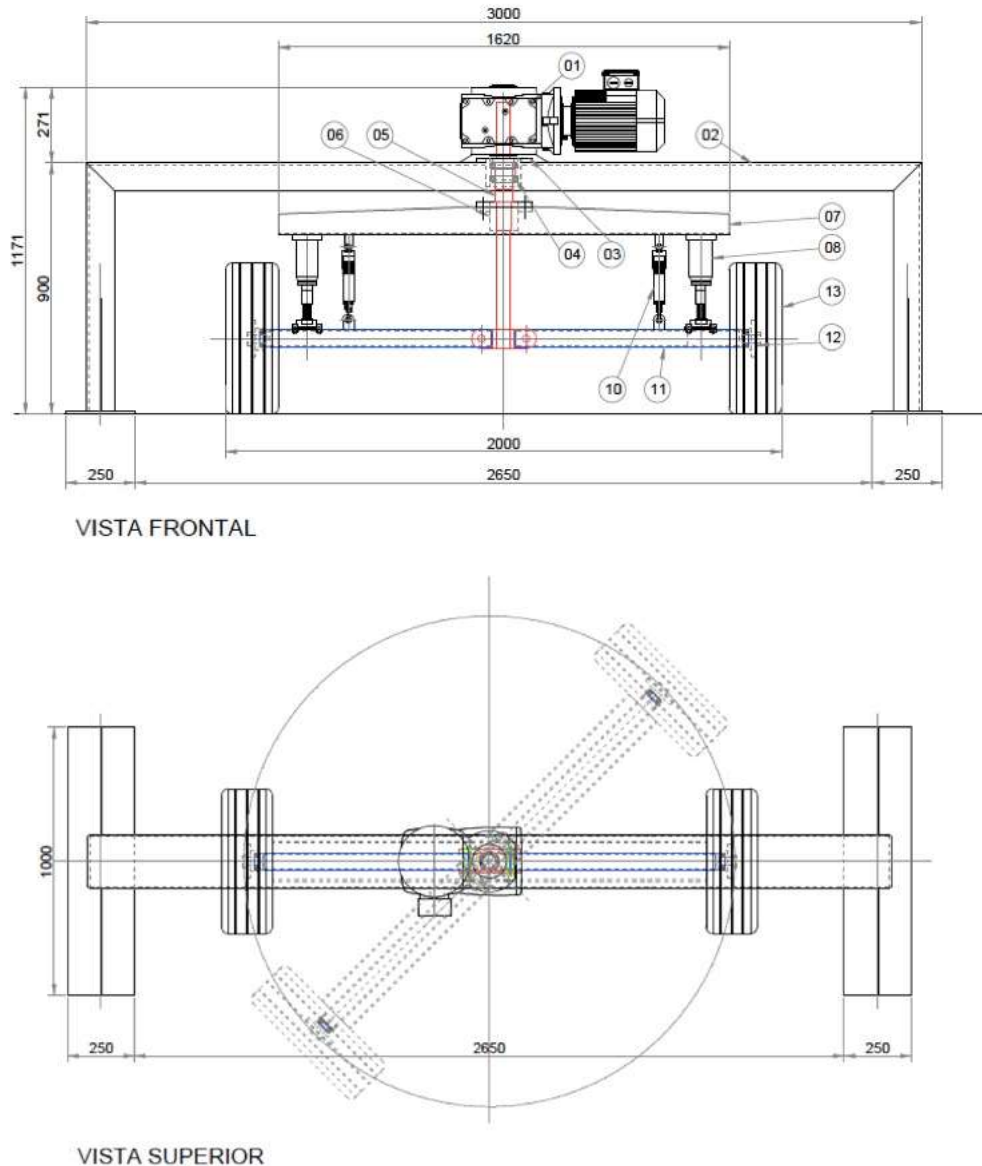


Figura 2.6. - Projeto do equipamento de abrasão sobre pneus.

Nesse ensaio, foi aplicada uma carga de 250 kg em cada macaco hidráulico, perfazendo o mesmo valor de reação em cada pneu sobre o substrato. O valor de 250 kg foi baseado no peso normal de um veículo de passeio que é em torno de 1000 kg dividido em 4 apoios de pneus.

O motor elétrico acoplado ao redutor faz como que o conjunto gire a uma velocidade aproximada de 27,1 km/h (7,53 m/s).



Figura 2.7 – (a) Membranas de poliuréia a quente sobre primer epóxi e também sobre a camada base do sistema de poliuretano e a mambra multicamadas do sistema de poliuretano aplicadas sobre laje de concreto (b) Equipamento de abrasão por atrito de pneus devidamente instalado para a execução do ensaio.

Os ciclos eram interrompidos a cada intercorrência relevante como descolamentos, rompimentos, fissuração das membranas.

3 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1 – Resultados dos ensaios de caracterização

Para as membranas devidamente curadas, foram obtidos os resultados à seguir, de acordo com a metodologia experimental descrita no item anterior.

Quadro 3.1 : Resultado dos ensaios de caracterização

SISTEMA PESQUISADO	ALONGAMENTO EM %	DUREZA (SHORE A)	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO - IRA (%)
1A	338,00	64	90%
2A	383,20	82	78%
3A	74,67	93	63%
4A	82,00	76	38%

É possível notar que no caso das poliuréis, houve uma relação inversa entre a dureza e o IRA(%), que será discutido posteriormente. Verifica-se também que a membrana final do sistema 4A obteve um alongamento inferior ao de cada camada se analisada isoladamente; isso pode ser atribuído à aspersão dos agregados na camada intermediária.

3.2 – Resultado dos ensaios de desempenho

3.2.1 – Flexão de lajes

Após executado os ensaios de flexão das lajes moldadas e com os respectivos sistemas impermeabilizantes aplicados, foi anotado a abertura máxima das fissuras antes do rompimento da membrana impermeabilizante. No caso das membranas 2A e 2C, mesmo a laje tendo chegado em sua flecha máxima por conta da limitação do equipamento, a membrana não chegou a romper.

Quadro 3.2 : Abertura máxima de fissuras nas lajes sujeitas à flexão.

CÓDIGO	IDADE	FECHA MÁXIMA NO VÃO CENTRAL (mm)	CARGA NO MOMENTO DO ROMPIMENTO DA MEMBRANA (t)	ABERTURA MÁXIMA DAS FISSURAS NO ROMPIMENTO DA MEMBRANA NAS LAJES DE CONCRETO (mm)	OBSERVAÇÃO
1A	30/40 DIAS	64,94	6,00	4,98	
1C	30/40 DIAS	21,60	8,00	4,23	
2A	30/40 DIAS	64,53	7,50	10,72	MEMBRANA NÃO RASGOU
2C	30/40 DIAS	68,13	8,50	10,65	MEMBRANA NÃO RASGOU
3A	30/40 DIAS	10,10	9,50	2,95	
3C	30/40 DIAS	11,42	9,50	3,97	
4A	30/40 DIAS	20,51	9,50	2,25	

3.2.2 – Ensaio de Abrasão por ação de pneus

Neste ensaio, foi colocado o elemento giratório sobre pneus, desenvolvido para esta pesquisa para simular o tráfego veicular intenso, em funcionamento direto sobre os sistemas aplicados num piso de concreto devidamente curado.

A cada intercorrência, foram ranqueados o nível de desgaste superficial de todas as membranas aplicadas no piso e a patologia que motivou a intercorrência, conforme a tabela a seguir.

Quadro 3.4 (a) - Intercorrências do ensaio de abrasão por pneus

CICLOS	INTERCORRÊNCIA PRINCIPAL	FOTOS	PATOLOGIA MEMBRANA							DESGASTE SUPERFICIAL						
			1A	2A	3A	4A	1C	2C	3C	1A	2A	3A	4A	1C	2C	3C
0	INICIO DO ENSAIO	a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2160	DESGASTE AVANÇO DO SISTEMA 4A	b	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1
4640	DESCOLAMENTO DA CAMADA DE BASE DO SISTEMA 3C	c	1	1	1	3	1	1	3	1	1	1	4	1	1	1
4960	DESGASTE TOTAL DO SISTEMA 4A	d	1	1	1	3	1	1	3	1	1	1	5	1	1	1
7120	DESCOLAMENTO DA CAMADA DE BASE DO SISTEMA 1C (BOLHAS)	e	1	1	1	3	3	1	3	1	1	1	5	1	1	1
8480	DESCOLAMENTO DA CAMADA DE BASE DO SISTEMA 2C (BOLHAS)	f	1	1	1	3	3	3	4	2	1	1	5	2	1	1
10000	FISUROU O SISTEMA 3A	g	1	1	4	3	3	3	4	3	2	1	5	3	2	1
11200	DESCOLAMENTO EM TODO TRECHO DA CAMADA DE BASE NO SISTEMA 1C E 2C	h, i	1	1	4	3	4	4	4	3	2	1	5	3	2	1
17200	TÉRMINO DO ENSAIO COM OS SISTEMAS 1A E 2A PRÓXIMOS ÀS CONDIÇÕES FINAIS DE SERVIÇO	j, k, l	1	1	4	3	4	4	4	4	3	2	5	4	3	2

Quadro 3.4 (b) – Legenda Quadro 3.4 a

DESGASTE SUPERFICIAL		PATOLOGIA MEMBRANA	
1	SEM DESGASTE APARENTE	1	NENHUMA
2	DESGASTE SUPERFICIAL INICIAL	2	DESCOLAMENTO DO PRIMER
3	DESGASTE SUPERFICIAL MEDIANO	3	DESCOLAMENTO DA CAMDA DE BASE
4	DESGASTE SUPERFICIAL AVANÇADO	4	FISSURAÇÃO
5	DESGASTE TOTAL		

Para efeito de ilustração da pesquisa, a cada intercorrência, fotos eram tiradas e foram organizadas na figura 3.1.



Figura 3.1 - Foto de cada intercorrência no ensaio de abrasão por pneus numeração de acordo com a Tabela 3.4(a)

Ao término deste experimento, foi realizado o ensaio de aderência. Os elementos arrancados foram preparados e devidamente estampados na dimensão do corpo de prova da norma de perda por abrasão DIN ISO 4649:2006, adotada nessa pesquisa. Foi obtida a média das espessuras e massas dos corpos de prova da área externa ao trilho do pneu e subtraído dos resultados de espessura e massa dos corpos de prova retirados da região do trilho do pneu. Com isso determinou-se a perda de massa e de espessura, conforme quadro 3.5.

Quadro 3.5 - Perda de massa e espessura ao término do ensaio de abrasão por pneus.

MEMBRANA	CICLOS TOTAIS	CICLOS EM ESTADO DE SERVIÇO	ESPESSURA INICIAL (mm)	ESPESSURA FINAL (mm)	DIFERENÇA DE ESPESSURA (mm)	MASSA INICIAL (mg)	MASSA FINAL (mg)	DIFERENÇA DE MASSA (mg)	PERDA DE MASSA POR CICLO (mg X 1000)/ciclo	PERDA DE ESPESSURA POR CICLO (mm X 1000)/ciclo
1A	17200	17200	1,98	1,43	0,55	400	281	119	6,90	0,0320
2A	17200	17200	2,04	1,58	0,46	388	282	106	6,13	0,0267
3A	17200	10000	1,73	1,42	0,31	327	254	73	4,23	0,0180
4A	4960	2160	2,11	0,00	2,11	481	0	481	96,96	0,4254
1C	17200	7120	2,44	1,30	1,14	989	723	266	15,45	0,0663
2C	17200	8480	2,22	1,39	0,83	492	279	212	12,34	0,0483
3C	17200	4640	2,43	1,62	0,81	524	322	202	11,74	0,0471

4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

É possível perceber que dos quatro sistemas ensaiados, o de poliuréia a quente pura obteve o melhor desempenho com relação ao ensaio de flexão das lajes, valendo ressaltar que sequer foi possível romper a membrana na deformação máxima do equipamento.

É possível também perceber que tal qual no ensaio de alongamento, os sistemas da poliuréia 3, foi a que menos se deformou em relação à abertura das fissuras na laje e que o sistema de poliuretano multicamadas obteve resultados dentro deste mesmo patamar.

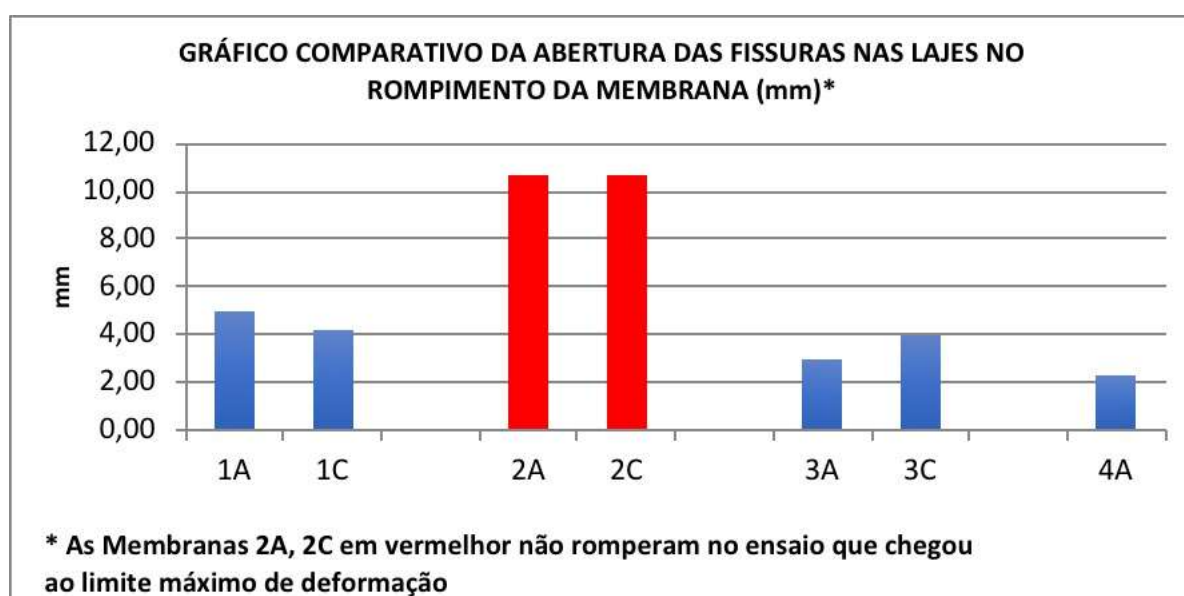


Figura 4.1 – Gráfico comparativo entre a abertura de fissura com o rompimento da membrana impermeabilizante.

No caso em ensaio de abrasão do pneus, o dispositivo criado para essa pesquisa para simular o tráfego de um carro, trafegava ciclicamente por cima de sete sistemas pesquisados. Os sistemas 1A, 2A, 3A, e 4A são recomendados pelos respectivos fabricantes para tráfego veicular, sendo que as membranas 1C, 2C, e 3C seriam uma tentativa de se criar um sistema híbrido de poliuréia com camada base em poliuretano que pudesse ter propriedades melhores que os seus sistemas originais. Todavia, isso não foi observado, também nesse ensaio.

Analisando-se o número de ciclos totais (no qual a membrana ficou recebendo a ação cíclica dos pneus) e os ciclos em condições de serviço do sistema (que é a quantidade de ciclos que a membrana recebeu sem que houvesse patologia que restringisse o uso em situações de serviço), obtém-se a figura 4.2.

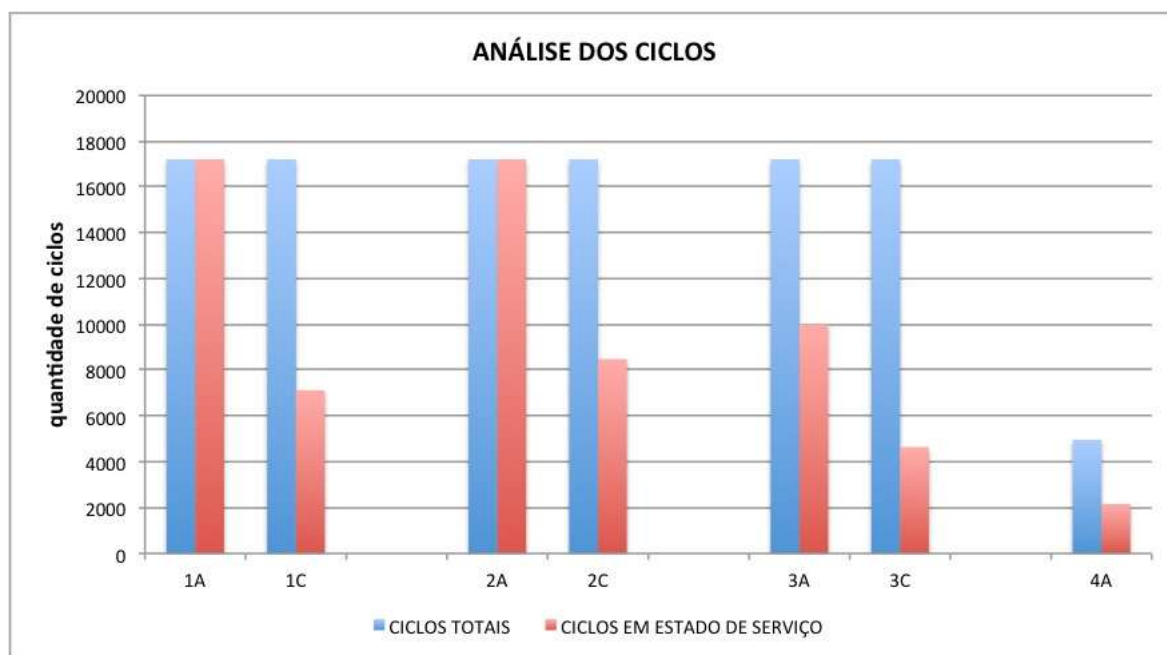


Figura 4.2 - Ciclos totais recebidos por cada sistema aplicado no piso e ciclos máximo que cada sistema permaneceu em estado de serviço

No caso da abrasão dos pneus é possível observar que os sistemas 1A e 2A, ao término do ensaio ainda estavam, apesar de desgastados, em condições de serviço, conforme a figura 3.1 apresentadas no item 3. A membrana 3A resistiu, em condições de serviço, apenas cerca da metade de seus pares 1A e 2A. Partindo do pressuposto que suas respectivas aderências à tração apresentaram resultados semelhantes, leva-se a crer que a hipótese mais provável para tal ocorrência está ligada à menor elasticidade do sistema 3A, principalmente se considerarmos que esta membrana chegou a se fissurar e posteriormente se descolar do piso, com a ação direta dos pneus.

As membranas que dispunham de camada de base em poliuretano (1C, 2C, 3C) resistiram cerca da metade dos ciclos que seus pares aplicados diretamente sobre primer base epóxi. A patologia apresentada em todos os esses sistemas esta relacionada ao descolamento da camada de base do poliuretano do piso. Tendo em vista que a resistência de aderência apresentou resultados satisfatórios, leva-se a crer que a hipótese mais provável para essa ocorrência seria a menor resistência da camada de base em poliuretano de resistir o esforço de cisalhamento imposto pela ação dos pneus, conforme o croqui ilustrado na figura 4.3.



Figura 4.3 - Croqui esquemático do esquema de forças atuantes no ensaio de abrasão por ação de pneus sobre os sistemas com camada base em Poliuretano

Na figura 4.3 é possível observar o esquema de forças que atuam no sistema impermeabilizante. O atrito do pneu na camada superior do sistema (membrana de poliuréia) gera uma força de reação que é transmitida para a camada de base (poliuretano) gerando um esforço de cisalhamento nesta última camada, que não correspondeu a um bom desempenho se comparado aos sistemas de monocamada de membranas de poluréia (1A, 2A, 3A).

Outro fato que corrobora essa conclusão é que os sistemas 1C, 2C e 3C primeiro apresentaram o aparecimento de bolhas, para depois se rasgarem, o que demonstra que a nucleação da patologia se deu à partir da camada de base. O mesmo efeito ocorreu na membrana 4A, que se degradou muito rapidamente.

As perdas de espessura e de massa ao término do ensaio, em função do número de ciclos totais, podem ser expressadas pela figura seguinte.

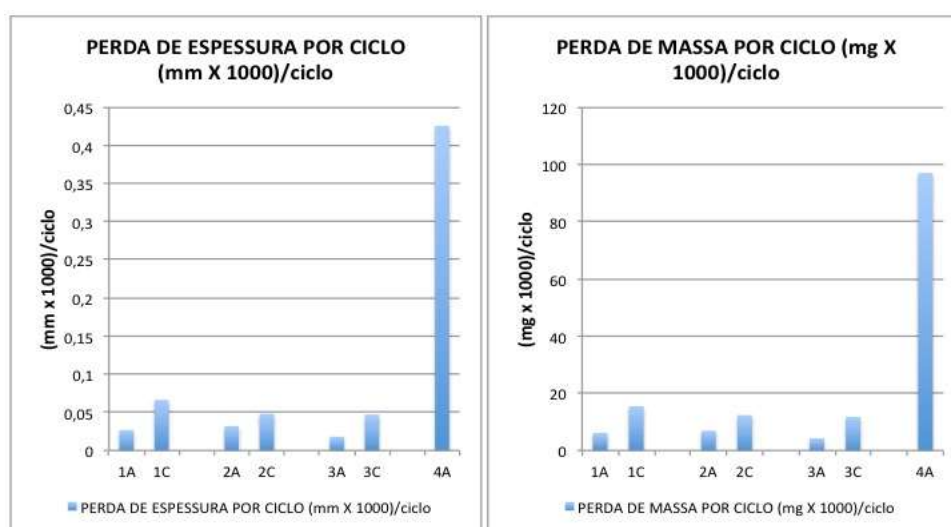


Figura 4.4 - Análise comparativa de perdas de espessura e massa por ciclos totais no ensaio de abrasão por ação

5 – CONCLUSÕES

- A poliuréia 1 obteve um bom resultado de alongamento se comparado aos demais sistemas. A poliuréia 2, apesar de ter apresentado o mesmo patamar de resultado de alongamento da poliuréia 1, conseguiu se deformar e se acomodar por sobre aberturas maiores de fissuras nos ensaios de flexão das lajes. Ainda nestes ensaios, a poliuréia 3, se comportou conforme se esperava tendo em vista os baixos resultados de alongamento obtidos no ensaio de caracterização de sua membrana.
- O sistema a base de poliuretano em multi-camadas (4A) apresentou resultados nos ensaios de caracterização abaixo do que se esperava, de acordo com a ficha técnica do fabricante. As camadas que compõe o sistema, tem valores diferentes de alongamento, dureza e resistência à tração de acordo com os dados do quadro 2.2, no entanto, foi considerado, nessa pesquisa a caracterização da membrana final, ou seja, todas as três camadas juntas. O alongamento, resistência à tração, resistência ao rasgo, e a abrasão resultaram em valores baixos se comparados aos sistemas baseados em poliuréia. Os ensaios de desempenho desse sistema refletiram os baixos resultados dos ensaios de caracterização. No ensaio de flexão de lajes e vigas, se comportou no mesmo patamar dos sistemas da poliuréia 3. O destaque mais negativo ficou para o ensaio de abrasão por pneus. Apesar do ensaio de abrasão pela norma DIN ISO 4649 ter apresentado resultados em valores inferiores aos das membranas de poliuréia, no ensaio de abrasão por pneus, esse sistema não resistiu sequer a um terço dos ciclos em estado de serviço, do pior desempenho entre as poliuréias.
- Para o grupo de poliuréias aplicadas a quente, foi possível observar uma correlação entre a dureza e o ensaio de abrasão por pneus, bem como , entre o ensaio de abrasão por lixamento (DIN ISO 4649) e o ponto mais relevante é que essas correlações são inversamente proporcionais. Ou seja, as poliuréias mais duras, foram mais abradidas no ensaio da norma referida enquanto, quando submetida ao atrito dos pneus, pouco se desgastaram. No entanto, não se pode concluir que as poliuréias mais duras são melhores para tráfego veicular pela menor abrasão por ação de pneus, tendo em vista que resistiram menor quantidade de ciclos de tráfego dos pneus, por não terem suportado os esforços mecânicos inerentes ao ensaio, e com isso, terem se fissurado e posteriormente se descolado do substrato.
- Finalmente, conclui-se a importância de se valer cada vez mais de ensaios de desempenho para a realização de melhores especificações. A norma brasileira que apresenta os requisitos mínimos de membranas de poliuréia já foi redigida, todavia, tal qual a norma de poliuretanos para impermeabilização, não oferece parâmetros de especificação ou dimensionamento das características técnicas de uma membrana em função do local e solicitação às quais será submetida.
- Como sugestão, sugere-se que seja feita uma norma específica para dimensionamento de membranas moldado em loco (seja qual base química for) em função dos requisitos mecânicos, físicos e químicos as quais estarão sujeitas quando aplicadas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D412; Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers - Tension (D412 – 06a). ASTM, West Conshohocken, 2013.

_____. ASTM D2240. "Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness (D2240 – 05)". ASTM, West Conshohocken, 2010.

_____. ASTM D4060. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser (D4060 – 10)." ASTM, West Conshohocken, 2010.

_____. ASTM G154. "Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials (G154 – 12a)". ASTM, West Conshohocken, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9229. Mantas de butil para impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

_____. NBR 9396. Elastômeros em solução para impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. NBR 9574. Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. NBR 9575. Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. NBR 15487. Membrana de poliuretano para impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. NBR 16545. Revestimentos de alta espessura com sistemas de poliuréia/poliuretano – Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro, ABNT, 2016

BAUER, Elton; GRANATO, José Eduardo; VASCONCELOS, Paulo H. IBRACON - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, CAP 41 Sistemas de Impermeabilização e Isolamento Térmico. São Paulo, IBRACON, 2007.

BAUER, Elton; VASCONCELOS, Paulo H. Comparação de Propriedades Mecânicas de alguns Impermeabilizantes a Base de Elastômeros de Poliuréia Disponíveis no Brasil, Congresso Internacional de Poliuretanos, FEIPUR, São Paulo, 2014.

DEUTSCHE NORM ISO 4649:2006 - Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device; DIN, Berlin, 2006

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, ETAG 005: PART 1. General – Bruxelas, EOTA, 2004

_____, ETAG 005: PART 6. Specific Stipulations For Kits Based On Polyurethane – Bruxelas, EOTA, 2004

GRANATO, José Eduardo. Sistemas de Impermeabilização de Poliuretano Expostos às Intempéries e Sujeitos a Trânsito de Pessoas ou Veículos. Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, IBI, São Paulo, 2014

OLIVEIRA, P. S.; Engenharia de Polímeros – PU e Poliuréia. Apostila – Qualificação profissional em projetos e consultoria de impermeabilização. São Paulo:PINI, 2004.

PICCHI, Flávio Augusto. Impermeabilização de Coberturas, PINI, São Paulo, 1986

PRIMEAUX, Dudley J. II; HANSON, Lee; SCOTT, Ray V. The True Polyurea Spray Elastomer Story: Chemistry, Advances and Applications, Apresentação no Encontro da Associação de Formuladores de Resinas Termofixas no Hyatt Regency Montreal em Montreal, Quebec, Canada; Setembro - 2006.

RAMAN S.N.; NGO T.; LU J.; MENDIS P. Experimental Investigation on the Tensile Behavior of Polyurea at High Strain, Materials and Design, Elsevier, Oxford, Reino Unido, 2013

RETO, Maria A. S.. Poliuretano, Revista PLASTICO MODERNO, edição 419; São Paulo, Setembro 2009

ROLAND, C.M.; TWIGG J.N.; VU Y.; MOTT, P.H.. High strain rate mechanical behavior of polyurea; Polymer, ScienceDirect, Whashington DC, EUA, 2006

TAKAGI, E. M.; ALMEIDA JUNIOR, W. Utilização de tecnologias de injeção para o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado. IBRACON, São Paulo, 2002.

TRIPP Ishmael; MOON, Neil; BLOSSER, Catherine. Low Pressure Applied Polyurea – The Next Generation; Elastomer Specialties Division - 2002

THE SOCIETY FOR PROTECTIVE COATING, SSPC 14. Application of Thick Film Polyurea and Polyurethane Coatings to Concrete and Steel Using Plural-Component Equipment, Pittsburgh, EUA, 2013.

____SSPC 45. "Two-Component, Thick-Film Polyurea and Polyurea/Polyurethane Hybrid Coatings, Performance-Based". SSPC, Pittsburgh, EUA, 2013.

VASCONCELOS, Paulo Henrique; GRANATO, José Eduardo; CAMPIOTO, Everton; Impermeabilização De Lajes De Estacionamento De Veículos; Blog Materiais e Materiais – LEM - UnB, Brasília, 2012

VILAR, Walter - Química e Tecnologia de Poliuretanos, 3a Ed., Vilar Consultoria, Rio de Janeiro, Dez/2004.



Instituto de
Impermeabilização

<http://ibibrasil.org.br/>