

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## Desempenho de Tintas de Poliuretano Alifático à Radiação Ultravioleta e Condensação de Umidade

Fernando de L. Fragata<sup>a</sup>; Cristina C Amorim<sup>b</sup>; Alberto Ordine<sup>c</sup>; Bartolomeu N. Cordeiro<sup>d</sup>

### Abstract

Aliphatic polyurethane paints have different physico-chemical properties of great importance for the industrial sector, in terms of corrosion protection. Among the most important we can mention the excellent resistance to sunlight, especially to ultraviolet radiation. So, this property gives excellent color retention and gloss as well as remarkable resistance to the formation of chalking on the film surface. In recent years it has been observed in some maintenance works in the electric sector, an unexpected performance in terms of color and gloss retention, and also regarding the presence of chalking in a short time of exposure to natural weathering. This study evaluated the performance of eight aliphatic polyurethane paints from different manufacturers, with respect to resistance to ultraviolet radiation and condensation of moisture (ASTM G 154, cycle 3). The results show that the aliphatic polyurethane paints can have different performance depending on the formulation and production technology of each manufacturer. It also allowed to obtain important technical data about the resistance to ultraviolet radiation, contributing to the development of aliphatic polyurethane paint technical standards.

**Keywords:** poliuretano, ultraviolet, resistance.

### Resumo

As tintas de poliuretano alifático possuem diversas propriedades físico-químicas de grande importância para o setor industrial, no campo da proteção anticorrosiva. Dentre as mais importantes pode-se citar a excelente resistência à radiação solar, em especial aos raios ultravioleta. Tal fato faz com que estas tintas possuam excelente retenção de cor e de brilho e resistência ao aparecimento do fenômeno de empoeamento (“gizamento”/chalking) na superfície da película. Nos últimos anos tem-se observado, em algumas obras no setor elétrico, que tais tintas não vêm apresentando seu desempenho característico. Neste trabalho foram avaliadas oito tintas de poliuretano alifático, provenientes de diferentes fabricantes, no que diz respeito à resistência à radiação ultravioleta e condensação de umidade (ASTM G 154, ciclo 3). Os resultados obtidos mostram que as tintas de poliuretano alifático podem apresentar desempenhos muito diferentes dependendo da tecnologia de formulação e fabricação de cada fabricante. Além disso, obteve-se dados técnicos importantes, quanto à resistência à radiação ultravioleta, o que contribui para a elaboração de normas técnicas de tintas de poliuretano alifático.

**Palavras-chave:** poliuretano, ultravioleta, resistência.

<sup>a</sup> Engenheiro Químico - Eletrobras Cepel

<sup>b</sup> M.Sc. Química Industrial - Fundação Padre Leonel Franca

<sup>c</sup> D.Sc. Engenheiro Químico - Eletrobras Cepel

<sup>d</sup> Engenheiro Eletricista - Chesf

## 1. Introdução

As tintas de poliuretano alifático possuem diversas propriedades físico-químicas de grande importância para o setor industrial, no campo da proteção anticorrosiva. Dentre as mais importantes pode-se citar a excelente resistência à radiação solar, em especial aos raios ultravioleta. Tal fato faz com que estas tintas possuam excelente retenção de cor e de brilho e resistência ao aparecimento do fenômeno de empoamento (“gizamento”/ *chalking*) da película. Nos últimos anos tem-se observado, em algumas obras no setor elétrico, que tais tintas não vêm apresentando seu desempenho característico.

Face ao exposto, o CEPEL e a Chesf decidiram realizar um estudo com objetivo de avaliar o desempenho de várias tintas de poliuretano alifático, bem como o de obter dados que possibilitem, com segurança, a elaboração de especificações técnicas. Tais especificações permitirão às empresas do setor elétrico a aquisição de tintas com o padrão de qualidade desejado, no que diz respeito à resistência à radiação solar.

Para a realização deste estudo, vários fabricantes tradicionais de tintas anticorrosivas foram convidados a participar, sendo lhes solicitado o envio de amostras de tintas de poliuretano acrílico alifático com excelente resistência à radiação ultravioleta. Utilizou-se um ensaio de exposição à radiação ultravioleta (UV) e condensação de umidade em laboratório, para a avaliação do desempenho das tintas por meio das medições de brilho e de empoamento ao longo do período de exposição dos corpos-de-prova dentro da câmara de ensaio.

Os resultados obtidos permitiram atingir o objetivo proposto e observou-se que as tintas de poliuretano alifático, dependendo da tecnologia de formulação e fabricação, podem apresentar desempenhos bem diferentes. Além disso, constatou-se que a simples identificação das resinas das tintas, pela técnica de espectroscopia na região do infravermelho, mesmo estando os espectros em conformidade com a norma, não é suficiente para assegurar que as tintas irão apresentar o desempenho esperado, no que diz respeito à resistência à radiação solar. Portanto, os ensaios de exposição à radiação ultravioleta são fundamentais nos processos de qualificação e de controle de qualidade das tintas de acabamento poliuretano alifático.

É importante ressaltar que não esteve em julgamento a idoneidade ou capacidade técnica dos fabricantes de tintas que contribuíram para a realização do estudo em questão.

## 2. Alguns Fatores que Influenciam o Desempenho das Tintas de Poliuretano Alifático

Os poliuretanos são polímeros obtidos a partir da reação química de condensação de compostos poli-hidroxilados (polióis) com poliisocianatos, conforme ilustrado na reação a seguir (1).



Atualmente, os polióis mais utilizados na fabricação de tintas de acabamento poliuretânicas, principalmente no campo da proteção anticorrosiva, são os poliésteres poli-hidroxilados e as resinas acrílicas poli-hidroxiladas, sendo estas últimas mais recentes que as primeiras. Quanto

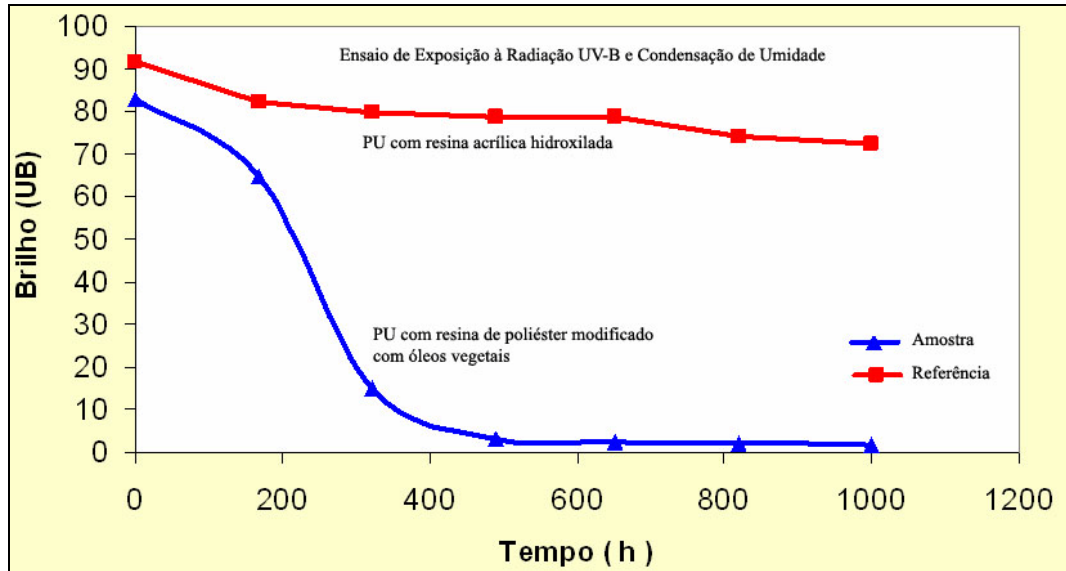
---

aos poliisocianatos, os tipos alifáticos, que resultam nas tintas de poliuretano alifático, são os mais utilizados por proporcionarem películas com excelente resistência à radiação solar, enquanto os tipos aromáticos são indicados para ambientes internos, pelo fato de possuírem fraca resistência à radiação solar.

Nos últimos anos, as tintas de acabamento poliuretano acrílico alifático (reação de resina acrílica hidroxilada com poliisocianato), vêm sendo bastante utilizadas em diversos segmentos da indústria, pois possuem melhor resistência à radiação solar do que aquelas produzidas com poliésteres ortoftálicos hidroxilados tradicionais. Contudo, é importante ressaltar que as tintas de poliuretano feitas com poliésteres e poliisocianatos proporcionam películas com melhores propriedades físico-químicas como, por exemplo, melhor resistência a produtos químicos (ácidos, solventes, etc) e melhor resistência à abrasão, do que aquelas produzidas com resinas acrílicas (2). Neste trabalho, o foco será as tintas de poliuretano acrílico alifático por serem as que estão sendo mais utilizadas no setor elétrico no momento. Isto também se observa, por exemplo, na PETROBRAS que possui uma norma para este tipo de tinta, a N 2677 (3).

Existem diversos fatores que podem influenciar o desempenho e as propriedades físico-químicas das tintas de poliuretano alifático, principalmente com relação à resistência à radiação solar, em especial aos raios ultravioleta. Dentre os fatores mais importantes, pode-se citar:

- ✓ **Seleção e qualidade das resinas:** sendo as resinas os constituintes responsáveis pela formação da película, a maioria das propriedades físico-químicas das tintas depende do tipo e da qualidade das mesmas. A utilização de resinas em não conformidade com a especificação técnica das tintas, assim como a modificação das mesmas com resinas de menor resistência, visando a redução do custo final do produto, certamente, afetará o desempenho da película. Na Figura 1 mostra-se um caso real, onde uma determinada empresa, no processo de compra, exigiu que a tinta fosse poliuretano acrílico. A tinta entregue pelo fabricante foi analisada e constatou-se que a resina hidroxilada correspondia a um poliéster ortoftálico modificado com óleos vegetais. Portanto, totalmente fora de especificação e este fato por si só foi suficiente para reprovar a tinta. Porém, realizou-se um trabalho adicional para se verificar o efeito desta não conformidade no desempenho da tinta, no que diz respeito à resistência à radiação ultravioleta (UV-B) e condensação de umidade, segundo a norma ASTM G 154 (4). O ensaio teve a duração de 1000 h e durante este tempo foi feita a monitoração do brilho das películas das duas tintas, a amostra enviada pelo cliente e uma de referência de poliuretano acrílico alifático. Como pode ser observado, a amostra enviada (fora de especificação) apresentou um desempenho substancialmente inferior ao da tinta de referência.



**Figura 1 - Efeito das resinas hidroxiladas (acrílica e poliéster modificado com óleos vegetais) nas medidas de brilho, ao longo do tempo de ensaio de exposição à radiação UV-B e condensação de umidade**

- ✓ **Relação estequiométrica ( $-NCO/OH$ ):** Na reação química mencionada, para formar o filme de poliuretano, pode-se observar que, como toda reação química, existe uma estequiometria a ser respeitada. As quantidades das resinas envolvidas na reação podem ser calculadas facilmente utilizando o peso equivalente de cada uma. A própria literatura dos fabricantes de resinas contém estas informações. Em geral, trabalha-se com uma relação ( $-NCO/OH$ ) igual a 1. Uma relação inferior a esta pode trazer prejuízos à resistência da película. Alguns fabricantes costumam trabalhar com um excesso adicional de poliisocianato, da ordem de 5%, para compensar eventual umidade presente nos pigmentos ou traços de água nos solventes. Com isso, evita-se reduzir o teor de  $-NCO$  na reação.

Outro aspecto importante a destacar é que, nos polímeros, quanto maior o número de ligações cruzadas, que depende diretamente do número de grupamentos reativos, melhor tende a ser a resistência das películas das tintas. Por desconhecimento ou por razões econômicas (para baratear o custo final do produto) alguns profissionais utilizam resinas com baixo teor de  $-OH$  fazendo com que seja necessária menor quantidade de poliisocinato para reagir. Com isso, tem-se um menor número de ligações cruzadas. O produto final será um poliuretano, mas não com a qualidade desejada, quando se necessita de excelentes propriedades físico-químicas da película.

- ✓ **Presença de aditivos foto-estabilizantes:** Estes aditivos melhoram substancialmente a resistência das tintas à radiação solar e, como consequência, as tintas têm melhor retenção de cor e de brilho. Além disso, retardam, de forma significativa, a ocorrência do processo de empouamento da película. Os foto-estabilizantes mais utilizados em tintas são os absorvedores de ultravioleta e os supressores de radicais livres. No primeiro caso, eles atuam absorvendo a energia luminosa na região do ultravioleta e dissipando-a em forma de energia térmica por meio de reações químicas que regeneram o absorvedor (5,6). Podem ser de diferentes tipos, sendo bastante comuns aqueles a base de hidroxibenzofenona e benzotriazol. No segundo caso, o que ocorre é

a supressão de radicais livres, retardando o processo de envelhecimento dos polímeros. Estas substâncias são conhecidas como *HALS (Hindered Amine Light Stabilizer)*.

Em muitos casos, uma combinação adequada dos dois tipos de foto-estabilizantes mencionados proporciona às tintas uma excelente resistência à radiação solar. Cabe, portanto, aos fabricantes utilizarem os aditivos mais adequados para que as tintas apresentem o desempenho esperado.

- ✓ **Tipo e qualidade dos pigmentos:** apesar dos pigmentos não terem um efeito tão marcante quanto ao das resinas, no que diz respeito à resistência à radiação ultravioleta, o fato é que, dependendo da sua estrutura e pureza, eles podem contribuir no processo de envelhecimento da película.

### 3. Metodologia

#### 3.1 Tintas utilizadas no estudo: códigos e características técnicas

Foram ensaiadas oito tintas de poliuretano alifático, todas na cor branca, as quais foram codificadas como **T1**, **T2**, **T3**, **T4**, **T5**, **T6**, **T7** e **T8**. Na Tabela 1 apresentam-se algumas características técnicas das referidas tintas. É importante destacar que, no caso da tinta **T2**, a pedido do CEPEL, a resina do componente **A** correspondia a um poliéster hidroxilado especial e não a uma resina acrílica hidroxilada. Esta tinta foi inserida no estudo pelo fato de já se possuir informações técnicas bastante positivas com relação ao desempenho das tintas de poliuretanos feitos com a mesma. Portanto, foi uma tinta de referência para o estudo em questão. No caso da tinta **T8**, a resina do componente **A** foi fornecida em desacordo com o que foi solicitado ao seu fabricante e correspondia a um poliéster ortoftálico. Os dados referentes aos teores de sólidos por massa e de sólidos por volume foram obtidos diretamente junto aos respectivos fabricantes das tintas. Os demais dados foram determinados pelo CEPEL, através da realização dos seguintes ensaios:

- **Identificação das resinas:** foi feita por meio da técnica de espectroscopia na região do infravermelho;
- **Poder de cobertura ou opacidade:** este ensaio foi realizado através do equipamento “criptômetro *Pfund*”, utilizando-se a placa 7. O valor é expresso em milímetros (mm), que corresponde ao deslocamento da placa. Quanto maior for este valor, mais baixo é poder de cobertura da tinta e,
- **Descaimento:** este ensaio foi realizado utilizando-se o aplicador da *ERICHSEN®* modelo 421/1, aplicando-se as tintas sobre uma base não aderente. O resultado, em micrometros ( $\mu\text{m}$ ), corresponde à espessura seca máxima que se obteve, sem que a tinta apresentasse escorrimento, numa superfície vertical, para a espessura de filme úmido correspondente.

Adicionalmente, duas tintas foram utilizadas no estudo, para fins de comparação: tinta alquídica branca brilhante, norma PETROBRAS N 2492 (7) e esmalte epóxi-poliamida branco brilhante. No caso da primeira, o código adotado foi **ALK** e no da segunda, **EPX**. Ambas correspondem a produtos comerciais de boa qualidade, comprovada através de ensaios prévios realizados no CEPEL.

Tabela 1 – Características técnicas das tintas de poliuretano alifático

Tinta	Resina		Poder de cobertura (mm)	Descaimento ( $\mu\text{m}$ )	Sólidos por massa (%)	Sólidos por volume (%)
	Comp. A	Comp. B				
<b>T1</b>	Acrílica Hidroxilada	Poliisocianato Alifático	10	86	71,5	63,1
<b>T2</b>	Poliéster	Poliisocianato Alifático	11	24	65,0	53,0
<b>T3</b>	Acrílica Hidroxilada	Poliisocianato Alifático	9	51	72,0	64,0
<b>T4</b>	Acrílica Hidroxilada	Poliisocianato Alifático	9	85	74 $\pm$ 2	63 $\pm$ 2
<b>T5</b>	Acrílica Hidroxilada	Poliisocianato Alifático	(*)	(*)	78,0	65,0
<b>T6</b>	Acrílica Hidroxilada	Poliisocianato Alifático	8	71	77 $\pm$ 2	65 $\pm$ 2
<b>T7</b>	Acrílica Hidroxilada	Poliisocianato Alifático	10	32	(**)	(**)
<b>T8</b>	Poliéster Ortoftálico	Poliisocianato Alifático	9	54	(**)	(**)

(\*) Ensaio não realizado.

(\*\*) Informação não fornecida pelo fabricante.

### 3.2 Preparação dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram confeccionados a partir de chapas de aço-carbono 1020, com grau A de oxidação, portanto com carepa de laminação intacta, conforme ISO 8501-1 (8), com dimensões de 150 mm x 98 mm e espessura de 6,4 mm. A preparação de superfície constou de desengorduramento por meio de solventes orgânicos, seguido de jateamento abrasivo ao metal branco, grau ASa3 da norma ISO 8501-1 (8). O abrasivo utilizado foi granalha de aço e o perfil de rugosidade ficou compreendido entre (30 e 60)  $\mu\text{m}$ . Em seguida, aplicou-se uma demão de tinta de fundo epóxi-poliamida pigmentada com fosfato de zinco, na cor cinza, com espessura aproximada de 120  $\mu\text{m}$ . Posteriormente, foram aplicadas três demãos de tinta poliuretano alifático (**T1** a **T8**), com intervalo de 24 h entre demãos. A espessura seca por demão foi, aproximadamente, 50  $\mu\text{m}$ . O mesmo critério foi adotado na confecção dos corpos-de-prova revestidos com as tintas de acabamento alquídica e epóxi. No caso da tinta alquídica, a espessura seca por demão foi de, aproximadamente, 30  $\mu\text{m}$ .

Para cada tipo de tinta de acabamento, foram confeccionados quatro corpos-de-prova, sendo que três foram submetidos ao ensaio de exposição à radiação ultravioleta e condensação de umidade, enquanto que o outro foi utilizado para fins comparativos no processo de avaliação do desempenho das tintas. O tempo de cura dos revestimentos, antes da realização do ensaio mencionado anteriormente, foi de, no mínimo, 15 dias.

### 3.3 Ensaio de exposição à radiação ultravioleta (UV-B) e condensação de umidade

Este ensaio foi realizado em conformidade com a norma ASTM G 154 (4), utilizando-se o ciclo 3 (ver nota). Os dados referentes às condições de realização do ensaio estão descritos a seguir.



- ✓ Lâmpada UVB-313
- ✓ Irradiância: 0,49 W/m<sup>2</sup>.nm
- ✓ 8 h de exposição à radiação UVB e temperatura de corpo negro de (70 ±3) °C e,
- ✓ 4 h de condensação de umidade e temperatura de corpo negro de (50 ±3) °C

*Nota:* A utilização das lâmpadas fluorescentes UV-B ao invés das lâmpadas fluorescentes UV-A foi com objetivo de se obter dados técnicos, a respeito do desempenho das tintas, em curto período de tempo. Embora se saiba que a radiação UV-A é a que tem melhor correlação com o espectro da radiação solar, o fato é que o ensaio, para tintas de alto desempenho, exige longos tempos de exposição, em muitos casos superiores a 4000 horas, para se ter informações consistentes a respeito do desempenho das tintas. Em trabalho realizado anteriormente (6), verificou-se que, qualitativamente, é possível utilizar a radiação UV-B, sem prejuízo aos resultados finais de avaliação, quando o objetivo é apenas a comparação de desempenho de diferentes tintas. Isto reduz drasticamente o tempo necessário para se emitir um parecer sobre o desempenho das tintas.

O ensaio teve a duração de 2000 horas de exposição. Nas primeiras semanas, as inspeções dos corpos-de-prova foram feitas a cada 48 horas de exposição. Posteriormente, a partir do momento em que as variações passaram a ser menores, as mesmas passaram a ser realizadas após cada 168 horas (semanalmente).

### 3.4 Parâmetros de avaliação de desempenho das tintas

A avaliação do desempenho das tintas foi realizada através da variação de brilho e do grau de empoamento (“gizamento”/*chalking*) das películas ao longo do ensaio de exposição à radiação UVB e condensação de umidade. A medição de brilho das películas das tintas foi realizada segundo a na norma ASTM D 523 (9), utilizando-se o ângulo de incidência de 60°. Os resultados obtidos são expressos em unidades de brilho (UB).

A determinação do grau de empoamento ao longo do ensaio foi realizada por dois métodos diferentes, a saber: ISO 4628/6 (10) e *Helmen*<sup>®</sup>. A avaliação do empoamento pela norma ISO 4628/6 (10) envolve a fixação de uma fita adesiva transparente à superfície do revestimento. Após a sua remoção, determina-se o grau de empoamento através de comparação com padrões visuais contidos na norma. O grau de empoamento pode variar desde 0 (zero), que indica a ausência de pó, até 5 (cinco), que corresponde a uma intensa quantidade de pó na superfície.

Quanto à avaliação segundo o método *Helmen*<sup>®</sup>, tal como no caso anterior, fixa-se uma fita adesiva transparente à superfície do revestimento. Após a sua remoção, o grau de empoamento é determinado num equipamento especial que mede a diminuição da intensidade de luz que atravessa a fita adesiva. Neste caso, o resultado é expresso em porcentagem (%). Valores abaixo de 10%, em geral, indicam ausência de empoamento na película de tinta. Na Figura 2 mostra-se o equipamento *HELMEN*<sup>®</sup> *Chalking Tester H100*, utilizado na medição do empoamento.



Figura 2 – Equipamento utilizado na avaliação do empouamento pelo método *Helmen*®

#### 4. Resultados e Discussão

##### 4.1 Medição do brilho das tintas e considerações técnicas sobre as resinas das tintas T1 e T7

Na Figura 3 apresentam-se os valores de brilho das tintas, ao longo das 2000 horas de exposição à radiação UV-B e condensação de umidade. Na Tabela 2 mostram-se os valores de brilho inicial das tintas, bem como os de brilho e retenção de brilho após 1060 h e 2000 h de exposição na câmara de ensaio. Neste caso, o objetivo é facilitar a utilização dos dados na elaboração de especificações técnicas de tintas de poliuretano alifático.

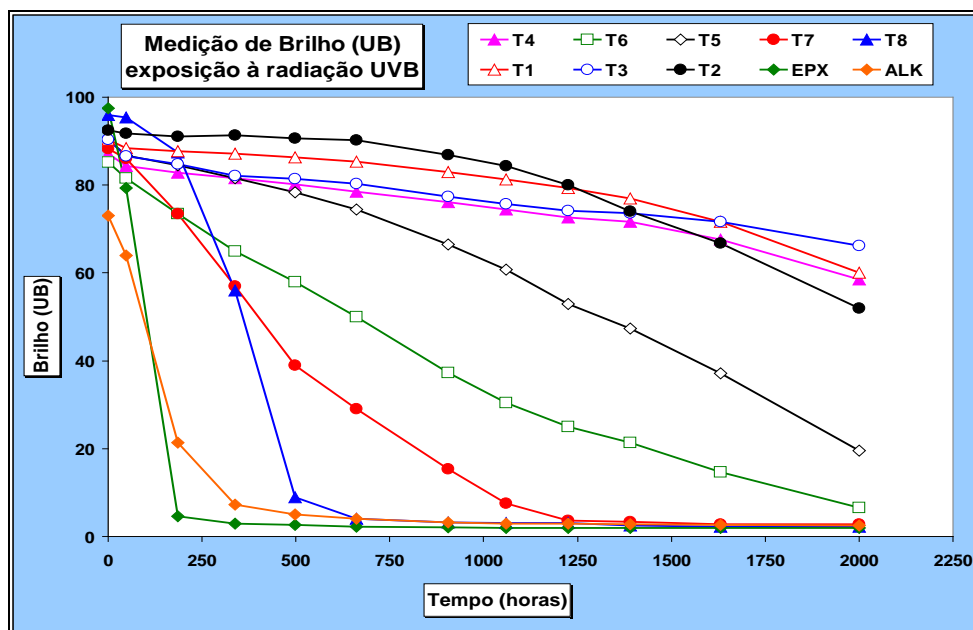


Figura 3 – Variação de brilho das tintas, ao longo de 2000 horas de exposição dos corpos-de-prova à radiação UV-B e condensação de umidade.



**Tabela 2 - Resultados da medição de brilho e retenção. Valores inicial e após 1060 horas e 2000 horas de exposição à radiação UV-B e condensação de umidade**

Tinta	Brilho inicial (UB)	Após 1060 horas		Após 2000 horas	
		Brilho (UB)	Retenção (%)	Brilho (UB)	Retenção (%)
<b>T1</b>	90,3	81,3	90,0	60,1	66,6
<b>T2</b>	92,5	84,3	91,1	51,9	56,1
<b>T3</b>	90,4	75,7	83,7	66,2	73,2
<b>T4</b>	87,2	74,5	85,4	58,5	67,1
<b>T5</b>	78,3	60,8	67,3	19,5	21,6
<b>T6</b>	85,2	30,5	35,8	6,5	7,6
<b>T7</b>	88,3	7,5	8,5	2,8	3,2
<b>T8</b>	96,0	3,1	3,2	2,3	2,4
<b>ALK</b>	73,0	3,0	4,1	2,5	3,4
<b>EPX</b>	97,5	2,0	2,1	1,9	1,9

Com base nos resultados apresentados na Figura 3 e na Tabela 2, pode-se observar que:

- ✓ Após 1060 horas de exposição já era possível observar um desempenho muito superior das tintas **T1**, **T2**, **T3** e **T4** em relação às demais. Dentre as três de poliuretano acrílico **T1**, **T3** e **T4**, estas apresentaram, para o período de exposição considerado, desempenhos bastante parecidos. A tinta **T2**, fabricada com resina de poliéster, também apresentou desempenho semelhante e com valor de brilho elevado.

No caso da tinta de poliuretano acrílico **T5**, esta apresentou um desempenho inferior ao das tintas mencionadas anteriormente. Em seguida, com desempenho inferior ao da tinta **T5**, aparece a tinta **T6**. As tintas **T7** e **T8** foram, dentre as ensaiadas aquelas que apresentaram o pior desempenho. Dentre estas duas últimas, a **T7** mostrou-se superior a **T8** a qual foi fabricada com uma resina de poliéster ortoftálico.

As tintas alquídicas e epóxi apresentaram desempenhos coerentes com suas características químicas. A tinta epóxi, como já era esperado, por possuir fraca resistência à radiação ultravioleta, apresentou desempenho inferior à tinta alquídica, no que diz respeito à retenção de brilho.

- ✓ Após 2000 horas de exposição, basicamente, em termos qualitativos, não se observaram alterações significativas no desempenho das tintas, em relação ao período de 1060 horas. Ou seja, a tendência se manteve, no que diz respeito à redução de brilho. Apenas a tinta **T2**, feita com resina de poliéster, é que apresentou uma tendência maior de perda de brilho, após as 2000 horas de exposição, em comparação com as tintas de poliuretano acrílico **T1**, **T3** e **T4**. Dentre estas três últimas a diferença foi pequena e está de acordo com a precisão global do ensaio (exposição na câmara e medição de brilho).

No caso das demais tintas, em termos qualitativos, o comportamento foi o mesmo daquele observado após 1060 horas de exposição, ou seja, a tendência se manteve, quanto à redução de brilho.

Portanto, ficou bem caracterizado, através da medição de brilho ao longo do ensaio de exposição à radiação ultravioleta e condensação de umidade, que as tintas de poliuretano acrílico alifático podem apresentar desempenhos completamente diferentes em função da tecnologia de formulação de cada fabricante. Isto fica comprovado pelo desempenho superior das tintas **T1**, **T3** e **T4** em relação ao das tintas **T5**, **T6** e **T7**. Também ficou claro que o tipo de resina influencia no desempenho das tintas. Basta observar o desempenho muito superior da tinta **T2** e o péssimo desempenho da tinta **T8**, ambas feitas com resinas de poliéster, porém com estruturas químicas diferentes.

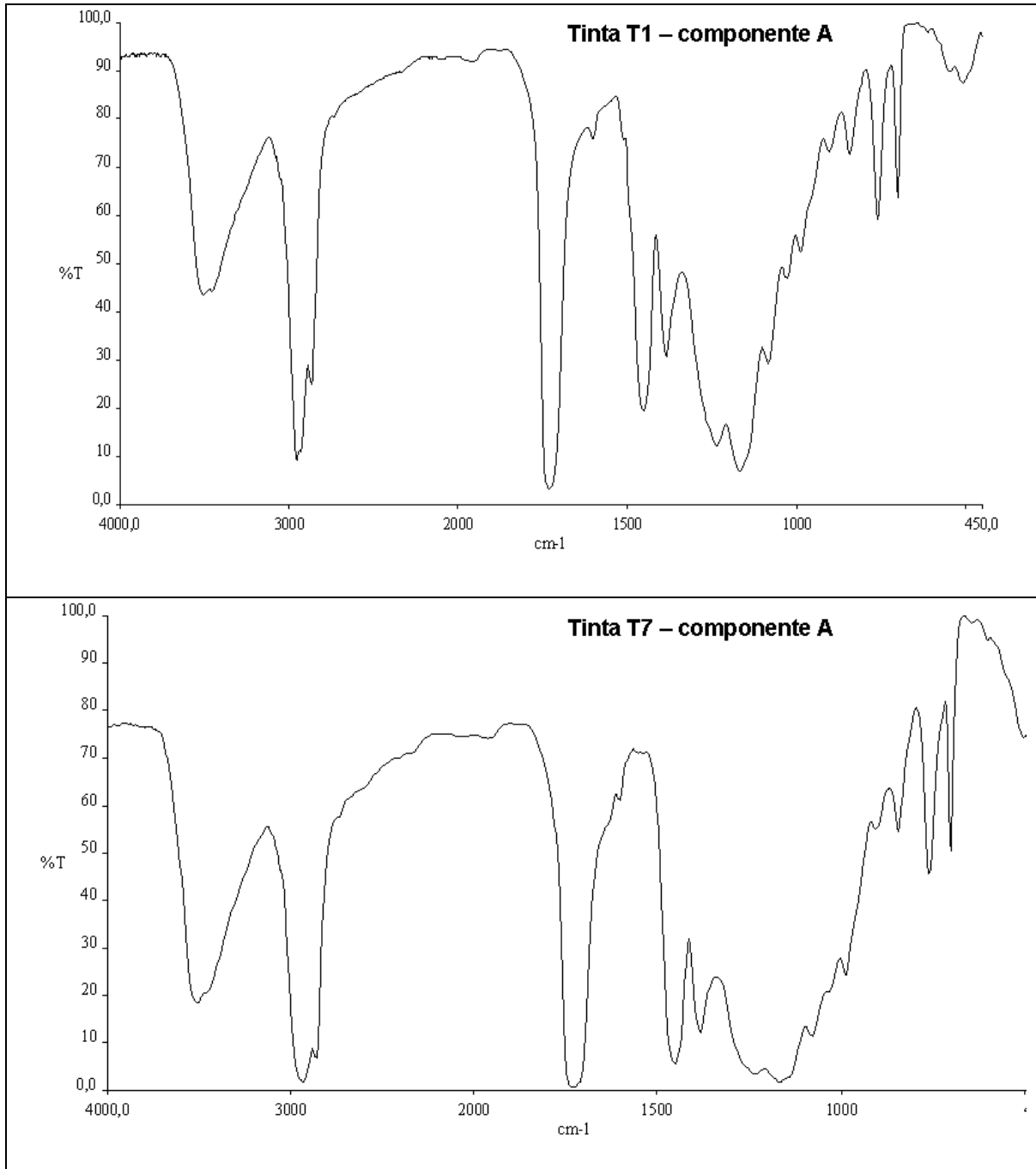
Os fatos acima mencionados mostram o quanto é importante ter-se uma norma técnica de tinta de poliuretano alifático com requisitos adequados, em termos qualitativos e quantitativos, de modo que o usuário tenha uma garantia de que o revestimento não venha a apresentar falhas prematuras, principalmente quando exposto à radiação solar.

O usuário, por sua vez, deve possuir uma metodologia de controle de qualidade para verificar se o produto adquirido atende, de forma global, a especificação técnica da tinta. Tem sido uma prática comum, em algumas empresas, realizar apenas os ensaios de conformidade de execução rápida, para não prejudicar o cronograma da obra, como por exemplo, identificação das resinas pela técnica de espectroscopia na região do infravermelho, teor de sólidos por massa e por volume, consistência, tempo de secagem etc. Ou seja, não realizam os ensaios de desempenho da película, por exigirem um tempo de execução, relativamente, mais longo.

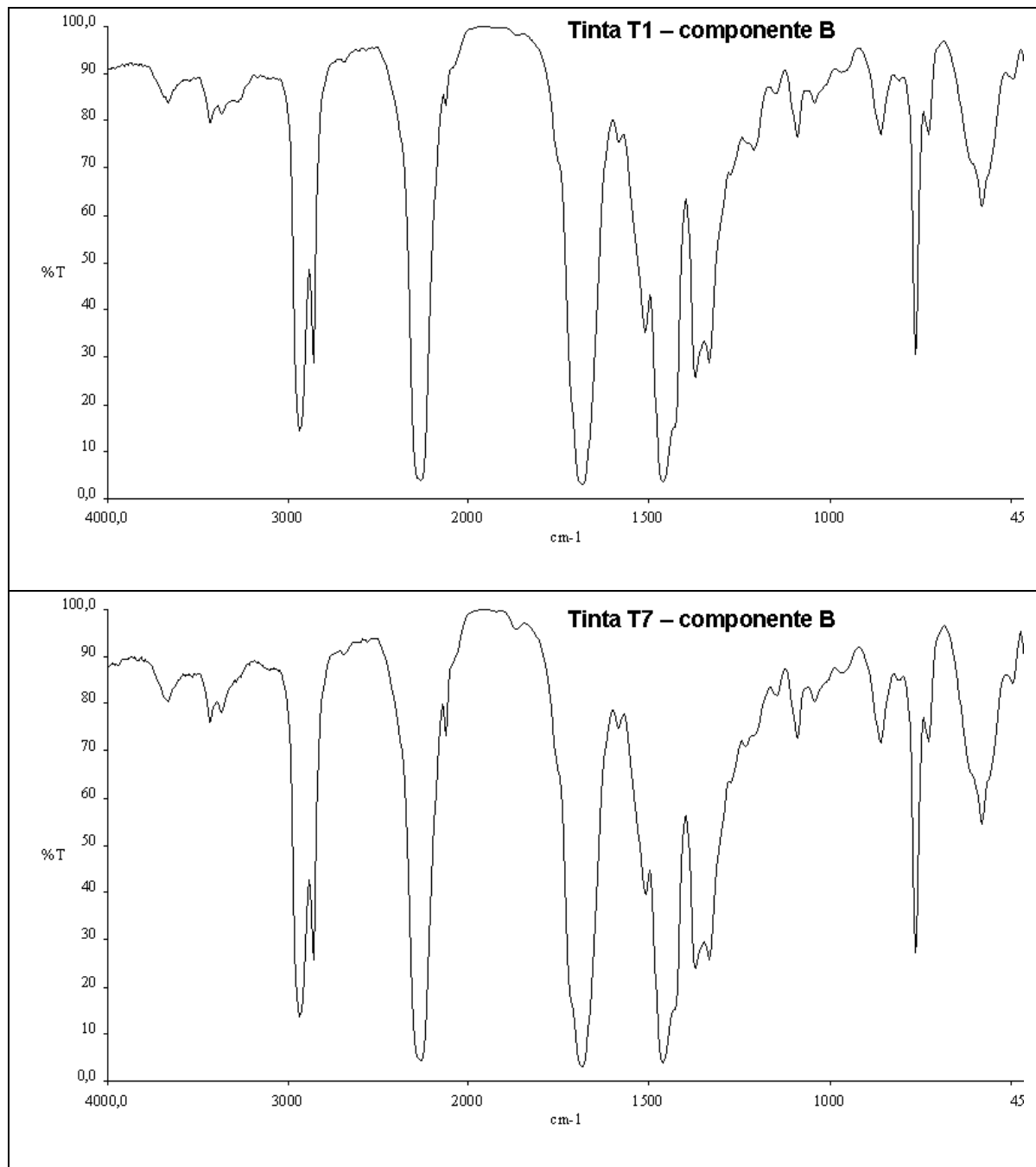
Com relação ao ensaio de identificação das resinas pela técnica de infravermelho, é comum se pensar que se as resinas estão em conformidade com a norma técnica, então a tinta terá o desempenho esperado com relação à resistência à radiação ultravioleta. No presente estudo foi verificado que nem sempre isto é verdade. Nas Figuras 4 e 5 mostram-se os espectros de infravermelho das resinas acrílicas (componente **A**) e das resinas de poliisocianato alifático (componente **B**), respectivamente, das tintas **T1** e **T7**. Como pode ser observado, os espectros das resinas acrílicas (Figura 4) são parecidos assim como os das resinas de poliisocianato alifático. Ocorre que, apesar das resinas possuírem espectros semelhantes, o fato é que o desempenho, em termos comparativos, foi completamente diferente, conforme mostrado na Figura 3 e na Tabela 2.

Tais resultados mostram o quanto é importante a realização do ensaio de exposição à radiação ultravioleta e que o fato dos espectros de infravermelho das resinas estarem em conformidade com a norma técnica nem sempre é garantia de que a tinta vá a apresentar a resistência à radiação solar esperada. Como descrito anteriormente no item 2, o desempenho das tintas de poliuretano depende de muitos fatores, nem sempre detectáveis pela técnica de infravermelho. Algumas matérias primas importantes, como por exemplo, os foto-estabilizantes, fundamentais na resistência das tintas à radiação solar, podem não ser detectados pela técnica de espectroscopia na região do infravermelho, em função do baixo teor na composição da tinta. O fato de duas resinas acrílicas apresentarem espectros semelhantes não quer dizer que elas tenham a mesma qualidade. Existem outras características importantes que podem interferir nas propriedades finais das resinas, como peso molecular, teor de hidroxila e

temperatura de transição vítrea (1), e que também podem não ser detectáveis pela técnica de infravermelho.



**Figura 4 – Espectros de infravermelho das resinas acrílicas (componente A) das tintas T1 e T7**



**Figura 5 – Espectros de infravermelho das resinas de poliisocianato alifático (componente B) das tintas T1 e T7**

Para reforçar estas afirmações, todas as tintas de poliuretano foram submetidas ao ensaio de resistência ao contato de chumaços de algodão embebidos com solução de hidróxido de sódio (NaOH, 10%), conforme mostrado na Figura 6, durante o período de 168 horas. Após 44 horas de ensaio, a tinta **T7** já apresentava empolamento com bolhas 3(S3) na película (Figura 7). A tinta **T3**, após 168 horas, apresentou empolamento com bolhas 3(S2), enquanto

que as demais, apresentaram somente perda de brilho. Portanto, também neste caso, observa-se que as tintas **T1** e **T7**, apesar das resinas apresentarem espectros de infravermelho semelhantes, o desempenho da **T1** é muito superior ao da **T7**. Além disso, o resultado da tinta **T3** mostra que a resistência química das tintas de poliuretano acrílico pode variar conforme a tecnologia utilizada pelos fabricantes.

Diante do exposto alguém poderia fazer a seguinte pergunta: em que situação então a análise da resina pela técnica de infravermelho é importante? A resposta é simples e objetiva. Trata-se de um ensaio importante, pois se a resina, já na fase de análise, não se apresenta em conformidade com a norma, deve ser rejeitada. Por exemplo, a tinta **T8** apresentou o espectro da resina do componente **A** fora de especificação. Neste caso, teria que ser rejeitada. No presente estudo esta foi ensaiada apenas para mostrar a importância do controle de qualidade das tintas. Como foi mostrado anteriormente, a tinta **T8** foi a que apresentou o pior desempenho no estudo realizado, no que diz respeito à resistência à radiação ultravioleta e condensação de umidade.

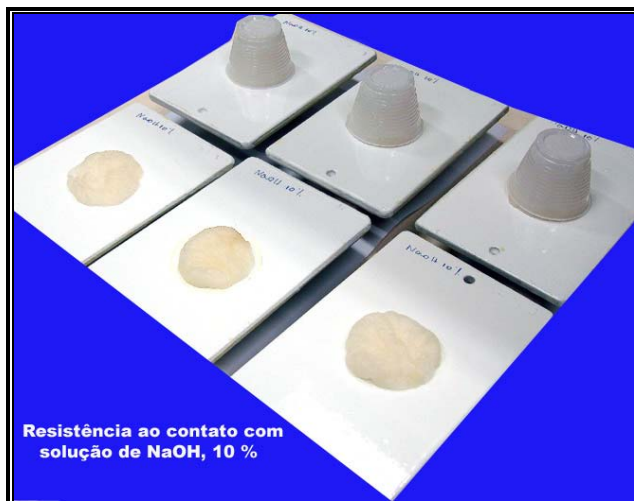


Figura 6 – Ensaio de resistência ao contato com solução de NaOH, 10%



Figura 7 – Aspecto da película da tinta T7, após 44 horas de contato com solução de NaOH, 10%

#### 4.2 Avaliação do empoamento (“gizamento”/chalking)

Nas Figuras 8 e 9 apresentam-se os resultados de avaliação do empoamento, ao longo do tempo de exposição dos corpos-de-prova na câmara de ultravioleta, obtidos segundo a norma ISO 4628/6 (9) e pelo método Helmen, respectivamente.

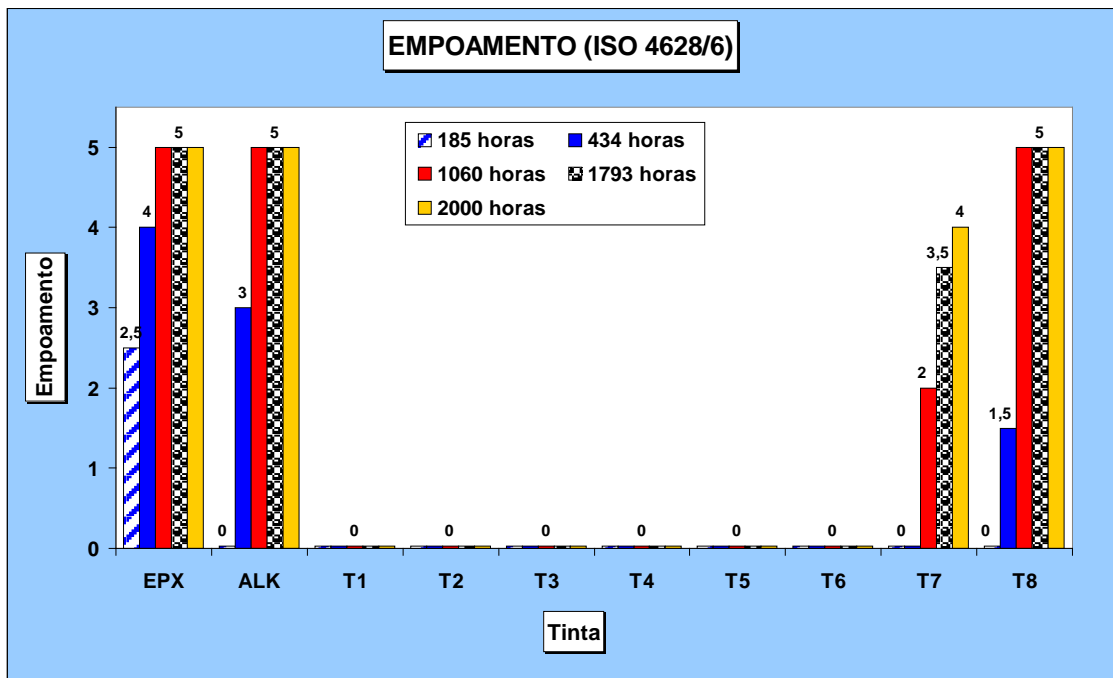


Figura 8 – Resultados da avaliação do empoamento, segundo a norma ISO 4628/6 (10).

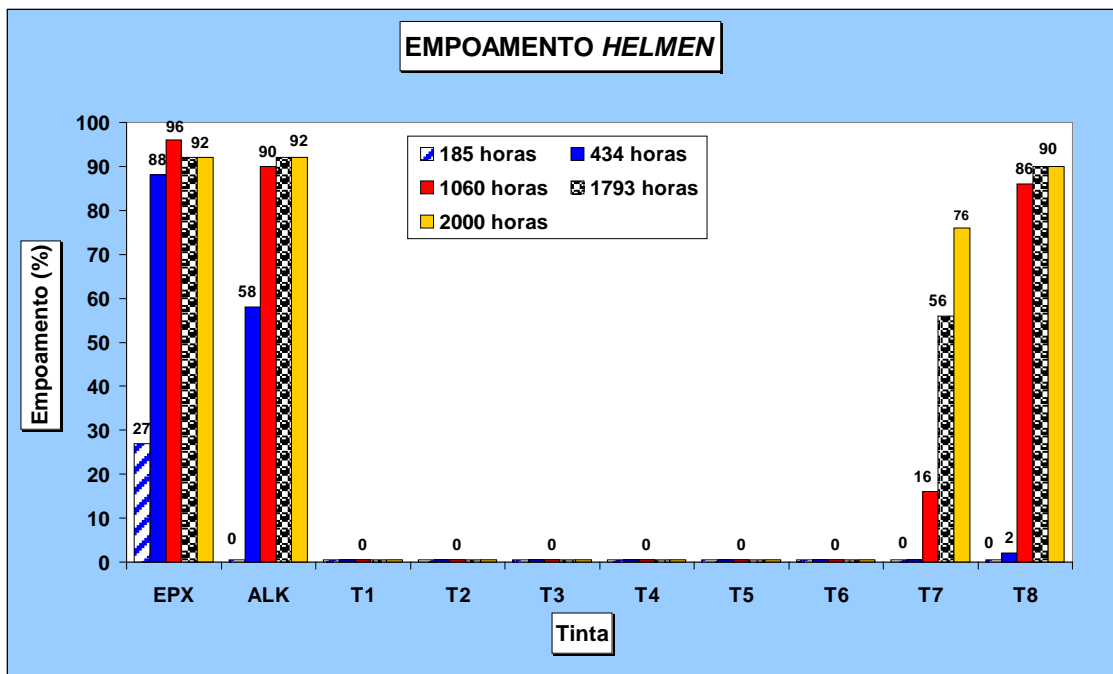


Figura 9 – Resultados da avaliação do empoamento, pelo método *Helmen*.



Os resultados obtidos por ambos os métodos de avaliação do empoamento estão, qualitativamente, coerentes. Assim sendo, observa-se que, após 2000 horas de exposição dos corpos-de-prova na câmara de ultravioleta, as tintas **T1**, **T2**, **T3**, **T4**, **T5** e **T6** não apresentaram empoamento da película.

As tintas **T7** e **T8** apresentaram um grau de empoamento elevado para uma tinta de poliuretano alifático. Dentre as duas, a **T7** apresentou um desempenho ligeiramente superior à **T8**. A tinta epóxi, como era esperado, foi a que apresentou o pior desempenho ao longo do ensaio. O desempenho da tinta alquídica, neste aspecto, também pode-se dizer que está coerente com as características da resina da tinta. Um dos fatos que também chama a atenção nos resultados diz respeito ao desempenho da tinta **T8** em relação à tinta alquídica. Observa-se que, após 1060 horas de exposição, as duas tintas apresentavam o mesmo grau de empoamento. Ou seja, tomando-se como base o desempenho da alquídica, a tinta **T8** apresentou um fraco desempenho, tratando-se de uma tinta de poliuretano. Na Figura 10, mostra-se a fotografia correspondente à avaliação do empoamento, segundo a norma ISO 4628/6 (10), das tintas epóxi, alquídica, **T7** e **T8**, após 2000 horas de exposição, na qual se pode comprovar os resultados apresentados no gráfico da Figura 8.

A exemplo do que ocorreu na medição de brilho, as tintas de poliuretano acrílico **T1** e **T7**, que possuíam resinas semelhantes, no que diz respeito ao espectro de infravermelho, apresentaram desempenhos totalmente diferentes. Portanto, também se aplicam aqui as mesmas considerações feitas anteriormente no item 4.1.

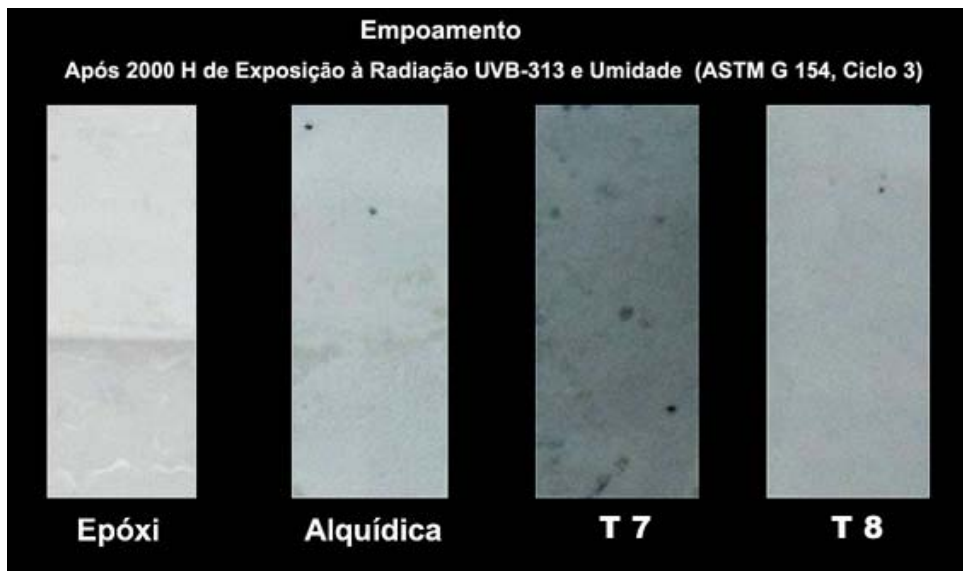


Figura 10 – Aspectos das fitas adesivas, após a realização do ensaio de avaliação do empoamento, segundo a norma ISO 4628/6 (10), das tintas epóxi, alquídica, T7 e T8.

## 5. Conclusões

Com base nos resultados obtidos e na discussão dos mesmos, pode-se concluir que:

- ✓ As tintas de poliuretano alifático podem apresentar desempenhos diferentes, principalmente com relação à resistência à radiação ultravioleta, em função da

tecnologia de formulação e fabricação das mesmas. Assim sendo, as normas de tais tintas devem conter requisitos técnicos adequadamente especificados, de modo que o revestimento apresente o desempenho esperado.

- ✓ O estudo realizado permitiu a obtenção de dados importantes de resistência à radiação ultravioleta e condensação de umidade das tintas de poliuretano alifático, os quais podem ser bastante úteis na elaboração de normas técnicas, tanto em relação aos requisitos a serem atendidos quanto à metodologia de ensaio e técnicas de avaliação de desempenho. Os resultados também poderão ser úteis em estudos futuros, no que diz respeito ao desenvolvimento de novos produtos.
- ✓ O fato das resinas das tintas apresentarem os espectros de infravermelho em conformidade com suas respectivas normas técnicas nem sempre é uma garantia que as mesmas irão apresentar boa resistência à radiação ultravioleta. Existem outros fatores que também são importantes para que as tintas apresentem o desempenho esperado, tal como mencionado e comprovado neste estudo.
- ✓ Os resultados das tintas que apresentaram fraco desempenho também foram úteis neste estudo. Eles mostraram como determinados fatores relacionados à formulação das tintas podem afetar o desempenho das mesmas. Em outras palavras, um resultado negativo (não esperado) pode, em alguns casos, contribuir de forma positiva no desenvolvimento de novas formulações de tintas com melhor desempenho.

## 6. Referências Bibliográficas

- (1) Méier-Westhues, U., Polyurethanes coatings, adhesives and sealants, European Coatings Tech Files, p-343, Hannover, 2007.
- (2) Fragata, F. “Novas tecnologias de tintas de acabamento”, Conferência Plenária, INTERCORR2008, ABRACO, Recife, 2008.
- (3) PETROBRAS N 2677, Tinta de poliuretano acrílico.
- (4) ASTM G 154 - Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, 2008.
- (5) Netto, L.F. “Fotoluminescência”. Disponível em <http://www.feiradeciencias.com.br/sala19/texto75.asp>. Acesso em junho de 2009.
- (6) Fragata, F. L., Amorim, C. C., Ordine, A.P. “Desempenho de tintas de acabamento frente às radiações ultravioleta, UVA e UVB, e condensação de umidade”. Corrosão e Protecção de Materiais, v.29, p.91-98, 2010.
- (7) PETROBRAS N 2492, Esmalte Sintético Brilhante.
- (8) ISO 8501-1: “Preparation of Steel Surfaces Before Application of Paints”, ISO, Genève, Switzerland, 1988.

(9) ASTM D 523 - Standard Test Method for Specular Gloss, 1999.

(10) ISO 4628-6 - Paints and Varnishes - Evaluation of Degradation of Coatings - Designation of Quantity and Size of Defects, and of Intensity of Uniform Changes in Appearance - Part 6: Assessment of Degree of Chalking by Tape Method

### **Agradecimento**

Os autores agradecem a valiosa colaboração dos diversos fabricantes de tintas na realização deste estudo, os quais, por razões éticas, não serão aqui mencionados. A participação dos mesmos foi, sem dúvida alguma, fundamental para elucidar determinados aspectos técnicos a respeito das tintas de poliuretano alifático, no que diz respeito à resistência à radiação ultravioleta e condensação de umidade.