

OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ESPUMAS DE POLIURETANO

Paulo Sergio Silva (Centro Universitário Padre Anchieta)

Claudemar José Trevizam (Centro Universitário Padre Anchieta)

Hipólito Alberto Silva Gomes (Centro Universitário Padre Anchieta)

Tatiana Lança (Centro Universitário Padre Anchieta)

RESUMO

Espumas de poliuretanos são produtos extremamente versáteis, podendo ser utilizadas nos mais diversos segmentos e de diferentes aplicações. Escolhendo se adequadamente o isocianato, polioliol e um silicone surfactante, se consegue fazer espumas de diferentes propriedades que vão desde suaves e flexíveis de baixa densidade, até rígidas de alta densidade. A produção de espumas poliuretânicas dependem de vários fatores sendo que, situações climáticas são as que mais influenciam nos testes. Nos EUA o clima é bastante úmido devido a tornados, chuvas e furacões enquanto que no Brasil predomina o clima tropical. Os materiais utilizados pela unidade brasileira são iguais aos utilizados na Matriz, porém os equipamentos norte-americanos são mais tecnológicos. Então reproduzir os mesmos testes de espumas no Brasil com as mesmas especificações e qualidade dos norte-americanos, seria um grande desafio de processo e algumas alterações teriam que ser feitas para atingir o objetivo. Nesse caso foram feitas algumas mudanças como troca de matérias primas, introdução de novos equipamentos como um novo sistema de agitação e uma chicana. Com as mudanças feitas, a mistura do material ficou mais eficiente atingindo os parâmetros de especificações exigidos pela matriz norte-americana.

Palavras-chave; Espumas; Poliuretano; Agitação;

ABSTRACT

Polyurethane foams are extremely versatile products and can be used in the most diverse segments and for different applications. By properly choosing isocyanate, polyol and a silicone surfactant, it is possible to make foams with different properties, ranging from soft and flexible to low density, to rigid, high density. The production of polyurethane foams depends on several factors, and climatic situations are the ones that most influence the tests. In the USA the climate is quite humid due to tornadoes, rains and hurricanes while in Brazil the tropical climate prevails. The materials used by the Brazilian unit are the same as those used at the headquarters, but the North American equipment is more technological. So reproducing the same foam tests in Brazil with the same specifications and quality as the USA, would be a major process challenge and some changes would have to be made to achieve the objective. In this case, some changes were made, such as the exchange of raw materials, the introduction of new equipment such as a new agitation system and a baffle. With the changes made, the mixing of the material became more efficient reaching the specifications parameters required in the USA.

Keywords; Foams; Polyurethane; Agitation;

1. INTRODUÇÃO

Os testes de espumas poliuretânicas tiveram início em 1849 porém, ganhou grande importância no Brasil entre as décadas de 60 e 70. Atendia-se na época os segmentos como automobilístico e imobiliário. Com o passar dos anos passou a atender também outros ramos como construções civil, aeronáutico e naval. Grandes empresas antes de produzirem nos reatores em grandes escalas de produções, fazem testes pilotos em laboratórios simulando situações reais. Nesses testes, são feitas várias formulações com pesos moleculares diferentes para se escolher a formulação ideal. No mercado de espumas tem diferentes tipos de espumas desde flexíveis, moldadas até a rígidas. Segundo Vilar (2004), em 1980 o mercado brasileiro consumia 80.000 toneladas de poliuretano (PU), e em 1995 esse mercado cresceu cerca de 275%, a produção chegou a aproximadamente 300.000 toneladas. Em 2016 a produção estimada foi de 620 mil toneladas ao ano somente aqui no Brasil. Segue abaixo um organograma dos mercados atendidos pela indústria de poliuretanos na figura 1.

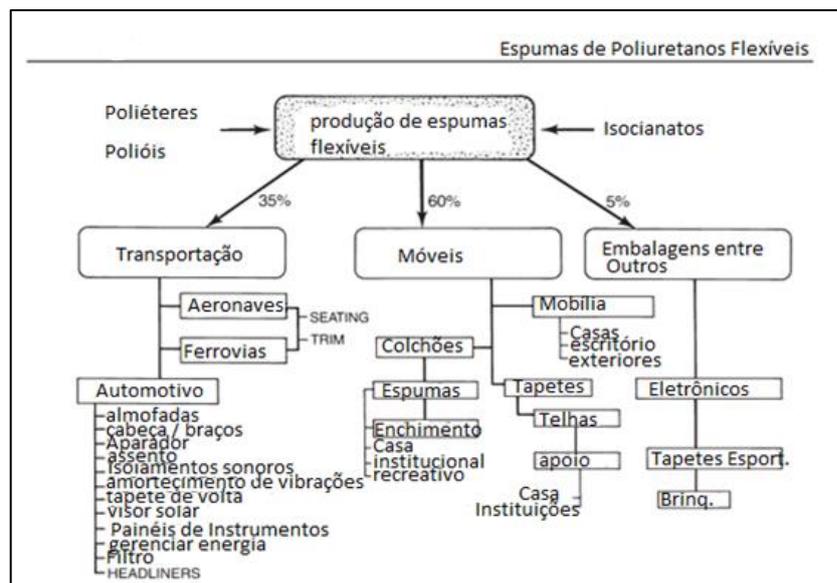


Figura 1. Mercados importantes da Indústria de Poliuretanos.

Fonte (Dow Flexíveis Espumas).

A demanda do mercado de poliuretano é tão alta que além de espumas, há outros derivados como os plásticos e elastômeros. Atualmente o mercado brasileiro de poliuretanos está em torno de 2,2 milhões de toneladas, e isso corresponde a 28% do mercado mundial. É um mercado em expansão e cresce ano a ano. Atualmente a concorrência com o mercado externo é muito grande, pois há pequenas empresas na

China com produtos de qualidades similares ao de grandes empresas nacionais e com custos operacionais mais baixo, que mesmo com as taxas de importação e impostos o preço final ainda é menor. Segundo Vilar (2004), para que os testes fiquem dentro dos parâmetros definidos e das tolerâncias especificadas, é necessário matérias primas corretas e dentro dos prazos de validades, pois alguns materiais perdem eficiência conforme entram em contato com o ambiente, dentre os principais estão os catalizadores organometálicos.

Em unidades fabris brasileiras de produção de poliuretano, são feitos testes de performance de espumas em caixotes, o que caracteriza uma rotina em várias empresas. Esse tipo de teste causa grandes desperdícios de materiais para esquentar a caixa dos testes antes do teste real. Portanto gasta-se mais material em esquentar as caixas do que para o teste real. Para diminuir esse desperdício sugerimos outro tipo de teste também no laboratório, só que em baldes ou caixas de papelão pequenas, sem a necessidades de esquentar caixas. apenas fazer um padrão mais o lote testado o que eliminou a perda. Os caixotes foram deixados apenas para desenvolvimentos, porém só são usados quando surgem novos pedidos de espumas. As unidades de Leverkusen na Alemanha, e outra no México já faziam o novo teste, mesmo quando no Brasil e na China ainda se usava o caixote, porém cada unidade fazia o teste de performance da sua maneira.

Com a globalização dos testes, todas unidades filiadas tiveram que se adequar ao processo feito nos EUA além da obrigatoriedade de atingir os mesmos resultados para poder continuar a produzir espumas de poliuretano. Por outro lado, foi uma grande oportunidade da unidade brasileira trabalhar em termos de métodos, no mesmo nível da Matriz, melhorando seu conceito frente a todas as plantas da empresa no mundo conforme relatado em entrevista com o responsável pela área de operações, onde o desenvolvimento dos testes de Controle de Qualidade de espumas de poliuretanos, possibilitaram a transferência de tecnologia de diversos silicones, promovendo o crescimento desse mercado na América Latina, o aumento de volume de produção local, ganho de produtividade, além de um melhor serviço para os nossos clientes. Com essas mudanças, a capacidade produtiva aumentou significativamente, porque outros produtos que estavam na fila de transferência de tecnologia, foram liberados para serem produzidos na unidade brasileira, mantendo assim competitividade e novos projetos para o crescimento da produção local e mais força frente a concorrência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Pinto (2011), a tecnologia de espumas de poliuretanos surgiu em 1849 com dois cientistas, mais especificamente, Wurtz e Hoffman que testaram reações entre polióis e isocianatos, mas ambos não chegaram a nenhuma conclusão. Foi então que em 1937, na Alemanha, o alemão Bayer com novas tecnologias montou nova indústria de poliuretanos a base de poliésteres e o primeiro produto dessa nova tecnologia foi o nylon.

Conforme Lima (2007), os testes de espumas poliuretânicas chegaram ao Brasil apenas na metade da década de 70. Segundo o mesmo autor a maior dificuldade no entanto, era a importação de matérias primas. Os testes eram simples, apenas teria que ter os equipamentos adequados para que os testes fossem feitos. Com o tempo essas dificuldades foram superadas e atualmente no Brasil são feitos vários tipos e diferentes testes de espumas desde a flexíveis à rígidas. Segundo Vilar (2004) e Mark (1988), para produzir espumas de poliuretanos, devem ser consideradas várias situações, e entre as principais são condições climáticas e materiais adequados para cada situação. Dessa forma, os materiais do processo de espumação também devem estar ambientados ao local da espumação para que não se formem produtos indesejados como espumas fora dos padrões de qualidade.

De acordo com Pinto (2011), materiais considerados de bases necessários para fabricação de espumas poliuretânicas são polióis, isocianatos, silicones surfactantes e catalisadores amínicos e organometálicos. As reações de espumas poliuretânicas são interações de isocianatos com grupos hidroxilas como polióis, água e do surfactante que além de baixar a tensão superficial entre os grupos Iso e Hidroxilas, também fazem interações entre os grupos ativos como glicerinas e a participação de um catalizador organometálico (HERRINGTON,1997). Conforme Ligabue (1995), uretano se refere ao termo da reação de um álcool com um isocianato e do resultado dessa reação é que se encontra a uretana chamada assim antigamente ou uretano mais recentemente. Vide figura 2 .

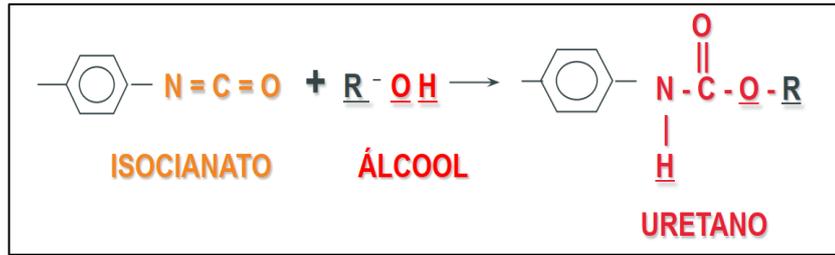


Figura 2. Reação do Uretano. Fonte (BAIXO, R.; Dow Química 2013).

No Brasil, as primeiras fábricas de espumas flexíveis foram instaladas na região sudeste entre as décadas de 60 e 70. Estas fábricas foram montadas com equipamentos trazidos da Europa, e dependiam de matérias-primas importadas para o seu funcionamento (VILAR, 2004). Os poliuretanos foram uma grande descoberta pelo fato de serem versáteis, podendo ser utilizados em diferentes setores, além de ser fácil a sua produção. Diversas empresas no Brasil fazem espumas poliuretânicas, o mercado é bem vasto e dentre elas podemos destacar:

- Dow Química
- Evonik
- Momentive
- Univar

Para espumas flexíveis, que é a mais comercializada no mercado, as empresas utilizam métodos de performance iguais e que pouco se diferenciam entre elas. Normalmente as diferenças estão em equipamentos, partes por percentual de matérias-primas para determinadas especificações e tipos desejados ou especificados, além dos processos que podem ser por bateladas ou contínuos.

Segundo Alimena (2009), no processo por batelada a mistura é feita em um vaso (misturador) com de agitação mecânica eficiente e em seguida feita a transferência rápida para um recipiente maior que é o caixote de madeira ou metal, com superfícies planas laterais articuladas, e coberto por um sistema de tampa móvel antes de ocorrer aumento significativo da viscosidade da mistura. As laterais móveis e o movimento viscoso, nas paredes do caixote levam à obtenção de espumas com densidades maiores do que as que seriam obtidas pelo processo contínuo.

Este fenômeno é contornado pelo ajuste da formulação utilizada. É importante evitar a formação de bolhas de ar, durante o escoamento da mistura, pois poderá

acarretar buracos e rachos na estrutura da espuma. Esse processo desperdiça muitos materiais, apesar disso é um sistema mais barato de ser montado, pois basta ter um caixote e um dispersor ou misturador para se fazer blocos de espuma, constitui-se em um sistema bem prático. Nesse tipo de processo, especificamente, é adicionado ao tanque um Polioliol e na sequência a ASA (Água, Silicone e Amina) e o Resfriador de mistura junto a um catalisador organometálico, e em uma última etapa o TDI(Tolueno Diisocianato). A reação da mistura é rápida pois assim que é despejada no caixote existe um tempo de assentamento, começa o creme e crescimento reacional da espuma até seu Blow Off final. Vide reação passo a passo nas figuras 3 e 4 respectivamente.

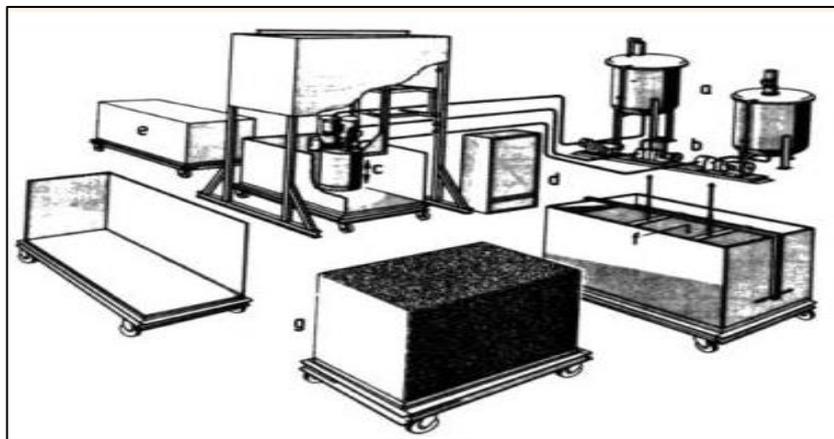


Figura 3. Processo descontínuo ou Batelada. Fonte (Dow Química).

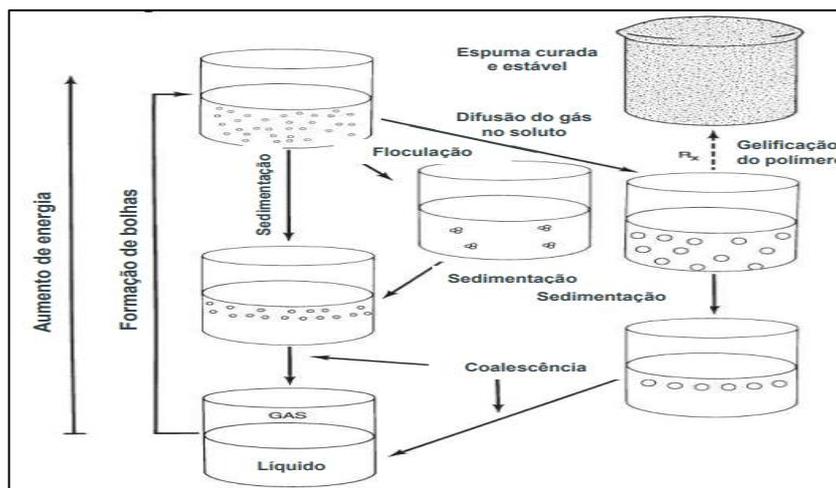


Figura 4. Processo de batelada. Fonte (Dow Química)

Em um processo contínuo são necessárias linhas contínuas de esteiras que vão de 30 a 40 m. No início dessas linhas, são posicionados estrategicamente dosadores de

vazões com Isocianato, poliois, água, surfactante, resfriador e aditivos, que despejam em um misturador central de acordo com a função e tempo na reação e são misturados sob alta ou baixa pressão, e distribuídos sobre um leito horizontal que se move continuamente com velocidade controlada, revestida no fundo por uma folha horizontal, que faz o transporte. Em segundos, a massa torna-se cremosa e em cerca de dois minutos a espuma cresce rapidamente e continua na linha sendo transportada passando por um forno de 4 a 6 minutos para que a cura seja processada e, posteriormente, cortada no final da linha. Esse processo é mais barato e mais fácil de ser ajustado, ao contrário do processo por batelada, caso o material segregado no tanque esteja fora da especificação, tem que embalar tudo para liberar o reator, sem contar perdas de embalagens e horas perdidas de processo e nem sempre é garantia de se conseguir recuperar o lote fora da especificação. Caso algo esteja fora do especificado na própria esteira se descarta fora aquela parte que não serve.

A vantagem do processo contínuo é que além de mais rentável, as variações são quase inexistentes e quando são necessárias as correções, o processo não precisa ser interrompido, pois as intervenções são fáceis e rápidas além de poucos desperdícios. Porém apenas grandes empresas possuem esse sistema devido ao alto investimento para ser montado o que o torna inviável para pequenas empresas. Vide um modelo de sistema contínuo na figura 5.



Figura 5. Esteira de sistema contínuo de Espumação na Indústria.

Fonte (Sanko).

São perdidos cerca de 20% do bloco final que acabam virando subprodutos, porém ainda assim essas perdas nem se comparam ao do sistema de batelada, onde as

perdas são maiores e podem ser por lotes fora de especificações, como também em cortes e partes não necessárias que são descartadas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

O processo de Espumação de espumas poliuretânicas basicamente consiste em reações de Polióis com Isocianatos a base de surfactantes, retardantes de chama, aminas, aditivos e água. Primeiramente são feitos testes pilotos em caixotes de 60 x 60 cm ou baldes de 20 litros feitos em laboratórios. Com os resultados dentro dos parâmetros especificados, são vendidas e reproduzidas nos clientes na maioria das vezes em processos contínuos ou semicontínuos. Em algumas situações vemos processos contínuos com blocos que chegam a atingir 30 metros em uma esteira em que os mesmos são cortados no final conforme as necessidades de cada fornecedor. Para que a reação ocorra da forma mais plena possível, alguns elementos são essenciais nesse processo. Abaixo citamos os principais.

3.1 Isocianato.

Este material funciona como se fosse um Ácido de Lewis (H^+) reage com as partes negativas do Poliál e da Água (OH^-). O Isocianato principal para espumas flexíveis é o TDI (Tolueno Diisocianato) que possui isômeros 2,4 e 2,6. Uma interação de 80:20 de isômeros TDI é obtida pela nitração dupla de tolueno, seguido de redução para a amina e fosgenação para o diisocianato. Segundo verificou Herrington (1997), o TDI também tem outras variações do tipo 65:35 menos reativo que o 80:20 o mais utilizado no mercado de poliuretanos. O TDI é comercializado principalmente nas de dois tipos. Vide abaixo Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de TDI

TDI 80/20	TDI 65/35
80 % Isômero 2,4	65 % Isômero 2,4
20 % Isômero 2,6	35% Isômero 2,6

Fonte (Interbrasil SA, 2016).

Na molécula 2,4 ,o isômeros de NCO estão mais perto um do outro e devido a isso a molécula fica mais reativa do que a molécula do isômero 2,6. Dentro de uma dada molécula, os impedimentos estéricos afetam a reação dos vários isômeros posições. Abaixo veremos os isômeros 2,4 e 2,6 do TDI na figura 6.



Figura 6. Isômeros 2,4 e 2,6 do TDI.

Fonte (Ciência dos polímeros – Canevarolo Jr. Sebastião V. Polyurethanes as Specialty Chemicals Principles and Applications – T. Thomson, 2016) .

3.2 Polioli

O polioli juntamente com a água faz o papel da parte negativa (OH^-) das reações químicas, quando ocorre a reação nos sítios catalíticos em conjunto com Isocianato começa reação. Existem diversos tipos de Polióis e o que o faz mais ou menos reativos é o Índice de Hidroxila. Veja características de um Polioli na tabela 2.

Tabela 2. Características do Polioli

	Espumas Flexíveis		Espumas Rígidas
	Convencional	Alta resiliência (HR) (viscoelástica)	
Peso molecular	3000 +- 200	4800 +- 300	440 +- 35
OH (mg KOH/g)	56 +- 3	35 +- 2	380 +- 25
Funcionalidade	2,5 - 3	3 - 3,5	3 - 3,5
Viscosidade (25°C)	450 - 550	750 - 900	600 - 700

Fonte (Ciência dos polímeros – Canevarolo Jr. Sebastião V. Polyurethanes as Specialty Chemicals Principles and Applications – T. Thomson, 2016).

Os principais Polióis utilizados na fabricação das espumas flexíveis convencionais e de alta resiliência são os polióis poliéteres, polióis poliméricos de diferentes estruturas, polióis poliésteres. Esses materiais possuem estruturas hidroxílicas que favorecem a reação com elementos que possuem H^+ em sua reação (LIMA, 2007). Os polióis influenciam em propriedades tais como flexibilidade, dureza e características de processamento. Segundo Pinto (2011), o polioli é um dos produtos mais importantes para as características finais de uma espuma e reage apenas com o TDI. Cerca de 90% dos polióis consumidos são do tipo polióis poliéteres e dentre 95% de todos os

Isocianatos consumidos são à base do tolueno diisocianato (TDI) e do metileno difenil isocianato (MDI) e seus derivados, e dentre os dois ainda destaca-se o MDI e seus derivados. Vide dois modelos de Polioliol na figura 7

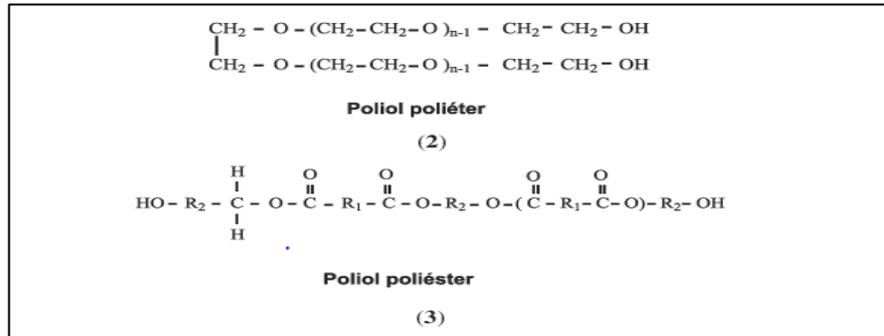


Figura 7. Estruturas de Poliois Poliéteres e Poliésteres.

Segundo Soares (2012), a maioria dos polióis que são poliésteres possuem alta viscosidade e isso facilita na rápida polimerização com isocianato facilitando na estabilização da espuma no crescimento sem contar que é reativo o suficiente para o emprego de catalisadores menos efetivos, a base de amins terciárias (LIMA, 2007).

3.3 Surfactante.

O Surfactante tem a função de fazer o elo de ligação entre todos os grupos e moléculas envolvidos na reação, sem o surfactante essa reação não ocorre. Os surfactantes também ajudam a controlar o tempo preciso e o grau de abertura da célula. Dentre suas funções o surfactante tem como principais atividades:

- Baixa tensão superficial;
- Emulsionar ingredientes de formulação incompatíveis;
- Promover a nucleação de bolhas durante a mistura;
- Estabilizar a espuma em seu crescimento, reduzindo as concentrações de tensão na fixação celular;
- Neutralizar o efeito anti-espuma de quaisquer sólidos adicionados ou formados por exemplo.

O silicone surfactante faz essa interação de uma forma mais homogênea e a transição é mais branda de forma que a tensão superficial no encontro entre o Polioliol, água e o Isocianato seja perfeita. Conforme Junior (2001), os surfactantes são materiais essenciais na produção da maioria dos poliuretanos, pois auxiliam na mistura de reagentes imiscíveis. São particularmente usados na fabricação de espumas, onde

auxiliam no controle de tamanho de células, estabilizando as bolhas formadas durante a nucleação. Como exemplo podemos citar surfactantes à base de silicone, tais como sua base é composta de polióis de polioxipropileno. As aminas terciárias junto com os polióis participam dessa reação com o intuito de ajudar formar a estrutura celular de acordo com o produto a ser formado tanto rígido ou flexível.

3.4 Catalizadores Organometálicos.

Segundo Soares (2012), são usados catalisadores para a diminuição da energia de ativação das reações de espumas poliuretânicas e promover a estequiometria correta entre a extensão da cadeia e a reação de formação de espuma. Os catalisadores mais usados são do tipo aminas terciárias e compostos organometálicos principalmente o octoato de estanho. Em associação eles promovem a reação entre isocianatos, polióis e água, atuando como ácidos de Lewis regulando a formação das espumas e o octoato em especial tem a flexibilidade de trabalhar em rotas preferenciais. Também conseguem dar a estabilização necessária e consistência para que essas reações ocorram (VILAR, 2004). A tabela abaixo mostra o efeito da quantidade de estanho na formação de uma espuma flexível de poliuretano como porcentagem da quantidade ideal para uma certa formulação. Faixa de % de catalizador em uma espuma. Vide Tabela 3.

Tabela 3. Efeito de atividade do Estanho.

% de Estanho	Efeito
0 – 0,09	Colapso
0,10 – 0,19	Rachos
0,20 – 0,30	Espuma Boa
0,31 – 0,40	Espuma Fechada, Morta
acima de 0,41	Encolhimento

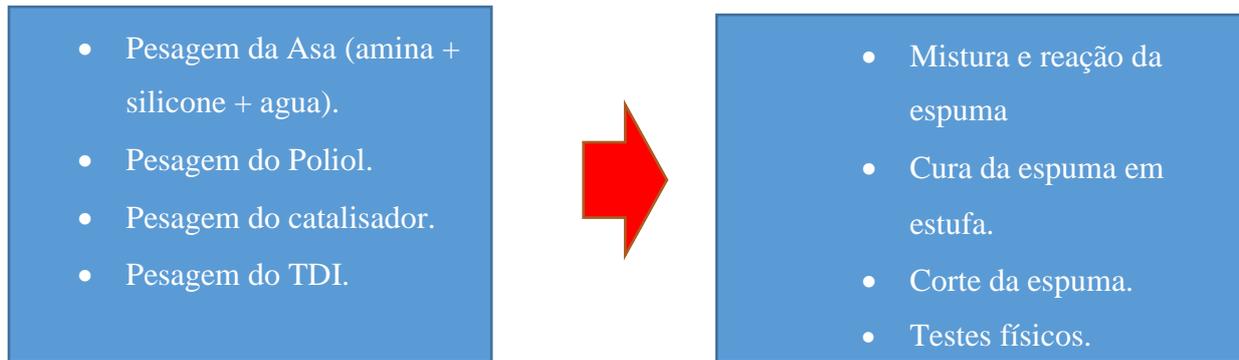
Fonte (Univar).

Segundo Ligabue (1995), os catalisadores organometálicos, não apenas se limitam apenas a diminuir a energia de ativação e aumentar a velocidade da reação, como também influenciam diretamente na formação da espuma ou seja, na formação da espuma, eles são catalisadores que participam diretamente da reação.

4. Resultados e discussões.

4.1 Reação da Espuma.

FLUXOGRAMA DOS TESTES DE PERFORMANCE.



- Pesagem do Poliols, amina + silicone + água (1).
- Em um segundo copo TDI (2).
- Em terceiro copo Resfriador (3).
- Em seringas de 3 ml pesa o catalisador (4).
- Adiciona o item do copo (3) no Item (1).
- Adiciona catalisador.
- Adiciona o TDI.
- Cura da espuma em estufa e corte da espuma.
- Testes físicos.

4.1.2 Agitação e Misturas

Como dito anteriormente é necessário equipamentos corretos para que a reação seja feita de forma satisfatória, não somente crescimento da espuma, mas também crescimento de células e estabilização dos testes físicos dentro dos parâmetros. Isso implica em rotação correta com tempos e formas de agitação, já que ambos são fatores primordiais nas reações do processo. Delas dependem como ficará a viscosidade da mistura ou reação, mais líquida ou mais viscosa, com mais bolhas ou menos bolhas. Existem vários tipos de agitadores e misturadores, tanto para líquidos mais viscosos quanto mais fluídos.

Segundo Cremasco (2012), o rendimento das agitações dependem da criação das correntes para que atinjam todas as partes do líquido e a agitação seja a ideal. Quando a mistura é líquida, geralmente ocorre a formação de vórtices e a agitação não é a ideal pois a mistura não fica muito homogênea. A agitação para ser homogênea também depende de alguns fatores que podem ajudar nessa mistura. Agitadores que possuem dentes criam turbulências principalmente em misturas líquido - líquido de forma que as bolhas influenciam no produto dependendo da aplicação do mesmo. Os agitadores tipo turbinas fazem com que a agitação seja mais homogênea e linear sem criar muita turbulência no meio e fica melhor ainda, caso no mesmo agitador, tenha o anel que fecham com as pás.

De acordo com Silva (2013) e Cremasco (2012), o vórtice pode gerar problemas, tais como: substâncias com homogeneização ineficiente, sem fluxo longitudinal de um nível a outro, se houver a presença de sólidos, estes poderão ser lançados a parede e descenderem, acumulando embaixo do agitador; ao invés de obter mistura haverá concentração de sólidos; em altas velocidades o vórtice pode ser tão grande que o agitador fica descoberto, introduzindo ar (bolhas) no líquido; oscilação de massa flutuante. Na Unidade de brasileira já era feito o teste de menor escala no laboratório sem a interferência da matriz. A agitação usada no Dispensor era hélice tipo cowles, e isso gerava muita turbulência e bolhas e ao curar a espuma na estufa pra os testes físicos era visível que a célula ficava muito maior devido a essa turbulência. Então para que essa célula ficasse menor, foram feitas algumas alterações como:

- Mudança do Polioliol para um semelhante ao da Matriz.
- Redução na velocidade de homogeneização (maior e depois menor que a padrão).
- Mudança de catalisador amínico.

Não era possível no momento utilizar o mesmo Polioliol pois teria que importar da matriz, e dessa forma a unidade brasileira ficaria refém porque muitas das vezes os materiais ficam retidos no Porto e sua liberação demora até três dias. Em uma indústria tão concorrida como a de Espumas no Brasil é inviável devido a grande concorrência. Então se usou um polioliol vendido no Brasil com cerca de 98% de características do original e se compensaria com outras mudanças que foram introduzidas e também foi

utilizado uma amina terciária mais reativa no processo que encurtou o tempo de reação fazendo com que o creme fosse mais rápido.

Mesmo com essas mudanças, a estrutura celular exigida pela matriz ainda não seria atingida. Então era necessário que fossem feitos mais alterações para que chegasse a tamanho de estrutura celular da matriz Sisterville 8 e aqui era 12, como tempos de homogeneização foram colocados semelhantes aos da matriz norte-americana. Os resultados ainda não eram suficientes. Testou-se mais formulações com tipos de rotações diferentes, tanto altas como baixa e não se chegou a nenhum resultado conclusivo.

Para solucionar o problema foi feito mais uma última tentativa, trocou-se a agitação do tipo cowles para hélice lisa tipo turbina com três pás perpendicularmente ao fundo e adição de uma chicana ao copo de mistura para verificar a que resultados chegaríamos com essas novas mudanças. Vide figuras 8, 9, tabela 4 e figuras 10 e 11 respectivamente.



Figura 8. Hélice tipo cowles.

Fonte (Moinho Piramide).



Figura 9. Hélice tipo Turbina.

Fonte (Splabor).

Tabela 4. Dados das hélices cowles e turbina respectivamente.

Escoamento axial (pás inclinadas)	Fluxo axial
Pás planas são úteis para agitação de fluidos viscosos, fluidos poucos viscosos	Alta velocidade para líquidos de baixa viscosidade.
Para pequenos tanques: 1800 ou 2500 rpm;	Para pequenos tanques: 1150 ou 1750 rpm;

Alta tensão de cisalhamento nas pontas do impulsor ou escoamento.	Este tipo de agitador cisalha o líquido vigorosamente
---	---



Figura 10. Chicana ou Barras defletoras. Figura 11. Chicana ou Barras defletoras.

Segundo Martini (2010), chicanas (inibidores de vórtice, dificultores), são tiras perpendiculares à parede do tanque. Normalmente são quatro tiras, que interferem no fluxo rotacional sem interferir no fluxo radial e axial. Com ela a agitação da mistura fica mais eficiente, pois elas não permitem a formação do vórtice. O vórtice é uma força gravitacional que se forma em torno do eixo de um sistema em uma mistura. Nesse fenômeno a mistura fica girando em torno de si mesmo sem se colidir adequadamente. Por isso a inclusão da chicana no processo foi uma das mudanças primordiais para que se atingisse a meta, já que nos testes da Matriz também é utilizado chicanas. Com a chicana é interrompido esse vórtice, e todas as partículas da mistura se colidem de forma que o contato do líquido com a substância a ser incorporada seja mais rápida e eficaz.

Quanto ao tipo de agitação tecnicamente falando, umas das hélices mais utilizadas na indústria é do tipo cowles. Ela agita muito bem, mas ela é ideal para quebrar partículas e cisalhar fluídos de médias a altas viscosidades. Em misturas líquidas, ela causa turbulências junto com bolhas devido a seus dentes laterais para cima e para baixo que corta a mistura e isso em espumas poliuretânicas que exigem células menores é extremamente prejudicial. Já a hélice tipo turbina é ideal para viscosidade de médias a baixas, porque seu fluxo é linear sem causar perturbações devido ao seu formato liso, ela homogeneiza a mistura sem causar bolhas e turbulências. Depois de testar as três

rotações, percebeu se que com a rotação de 2000 rpm a estrutura celular não reduzia nos testes de porosidade.

Na rotação de 1700 rpm ficou com cerca 97% da eficiência exigida igual a estrutura da espuma final de Siserville, faltando apenas ajustes de estanho e partes de Polioli para chegar no objetivo. Ainda assim foi testada a rotação de 1500, ficou a sensação que o produto ficou sem a homogeneização adequada criando alguns pequenos buracos indesejados na espuma. Abaixo veremos o resultado de antes e depois das mudanças. Vide figuras 12 e 13 respectivamente.



Figura 12. Células 12 e 8 respectivamente.

Fonte: Dos autores



Figura 13. Células 12 e 8 respectivamente.

Fonte: Dos autores

Olhando atentamente nota se que após a mudança nos testes, o tamanho da célula diminuiu do índice 12 inicial para 8 final que é o desejado pela matriz. Abaixo veremos como eram as especificações no Brasil antes das mudanças como ficaram depois das mesmas após mudança de Polioli e Amina nas tabelas 5 e 6 respectivamente.

Tabela 5. Especificações Iniciais (Brasil).

Altura Mínima	cm	42,5
Relaxamento	cm	2,5
Fluxo de Ar	cfm/cm	2,5 – 4,0
Estrutura Celular	células/pol.	12

Fonte: Dos autores

Tabela 6. Especificações Finais (EUA).

Altura Mínima	cm	39
Relaxamento	cm	1,0
Fluxo de Ar	cfm Brasil / L/s EUA	5,3 – 13,8 / 2,5 – 6,5
Estrutura Celular	células/pol.	8

Fonte: Dos autores

Com as novas especificações as espumas ficaram com tamanho mais compacto, as células ficaram menores, além do aumento do fluxo de ar e a maior maciez. Essas eram as principais exigências da Matriz, para que todas as unidades seguissem esse padrão, já que são as principais características das espumas feitas na matriz norte-americana.

5. Conclusão.

O novo projeto foi realmente desafiador tendo em vista o investimento que teria que ser feito para atingir as metas colocadas pela matriz Sisterville, além das diferenças já mencionadas para reprodução do teste no Brasil. Portanto foram feitos os testes, entretanto sem fugir do orçamento e da realidade brasileira para que os objetivos fossem atingidos. Com as mudanças de matérias-primas para semelhantes às de Sisterville, o problema ficou menor, porém mesmo assim ainda existiam grandes discrepâncias entre os resultados. Foram necessárias algumas alterações como, a introdução de uma chicana, mudança de hélice da agitação, de cowles para tipo turbina e na velocidade da rotação.

Começando com a rotação de 2000 rpm porque já era a rotação do método anterior feito no Brasil com a hélice tipo cowles, mas agora com a hélice turbina e a chicana, mudanças mencionadas anteriormente, percebeu se certa turbulência e bolhas que não eram esperadas devido as mudanças feitas. Após cura em estufa, foi cortada a espuma e verificou se que a altura final do bloco ficou dentro do especificado pela Matriz. Ao medir a estrutura celular, o resultado ficou entre 10 e 12, as células maiores e fechadas replicando os mesmos resultados do método feito anteriormente. Seguindo com os testes teria que reduzir a rotação para ver se mudariam os resultados encontrados.

Então foi reduzida a rotação para 1700 rpm, e felizmente chegou se a resultados impressionantes como a redução drástica da turbulência, sem excesso de bolhas na superfície da mistura, altura do bloco dentro do especificado, depois de cortada a

espuma observou se células bem menores, e praticamente idênticas a de Sisterville e passagem de ar também com os mesmo resultados alcançados na Matriz.

Ainda assim foi testada uma última rotação para ver se esses números melhoravam, com a rotação de 1500 rpm. Pelos resultados observados, verificou se que a mistura não ficou totalmente homogênea, e apareceram muitas falhas na espuma como muitas bolhas e rachos ficando visível que a homogeneização não teria sido suficiente.

Dessa forma entendeu-se que a 1700 rpm os resultados finais ficaram mais consistentes deixando as espumas mais macias tanto que, com as novas especificações resultados de passagem de ar, altura e estruturas celulares reproduziram em praticamente 98% do exigido pela matriz. Isso foi uma grande vitória frente ao desafio proposto pela matriz, e na unidade brasileira ficou a certeza que o objetivo foi atingido.

6. Referências bibliográficas.

JUNIOR, W.S.; **Síntese de dispersões aquosas de poliuretano como proposta de substituição ao látex natural**; USP- Campinas SP, 2001; Disponível em; <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266490/1/SpinardiJunior_Walter_M.pdf> Acesso em junho 2019.

MARK, H.F.; BIKALES, N.; Overberger, G.C. e Menges, G. “**Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**”; **Jonh Wiley & Sons; (eds) 2a** ; New York; vol. 13; 243-303; 1988.

HERRINGTON, R. ; Polyurethane Products TS&D Dow Plastics; Texas July, 1997.

CREMASCO, M.; Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos; Campinas-SP; Setembro 2012.

SILVA, E.C.; **Sistemas de Agitação e Mistura** ; Artigo Científico, Faculdade de Tecnologia de Garça ; Garça São Paulo ; Julho 2013.

LIMA, V.; Estudo de catalisadores organometálicos na síntese de poliuretanos; Porto Alegre; Fevereiro 2007.

PINTO, P.C.P.; Uso Do Esteatito Como Componente De Espumas De Poliuretano Flexível; Artigo Científico, Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Ciências Exatas Departamento de Química; Belo Horizonte MG 2011. Disponível em;
<file:///C:/Users/User/Videos/Faculdade%20Anchieta/FACULDADE%202019%201%
C2%B0%20SEMESTRE/TCC%20FINAL/disserta__o_pl_nio_2011_sem_item_3.2.pdf
> Acesso em maio de 2019.

SOARES, M.S.; Síntese e caracterização de Espumas de Poliuretanos para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel; Lorena –SP 2012.

VILAR, W.D; Química e Tecnologia dos Poliuretanos; Rio de Janeiro, Dezembro 2004.

ALIMENA, L.A.M.; Estudo comparativo do coeficiente de condutividade térmica de espuma rígida de poliuretano obtida por reciclagem mecânica e química; Porto Alegre-RS, 2009. Disponível em;
<[http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/3260/1/000418067-
Texto%2BCompleto-0.pdf](http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/3260/1/000418067-Texto%2BCompleto-0.pdf)> Acesso em junho de 2019.

LIGABUE, R.A.; Estudo da reação catalítica de formação do Uretano a partir do hexametilenodiisocianato; Porto Alegre-RS, 1995.

MARTINI, T.L.; Influência dos impelidores e condições de mistura na produção de insumos químicos para o setor coureiro; Porto Alegre–RS, 2010.