

Desenvolvimento e caracterização mecânica de adesivos hot-melt

Gabriela Borges da Silva¹ · Emerson Colonetti²

Resumo Os adesivos tem se tornado indispensável, para a indústria e para o nosso cotidiano. O ato de aderir dois ou mais substratos, independente de quais sejam, faz com que satisfaça inúmeras necessidades. Materiais poliméricos tem se destacado para aplicação na área de adesivos. O presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento mecânico de quatro formulações de adesivos *hot-melt* comparando-as a uma formulação padrão. Variou-se a concentração das matérias-primas, polímero EVA, resina hidrogenada e plastificante. A formulação F-2 com maior concentração de polímero EVA obteve alongamento de 120,4%, resistência à tração 46,94 MPa e delaminação 1,9080 N. Os valores tração e alongamento são semelhantes aos apresentados pela formulação F-1, considerada padrão. No ensaio de delaminação a F-2 apresentou um resultado melhor, sendo que o padrão obteve 1,5272 N. Outra formulação com valores próximos a F-1 foi a F-5, com tração de 55,67 MPa, alongamento de 103,0% e delaminação de 1,5661 N. Esta formulação é isenta de plastificante e compensada na resina hidrogenada. A F-4 com mais plastificante que o padrão, obteve resultado inferior, sendo o alongamento de 60,5%, a resistência a tração 36,64 MPa e a delaminação 0,3000 N. O Aumento da resina hidrogenada na F-3 apresentou o alongamento de 98,6%, resistência a tração 43,28 MPa e a delaminação 0,1,5298 N, valores que se aproximam do padrão F-1. Os outros parâmetros avaliados para as formulações desenvolvidas como viscosidade, ponto de amolecimento e dureza shore A não apresentaram grandes desvios em relação ao padrão F-1. As formulações com plastificantes em quantidades maiores acabam tendo um desempenho pior que o padrão. O Aumento na concentração da resina hidrogenada não influenciou o desempenho nas concentrações avaliadas. Já as formulações com polímero EVA em maior concentração tem desempenho semelhante ou melhor que o padrão sendo opção para uma formulação de menor custo.

Palavras-chave Adesivo *hot-melt* · Análises mecânicas · Polímeros · Coesão · Adesão

✉ ¹ gabib_12@hotmail.com

✉ ² emersonc@unesb.net

1 Introdução

Adesivos *hot-melt* vem ocupando cada vez mais o mercado. Apesar de serem inseridos recentemente, em um contexto tecnológico, satisfazem tanto os campos de processo de produção industrial quanto de aplicação no consumidor final. Este mercado já representa 18% de todo o consumo de adesivos no país e vem crescendo cerca de 10% ao ano. É um nicho em grande expansão no Brasil, responsável por uma demanda de 45 mil toneladas por ano, o que corresponde a 3% da produção mundial de *hot-melt* [1].

No início, os adesivos *hot-melt*, também conhecidos por adesivos de fusão a quente, eram baseados em materiais totalmente naturais como a cera de abelha. Atualmente estes adesivos possuem em sua composição polímeros termoplásticos sintéticos [2]. Os polímeros termoplásticos possuem características físicas reversíveis, com aumento da temperatura os mesmos fundem, ao serem resfriados retornam ao estado sólido [3].

Os adesivos *hot-melt* são encontrados em diversas formas: filmes, revestidos em fitas, blocos, grãos, etc. Atendem tanto a área doméstica quanto a industrial. Quando se solidificam, possuem uma alta força de coesão. Em sua composição não existe água e solventes voláteis, ou seja, são 100% sólidos [2].

Quando um adesivo é aplicado ao substrato, se este possuir uma alta condutividade térmica o adesivo irá solidificar-se rapidamente, o que muitas vezes faz com que a aplicação não seja eficiente, e o adesivo perde suas características mecânicas e desempenho [2].

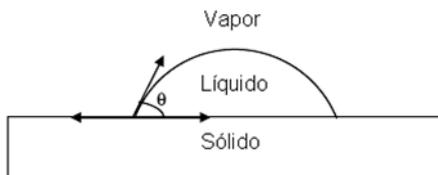
O mercado gráfico é um grande consumidor de adesivos *hot-melt*, que são utilizados para encadernação de livros e revistas, principalmente os termofundíveis a base de EVA [4]. Para fechamento de caixas de papelão, processo de alta produtividade, é necessário que se solidifiquem rapidamente. O adesivo deve formar vínculos que não podem ser quebrados, além de manter a colagem na faixa de temperatura a qual a caixa será exposta sem que ocorra o rompimento [5].

Adesivos são compostos que quando aplicados em duas ou mais superfícies, estas podem juntar-se e resistirem a separação [2]. Os adesivos são substâncias capazes de manter dois elementos juntos pela união de suas superfícies. A maneira com que se faz a junção e como a carga é transmitida influenciará diretamente no comportamento mecânico do adesivo [2]. Desta forma o adesivo deve estar homogêneo e molhar o substrato uniformemente para evitar que pontos de forças concentradas alterem o desempenho mecânico do

adesivo, baixando sua resistência [7]. O fenômeno que mantém os substratos juntos é chamado de adesão e o conjunto *substrato-adesivo-substrato* constitui a junta adesiva. A junta adesiva deve ter flexibilidade e resistência, quanto mais difícil for essa separação através de uma força, melhor será a adesão. Para melhorar a eficiência do conjunto é necessário que as superfícies estejam limpas o máximo possível [7].

A molhabilidade é a propriedade que o material tem de se espalhar sobre a superfície de um determinado sólido promovendo o contato entre os dois. Se as moléculas do adesivo possuem pouca afinidade pelo substrato, o adesivo não irá molhar bem a superfície do substrato. Quando há afinidade entre substrato e adesivo, o adesivo espalha bem sobre a superfície [8]. O ângulo de contato permite quantificar a afinidade entre ambos, quando o ângulo se aproxima de zero, a molhabilidade é boa [7]. A figura 1 demonstra o ângulo de contato entre substrato e adesivo, sendo o sólido o substrato e o líquido o adesivo.

Fig 1. Esquema do ângulo de contato e tensão interfacial da gota de um líquido sobre um sólido.



Fonte: Adaptado de Mendoza, 2016.

A tensão superficial leva a diferentes níveis de umectação entre substrato e líquido que podem ser: boa umectação, o ângulo θ se aproxima de 0 graus, incompleta ou sem umectação o ângulo θ se aproxima de 180 graus [9].

Os adesivos *hot-melt* possuem muitos benefícios, como: aderir em materiais diferentes (metais, plásticos, borrachas, madeira, papel, etc), uso mais conveniente e econômico, maior flexibilidade nos substratos, melhoria na resistência a corrosão, facilidade de aplicação, etc [2].

Nos últimos 50 anos houve grande progresso na ciência em adesivos, devido à evolução dos polímeros sintéticos. Isto forneceu estímulo para pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e a produção de novas formulações que atendem requisitos de fabricação e desempenho de aplicações diversas [2]. Para ser considerado um adesivo de alta qualidade, este deve possuir alto grau de adesão, facilidade de aplicação, rápida formação de filme, longa vida útil, possuir estabilidade e elasticidade, não sofrer influências de variação de temperatura ambiente [10].

Os adesivos *hot-melt* são obtidos pela mistura de alguns materiais, sendo que a proporção e a espécie

desses materiais são os fatores que definirão as características finais do adesivo. Dentre os componentes da mistura estão: borrachas, aditivos, ceras, polímeros, resinas e plastificantes [11]. Os elastômeros são polímeros que aumentam a tenacidade do produto e também proporcionam uma maior coesão sem deformação permanente, já que, mesmo que sejam deformadas ao dobro do seu comprimento, aliviando a tensão retornam instantaneamente ao seu comprimento inicial [3]. Os aditivos utilizados em formulações são os antioxidantes que tem como função combater a degradação do polímero [11]. As ceras são adicionadas para diminuição da viscosidade no estado fundido e para redução de custo, porém se utilizadas em excesso, o adesivo torna-se rígido e quebradiço [12]. Os polímeros são utilizados para fornecer propriedades mecânicas necessárias para o desempenho em aplicações específicas. Os copolímeros de EVA são os polímeros mais utilizados nas formulações para encadernação. Para este tipo de aplicação o adesivo deve possuir flexibilidade, dureza e resistência à fadiga [2]. O polímero EVA possui vida útil longa e capacidade de suportar altas temperaturas [13]. O polímero EVA possui uma ampla escala de índices de fluidez além de propriedades de adesão em vários tipos de aderentes (substratos). O copolímero EVA é o mais popular polímero termoplástico utilizado na indústria de *hot-melt* [6]. As resinas por sua vez, são utilizadas para aumento da aderência e controle da viscosidade [14]. Para a diminuição da dureza são utilizados plastificantes [3].

Os resultados dos ensaios mecânicos em um adesivo dependem das condições em que ensaio é realizado. A propriedade viscoelástica indica que um material possui comportamento viscoso e elástico ao mesmo tempo. Os ensaios podem ser realizados em curto ou longo prazo de tempo, sendo estáticos ou dinâmicos, podem atingir ou não a ruptura do material [3]. A análise dinâmico- mecânica ocorre aplicando-se uma tensão ou deformação mecânica oscilatória de baixa amplitude a um sólido ou líquido viscoso, medindo-se a deformação sofrida [15]. Existem 4 tipos de rupturas que podem ocorrer em uma junta adesiva, são elas: adesiva, coesiva, pelo aderente ou mista [4]. As propriedades mecânicas do adesivo são as principais características a serem analisadas em relação a sua finalidade de aplicação [16].

A colagem ocorre devido a dois fenômenos físico-químicos, são eles: adesão e coesão. Sendo a adesão à resistência mecânica substrato-adesivo e a coesão a resistência interna do adesivo. Para adesivos *hot-melt* o ideal é que a adesão seja instantânea [17]. Os principais fatores que podem afetar a adesão são: temperatura de aplicação, rugosidade do substrato, estrutura química do adesivo, limpeza da superfície antes da aplicação. Os principais fatores que podem afetar a coesão são o estado físico do adesivo, forças

intermoleculares e espessura do filme [17]. A adesão é geralmente favorecida com o uso de resinas e a coesão favorecida pelo uso de borrachas [11]. Boa colagem é aquela que ocorre o rompimento dos substratos, sem que haja separação do adesivo entre si e nem separação do adesivo com o substrato [18]. Em relação as falhas de colagem, a falha coesiva é um tipo preferível, pois as interações substrato-adesivo são maiores do que a força intermolecular do adesivo [13].

A viscosidade é um parâmetro importante e seu controle é fundamental. Se a mesma for muito baixa, o adesivo escoará rapidamente para os substratos, principalmente se os mesmos possuírem porosidade grande, a espessura do filme torna-se insuficiente para adesão. O equipamento normalmente utilizado para medir este parâmetro é o viscosímetro rotacional. A medida é realizada através do torque necessário para rotacionar uma haste imersa na amostra fundida, podendo ter variações na velocidade de rotação da haste [19]. Para polímeros fundidos a viscosidade não é constante ao se variar a taxa de cisalhamento (rotação da haste). Os fluidos que apresentam este comportamento são chamados de não newtonianos. [20] A viscosidade de fusão com o aumento de teor de resina acaba diminuindo [21]. O ponto de amolecimento em adesivos *hot-melt* é avaliado pelo método também conhecido como “Ring and Ball” (anel e bola) sendo o ponto no qual a temperatura que acusa no termômetro indica quando a esfera toca o fundo da plataforma do suporte [19]. A tensão de ruptura corresponde ao carregamento ao qual o material suporta até o rompimento em um ensaio de tração, com este método é possível determinar parâmetros para a realização de projetos de engenharia [22]. A dureza do adesivo mostra a resistência quando ocorre penetração da superfície em uma determinada carga [23]. A adesividade pode ser avaliada no ensaio de delaminação, qual avalia à força necessária para desprender o adesivo do substrato, ou seja, quanto maior a força melhor sua adesão.

Neste trabalho foram produzidos formulações de adesivos com diferentes quantidades de polímeros EVA, resinas e plastificantes. Foram avaliados desempenho mecânico de cada adesivo fabricado, identificando suas características mecânicas através dos ensaios realizados. O objetivo foi avaliar como as propriedades mecânicas variam em função das diferentes formulações.

2 Materiais e métodos

2.1 Materiais

Todos os materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho foram fornecidos pela empresa UNNICOLA. Nas formulações dos adesivos produzidos foram utilizadas as matérias primas:

parafina; antioxidante; três tipos de polímeros EVA com diferentes índices de fluidez, sendo A com 5 g/10 min, B com 25 g/10 min e C com 420 g/10 min; dois tipos de resinas hidrogenadas com cadeias carbônicas C5 codificada como Res Hidrogenada A e C9 codificada como Res Hidrogenada B e plastificante. Todas as matérias primas foram utilizadas conforme recebidas.

2.2 Métodos

2.2.1 Preparação dos adesivos

As formulações foram produzidas em laboratório climatizado ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ e 50% UR). As matérias primas foram misturadas em um recipiente de aço inoxidável com auxílio de um agitador mecânico para escala laboratorial. Uma manta térmica Êxodo tecnologia MA-250 foi utilizada para o aquecimento do sistema alcançando entre 140°C a 150°C . As matérias primas foram agitadas em torno de 60 a 90 minutos e descarregadas em papel siliconado para solidificação. Foram produzidas 5 formulações de 120 g. As composições das formulações produzidas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das formulações produzidas.

Matérias prima	Formulações (%)				
	F-1*	F-2	F-3	F-4	F-5
Parafina	17	17	17	17	17
Antioxidante	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Polímero EVA A	15	15	15	15	15
Polímero EVA B	7	7	7	7	7
Polímero EVA C	12,5	17,5	7,5	12,5	12,5
Res hidrogenada A	29	24	34	23	35
Res hidrogenada B	13	13	13	13	13
Plastificante	6	6	6	12	-

*Formulação padrão.

2.2.2 Caracterizações

2.2.2.1 Viscosidade Brookfield

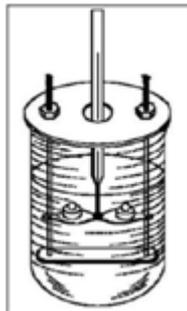
Para análise de viscosidade foram pesados 10 g de cada amostra. Em seguida, a amostra foi inserida no compartimento cilíndrico de metal do viscosímetro e aquecida a 160°C para fundir. Após o tempo de 10 minutos, com o adesivo em seu estado líquido, foi imerso na amostra a haste de número 27 e ligado o viscosímetro analógico Brookfield modelo RVT. Iniciou-se a medida com rotação de 10 RPM mantendo-se por 10 min de análise. Após esse tempo,

foi aumentado para 20 RPM ou 50 RPM (de acordo com a fórmula) e realizado a leitura por mais 10 minutos. Após o tempo de análise, fez-se o cálculo utilizando valores tabelados para relação RPM versus haste utilizada. Multiplica-se o valor encontrado no viscosímetro pelo número correspondente na tabela. O valor de viscosidade é expresso em centipoise (cP).

2.2.2.2 Ponto de amolecimento

Com o adesivo fundido proveniente do viscosímetro, a amostra foi despejada em dois anéis de formato esférico e de mesmo tamanho para o teste que também é conhecido por “*Ring and Ball*” e o método foi realizado baseado na norma NBR 9424. Esperou-se o adesivo solidificar-se novamente dentro dos anéis e colocou-se os mesmos encaixados em um molde de metal com esferas de mesmo tamanho em cima da amostra. Este molde foi imerso em um béquer de 1000 mL com glicerina e agitação. O béquer foi posicionado sobre uma chapa de aquecimento com agitação de um misturador, dentro dele entre os dois anéis encaixados no molde, colocou-se um termômetro para medir o momento em que ocorre o ponto de amolecimento do adesivo como mostra a Figura 2.

Fig 2. Esquema do ensaio anel e bola



Fonte: Amorim, 2013.

2.2.2.3 Dureza

Foram produzidas uma amostra de cada formulação com espessura de $3,5 \pm 0,1$ mm. O durômetro utilizado foi o de escala shore A e o método baseado na norma ASTM D2240. As amostras foram medidas inicialmente com uma determinada dureza e após 5 s foi verificado novamente o valor durante a inserção na amostra. Foram realizados três medições cada amostra.

2.2.2.4 Resistência a tração

Os testes de tração foram realizados com um equipamento Emic DL200MF, com uma célula de

carga de 2 kN. As amostras, previamente condicionadas em $23 \pm 2^\circ\text{C}$, foram testadas usando uma velocidade de 50 mm / min. Pelo menos 5 amostras de cada composição foram testadas e o valor médio foi obtido. As amostras foram preparadas com a dimensão de 20 cm X 2,5 cm com auxílio de um extensor Bird de 300 μm para espessura.

2.2.2.5 Delaminação

As amostras foram aplicadas em papel couchê com a dimensão de 20 cm X 2,5 cm e estendidas com o extensor Bird de 500 μm para a espessura do adesivo ser padrão nas colagens.

Os testes de delaminação foram realizados com um equipamento Emic DL200MF, com uma célula de carga de 2 kN. As amostras, previamente condicionadas em $23 \pm 2^\circ\text{C}$, foram testadas usando uma velocidade de 50 mm / min. Pelo menos 3 amostras de cada composição foram testadas e o valor médio foi obtido.

3. Resultados e discussão

Os resultados e discussão apresentados neste trabalho levam em consideração a formulação de número 1 como padrão. A formulação de número 1 é considerada padrão pois já atua no mercado e apresenta boa performance em seu uso.

3.1 Resultados de ensaio de Viscosidade

Os resultados de viscosidade são apresentados na tabela 2. As formulações que apresentaram maior viscosidade foram medidas a 20 RPM para aumentar o range de leitura do viscosímetro e conseguir realizar a leitura no equipamento.

Tabela 2 – Resultados de viscosidade em cP das formulações produzidas.

Formulação	F-1	F-2**	F-3	F-4	F-5**
Viscosidade	4155	5593	3275	4000	5125

* Desvio padrão 0,62%. **Formulações F-2 e F-5 foram medidas a 20 RPM demais formulações a 50 RPM.

Nota-se que o valor da viscosidade da formulação 2 foi o maior obtido entre as formulações avaliadas. A mesma possui uma quantidade maior de polímero EVA. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira [24]. Em testes comparativos de caracterização reológica realizados, adicionando maior quantidade de EVA a autora obteve maior viscosidade.

A formulação 3, a qual foi retirada uma grande parte de polímero EVA e adicionado quantidade maior de resina hidrogenada a viscosidade tornou-se menor. Além da influência do polímero, a viscosidade

de fusão com o aumento de resina hidrogenada acaba diminuindo, o que está de acordo com Park e Kim [21].

A formulação 4 com maior quantidade de plastificante resultou em uma viscosidade menor. Porém, como a quantidade de plastificante contida nas formulações é pequena a influencia na variação da viscosidade não foi tão significativa. Os resultados com a adição de mais plastificante coincidem com o descrito por Nascimento [25] que afirma que o uso de plastificante aumenta o índice de fluidez, resultando em diminuição da viscosidade do fundido. Na formulação 5, isenta de plastificante, percebe-se o aumento da viscosidade comparado a formulação padrão 1, porém, não é maior que a viscosidade da formulação 2 que possui maior teor de polímeros de EVA. A formulação 5 possui resina hidrogenada compensando o plastificante que foi retirado. Comparando os resultados de viscosidades das formulações 5 e 4 observa-se que o plastificante reduz mais a viscosidade comparado a resina hidrogenada.

O aumento da concentração do polímero EVA na formulação em geral, afeta a reologia do adesivo tornando-o mais viscoso em comparação as formulações que predominam maiores concentrações de resinas hidrogenadas e plastificantes.

3.2 Resultados do ensaio de Ponto de Amolecimento (PA)

Os resultados de PA são apresentados na tabela 3. Não foram observadas grandes variações de PA para as formulações produzidas. As diferentes formulações foram produzidas com as mesmas matérias-primas apenas em proporções diferentes.

Tabela 3 – Resultados de PA para as formulações produzidas.

Fórmulação	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5
PA	68°C	68°C	66°C	68°C	66°C

Nota-se que as formulações que apresentaram uma pequena diferença de valor em 2°C são as de número 3 e 5, em que ambas obtiveram o valor de 66°C. Estas formulações possuem maior teor de resinas hidrogenadas. Quaiatti [11] afirma que resinas de natureza alifática, terpênicas, derivadas de breu e hidrogenadas tendem a se associar em fases elastoméricas, uma vez que possuem geralmente massa molecular e ponto de amolecimento baixo. Ainda, o

mesmo autor comenta sobre as resinas C5 e C9, que na formulação adesiva o comportamento delas vai depender muito da proporção que se encontram. As duas formulações apresentaram PA em temperatura inferior, possuem quase 50% de resina hidrogenada.

3.3 Avaliação de ensaio de Dureza Shore A

Os ensaios de dureza foram realizados com o durômetro Shore A baseado na norma ASTM D2240 que é indicado para medição de dureza em borrachas e plásticos moles conforme sites de vendas do equipamento. Os valores discutidos são as médias após 5 s, que é o momento que estabiliza-se o valor de medição indicada no equipamento. Conforme a tabela 4, a formulação 4 foi a que apresentou menor valor dureza. A presença maior de plastificante pode ter contribuído para que o adesivo ficasse mais mole que os outros [3]. Nos estudos realizados por Vargas [26], resultados semelhantes foram obtidos. A autora obteve menor dureza com a utilização de maior concentração dos plastificantes. Ainda de acordo com a definição para plastificantes da IUPAC “os plastificantes são substâncias que são incorporadas aos plásticos ou elastômeros com a finalidade de aumentar a sua maleabilidade” e assim diminui-se a dureza [26]. Na formulação de número 5, que é isenta de plastificante e compensada em resina hidrogenada, obteve-se o maior valor de dureza, 82,7. O aumento da resina hidrogenada em substituição ao polímero EVA na formulação 3 aumentou a dureza comparada a formulação 1, de 76,0 para 81,7. Ainda assim a formulação 3 por conter o plastificante é menos dura que a formulação 5.

Na formulação 2 o valor obtido é superior ao padrão, porém inferior nas fórmulas de resina e plastificante. Esta formulação apresenta uma concentração maior de polímero EVA e obteve-se um valor próximo ao descrito por Alencar [27] em estudos com polímeros EVA. Alencar indica o valor em Shore A como 80, enquanto que neste trabalho o valor encontrado para a formulação 2 foi de 79,3.

Conforme o SENAI [28] a dureza de materiais termoplásticos variam em durômetro Shore A em um intervalo de 75 a 98, valores que foram obtidos neste trabalho. A dureza nestes materiais é importante, pois quanto mais duro for, melhor será sua resistência ao desgaste.

Tabela 4 – Resultados de dureza dos ensaios.

Ensaio	F-1		F-2		F-3		F-4		F-5	
	Inicial	Após 5s								
1	85,0	78,0	85,0	78,0	88,0	82,0	73,0	71,0	86,0	83,0
2	84,0	71,0	84,0	80,0	84,0	82,0	80,0	72,0	85,0	83,0
3	85,0	79,0	84,0	80,0	86,0	81,0	83,0	75,0	85,0	82,0
Média	84,7	76,0	84,3	79,3	86,0	81,7	78,6	72,6	85,3	82,7
SD	0,6	4,4	0,6	1,2	2,0	0,6	5,1	2,1	0,6	0,6

3.4 Avaliação de ensaio de Resistência à tração

Tabela 5 – Resultados do ensaio de resistência à tração.

Ensaio	Deformação (%)				
	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5
1	122,0	98,7	92,8	69,0	105,6
2	126,0	117,1	110,5	72,1	92,1
3	137,7	127,2	110,5	49,7	100,1
4	114,6	127,2	75,5	54,1	121,7
5	116,7	131,7	103,9	57,5	95,6
Média	123,4	120,4	98,6	60,5	103,0
SD	9,2	13,2	14,8	9,7	11,6

Ensaio	Tensão (MPa)				
	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5
1	49,82	61,85	46,55	42,76	64,72
2	56,62	56,36	66,95	42,76	56,36
3	33,34	39,75	36,61	35,30	47,59
4	32,95	37,92	32,69	32,69	57,66
5	54,39	38,83	33,60	29,81	52,04
Média	45,42	46,94	43,28	36,64	55,67
SD	11,47	11,29	14,33	5,90	6,42

De acordo com os valores obtidos nos ensaios, a formulação que apresentou maior resistência foi a de número 5 com 55,67 MPa. A formulação que apresentou menor resistência foi a de número 4 com 36,64 MPa. Observa-se a influência da matéria-prima plastificante. A formulação 5 está isenta de plastificante e a formulação 4 possui o dobro de plastificante em relação a formulação padrão, a de número 1. Embora ajude na flexibilidade o uso de plastificante em excesso pode prejudicar a resistência a tração. O uso em quantidades excessivas acaba prejudicando o adesivo reduzindo também o alongamento. Os alongamentos obtidos para formulações 5 e 4 foram 103,0% e 60,5%, respectivamente, ou seja, ocorre uma redução brusca do alongamento do material por torná-lo frágil.

Demais formulações 1, 2 e 3 apresentaram resultados muito próximos de resistências à tração 45,42, 46,94 e 43,28 respectivamente. Os valores de deformação % para as formulações 1, 2 e 3 também foram próximos, 123,4, 120,4 e 98,6 respectivamente.

Os resultados de tração mostram a coesão do adesivo, quanto maior a resistência melhor é a coesão. Esta é uma característica importante para ser avaliada em adesivos, pois a coesão está relacionada a adesão, já que ambas são a resistência do adesivo, interna e externa, respectivamente.

Os valores de tração obtidos são semelhantes aos valores descritos por Harper [29] sobre características mecânicas de polímeros em temperatura ambiente.

3.5 Avaliação de ensaio de delaminação

Tabela 6 – Resultados do ensaio de delaminação

Ensaio	Força (N)				
	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5
1	1,3672	1,7380	1,5437	0,3025	1,5707
2	1,6464	2,0770	1,4903	0,2708	1,5606
3	1,5679	1,9088	1,5554	0,3261	1,5670
Média	1,5272	1,9080	1,5298	0,3000	1,5661
SD	0,1440	0,1695	0,0347	0,0278	0,0051

Este ensaio informa a força necessária para desprender adesivo do substrato, ou seja, quanto maior a força melhor sua adesão. O maior valor obtido foi para a formulação 2 que possui maior concentração do polímero EVA. Os polímeros a base de EVA apresentam boa aderência não só no tipo de substrato utilizado no ensaio, mas em uma ampla gama de materiais [6]. O menor valor obtido foi para a formulação 4, no qual, a adesão caiu extremamente em comparativo a todas as outras formulações. Neste caso a maior concentração de plastificante pode ter reduzido à interação substrato-adesivo, ou ainda, devido a menor resistência interna do adesivo, avaliado no ensaio de

tração, pode ter levado a uma ruptura além de adesiva, coesiva.

Era esperado que a formulação 3 apresentasse uma adesão maior que a fórmula 2, pois tem menor teor de polímero EVA e mais resina. A resina na literatura encontrada apresenta uma tendência ao aumento de aderência, o que embora tenha aumentado nas formulações de maior teor, não houve um valor tão significativo comparado a formulação 2 de polímero EVA. A formulação 3 apresentou valores de adesão semelhantes as formulações 1 e 5.

Desta forma observa-se que as concentrações de polímero EVA e plastificantes são os fatores que mais contribuem para mudança no valor de adesividade das formulações avaliadas. Os estudos de Freitas [12] mostram a teoria de camadas fracamente ligadas que é a teoria da falha adesiva, nela, cita que esta falha na adesão dos adesivos com o substrato, mostram que está associado tanto a impurezas, bolhas de ar, etc, como também a presença de plastificantes. Logo, a formulação 4 contém uma % de plastificante bem maior que as demais e assim obteve uma força de adesão menor.

4. Conclusão

Quatro formulações foram produzidas variando-se as proporções de matérias primas a partir de uma formulação comercial padrão. Os resultados indicam que o uso em maior quantidade de plastificantes em adesivos *hot melt* a base de polímeros EVA e resinas hidrogenadas diminui a resistência à tração, alongamento e adesividade. Como pode ser observado os valores destas propriedades foram menores para a formulação 4 que possui maior teor de plastificante.

O aumento do teor do polímero EVA, em substituição a resina hidrogenada, levou a uma formulação (F-2) com maior adesividade, como pode ser visto no ensaio de delaminação. As outras propriedades para a F-2 apresentaram valores próximos ao padrão. O polímero EVA é uma matéria prima de custo menor que a resina hidrogenada (cerca de duas vezes) desta forma a F-2 é uma opção para menor custo e maior desempenho.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa UNNICOLA, ao Iparque, ao IDT e ao Laboratório de Ensaio mecânicos pela infraestrutura e apoio para realização desta pesquisa.

6. Referências

- [1] Corrida tecnológica no setor de adesivos, **Revista Adesivos & Selantes** (p.34 a p.44), 2018. <<http://www.clicknoticia.com.br/clipp.asp?clip=604>> Acesso em abril, 2018.
- [2] KINLOCH, A. J. **Adhesion and adhesives: science and technology**. London: Chapman & Hall, 1987. 441 p
- [3] CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002. 183 p. ISBN 8588098105.
- [4] A. M. G. Pinto, **Ligações adesivas entre materiais poliméricos com e sem alteração superficial dos substratos**, 2007.
- [5] J. P. Kalish; S. Ramalingam; O. Wamuo; S. L. Hsu; O. Vyavahare; Y. Wu; C. W. Paul; A. Eodice, **Role of n-alkane-based additives in hot melt adhesives**, 2014.
- [6] Y. J. Park; H. S. Joo; H. J. Kim; Y. K. Lee, **Adhesion and rheological properties of EVA-based hot-melt adhesives**, 2006.
- [7] MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a polímeros**. 2.ed, rev. ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 191 p.
- [8] AHADIAN, S; MOHSENI, M; MORADIAN, S. Ranking proposed models for attaining surface energy of powders using contact angle measurements. *International Journal Adhesion and Adhesives*, V.29, N.4, P. 458-469, 2009.
- [9] Z. M. dos S. H. de Mendoza; P. H. de M. Borges; A. dos S. Ribeiro; F. B. Fernandes. **Aspectos gerais sobre adesivos para madeira**, 2016.
- [10] B. dos Santos; T. M. Coelho; N. A. Filho; A. M. Angelotti; E. N. Dias, **Incorporação do amido termoplástico ao adesivo hotmelt**, 2016.
- [11] M. A. Quaiatti, **Utilização de elastômeros termoplásticos no segmento de adesivos sensíveis à pressão (PSA)**, 2005.
- [12] R. F. R. Freitas, **Adesivos termofundíveis: correlação da natureza química com suas propriedades adesiva, reológica e térmica**, 2016.
- [13] N. Z. Tomic; A. D. Marinkovic; D. Veljovic; K. Trifkovic; S. Levic; V. Radojevic; R. J. Heinemann, **A new approach to compatibilization study of EVA/PMMA polymer blend used as an optical fibers adhesive: Mechanical, morphological and**

- thermalproperties, 2018.
- [14] J. P. Kalish; S. Ramalingam; H. Bao; D. Hall; O. Wamuo; S. L. Hsu; C. W. Paul; A. Eodice; Y. G. Low, An analysis of the role of wax in hot melt adhesives, 2015.
- [15] S. N. Cassu; M. I. Felisberti, Comportamento dinâmico-mecânico e relaxações em polímeros e blendas poliméricas, 2005.
- [16] **APPLIED polymer analysis and characterization.** New York, USA: Barcelona, 1991. v.2 ISBN 3-446-15510-4.
- [17] S. A da Silva, Estudo do comportamento reológico dos adesivos *hot melt* PSA e sua relação com a composição e as propriedades adesivas, 2008.
- [18] C. D. F. Klein, Síntese e caracterização de poliésteres termoplásticos, 2009.
- [19] W. S. Amorim, Estudo das características térmicas e mecânicas de formulações de adesivos PSA hot melt contendo variações de borrachas SBC e resinas taquificantes, 2013.
- [20] C. M. Wasilkoski, Comportamento mecânico dos materiais poliméricos, 2006.
- [21] Y. J. Park; H. J. Kim, Hot-melt adhesive properties of EVA, 2003.
- [22] CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião V. **Técnicas de caracterização de polímeros.** São Paulo: Artliber, 2003. 448p. ISBN 8588098199 (broch.).
- [23] G. A. Pinto; C. R. Wolf; L. Endres, Estudo da influência das matérias-primas nas propriedades finais de placas expandidas de compostos à base de copolímero de etileno e acetato de vinila (EVA), 2003.
- [24] M.G. Oliveira; M.H. Virgolino, Caracterização das propriedades reológicas e dinâmicas de composições de borracha natural com resíduo de EVA, 2004.
- [25] U.A do Nascimento; G. A.V. Timóteo; M.S Rabello, Efeito de plastificantes à base de poliisobutenos nas propriedades físicas e mecânicas do polipropileno, 2013.
- [26] U. D. S. de Vargas, Estudo comparativo das propriedades do policloreto de vinila utilizando plastificantes alternativos ao dioctilftalato, 2016.
- [27] A. E. V. De Alencar, Avaliação do uso de polímero EVA, resíduo da indústria de calçados (EVAR) e aditivos no desempenho reológico de ligante asfáltico de petróleo, 2009.
- [28] SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, **Ciência e caracterização dos materiais plásticos.** São Paulo: SENAI SP, 2017.
- [29] HARPER, Charles A.. **Moderns Plastics Encyclopedia.** The McGraw-Hill Companies, 1995.