RESPOSTA NO COMPÓSITO HÍBRIDO FIBRA DE VIDRO/KEVLAR SOB AÇÃO DE IMPACTO POR QUEDA DE PESO

R. D. da Cunha[1]
R. C. S. Freire Junior[1]
J. K. D. dos Santos[2]
W. F. de Amorim Júnior[3]
R. A. D. da Cunha[4]

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. Email: rayanec.dantas@gmail.com

[2]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, R. Pedro Bezerra de Menezes, n° 387, Manoel Costa Morais, CEP: 63475-000, Jaguaribe, Ceará, Brasil.

[3]Universidade Federal de Campina Grande, R. Aprígio Veloso, nº 882, Bodocongó, CEP: 58429-900, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

[4]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Rodovia PA 275, s/n - Bairro União, CEP: 68515-000, Parauapebas, Pará, Brasil.

RESUMO: *Este trabalho tem como objetivo analisar a resposta do impacto de laminados compósitos híbridos kevlar/vidro utilizadas como reforço da matriz Epóxi Éster Vinílica comercialmente designada por Derakene, os corpos de prova do laminado foram ensaiados para vários níveis de energia de impacto variando de 39J à 95 J, este apresentou a capacidade de suportar até 58 J de energia com um único impacto sem grandes danos na sua estrutura final e um limite de perfuração no intervalo de energia de impacto entre 58 J à 76 J. Os mecanismos de dano são discutidos a partir de uma análise macroscópica de cada amostra danificada e calculou-se a área do dano, de ambos os lados: o impactado (comprimido) e o oposto ao impacto (tracionado), através do software de análise de imagem, o IMAGE J. Com isso discutiu-se o efeito da hibridização no comportamento do impacto.*

Palavras-chave: Materiais compósitos, impacto, delaminação.

INTRODUÇÃO

Os compósitos de fibra de kevlar têm sido extensivamente utilizados em muitas aplicações de engenharia, especialmente capacetes militares blindados, veículos terrestres, e as indústrias de aviação, uma vez que proporcionam uma boa danos

tolerância, baixa densidade, e excelente resistência ao impacto.[1] Estas propriedades podem ser melhoradas através de hibridação, isto é, com adicionando reforço de vidro-E e fibras de carbono. Nos últimos anos está ocorrendo um crescente interesse em examinar a resposta de impacto de ambos os compósitos: os simples e híbridos.[2-6] Diante disso, este trabalho tem como objetivo analisar a resposta do impacto de um laminado compósito híbrido kevlar/vidro. A energia de impacto foi gradualmente aumentada até que ocorresse a perfuração completa, e um método de análise macroscópica foi realizado para calcular a área do dano de ambos os lados: o impactado (comprimido) e o oposto ao impacto (tracionado), através do software de análise de imagem, o IMAGE J. As imagens das várias amostras submetidas a vários impactos energias foram registrados e utilizadas para comparação e identificação de mecanismos de dano. O compósito apresentou a capacidade de suportar até 58 J de energia com um único impacto sem grandes danos na sua estrutura final e um limite de perfuração no intervalo de energia de impacto entre 59 J à 76 J.

MATERIAIS E MÉTODOS

Matéria-prima

A matriz polimérica utilizada foi a resina Epóxi Ester Vinílica Derakene, com as seguintes características fornecidas pelo fabricante: densidade de 1,14 g/cm³, resistência à tração e à flexão de 86 Mpa e 150 Mpa, respectivamente, levando em consideração a temperatura do Laboratório entre 25 e 30°C, para a cura da resina utilizou-se 1,25% de catalizador metil-etil-cetona (MEKP) e 0,20% do acelerador Naftenato de Cobalto de modo a obter tempo de Gel entre 10 e 30 minutos. Como material de reforço utilizou-se dois tecidos bidirecionais do tipo plano de fibra de vidro-E e de fibra kevlar-49, com gramaturas iguais de 200 g/m², os tecidos foram fornecidos pela empresa MAXEPOXI. Antes de se iniciar a laminação, foi necessário que a resina já catalisada fosse levada para uma câmara de vácuo, de modo a remover parte dos gases e vapores formados durante o processo de polimerização da resina. A fabricação do compósito se deu mediante o processo de laminação manual (hand lay-up), obtendo-se, desta maneira uma placa sendo a matriz a resina Derakene e como reforço três camadas de fibra Kevlar-49, sendo estas posicionadas de forma a obter um laminado simétrico, intercalando mais oito camadas de fibra de vidro, totalizando onze camadas, apresentando a seguinte configuração: [K/VVVV/K/VVVV/K]

A cura da placa foi feita a temperatura ambiente (±25°C). Após a cura do compósito, foram cortados corpos de prova (CP) utilizando uma máquina de corte à jato d'agua na

empresa Nordeste Laser, correspondentes com a norma técnica estabelecida para a realização do ensaio de impacto por queda de peso (ASTM D7136M-2007).

Ensaio de impacto

O ensaio de impacto foi realizado pela máquina de impacto por queda de peso para materiais compósitos no Laboratório de Projetos e Instrumentos (LPI) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Os ensaios realizados tiveram as seguintes configurações:

• Nível de energia de impacto – 39, 58, 76 e 95 J;

• Altura de queda dos pesos de 1,3 metros;

• Impactador de ponta semiesférica com diâmetro de 16 mm e dureza 57 HRC.

Análise do dano

Após a realização dos ensaios, os corpos-de-prova foram submetidos ao estudo das áreas impactadas. Consistiu de uma análise macroscópica, utilizando um software aberto IMAGE J, o qual apresenta uma metodologia de aproximação de resultados, onde a área a ser calculada é delimitada através de linhas paramétricas, ver figura 2. Para assegurar uma melhor precisão na delimitação da área delaminada utilizou-se o comando Crop para visualizar os detalhes da imagem a ser analisada. Com o objetivo de quantificar a área delaminada ao longo do corpo-de-prova.

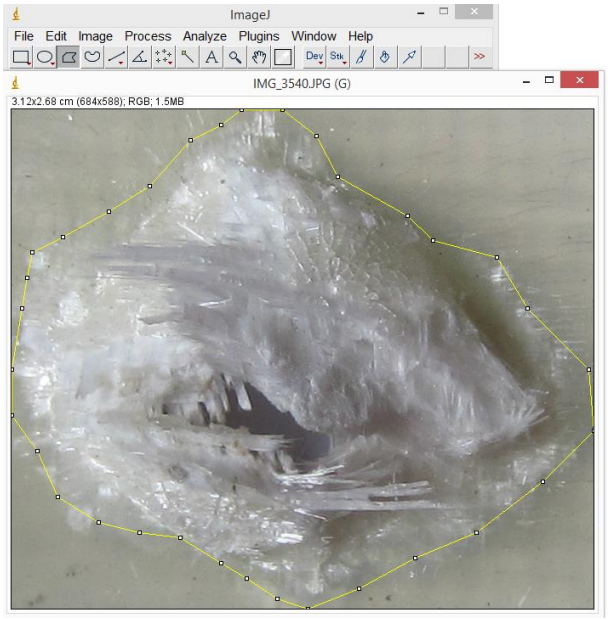

Figura 2: Comando Crop – Detalhe da imagem a ser analisada

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento desse trabalho permitiu avaliar superficialmente os danos causados às placas híbridas vidro/kevlar e quantificar a área do dano quando os corpos de prova que foram submetidos diversos níveis de energia.

Análise do danos causados nos laminados, para diferentes energias:

Energia de impacto 39 J

Para o compósito híbrido com essa quantidade de energia precisou-se de uma sequência de 4 impactos no mesmo corpo de prova para chegar até a penetração total do impactador.

Pode-se observar na figura 3 o resultado do dano com a energia de 39 J impactada por 4 vezes seguintes até chegar a sua perfuração total. Na imagem 3(a), que é o dano causado na face impactada, nos mostra que houve uma delaminação ao longo de todo o corpo de prova no sentido do comprimento do mesmo e quebra das fibras de vidro e de kevlar no local da penetração. Logo analisando a figura 3(b), que é o dano causado na área oposta do impacto, também nos mostra delaminação, esta sendo próxima do local de contato do impactador com o corpo de prova e quebra das fibras de vidro e de kevlar de todas as camadas no local da penetração do impactador, como consequência observa-se o grande ressalto de ruptura das fibras.

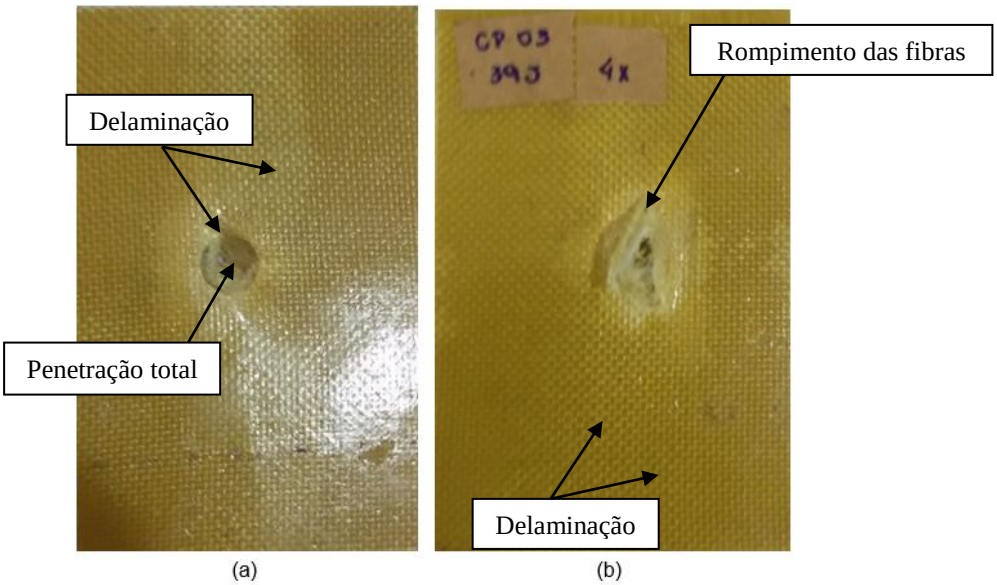

Figura 3: Dano no CHVK com a energia de impacto 39 J impactado 4 vezes: (a) Lado comprimido; (b) Lado tracionado

Mostra-se na figura 4 o resultado do dano com a energia de 39 J com um único impacto no compósito híbrido. Observamos com isso, pouca variação na estrutura final do compósito, ou seja, essa quantidade de energia atrelada à única penetração não foi

suficiente para que o impactador penetrasse no material. As figuras 4(a) e (b) trazem a ocorrência de pouca delaminação ao longo de todo o corpo de prova no sentido do comprimento do mesmo, a presença do esmagamento de algumas fibras no local de contato com o impactador, não houve a quebra total das fibras e observa-se um pequeno ressalto na área oposta ao impacto (lado tracionado).

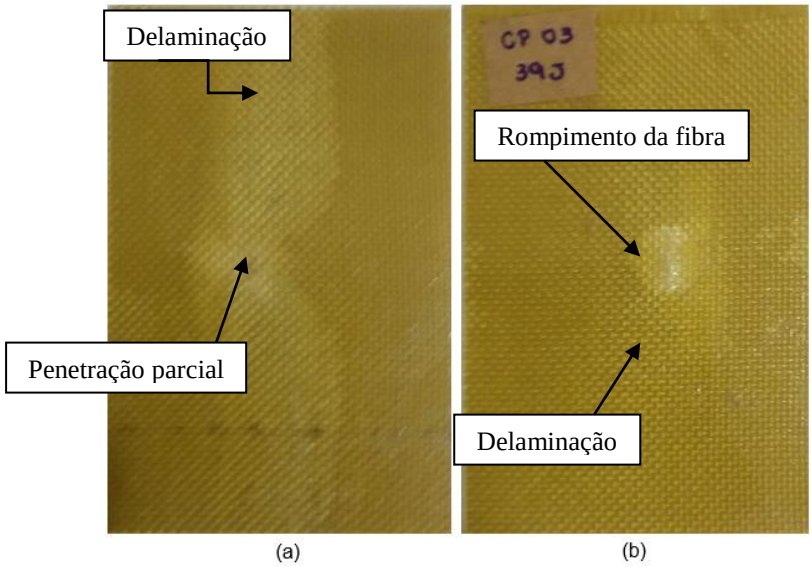

Figura 4: Dano no CHVK com a energia de impacto 39 J: (a) Lado comprimido; (b)Lado tracionado

Energia de impacto 58 J

Com a quantidade de energia de 58 J o material precisou-se de uma sequência de 2 impactos no mesmo corpo de prova para chegar até a penetração total do impactador, o que pode dizer que esse tipo de compósito necessita de uma maior energia de impacto para chegar no seu limite de perfuração.

A figura 5 nos apresenta o resultado do dano com a energia de impacto de 58 J impactado por 2 vezes seguintes no material. Na imagem 5(a), observa-se que houve uma delaminação fibra/matriz ao longo de todo o corpo de prova no sentido do comprimento do mesmo e também houve quebra das fibras de vidro e de kevlar no local da penetração e analisando a figura 5(b), também nos mostra delaminação, sendo esta próxima do local de contato do impactador com o corpo de prova e quebra de todas as fibras no local da penetração, como consequência o grande ressalto da ruptura das fibras ocasionado pelo impactador.

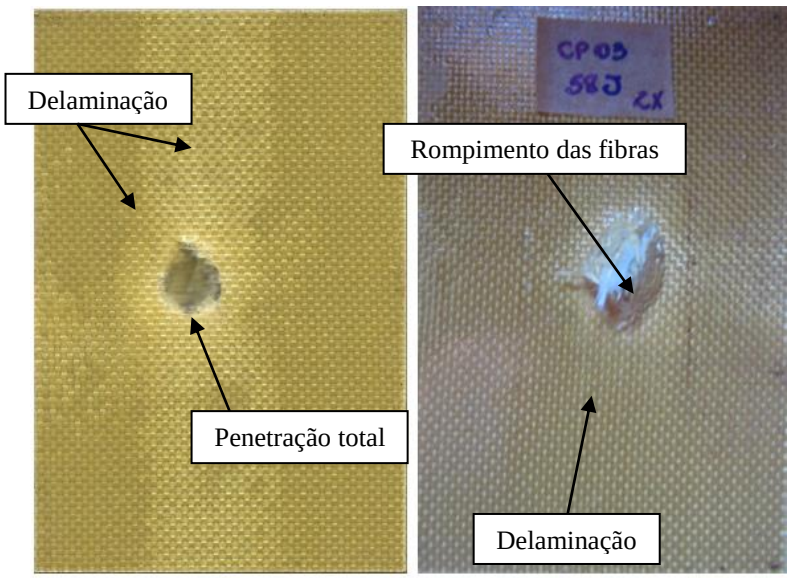

Figura 5: Dano no CHVK com a energia de impacto de 58 J impactado 2 vezes: (a) Lado comprimido; (b)Lado tracionado

Mostra-se na figura 6 o resultado do dano com a energia de 58 J com um único impacto no compósito híbrido. Pela figura pode-se observar que houve poucos danos na estrutura do corpo de prova. Na imagem 6(a), que é o dano causado lado impactado, observa-se que houve uma delaminação ao longo de todo o corpo de prova no sentido do comprimento do mesmo e também houve uma pequena penetração do impactador, ou seja, o impactador chegou a penetrar apenas as primeiras camadas do compósito. Analisando a figura 6(b), que é o dano causado na área oposta do impacto, também nos mostra desaderência, sendo esta próxima do local de contato do impactador com o corpo de prova e início de quebra das fibras no local da penetração, como consequência o pequeno ressalto das fibras neste local.

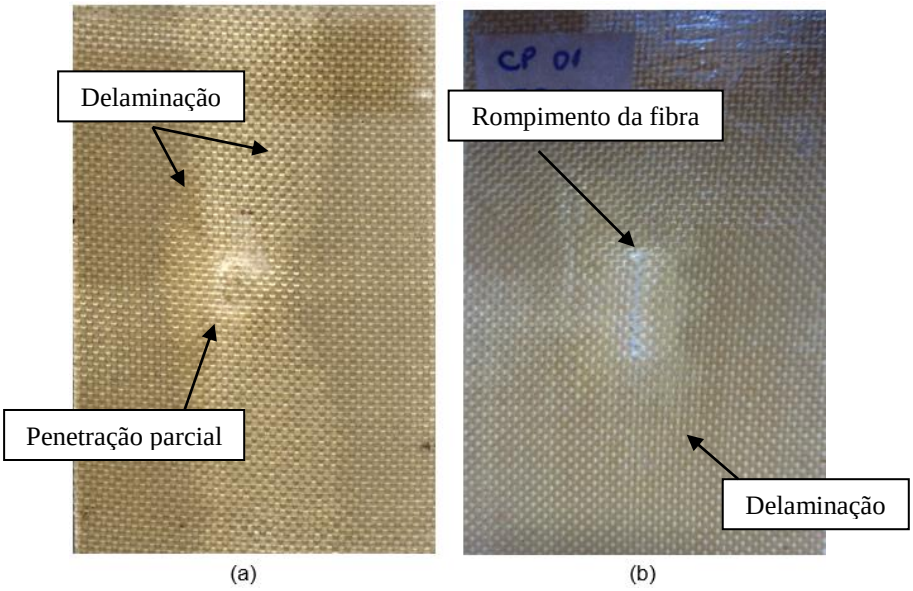

Figura 6: Dano no CHVK com a energia de impacto 58 J: (a) Lado comprimido; (b)Lado tracionado

Energia de impacto 76 J

A energia de impacto de 76 J, foi suficiente para o impactador penetrar todas as camadas do corpo de prova, o que podemos caracterizar que essa energia de impacto ultrapassou o limite de energia necessária para a perfuração desse compósito. Quando faz comparação das figuras 6 e 7, pode-se observar grande mudança nas características do dano.

Mostra-se na figura 7 o resultado do dano com a energia de impacto de 76 J no compósito híbrido. Na figura 7(a), se verifica que houve uma delaminação fibra/matriz ao longo de todo o corpo de prova no sentido do comprimento do mesmo e quebra das fibras de vidro e de kevlar de todas as camadas no local da penetração. Analisando a figura 7(b), também nos mostra delaminação, sendo esta mais concentrada na região próxima do local de contato do impactador com o corpo de prova e quebra de todas as fibras no local da penetração, como consequência o grande ressalto de explosão das fibras ocasionado pelo impactador.

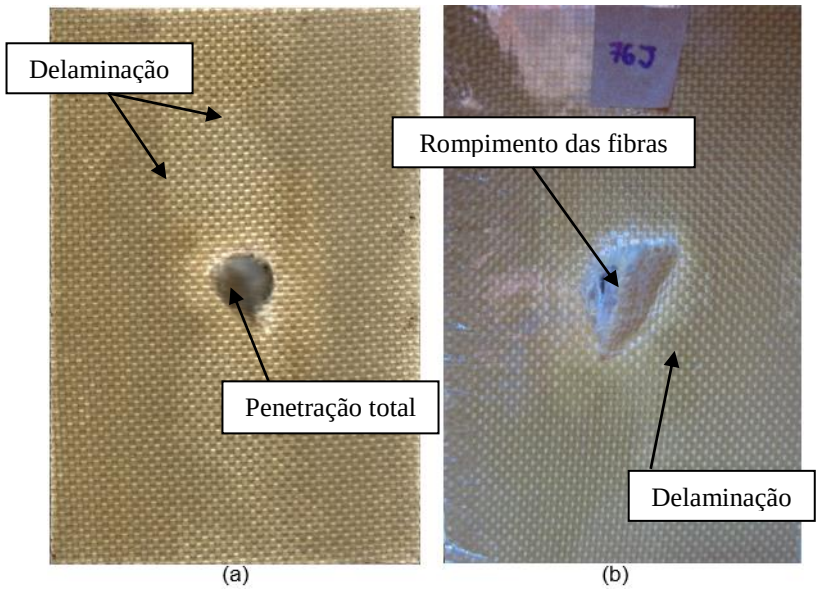

Figura 7: Dano no CHVK com a energia de impacto 76 J: (a) Lado comprimido; (b)Lado tracionado

Energia de impacto 95 J

A energia de impacto de 95 J é superior a energia de limite de perfuração desse compósito, que é suficiente para ocorrer a perfuração total da amostra, o que não apresentou mudança nas características do dano quando comparamos com as imagens que apresenta o impacto com a energia de 76 J.

Mostra-se na figura 8 a delaminação que se propagou mais no comprimento do corpo de prova na face que foi impactada e a quebra de todas as fibras no lado oposto ao impacto.

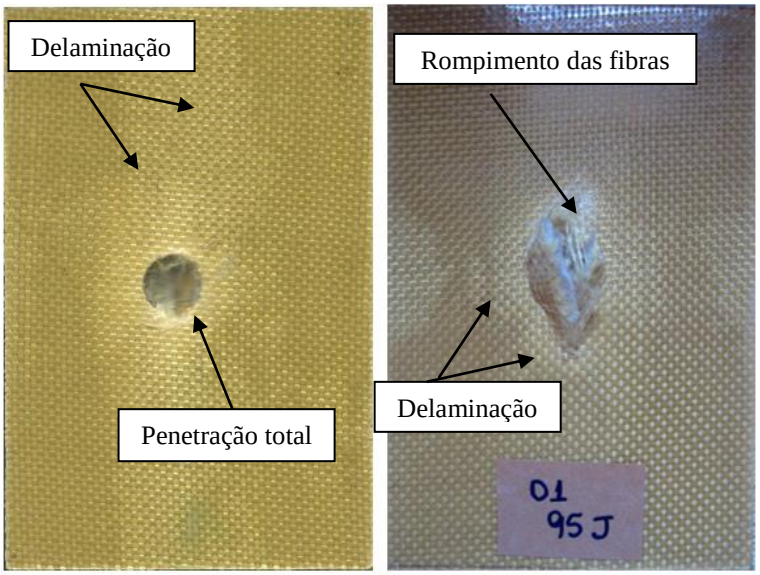

Figura 8: Dano no CHVK com a energia de impacto 95 J: (a) Lado do impacto; (b)Lado oposto do impacto

Avaliação da área de delaminação nos corpos de prova que receberam um impacto:

Neste tópico será determinado a área da delaminação ocorrida nos corpos de prova híbridos através da imagem dos mesmos, a área foi medida da face comprimida e da tracionada. As duas faces apresentaram a delaminação ocorrida próxima a superfície do corpo de prova, na qual a face impactada representa esta delaminação devido ao carregamento instantâneo compressivo e a face oposta ao carregamento instantâneo de tração.

Demonstra-se nas tabelas 1 os valores da área de delaminação obtidos para cada energia de impacto para o laminado de fibra de vidro (CFV).

Tabela 1: Ensaio de impacto por queda de peso nas placas CHVK

Compósito Híbrido Fibra de vidro/kevlar – CHVK		
Energia de Impacto (J)	**Área do dano na placa**	
	Lado comprimido (cm²)	Lado tracionado (cm²)
39	64,7	15,7
58	65,7	16,6
76	72,4	31,9
95	80,4	33,3

A tabela 1 traz os valores da área danificada para ambos os lados do compósito híbrido, podemos inferir que por se tratar de um material híbrido e com a presença de camadas de fibra Kevlar, esse laminado obteve uma área de dano maior do que ao CFV, isso fica claro, se observamos a tabela acima. Assim como CFV apresentou um comportamento crescente para as áreas danificadas, o CHVK também seguiu esse mesmo processo, a área de impacto sob efeito de carregamento compressivo saiu de 64,7 cm² para 80,4 cm², correspondendo a uma variação de 15,7 cm². Já a área sob o efeito de cargas trativas, obteve uma variação da área 17,6 cm², representando um aumento em torno de 2 cm², na área delaminada correspondente a estrutura final do material.

Para melhor avaliar estes resultados, elaborou-se o gráfico de linhas visto na figura 9, onde se verifica que para os compósitos usados no estudo as áreas do dano do lado comprimido apresentam valores maiores quando comparados com a área do dano no lado tracionado para todas as energias de impacto utilizadas.

Na Figura 9, nos mostra que a variação da área danificada entre ambos os lados do compósito foi diversificada, vejamos, para a faixa de energia de impacto entre 39 J e 58 J, a variação da área foi a mesma em torno de 49 cm², já a variação da área de dano para as energias de 76 J e 95 J, foram em torno de 40 cm² e 47 cm², respectivamente. Podemos ver na forma gráfica que na faixa entre as energias de 39 J e 58 J, uma linha constante para os valores das áreas em ambas as faces do CHVK, já para a faixa de 58 J e 76 J, um aumento mais expressivo na face tracionada do material. E para a faixa de energia de impacto entre 76 J e 95 J, um comportamento constante para a face tracionada do material e um pequeno aumento na área danifica do lado do impactado (lado comprimido).

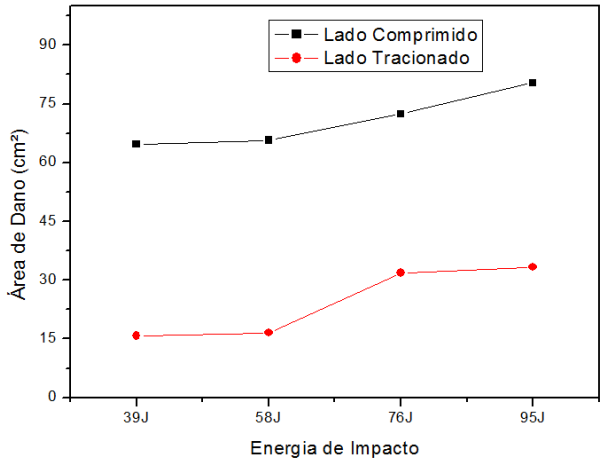

Figura 9: Gráfico da área do dano em função da energia de impacto no compósito híbrido.

Avaliação da área de delaminação nos corpos de prova que receberam múltiplos impactos:

Como não houve perfuração dos corpos de prova no primeiro impacto para a energia de 39 J e 58 J, os ensaios foram continuados para estudar a quantidade de vezes necessárias para o rompimento do corpo de prova. Além disso realizou-se a medição da área do dano ocasionado em cada caso verificando o seu crescimento como se demostra nas próximas tabelas.

Na Tabela 2, o comportamento quanto ao número de sequência e a energia envolvida (39 J) na ordem de 4x, para que o material fosse totalmente penetrado, fato nesse que se deu pela presença das camadas da fibra kevlar presente no mesmo. Mostrou-se que para ambos os lados (comprimido e tracionado), os valores apresentados na referida tabela foram crescente, com variações de áreas de danos maiores e distintas, vejamos, na sequência 1, variação foi de 49 cm², já na sequência 2, 3 e 4, a ordem das variações ficaram em torno de 45, 46, e 39 cm², respectivamente.

Tabela 2: Múltiplos impactos nas placas de compósito híbrido

Compósito Híbrido Fibra de vidro/kevlar – CHVK		
Energia de Impacto (J)-39 J	**Área do dano na placa**	
Sequências	Lado do impacto (cm²)	Lado oposto ao impacto (cm²)
1 x	64,7	15,7
2 x	70,6	25,1
3 x	84,7	38,2
4 x	85,5	48,8

A figura 10 mostra o crescimento das áreas de ambos os lados com o aumento das quantidades de impactos nos corpos de prova do compósito híbrido.

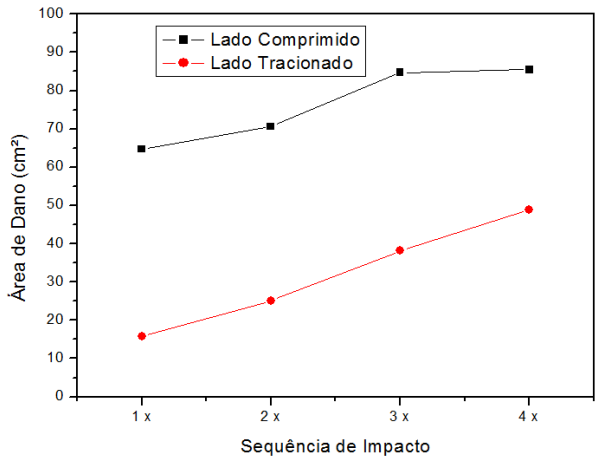

Figura 10: Gráfico da área do dano com múltiplos impactos nas placas híbridas com energia 39 J

A tabela 3 traz os valores da área do dano na placa para as diferentes sequências efetuadas, isso se deu porque na energia de 58 J não houve perfuração dos corpos de prova no primeiro impacto, os ensaios foram continuados para estudar a quantidade de vezes foram necessários para o rompimento total do corpo de prova. Assim como na energia de impacto de 39 J, os valores para ambas as áreas foram crescente, o mesmo foi observado para a energia de 58 J.

Tabela 4.5: Ensaio de impacto por queda de peso nas placas CHVK

Compósito Híbrido Fibra de vidro/kevlar		
Energia de Impacto - 58 J Sequências	**Área do dano na placa**	
	Lado do impacto (cm²)	Lado oposto ao impacto (cm²)
1 x	65,8	16,6
2 x	77,0	46,7

A figura 11 mostra o crescimento das áreas de ambos os lados com o aumento das quantidades de impactos sofridos nos corpos de prova do compósito híbrido. A variação das áreas danificadas em relação aos lados (comprimido e tracionado) foram distintos, na sequência 1 e 2, as mesmas apresentaram 49,2 cm² e 30,3 cm², respectivamente.

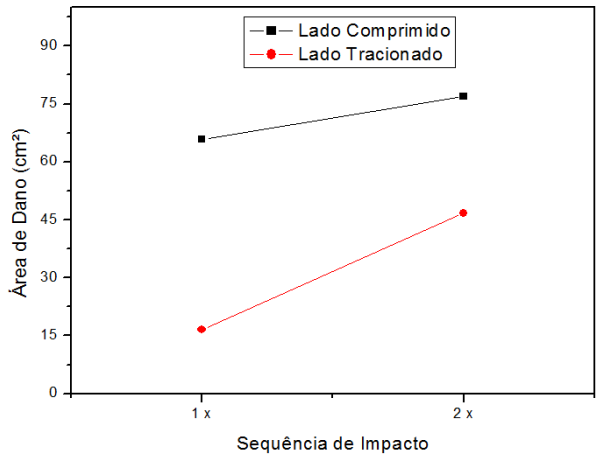

Figura 11: Gráfico da área do dano com múltiplos impactos nas placas híbridas com energia 58 J

CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais apresentados na seção anterior pode-se concluir que:

- O compósito Híbrido estudado suporta até 58 J de energia com um único impacto sem grandes danos na sua estrutura final.
- O CFVK apresentou limite de perfuração no intervalo de 58J à 76 J, aproximadamente.
- O material apresentaram maior área de delaminação no lado do impacto (lado comprimido) em relação ao lado oposto (lado tracionado).
- As formas de danos para o compósito estudados, foram a delaminação fibra/matriz, ruptura de fibras, penetração total e parcial dos CP's.
- As áreas de dano na região comprimida e tracionada nas placas de compósito híbrido apresentou grandes valores por ocorrer grande delaminação ao longo de todo o comprimento do corpo de prova. O que pode observar a falha de ade
- O cálculo da área de delaminação nos materiais compósitos em função do nível de energia de impacto foi preciso devido ao uso do software de análise de imagem aberto IMAGE J.

REFERÊNCIAS

1. SAYER, M.; BEKTAŞ, N. B.; ÇALLIOĞLU, H. Impact behavior of hybrid composite plates. *Journal of applied polymer science*, Turkey, v. 118, n. 1, p. 580-587, 2010.

2. ABRATE, S. *Impact on composite structures*. Cambridge university press, 2005.

3. PARK, Rohchoon; JANG, Jyongsik. Impact behavior of aramid fiber/glass fiber hybrid composites: the effect of stacking sequence. *Polymer composites*, Korea, v. 22, n. 1, p. 80-89, 2001.

4. KHAN, R. A. et al. Comparative Studies of Mechanical and Interfacial Properties Between Jute and E-glass Fiber-reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Bangladesh, v. 29, n° 7, 2010.

5. WHITE, D. M. et al. Numerical simulation and experimental charcterisation of direct hypervelocity impact on a spacecraft hybrid carbon fibre/kevlar composite structure. *International journal of impact engineering*, England, v. 29, n. 1, p. 779-790, 2003.

6. ONAL, L.; ADANUR, S. Effect of stacking sequence on the mechanical properties of glass–carbon hybrid composites before and after impact. *Journal of industrial textiles*, USA, v. 31, n. 4, p. 255-271, 2002.

RESPONSE IN HYBRID COMPOSITE FIBERGLASS / KEVLAR UNDER WEIGHT LOSS FOR IMPACT ACTION

ABSTRACT:

This work aims to analyze the response of the impact of hybrid composites Kevlar laminate / glass used as reinforcement matrix Epoxy Vinyl Ester commercially called Derakene, the laminate samples were tested for various impact energy levels ranging from 39J to 95 J, it showed the capability to support up to 58 J of energy with a single impact without major damage in its final structure and a punching limit the impact energy range of 59 J to 76 J. damage mechanisms are discussed from of a macroscopic analysis of each sample and damaged area was calculated damage, on both sides: the affected (compressed) and the reverse impact (pulled) through the image analysis software IMAGE-J. We have discussed the effect of hybridization in the impact behavior.

Key-words: composite materials, impact, delamination.