

As rupturas que ocorreram na tração, com as formulações 1 e 2 (PVC sem reforço), pelas curvas carga–deformação, seguiram estes estágios, atingindo um elevado grau de deformação plástica até a fratura, caracterizando a ductilidade do material. A configuração das curvas dos materiais dúcteis, apresentando uma zona de escoamento em que a carga diminui para depois voltar a crescer, confirma os estágios descritos e é explicada pelo fenômeno da estrição (também chamado de “empescoamento”) porque passa o material ao diminuir sua seção transversal no estágio final, no qual ocorre o alinhamento dos blocos cristalinos e das cadeias de ligação com o eixo da tração, determinando o aumento da resistência e conseqüente reinício de aumento da carga até a ruptura. Daí a ductilidade poder ser expressa quantitativamente tanto através do alongamento percentual quanto pela redução de área percentual na ruptura.

Os alongamentos percentuais das formulações de PVC sem fibras indicam, portanto, um modo de ruptura dúctil, sendo de sete a nove vezes maiores do que os medidos nas formulações reforçadas com fibras, tanto as de nylon 6 quanto as de sisal, que caracterizam modo de ruptura frágil. Callister (2002, p.90) afirma que “os materiais frágeis são considerados, *de maneira aproximada*, como sendo aqueles que possuem uma deformação de fratura que é inferior a aproximadamente 5%”.

Segundo Carvalho (2005, p. 29) nos compósitos com fibras frágeis, submetidos a deformações progressivas a ruptura se dá em três estágios: (i) nas deformações iniciais matriz e fibras estão em regime elástico; (ii) em seguida, a matriz passa ao regime de deformações plásticas, e (iii) por fim, ocorre a ruptura das fibras levando à ruptura do compósito. Dessa forma, em compósitos com fibras frágeis “o colapso tem início com a ruptura das fibras nas seções menos resistentes”. A ruptura nas formulações de 3 a 8, ocorreu de forma distinta das formulações 1 e 2,

em função da dinâmica da propagação das trincas, com a transmissão de carga matriz-fibra iniciando a ruptura do compósito pelas rupturas das fibras, precipitando o colapso de forma quase instantânea.

Segundo o mesmo autor, o processo de ruptura pode se dar de três modos: frágil, frágil com ruptura da interface matriz-fibra e frágil com ruptura da interface com arrancamento de fibras e cisalhamento da matriz. As configurações das curvas carga-deformação do nylon aliadas ao decrescente desempenho desta fibra com o aumento de sua fração volumétrica nos compósitos, indicam ter havido (nas formulações 3, 4 e 5) um modo de ruptura frágil com ruptura da interface matriz-fibra. Já o desempenho inverso do sisal, ou seja, melhor desempenho com o aumento de sua fração volumétrica, é indicativo de que os seus compósitos (formulações 6, 7 e 8) tiveram um modo de ruptura apenas frágil.

Assim, a presença das fibras, tornou os compósitos, com características de materiais frágeis, daí a curva carga – deformação, nas formulações de 3 a 8, ter configuração bastante diferente da apresentada nas formulações 1 e 2.

- Valores teóricos e valores experimentais

As análises feitas quanto ao desempenho dos corpos de prova no ensaio de tração são confirmadas com cálculos feitos através de modelos teóricos aplicáveis a compósitos reforçados com fibras curtas e dispersas aleatoriamente.

Os valores de módulo de elasticidade dos compósitos obtidos experimentalmente foram utilizados para avaliação comparativa da eficiência das fibras de nylon e de sisal. Assim, foi utilizada a equação (7) apresentada por Callister (2002), válida para isodeformações elásticas em compósitos com fase dispersa constituída de fibras curtas, descontínuas e orientadas aleatoriamente

$$E_c = kE_f.V_f + E_m.V_m \quad (7)$$

onde k é um fator que representa um parâmetro de eficiência das fibras (com variação de 0,1 a 0,6) e E_c é o módulo de elasticidade do compósito, E_f e E_m são módulos de elasticidade da fibra e da matriz e V_f e V_m são as suas respectivas frações volumétricas.

Com valores dos módulos de elasticidade, dos compósitos os obtidos experimentalmente e, das fibras os máximos encontrados na literatura (Tabela 2), foram calculados valores para o fator de eficiência das fibras (Tabela 11). Os valores experimentais de k para os compósitos com nylon 6, com exceção do teor de 20% de fibra, confirmam a falta de eficiência da fibra quanto à melhoria do módulo de elasticidade da matriz de PVC reciclado. Os valores experimentais de k para o sisal ficaram dentro dos limites admissíveis.

Os valores experimentais dos módulos de elasticidade obtidos para os compósitos com o sisal, para todos os teores de fração volumétrica, situaram-se dentro da faixa estabelecida pelos valores teóricos mínimos e máximos, ao contrário do que se constatou com o nylon 6 que ficou sempre abaixo do valor mínimo.

Tabela 11 - Módulo de Elasticidade - Valores teóricos e experimentais

Compósitos		Mod. Elasticidade (experimental) (GPa)	Valores teóricos*		k (experimental)
			(GPa)		
			k = 0,1	k = 0,6	
PVCr	Nylon 5%	1,40	1,95	2,04	-2,78
	Nylon 10%	1,72	1,86	2,05	-0,28
	Nylon 20%	1,81	1,70	2,08	0,24
PVCr	Sisal 5%	2,19	2,04	2,59	0,24
	Sisal 10%	2,39	2,05	3,15	0,25
	Sisal 20%	2,93	2,06	4,26	0,30

(*) Considerando: E_f (nylon) = 3,80 GPa

E_f (sisal) = 22,0 GPa

E_m = 2,03 GPa

A eficiência das fibras também foi comparada através do cálculo teórico do limite de resistência à tração dos compósitos, feito pelos modelos (JOSEPH S. *et al.*, 2002) da regra das misturas e de Hirsch, que estabelecem, para compósitos reforçados com fibras curtas orientadas aleatoriamente, as seguintes equações (8) e (9):

a) Modelo regra de misturas:

$$T_c = \frac{T_m \cdot T_f}{T_m \cdot V_f + T_f \cdot V_m} \quad (8)$$

onde T_c é a tensão (limite de resistência à tração) do compósito e T_m e T_f são as tensões (teóricas) da fibra e da matriz, respectivamente, e V_f e V_m são as frações volumétricas da fibra e da matriz no compósito;

b) Modelo Hirsch:

$$T_c = x(T_m \cdot V_m + T_f \cdot V_f) + (1-x) \frac{T_m \cdot T_f}{T_m \cdot V_f + T_f \cdot V_m} \quad (9)$$

onde T_c é a tensão do compósito, T_m e T_f as tensões (teóricas) da matriz e da fibra, respectivamente, V_m e V_f são as frações volumétricas da matriz e da fibra no compósito e x um parâmetro de transmissão de carga matriz-fibra cujo valor varia de 0 a 1.

Os valores teóricos em estudos de Joseph S. *et al.* (2002), sempre são superiores aos encontrados experimentalmente uma vez que tais equações consideram condições físicas e químicas ideais na matriz, na fibra e na interface. Esta situação também ocorreu nesta pesquisa (Tabela 12), para os valores teóricos calculados das resistências à tração dos compósitos.

Foram considerados para os cálculos, os valores de resistência à tração maiores e os menores encontrados na literatura para o nylon 6 e o sisal, e para o PVC reciclado a resistência à tração obtida experimentalmente na formulação 1. Para o cálculo de x no modelo Hirsch, considerou-se para as resistências à tração das fibras, apenas os maiores valores registrados na literatura.

Tanto os valores teóricos das resistências à tração dos compósitos (equação 8), quanto os valores obtidos para o x como parâmetro de transmissão de carga matriz-fibra (equação 9) confirmam o desempenho bastante superior do sisal em relação ao nylon 6, nos compósitos estudados nesta pesquisa.

Tabela 12 - Resistência à tração - Valores teóricos e experimentais

Compósitos		Tensão carga máxima (MPa) (experimental)	Valores teóricos		
			Eq. 8 – T_c (MPa)		Eq. 9
			T_f menor valor	T_f maior valor	x
PVCr	Nylon 5%	46,52	51,05	51,39	-4,82
	Nylon 10%	43,49	51,95	52,66	-4,67
	Nylon 20%	38,77	53,83	55,38	-4,53
PVCr	Sisal 5%	49,87	52,43	52,63	-0,09
	Sisal 10%	50,36	54,88	55,32	-0,08
	Sisal 20%	51,42	60,55	61,63	-0,09

Notas:

- a) Nylon: T_f menor valor = 75,9 MPa e maior valor = 94,5 MPa
- b) Sisal: T_f menor valor = 347 MPa e maior valor = 700 MPa
- c) x calculado com T_f de maior valor

5.2.2 Impacto

Os valores obtidos para a resistência ao impacto nos seis corpos de prova por cada formulação também se situaram em valores cujos coeficientes de variação validam os resultados do ensaio realizado. Apenas a formulação 3, com 5% de nylon 6, registrou um coeficiente de

variação de 30,67%, decorrente de dois corpos de prova (CP's 3.4 e 3.6) que tiveram resultados bastante inferiores aos outros quatro (Tabelas 9 e 10 nos Anexos II e III). Além da energia absorvida medida diretamente pela máquina, o ensaio de impacto também permite a obtenção de informações (GARCIA *et al.*, 2000, p.161) a partir da aparência da fratura através dos aspectos da superfície fraturada. Entretanto uma inspeção visual das superfícies fraturadas, efetuada nestes dois corpos de prova da formulação 3, não evidencia menor reforço de fibras em relação aos demais corpos de prova com o mesmo teor de fibra. Provavelmente estes corpos de prova têm uma distribuição interna de fibras menos homogênea que os demais.

Os resultados dos ensaios de impacto estão na Figura 34 que apresenta valores máximos, mínimos e médios, por cada tipo de formulação.

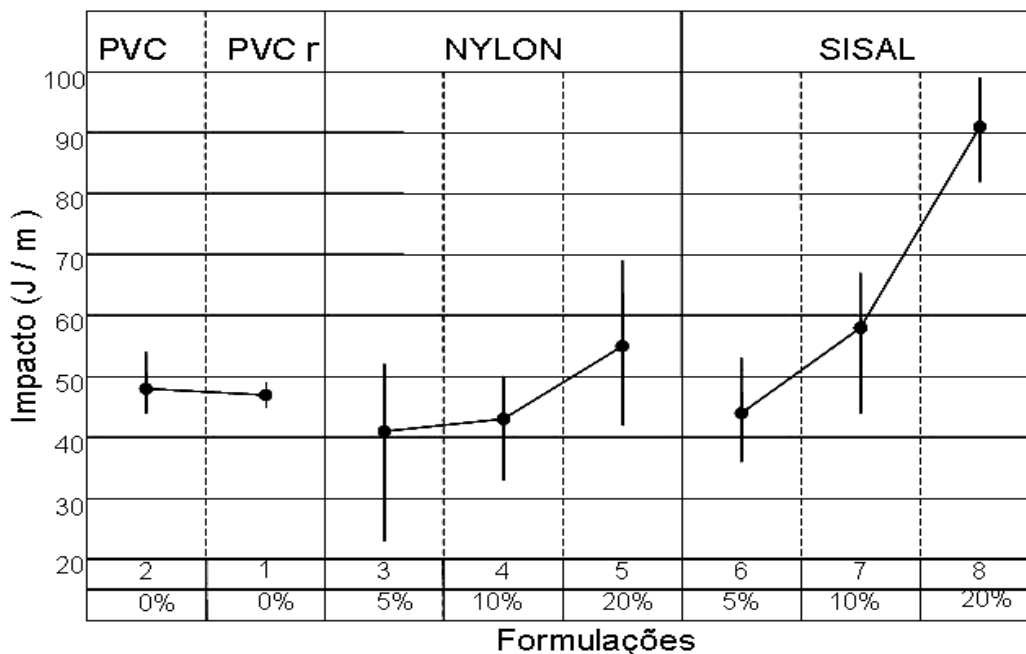


FIGURA 34 – Impacto: valores máximos, mínimos e médios por formulação

Os corpos de prova sem fibra apresentaram resultados similares, comprovando, também nesta propriedade mecânica, que mede a energia absorvida para a sua ruptura, que o PVC reciclado mantém, em geral, as condições da estrutura molecular do PVC original.

No que tange aos tipos de fibra, ambas influíram, destacando-se mais uma vez, os melhores resultados obtidos com o sisal. O aumento do teor de fibra (Figura 35), nesta propriedade, provocou igual efeito nos dois tipos de fibra, ou seja, contribuiu para um incremento da resistência ao impacto. Vale ressaltar que o compósito de sisal com teor de 20%, em relação ao PVC sem fibra, duplicou a capacidade de absorção de energia de impacto.

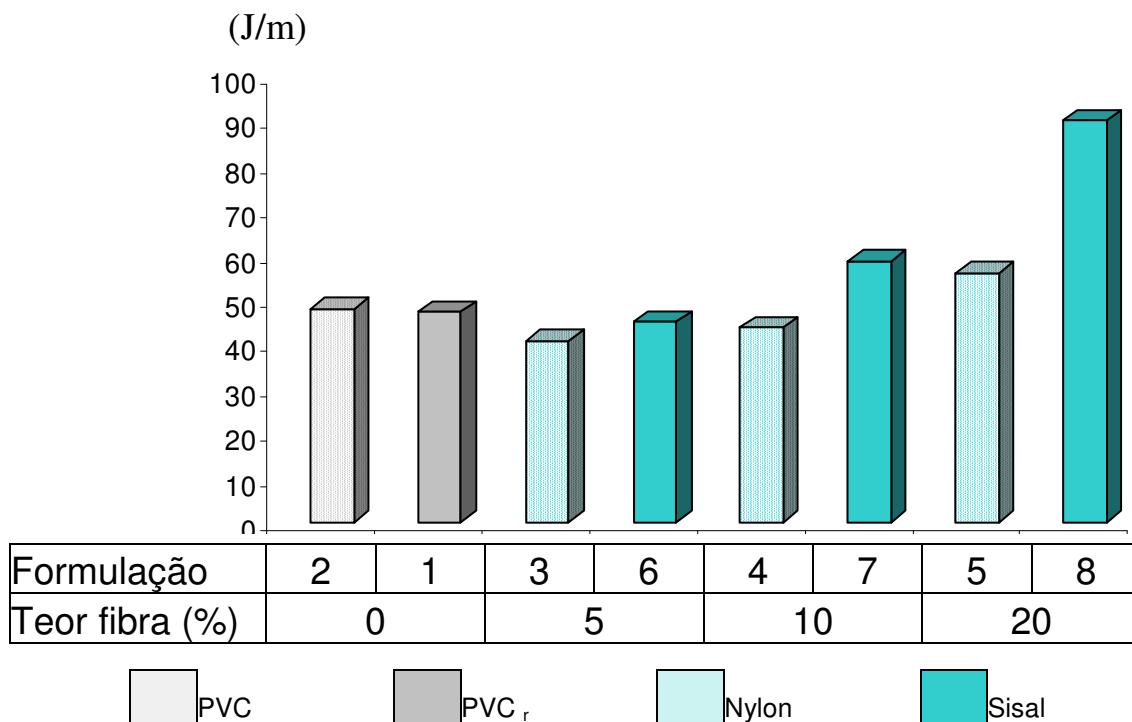


FIGURA 35 - Impacto (J/m): comparativo dos compósitos por teor de fibras

Para um mesmo material (dúctil ou frágil) podem-se correlacionar os resultados do ensaio de impacto com a área abaixo da curva carga-deformação obtida no ensaio de tração, uma vez que ambos os valores representam a energia consumida até a ruptura, ou seja, são indicativos da

tenacidade do material. A comparação dos resultados dos ensaios de impacto com os de tração, demonstra visível diferença entre as formulações de PVC sem fibras e as dos compósitos, quanto às áreas sob as curvas carga-deformação (Figura 32), o que, conforme já referido anteriormente, é explicado pela mudança de dúctil para frágil motivada pela presença das fibras. A área maior sob a curva, verificada para o PVC sem fibras confirma o que diz Callister (2002, p. 91), “frequentemente materiais dúcteis são mais tenazes do que os frágeis”.

Entretanto, é interessante observar que esta correlação feita entre os compósitos de uma mesma fibra mostra o seguinte resultado: na medida em que aumenta o teor da fibra, valores de energia absorvida (impacto) são crescentes (Figura 35), enquanto ocorre nas curvas carga-deformação (Figura 26 no Anexo IV) uma gradativa mudança na conformação das curvas (indicando maior fragilidade), porém, paradoxalmente, com áreas decrescentes. Esta constatação pode reforçar o entendimento de que cada formulação dos compósitos, de *per si*, constitui-se em um material específico, permitindo apenas para si mesmo a correlação entre impacto e tração. Além deste entendimento, segundo Callister (2002, p.329), “os polímeros são, em muitos aspectos, mecanicamente diferentes dos metais”, em decorrência, principalmente, da sua estrutura semicristalina.

5.2.3 Dureza

No ensaio de dureza todos os resultados obtidos nos seis corpos de prova por formulação, em cada uma delas, situam-se bastante próximos (Tabela 9 no Anexo II), validados estatisticamente pelos coeficientes de variação calculados entre 3% e 14% (Tabela 10 no Anexo III).

A Figura 36 apresenta os resultados dos ensaios de dureza, com os valores máximos, mínimos e médios obtidos por cada formulação.

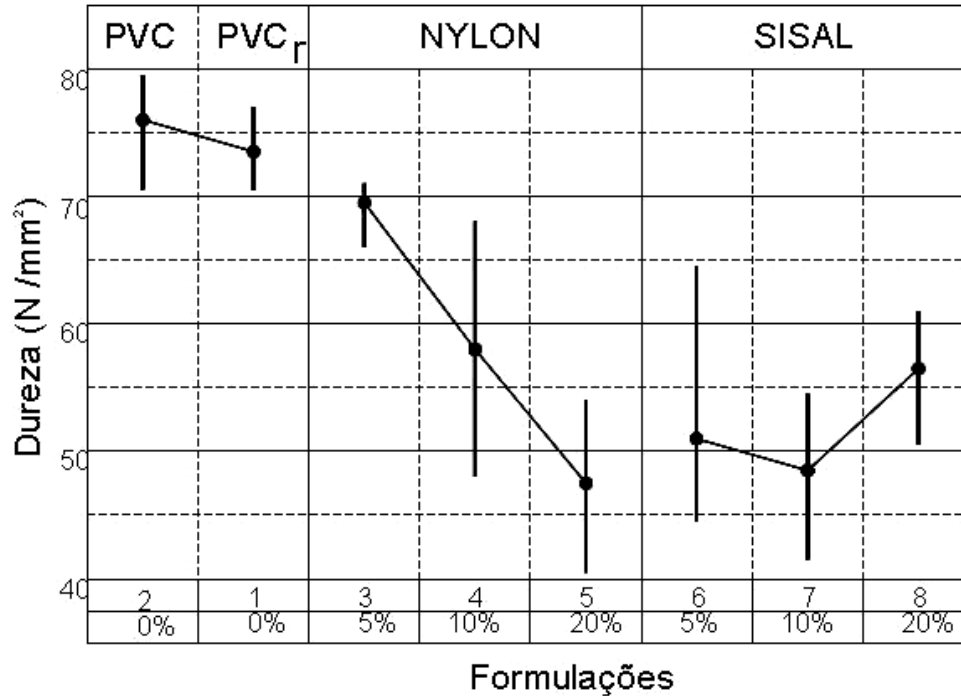


FIGURA 36 – Dureza: valores máximos, mínimos e médios por formulação

A dureza é uma propriedade mecânica que mede a resistência de um material à deformação plástica. O material é pressionado por outro na sua superfície e o ensaio mede sua resistência a riscos ou a marcas permanentes, no que “depende diretamente das forças de ligação entre átomos, íons ou moléculas, assim como da resistência mecânica” (GARCIA *et al.*, 2000, p. 65). Por isso, confirmando relatos de outras pesquisas com compósitos poliméricos (CARASCHI; LEÃO, 2002), os valores obtidos nos ensaios de dureza acompanharam, tendencialmente, os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração, embora não tenham sido feitos nos mesmos corpos de prova.

Assim é que, neste ensaio, o PVC original apresentou resultado muito próximo ao PVC reciclado, porém 2,7% superior. Os compósitos com o nylon 6 apresentaram, em média, um

desempenho melhor que os de sisal, porém, quanto aos teores de fibra (Figura 37), na medida que aumentam, têm diminuído o resultado obtido enquanto os de sisal apresentam resultado inverso, tal como no ensaio de tração direta . Os compósitos tiveram desempenho inferior às formulações de PVC original e PVC reciclado.

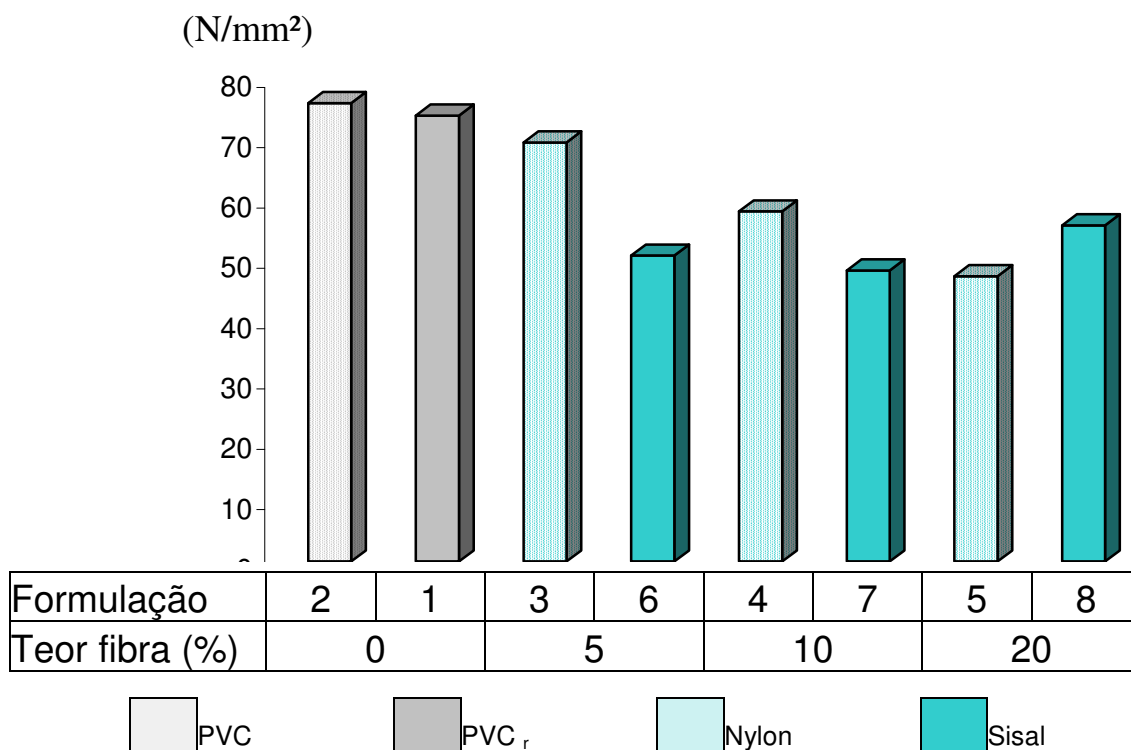


FIGURA 37 – Dureza (N/mm²): comparativo dos compósitos por teor de fibras

6. CONCLUSÕES

A avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos produzidos com PVC reciclado, objetivo principal desta pesquisa, foi satisfatoriamente realizada, confirmando resultados esperados e indicativos de viabilidade técnica de utilização futura de tais materiais em produtos para a construção civil. Embora os diversos compósitos pesquisados tenham obtido diferentes desempenhos, suas utilizações deverão estar condicionadas pela aplicação que se pretenda para um determinado produto. Em outras palavras, é a performance projetada a partir de um uso previsto que determinará o aproveitamento do compósito quer seja ele mais ou menos frágil ou dúctil. Assim sendo todos os resultados obtidos para cada tipo de compósito pesquisado deverão ser previamente contextualizados e são todos, portanto, merecedores de futuras pesquisas aplicadas que aprofundem análises de viabilidade do ponto de vista técnico e econômico. Com tal compreensão, as conclusões desta pesquisa, a seguir apresentadas, estão circunscritas a comparações dos resultados das propriedades mecânicas entre as diversas formulações de materiais que foram ensaiadas:

- o PVC reciclado apresentou desempenho inferior, porém muito próximo, ao PVC original em todos os ensaios indicando que o PVC reciclado utilizado não foi representativo de um PVC descartado após vida útil, condição que certamente o distanciaria muito mais do PVC original. A formulação do PVC reciclado tendo sido resultante de um único reprocessamento, operado quase de imediato ao processamento do composto “05B”, deve ter, praticamente, mantido as mesmas características do PVC original quanto aos fatores estruturais que determinam as

propriedades mecânicas dos polímeros: massa molecular, ligações e ramificações de suas cadeias internas, grau de cristalinidade e morfologia cristalina;

- as fibras produziram reduções de alongamentos na ruptura, de sete (nylon 6) a nove (sisal) vezes em relação ao PVC reciclado tornando os compósitos materiais frágeis;
- o nylon 6, com o aumento do teor de fibra (em volume) teve desempenho decrescente de resistência à tração, sempre abaixo à do PVC reciclado, provavelmente em decorrência dos seguintes fatores: revestimento da fibra, tamanho menor e possivelmente inferior ao do seu comprimento crítico, a característica de ser mais flexível e ter rigidez bastante inferior à do sisal;
- o sisal apresentou comportamento inverso ao nylon 6 na resistência à tração, alcançando com 20% de teor de fibra (em volume) resultado equivalente à do PVC reciclado, sendo que esse seu melhor desempenho nos compósitos pode ser explicado pelo maior módulo de elasticidade da fibra e provavelmente melhor aderência à matriz (em relação a nylon 6);
- quanto ao módulo de elasticidade os compósitos com a fibra de sisal apresentaram melhor desempenho, também resultante do elevado módulo de elasticidade da fibra, tendo atingido, com 20% (em volume) de teor de fibra, valor equivalente ao do PVC original;
- as duas fibras tornaram os compósitos mais resistentes ao impacto, destacando-se a fibra de sisal que, com 20% de teor (em volume), dobrou a capacidade de absorção de energia até a ruptura, quando comparados com o PVC original e o PVC reciclado;

- quanto à dureza a adição das duas fibras produziu resultados que ficaram abaixo dos obtidos com o PVC original e o PVC reciclado. Nessa propriedade, quanto aos teores de fibra, os compósitos repetiram as tendências observadas no ensaio de tração, confirmando a relação existente entre dureza e limite de resistência à tração.

Por fim, a adição do sisal determinando tecnicamente melhores desempenhos relativos, vem reforçar a importância que a utilização desta fibra também apresenta nos aspectos econômico, ambiental e social, já mencionados na introdução desta dissertação. Se a fibra de sisal no mercado já tem preço consideravelmente inferior às outras fibras naturais e sintéticas, enquanto resíduo deverá tornar-se ainda mais significativamente competitiva. Deve-se ainda ressaltar que, nesta pesquisa, o estabelecimento do teor máximo de fibra em 20% do volume do compósito, decorreu de limitação da tecnologia utilizada na produção dos corpos de prova. Pela tendência observada em todos os ensaios, de melhores resultados com o aumento do teor de fibra de sisal, outra tecnologia que viabilize tal incremento, certamente produzirá compósitos com melhores propriedades mecânicas. Isto aumentará as possibilidades de novas aplicações industriais para a fibra de sisal, provocando incentivo para a ampliação do plantio deste recurso natural renovável, beneficiando ambiental e socialmente o semi-árido baiano onde é cultivado, o que será determinante para a plena concretização dos objetivos que inspiraram a realização desta pesquisa.

Sugestões para futuros trabalhos

Tais conclusões vêm fundamentar a necessidade de aprofundamento de pesquisas com estas formulações de compósitos, uma vez que nenhum resultado obtido contrariou as hipóteses que fundamentaram esta pesquisa, ou seja: (i) o PVC reciclado apresenta perda de propriedades mecânicas; (ii) as fibras de sisal e de nylon 6 atuaram nos compósitos, embora com diferentes

intensidades e (iii) os resultados da pesquisa são indicativos da viabilidade de futura utilização dos compósitos em materiais de construção, principalmente aqueles que hoje são produzidos com o PVC original (eletrodutos, conexões, portas, janelas, pisos, etc.).

Portanto, os resultados obtidos e analisados nesta pesquisa, para as propriedades mecânicas dos compósitos estudados, permitem as seguintes sugestões para futuros trabalhos:

1- Quanto à hipótese de perdas de propriedades mecânicas do PVC no processamento da reciclagem: por não ter sido obtida uma significativa diferença em relação ao PVC original, será necessário, em pesquisa futura, submeter a formulação do PVC reciclado a sucessivos reprocessamentos e a método de envelhecimento acelerado para estabelecer com maior nitidez a diminuição de suas propriedades mecânicas.

2- Quanto ao desempenho dos dois tipos de fibra nos compósitos: submeter os corpos de prova a microscopia eletrônica de varredura (MEV) para melhor diagnóstico da adesão interfaces das fases PVC e fibra; realizar análise por espectroscopia de raio X por energia dispersiva (EDS) para identificar os elementos químicos presentes nos compósitos.

3- Quanto ao tamanho das fibras: identificar, a partir de diferentes tamanhos das fibras de nylon 6 e de sisal, os seus comprimentos críticos e investigar a influência dos tamanhos das fibras utilizados na pesquisa nos resultados obtidos para as propriedades mecânicas estudadas;

4 – Quanto ao teor de fibra: identificar, a partir dos comprimentos críticos, quais os teores de fibra que apresentem melhores desempenhos; produzir corpos de prova através de processo tecnológico que permita teor de fibra superior a 20% em volume;

5- Quanto à correlação entre os valores obtidos no ensaio de impacto e as áreas sob as curvas carga–deformações no ensaio de tração, investigar a viabilidade da comparação de resultados obtidos entre compósitos que, embora sendo constituídos de idênticos materiais, apresentam diferentes teores percentuais (em volume) nas suas composições.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE A. C.; JOSEPH, K.; CARVALHO, L. H.; d'ALMEIDA, J. R. M. **Effect of wettability and ageing conditions on the physical and mechanical properties of uniaxially oriented jute-roving-reinforced polyester composites**. Composites Science and Technology, n. 60, 2000, p. 833-844.

ALMEIDA, Marcelo. Compósito 100% reciclado. **Ciência Hoje**. Rio de Janeiro, vol.32, p.46, jan-fev. 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics**; (ASTM D 256-03). Philadelphia. 20 p.

_____. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**; (ASTM – 638-03). Philadelphia. 2003. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. **Anuário da Indústria Química Brasileira**. Ano 32. São Paulo: ABIQUIM, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos - classificação**; (NBR – 10004). Rio de Janeiro: 1987. 63 p.

_____. **Lixiviação de resíduos**; (NBR – 10005). Rio de Janeiro: 1987. 7 p.

_____. **Solubilização de resíduos**; (NBR - 10006). Rio de Janeiro: 1987. 2 p.

_____. **Amostragem de resíduos**; (NBR – 10007). Rio de Janeiro: 1987. 25 p.

_____. **Termoplásticos - Determinação da temperatura de amolecimento Vicat**; (NBR-7139). Rio de Janeiro: 2003

BAHIA. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. Projeto Tecnologias do Habitat. **Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e concreto-fibra**. Rio de Janeiro: BNH/DEPEA, 1982. 72p.

_____. **Manual econômico da indústria química – MEIQ/Centro de Pesquisas e Desenvolvimento**. (Matérias primas e Grupos Químicos). 7. ed. Camaçari: CEPED, 1998-2004. III v.

_____. _____. (Produtos Orgânicos). 7. ed. Camaçari: CEPED, 2002. I v.

Bahia lança ofensiva para recuperar cultura do sisal. **Valor Econômico**, São Paulo, p.3, 17 mar. 2005

BAHIA. Secretaria da Indústria e Comércio - SIC. Departamento de Indústria e Comércio. **A Petroquímica na Bahia**. Salvador, 1980. 234 p.

BAHIA. Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração da Bahia – SICM. Diretoria de Promoção de Investimentos – Superintendência de Desenvolvimento Indústria e Comercial. **Perfil das Empresas do Polo Petroquímico de Camaçari**. Salvador, 1997. 224 p.

_____. **Perfil das Empresas do Centro Industrial de Aratu**. Salvador, 1997. 624 p.

_____. Secretaria de Minas e Energia da Bahia. **O Complexo Petroquímico de Camaçari**. Salvador, 1974. 136 p.

CALLISTER, William D. **Materials Science and Engineering in Introduction**. 4th.ed. 1999

_____. **Ciência e Engenharia dos materiais: uma introdução**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2002. 589p.

CARASCHI, José Cláudio; LEÃO, Alcides Lopes. **Woodflour as Reinforcement of Polypropylene**. *Materials Research*, São Carlos: UFSCar/Departamento de Engenharia dos materiais, v. 5, n. 4, p. 405-409, set. 2002.

CARVALHO, Ricardo Fernandes. **Compósitos de fibras de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira**. Tese de doutorado apresentada à área interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da USP, Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos e Instituto de Química de São Carlos. São Carlos:UFSCar, 2005, 119 p.

COFIC - Comitê de Fomento Industrial de Camaçari. Camaçari, 2005. Disponível em: <<http://coficpolo/produtos.htm>> Acesso em: 17 maio 2006

GARCIA, Amauri et al. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000. 247 p.

GORNI, Antônio Augusto. **Introdução aos plásticos**. 2002. Disponível em: <<http://www.geocities.com>> Acesso em: 22 ago. 2002.

GUIMARÃES, Suely da Silva. **Fibra vegetal-cimento, resultados de alguma experiências realizadas no THABA/CEPED**. In: Informe Técnico, ano II, nº 022. Camaçari: CEPED/Ba, abr. 1987.

_____. **Some experiments in vegetable fiber-cement composites**. In: Building materials for low-income housing in Asia and Pacific, Bangkok, jan.1987. SCAP RILEM – C/B. p. 167-175

_____. Vegetable fiber-cement composites. In International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials, 2. Salvador, 1990. **Proceedings**. London, Chapman and Hall, 1990. p. 98-107. (Rilem proceedings, 7)

HIGGINS, Raymond A. **Propriedades e estruturas dos materiais de engenharia**. São Paulo: DIFEL, 1982. 471p.

IDICULA, M.; MALHOTRA, S. K.; JOSEPH, K.; THOMAS S.. **Dynamic mechanical analysis of randmly oriented intimately mixed short banana/sisal hybrid fibre reinforced polyester composites**. Composites Science and Technology, n. 65, 2005, p. 1077-1087. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 28 dez. 2005

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Plastics – Determination of Hardness – Part 1: Ball indentation method**; (ISO – 2039-1). Genebra.

JOSEPH, P.V.; MATHEW, G.; JOSEPH, K.; GROEMICKX, G.; THOMAS, S. **Dynamic mechanical properties of short sisal fibre reinforced polypropylene composites**. Composites Science and Technology, 2002. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/compositesa>. Acesso em: 30 ago. 2005.

JOSEPH, P.V.; MATTOSO, L.H.C.; TOLEDO R.D..**Natural fiber reinforced thermoplastic composites**. In: Natural polymer and agrofibers based composites. São Carlos: USP/Unesp/Embrapa. 2000.

JOSEPH, P.V.; RABELLO M. S.; MATTOSO, L. H. C.; JOSEPH, K.; THOMAS, S..**Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites**. Composites Science and Technology, n. 62, 2002, p. 1357-1372.

JOSEPH, S.; SREEKALA, M. S.; OOMMEN, Z.; KOSHY, P.; THOMAS, S.. **A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glass fibre**. Composites Science and Technology, n. 62, 2002, p. 1857-1868.

LI, YAN; MAI, Y. W.; YE, LIN. **Sisal fibre and its composites: a review of recent developments**. Composites Science and Technology, n. 60, 2000, p. 2037-2055.

LOFTI, Ahmad. **Plastics Recycling**. School of Engineery Nottingham Trent University. Disponível em: <<http://www.lofti.net/recycle/plastic.html>>. Acesso em: 12 abr. 2005.

LUBISCO, Nídia M; et al. **Manual de Estilo Acadêmico (Monografias, Dissertações e Teses)**. 2ª ed. revisada e ampliada. Salvador: EDUFBA, 2003.

MANO, Eloísa Biasotto. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Editora Blücher Ltda., 1991. 197p.

MARTINS, Gilson S. et al. **Caracterização mecânica e térmica de compósitos de poli (cloreto de vinila) reforçados com fibras de sisal**. Polímeros: Ciência e Tecnologia. São Carlos, v. 14, n. 5, p. 326-333, dez. 2004.

MICHAUD, Franck. **Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique: aptitude au postformage**. Thèse pour l'obtention du grade de

Docteur ès Sciences en l'Université Bordeaux, France, 2003. Disponível em: <www.theses.ulaval.ca.> Acesso em: 10 nov. 2005.

MORAES, Rose de. **PVC conquista mercado de portas e janelas**. 2005. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/revista>>. Acesso em: 20 de ago. 2005

NAVARRO, Rômulo F. **Materiais e ambiente**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPb, 2001. 180p.

Polímeros. In: ECOM. 2002. Disponível em: <<http://members.tripod.com>.> Acesso em: 24 ago. 2002.

Polímeros. In: Samjack -Trabalhos. 2002. Disponível em :< <http://samjack.virtualave.net>.> Acesso em: 24 de ago. 2002.

REGIANI, Anelise Maria. **Eletrólitos sólidos poliméricos à base de polissacarídeos: síntese e caracterização**. Tese apresentada ao Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em ciências na área de Físico-química, 2000. Disponível em <buscatextual.cnpq.br> Acesso em : 08 nov. 2005.

RODOLFO JR., Antonio; NUNES, L. R.; ORMANJI, W.. **Tecnologia do PVC**. 2.ed. São Paulo: ProEditores/Braskem, 2006. 448p.

SAVASTANO JR., Holmer. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. Tese de livre docência – USP, Pirassununga, 2000, 152 p. Disponível em:< <http://reciclagem.pcc.usp.br>.> Acesso em: 14 out. 2002.

_____. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito**. Tese de doutorado – USP (Escola Politécnica), Pirassununga, 1992. 249 p. Disponível em : <<http://reciclagem.pcc.usp.br>>. Acesso em: 10 out. 2002.

SMITH, William F. **Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. 3.ed. Alfragide, Portugal: McGraw Hill de Portugal, 1998. 895 p.

STEWART, D.; AZZINI, A.; HALL, A. T.; MORRISON, I. M.. **Sisal fibres and their constituent non-cellulosic polymers**. Industrial Crops and Products, n.6, 1997, p.17-26

ANEXO I - Figura 18

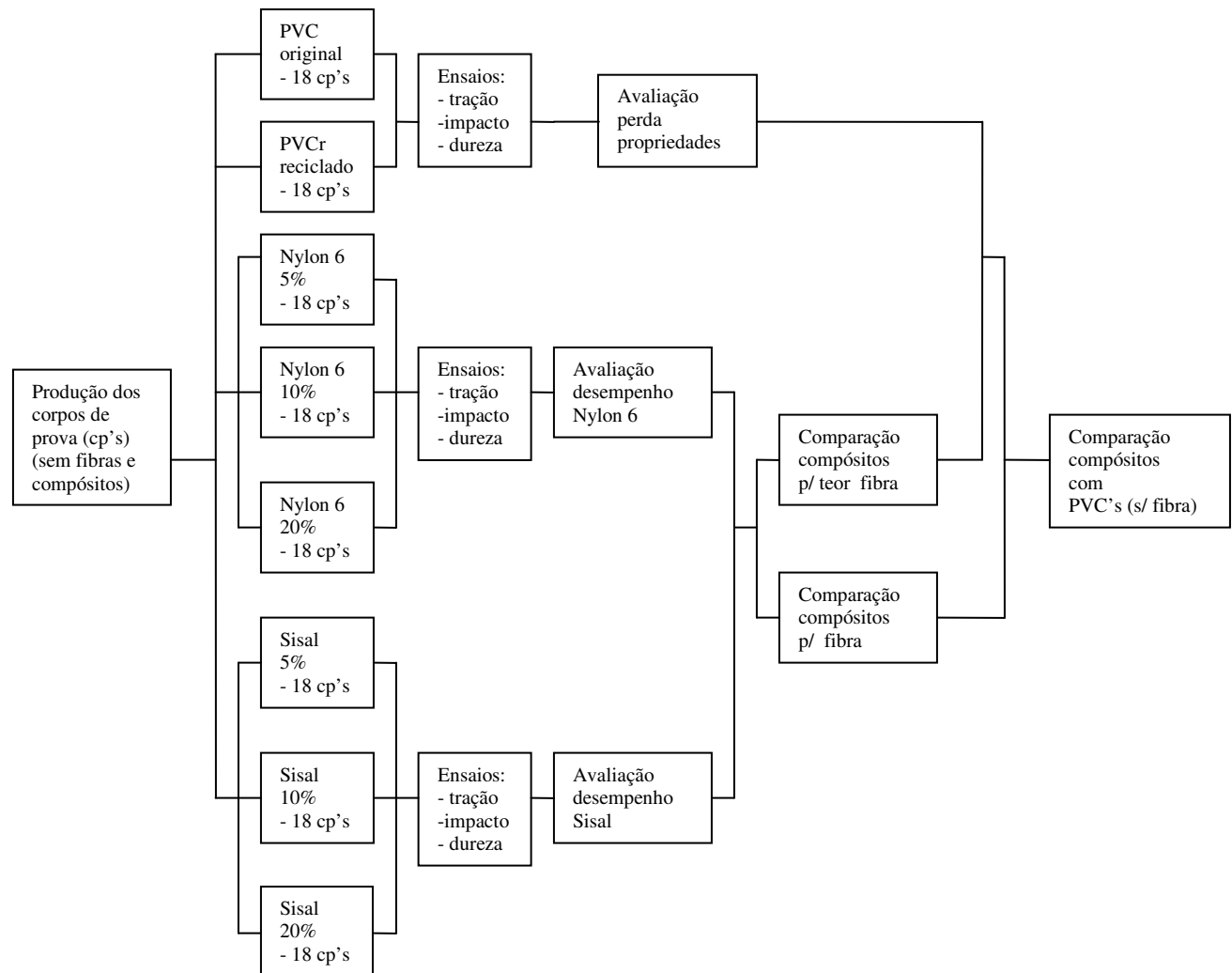


FIGURA 18 - Esquema do método da pesquisa

ANEXO II – TABELA 9

TABELA 9 - Propriedades Mecânicas (por corpo de prova)

Formulação / Corpo de Prova	Carga Máxima (N)	Alongamento na ruptura (%)	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Resistência ao Impacto (J/m)	Dureza (N/mm ²)
1.1 (PVCr)	2028	28,10	2,14	49,5	70,90
1.2	2028	28,17	2,16	42,5	76,60
1.3	2145	28,57	2,09	47,9	76,60
1.4	2086	43,87	1,45	47,3	75,10
1.5	2008	24,70	2,51	48,9	72,20
1.6	2086	33,12	1,84	46,8	72,20
2.1 (PVC)	2067	24,00	3,60	53,8	79,80
2.2	2098	32,24	2,65	47,3	79,80
2.3	2126	33,26	2,49	46,8	78,10
2.4	2077	23,07	3,58	46,8	72,20
2.5	2096	40,78	2,08	46,8	70,90
2.6	2126	27,06	3,12	45,2	75,10
3.1 (5% Nylon)	1871	5,62	1,66	48,9	68,40
3.2	1881	6,78	1,39	50,6	69,60
3.3	1861	6,14	1,52	44,1	73,60
3.4	1861	8,46	1,10	24,6	70,90
3.5	1842	6,25	1,47	50,6	68,40
3.6	1851	7,31	1,27	25,1	66,00
4.1 (10% Nylon)	1724	6,16	1,40	47,9	68,40
4.2	1734	3,97	2,19	41,4	68,40
4.3	1763	4,18	2,11	50,0	64,90
4.4	1753	6,59	1,33	44,1	47,19
4.5	1744	5,33	1,64	32,9	48,82
4.6	1724	5,13	1,68	44,6	50,56
5.1 (20% Nylon)	1597	4,45	1,80	47,9	45,67
5.2	1567	4,30	1,82	46,8	47,19
5.3	1558	4,48	1,74	41,9	54,45
5.4	1528	4,17	1,84	73,2	40,45
5.5	1538	4,54	1,69	56,0	47,19
5.6	1518	3,85	1,98	69,8	48,82

Formulação / Corpo de Prova	Carga Máxima (N)	Alongamento na ruptura (%)	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Resistência ao Impacto (J/m)	Dureza (N/mm²)
6.1 (5% Sisal)	1998	6,01	1,66	41,9	52,44
6.2	1998	3,53	2,84	40,3	64,35
6.3	1998	5,81	1,72	36,6	48,82
6.4	1989	3,59	2,78	53,3	44,24
6.5	1989	3,85	2,59	45,7	48,82
6.6	1998	6,35	1,58	51,6	45,67
7.1 (10% Sisal)	1989	4,18	2,38	57,1	50,56
7.2	2038	4,31	2,37	67,0	41,64
7.3	2008	3,76	2,67	45,2	abaixo escala
7.4	2028	4,62	2,19	57,6	54,45
7.5	2008	4,32	2,32	64,8	45,67
7.6	2018	4,18	2,41	59,8	48,82
8.1 (20% Sisal)	2018	3,34	3,02	83,3	56,63
8.2	2057	3,56	2,89	98,1	56,63
8.3	2038	3,46	2,95	98,1	54,45
8.4	2057	3,56	2,89	85,0	61,56
8.5	2086	3,56	2,93	92,9	50,56
8.6	2086	3,36	2,93	82,7	54,45

ANEXO III

TABELA 10 – Propriedades Mecânicas – Estatística

Formulação *		Carga Máxima	Alongamento na ruptura	Módulo de Elasticidade	Resistência ao impacto (J/m)	Dureza N/mm ²
Estatística		(N)	(%)	(Gpa)		
1 PVCr	Média	2064	31,09	2,03	47,15	73,93
	Máximo	2145	43,87	2,51	49,50	76,60
	Mínimo	2008	24,70	1,45	42,50	70,90
	Desv. Padrão	51,48	6,81	0,36	2,49	2,48
	Coef. Variação (%)	2,49	21,91	17,55	5,27	3,36
2 PVC	Média	2098	30,07	2,92	47,78	75,98
	Máximo	2126	40,78	3,60	53,80	79,80
	Mínimo	2067	23,07	2,08	45,20	70,90
	Desv. Padrão	24,39	6,70	0,61	3,03	3,86
	Coef. Variação (%)	1,16	22,28	21,01	6,35	5,08
3 Nylon 5%	Média	1861	6,76	1,40	40,65	69,48
	Máximo	1881	8,46	1,66	50,60	73,60
	Mínimo	1842	5,62	1,10	24,60	66,00
	Desv. Padrão	13,86	1,01	0,20	12,47	2,57
	Coef. Variação (%)	0,74	14,99	14,04	30,67	3,72
4 Nylon 10%	Média	1740	5,23	1,72	43,48	58,04
	Máximo	1763	6,59	2,19	50,00	68,40
	Mínimo	1724	3,97	1,33	32,90	47,19
	Desv. Padrão	15,88	1,04	0,36	6,00	10,20
	Coef. Variação (%)	0,91	19,93	20,66	13,80	17,58
5 Nylon 20%	Média	1551	4,30	1,81	55,93	47,29
	Máximo	1597	4,54	1,98	73,20	54,45
	Mínimo	1518	3,85	1,69	41,90	40,45
	Desv. Padrão	29,01	0,26	0,10	12,93	4,54
	Coef. Variação (%)	1,87	5,99	5,48	23,11	9,6
6 Sisal 5%	Média	1995	4,86	2,19	44,90	50,72
	Máximo	1998	6,35	2,84	53,30	64,35
	Mínimo	1989	5,53	1,58	36,60	44,24
	Desv. Padrão	4,65	1,33	0,60	6,56	7,26
	Coef. Variação (%)	0,23	27,39	27,38	14,61	14,31

* 6 cp's por formulação

	Formulação *	Carga Máxima	Alongamento na ruptura	Módulo de Elasticidade	Resistência ao Impacto (J/m)	Dureza N/mm²
	Estatística	(N)	(%)	(Gpa)		
7 Sisal 10%	Média	2015	4,23	2,39	58,58	48,23
	Máximo	2038	4,62	2,67	67,00	54,45
	Mínimo	1989	3,76	2,19	45,20	41,64
	Desv. Padrão	17,21	0,28	0,16	7,66	4,86
	Coef. Variação (%)	0,85	6,63	6,59	13,07	10,08
8 Sisal 20%	Média	2057	3,47	2,93	90,01	55,71
	Máximo	2086	3,56	3,02	98,10	61,56
	Mínimo	2018	3,34	2,89	82,70	50,56
	Desv. Padrão	26,7	0,10	0,05	7,25	3,62
	Coef. Variação (%)	1,30	2,97	1,64	8,05	6,50

* 6 cp's por formulação

ANEXO IV – FIGURA 26

FIGURA 26 - Diagramas carga x deformação no ensaio de tração

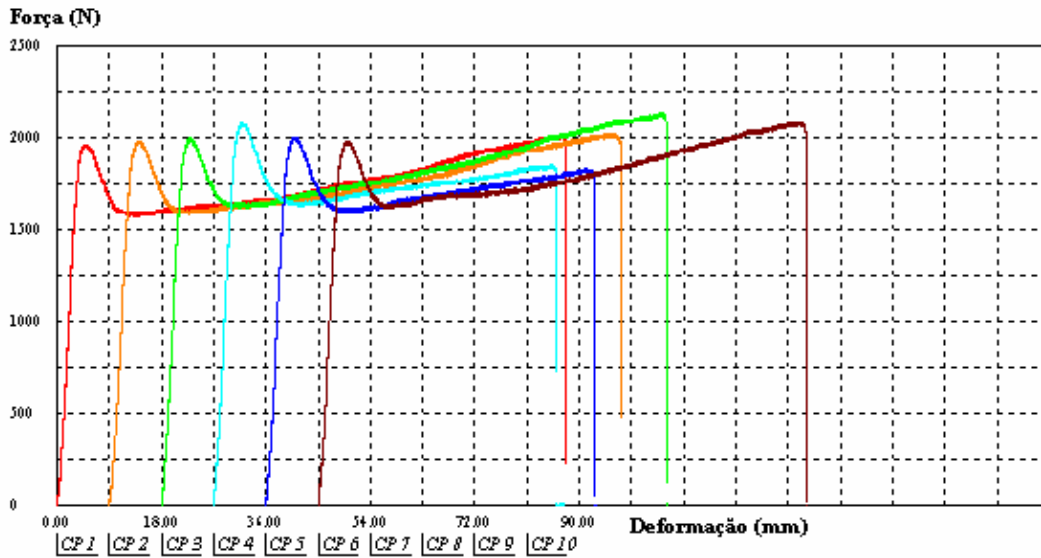


FIGURA 26.1 – Formulação 1 : PVC reciclado

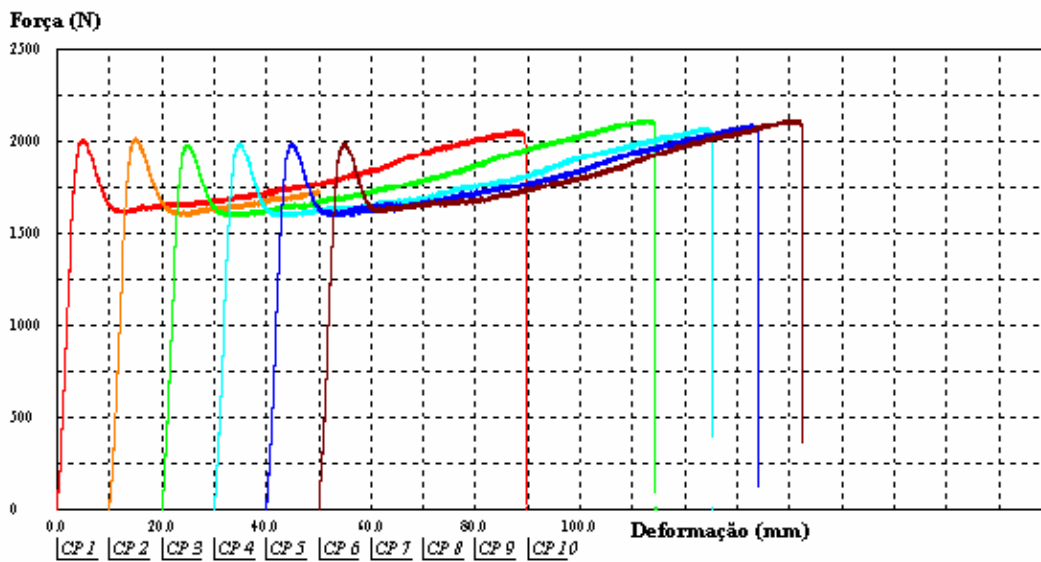


FIGURA 26.2 – Formulação 2 : PVC original

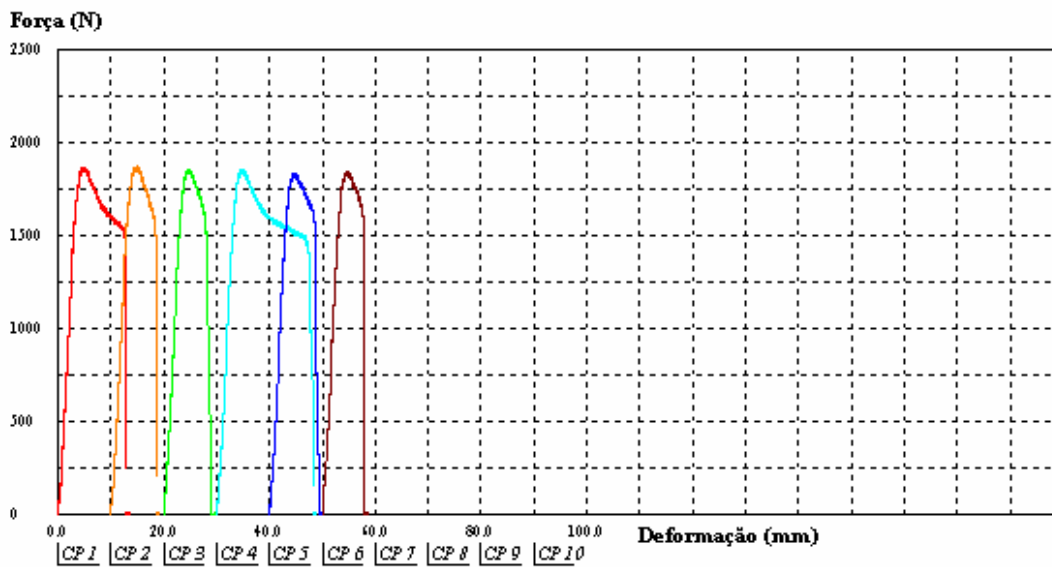


FIGURA 26.3 – Formulação 3 : PVCr + Nylon 5%

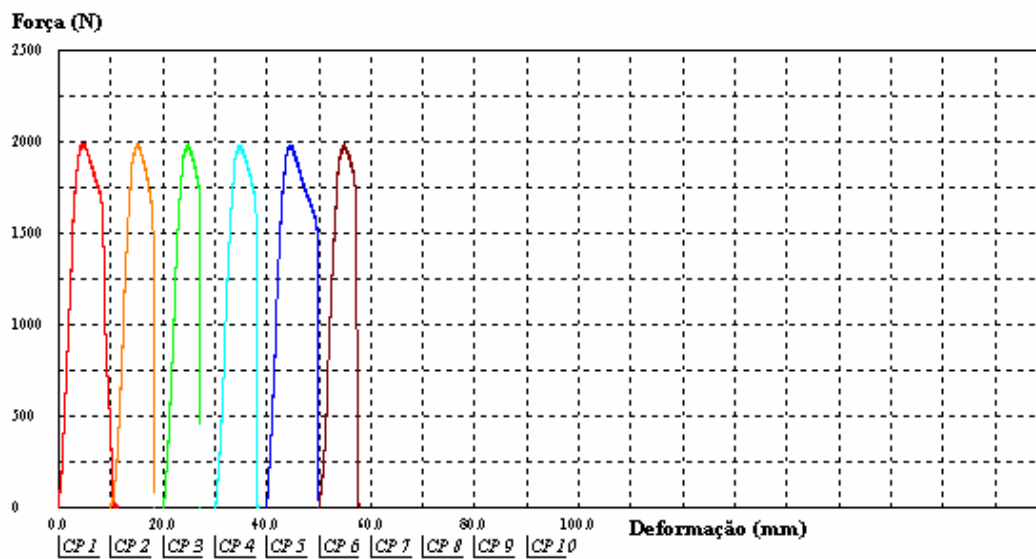


FIGURA 26.4 – Formulação 6 : PVCr + Sisal 5%

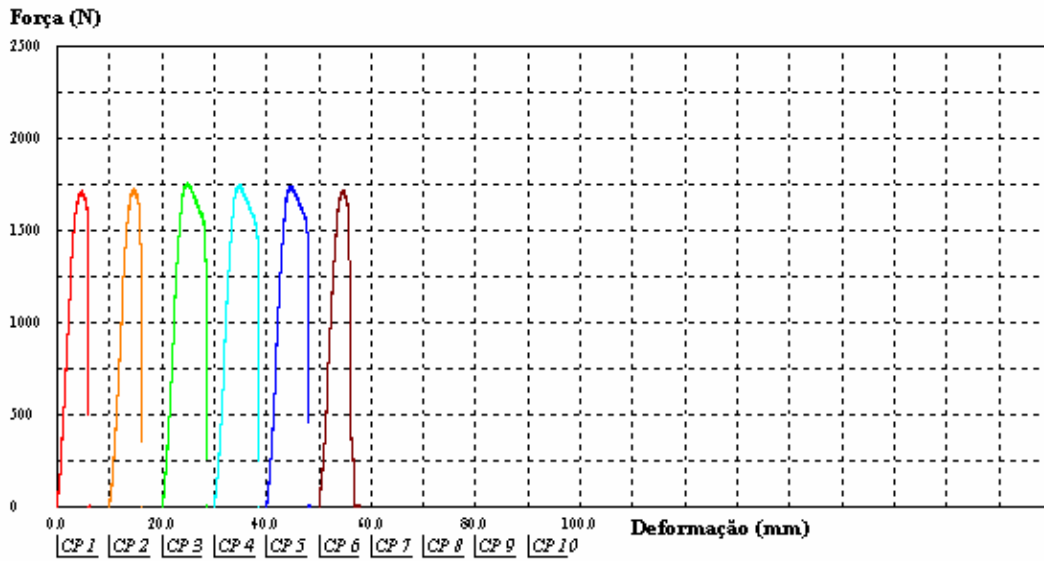


FIGURA 26.5 – Formulação 4 : PVCr + Nylon 10%

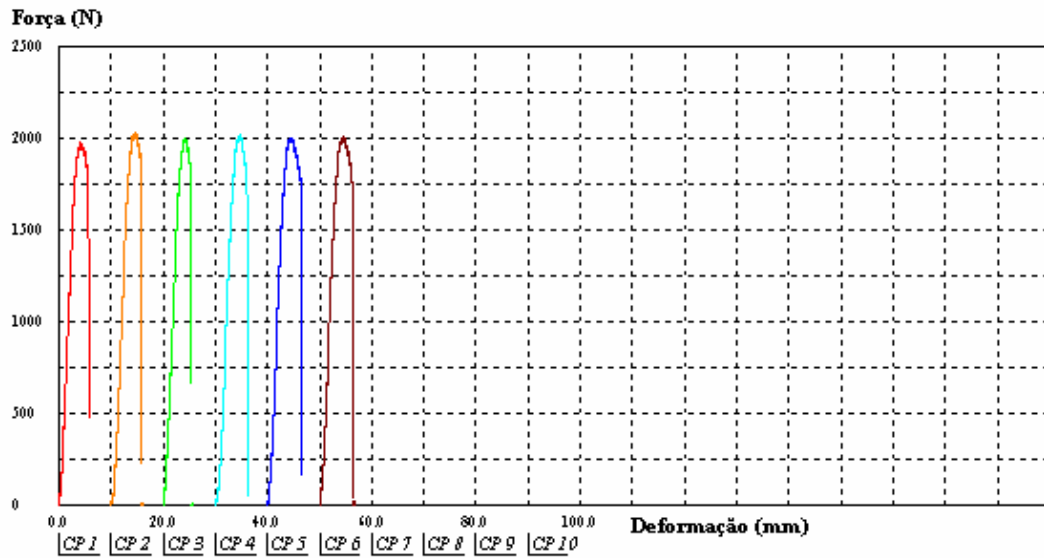


FIGURA 26.6 – Formulação 7 : PVCr + Sisal 10%

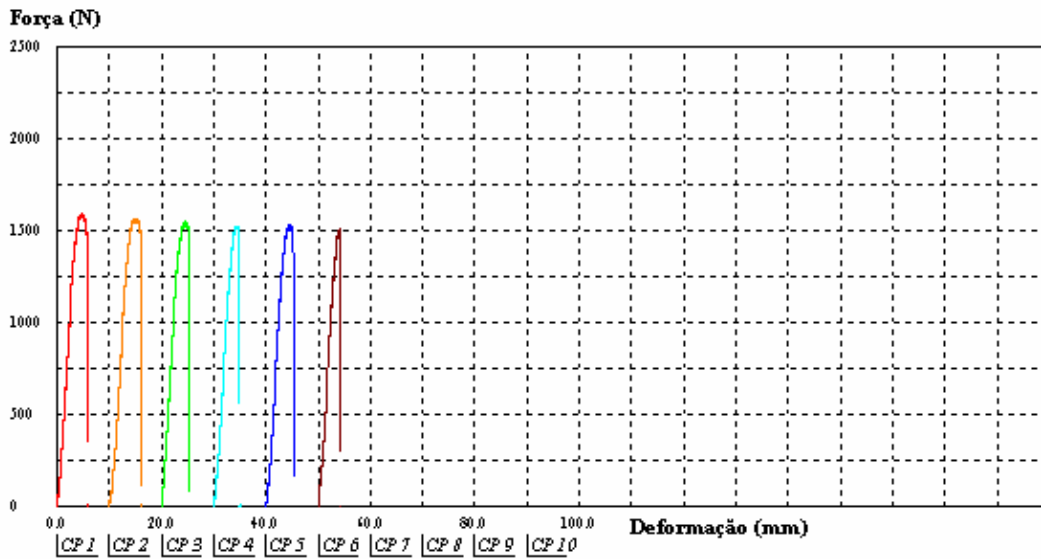


FIGURA 26.7 - Formulação 5 : PVCr + Nylon 20%

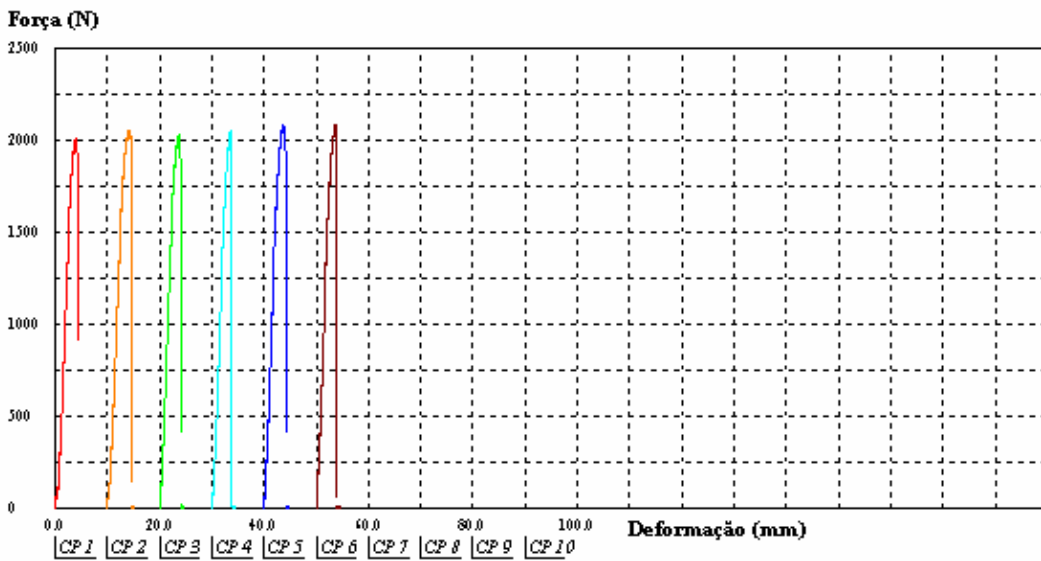


FIGURA 26.8 – Formulação 8 : PVCr + Sisal 20%