

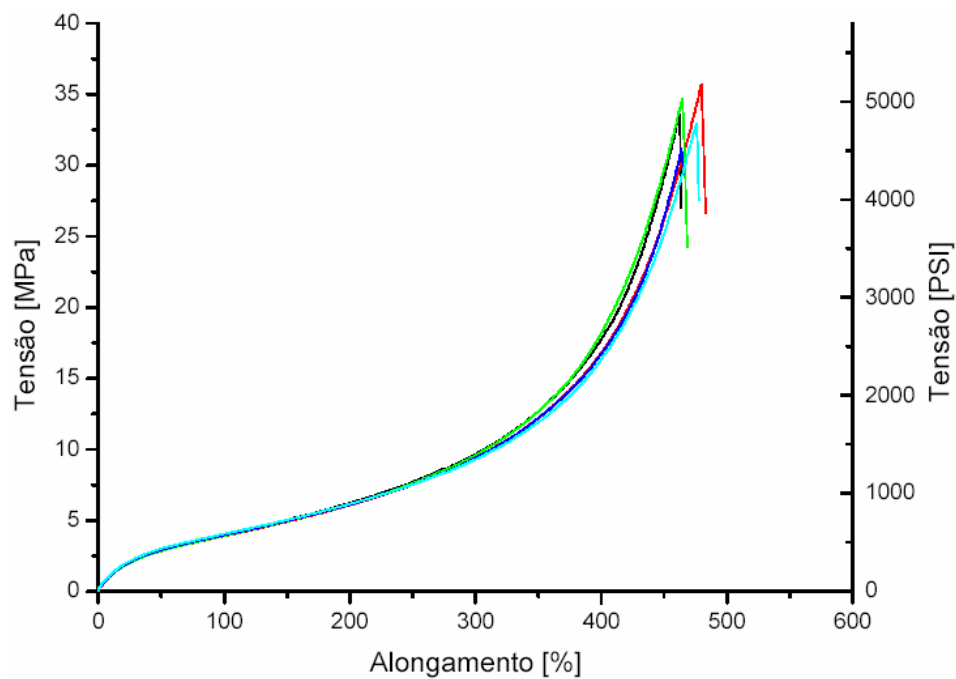


Figura 4.6 – Curvas Tensão/Deformação das amostras E-575A1.

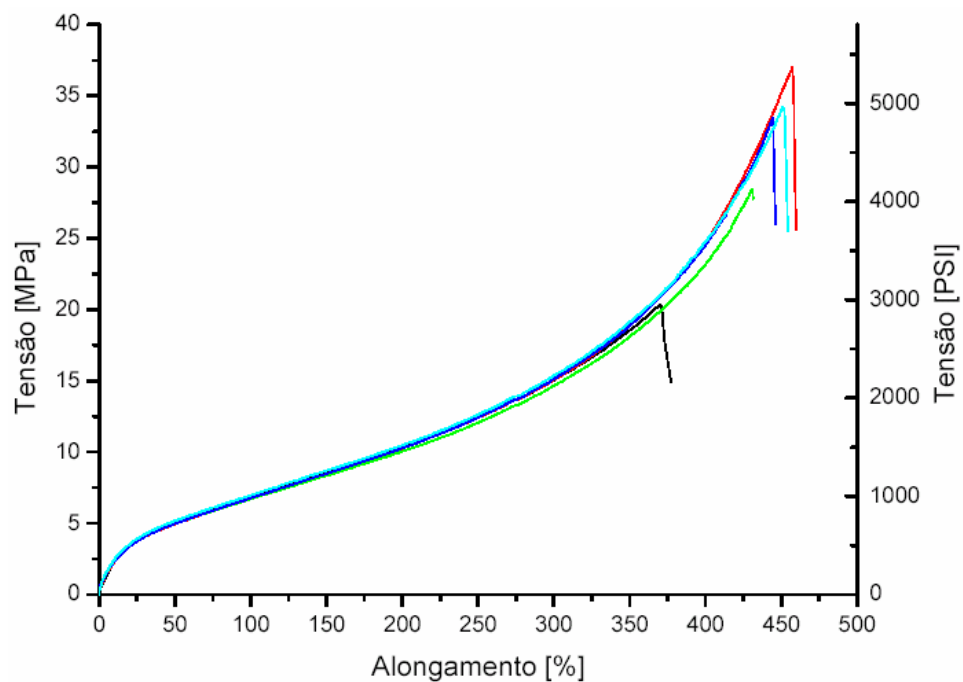


Figura 4.7 – Curvas Tensão/Deformação das amostras E-585A1.

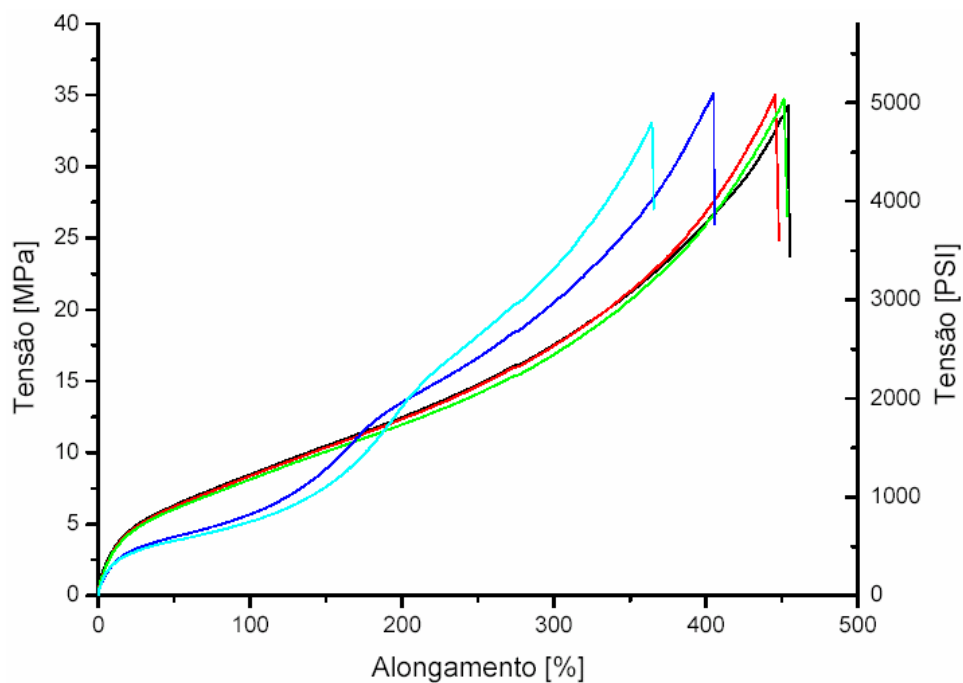


Figura 4.8 – Curvas Tensão/Deformação das amostras E-590A1.

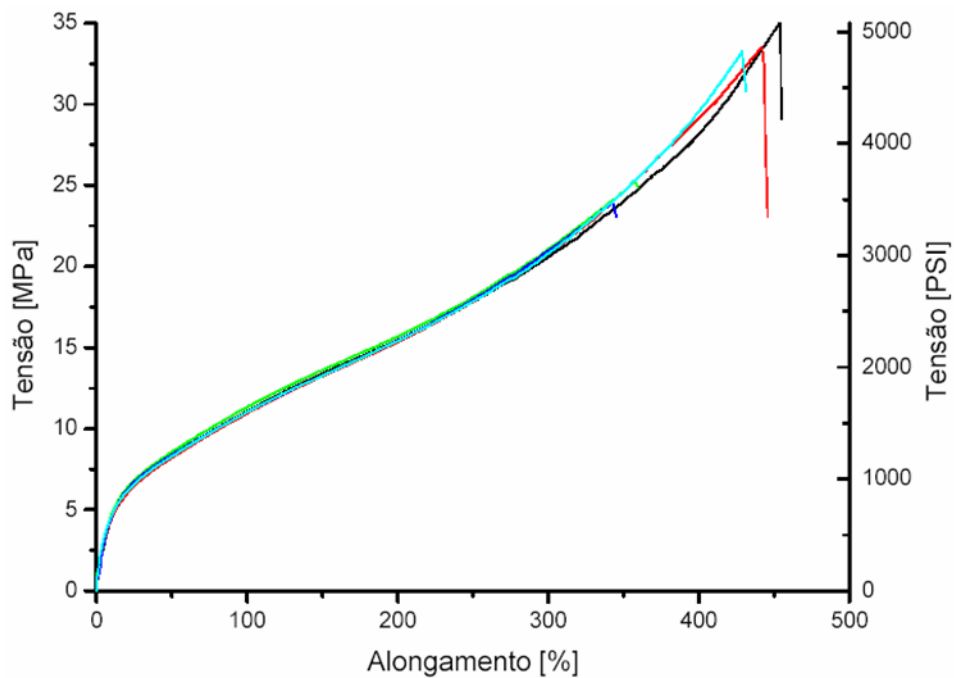


Figura 4.9 – Curvas Tensão/Deformação das amostras E-595A1.

Em comparação com o PU-Ref, pode-se observar que a resistência ao deslocamento das cadeias desse material até 300% de deformação, assemelha-se muito à do E-590A1, porém, a resistência à ruptura da cadeia que o constitui é menor que os demais.

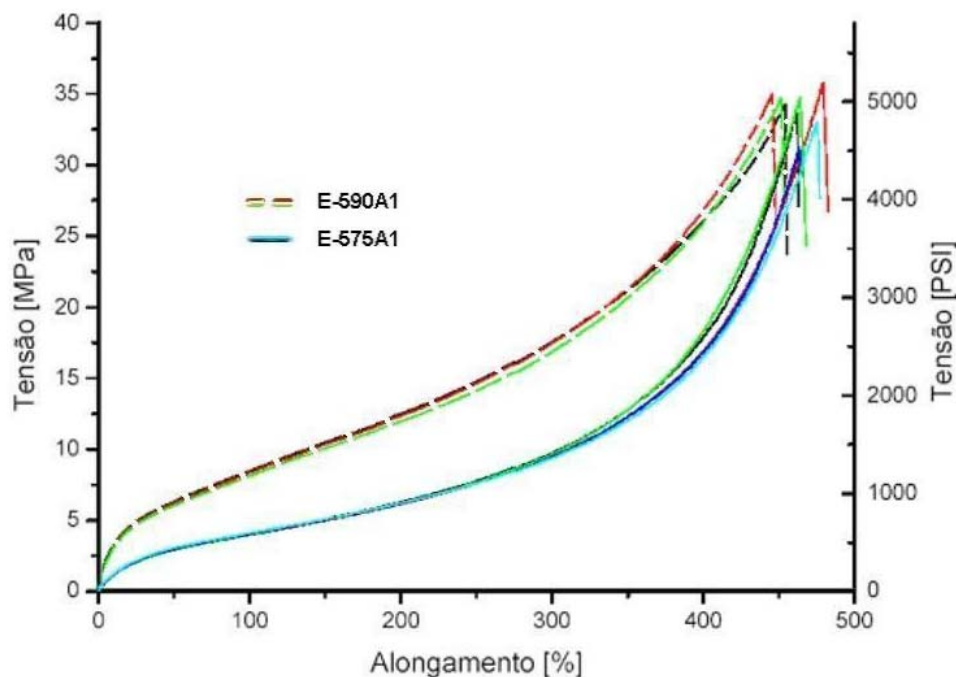


Figura 4.10 – Curvas Tensão/Deformação da amostra E-595A1 e E-590A1.

4.4.3 – Ensaio de Rasgamento

Os resultados do ensaio de rasgamento podem ser observados na **Tabela 4.3**. Nas **Figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14** podem ser observadas as curvas de resistência ao rasgamento, bem como as deformações correspondentes. O alongamento mostrado na **tabela 4.3** refere-se ao deslocamento experimentado pela amostra durante o ensaio de rasgamento. Dessa tabela, nota-se que os valores de resistência ao rasgo dos PU's MDI-DB têm uma correlação inversa com o alongamento, ou seja, materiais que se alongam mais, resistem menos a esforços numa condição de rasgo. Comparando-se agora os PU's da série E-500 com o PU-Ref, percebe-se que o PU-Ref tem um alongamento equivalente ao PU E-585A1, cuja dureza é 87 Shore A. A resistência do PU-Ref é, todavia, pouco mais da metade da medida do E-585A1.

Isso está ligado à configuração do ensaio. Diferente do ensaio de tração, a resistência ao carregamento se restringe a uma linha da amostra e as cadeias desta linha são solicitadas antes

que possíveis movimentações entre as macromoléculas possam acontecer. Assim, uma concentração de tensão leva ao colapso do material e propaga o rasgo.

Tabela 4.3 – Resultados do ensaio de rasgamento, segundo a norma ASTM D624.

Amostra	Resistência ao Rasgamento [N/mm] (PLI*)	Alongamento (%)
E-575A1	70,8±1,5(404,1±8,3)	200,9±8,1
E-585A1	94,7±0,6(541,0±3,3)	133,8±0,8
E-590A1	107,3±1,2(612,6±6,7)	112,0±16,8
E-595A1	121,4±7,3(693,0±42,0)	83,5±6,4
PU – Ref	54,0±1,1(308,3±6,3)	133,3±2,0

PLI – libra por polegada de espessura.

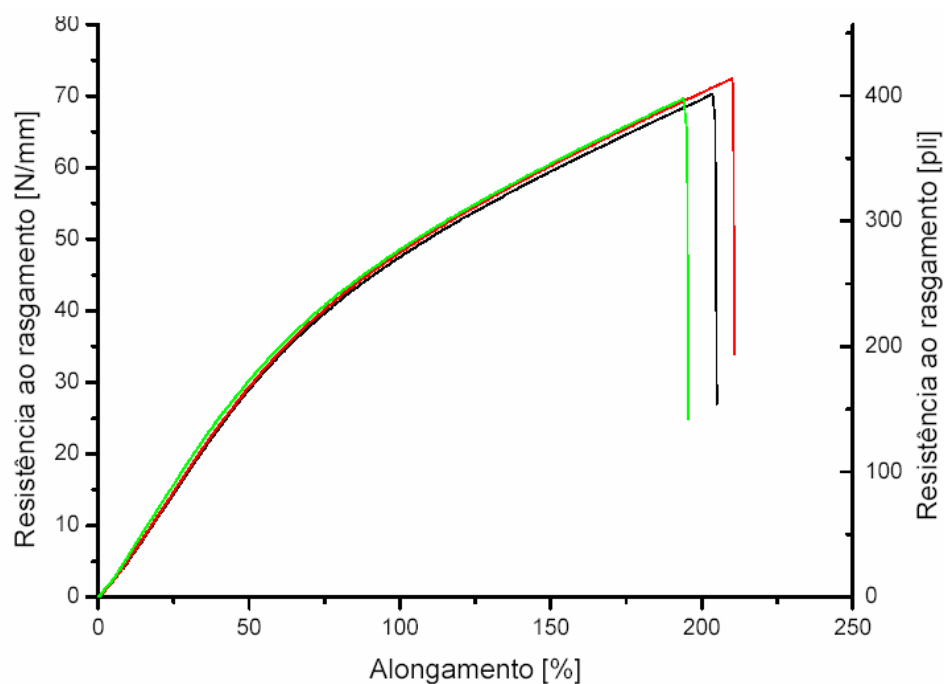


Figura 4.11 – Curvas Resistência ao rasgamento/Deformação das amostras E-575A1.

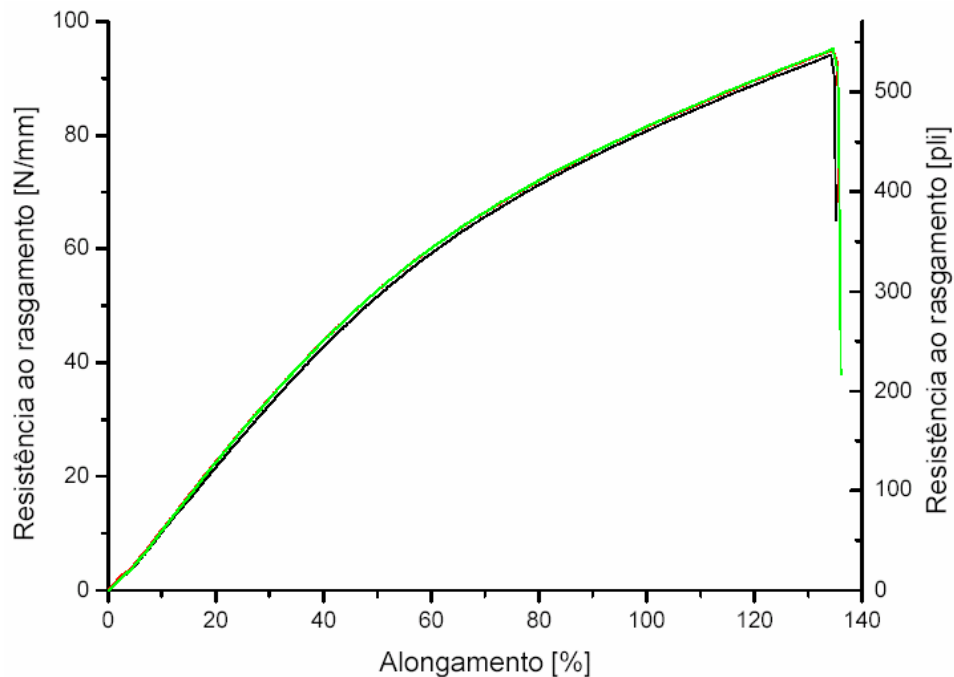


Figura 4.12 – Curvas Resistência ao rasgamento/Deformação das amostras E-585A1.

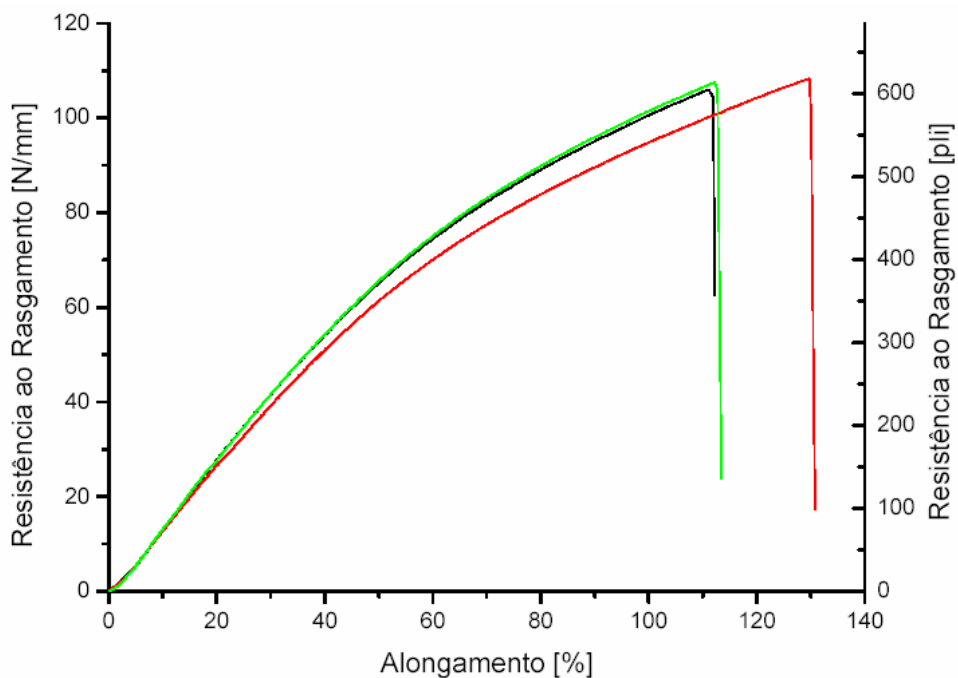


Figura 4.13 – Curvas Resistência ao rasgamento/Deformação das amostras E-590A1.

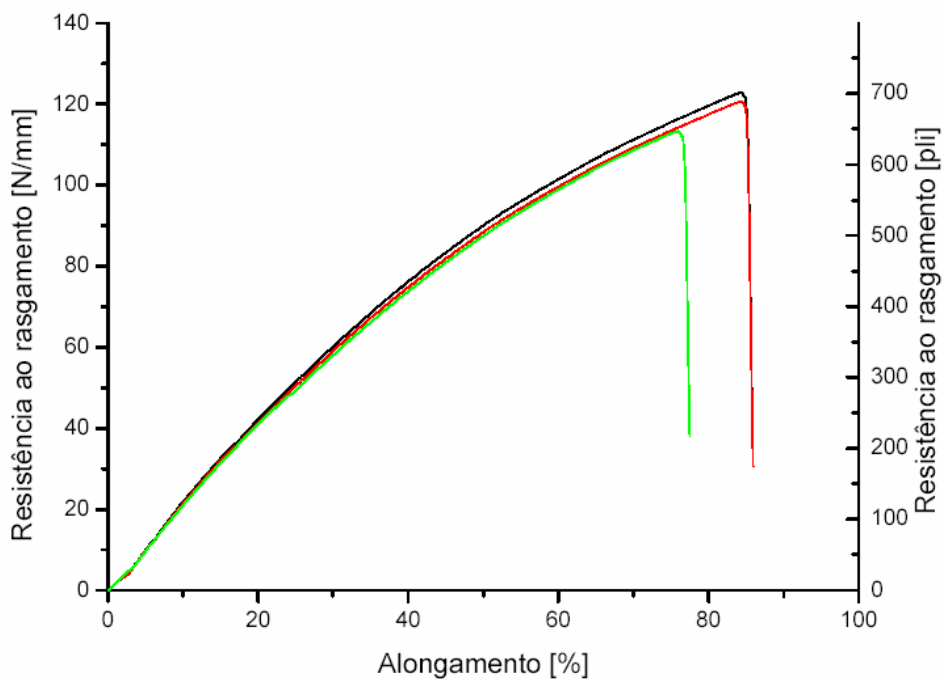


Figura 4.14 – Curvas Resistência ao rasgamento/Deformação das amostras E-595A1.

4.4.4 – Ensaio de Resiliência

Os resultados de resiliência podem ser observados na **Tabela 4.4**. Nota-se, que a resiliência se comporta, para esses materiais, numa função inversa com a dureza. Os materiais de dureza próxima (E-585A1 e PU-Ref) também revelam um valor de resiliência próximos.

Tabela 4.4 – Resultados do ensaio de resiliência, segundo a norma DIN 53.512.

Amostra	Resiliência [%]
E-575A1	51,0±1,5
E-585A1	45,0±1,5
E-590A1	37,0±0,9
E-595A1	35,0±0,3
PU – Ref.	41,0±0,4

4.4.5 – Ensaio de densidade

Os resultados de densidade podem ser observados na **Tabela 4.5**. Os resultados expressam a média de três medições. Observa-se que as densidades dos materiais testados são muito próximas.

Tabela 4.5 – Resultados do ensaio de densidade, obtidos segundo a norma ASTM D1817.

Amostra	Densidade (g/cm ³)
E-575A1	1,05
E-585A1	1,07
E-590A1	1,10
E-595A1	1,11
PU – Ref.	1,12

4.4.6 – Fratura frágil

A **figura 4.15** mostra o aspecto da região fraturada a -196°C . As fraturas em todas as amostras ocorreram com tendência a formação de pequenos planos e sem deformação plástica, o que caracteriza uma fratura frágil, FERREIRA, *et al.*, (2002).

Ao observar a superfície da fratura na **figura 4.15**, percebe-se, que as amostras E-575A1 e E-585A1 têm um aspecto com mais degraus, que, a princípio pode apenas ser reflexo das condições da aplicação do carregamento dinâmico. O aspecto das fraturas revela também ausência de vazios ou bolhas, nesses aumentos.

Esses materiais apresentam, via de regra, as seguintes características na superfície de fratura: origem da fratura, espelho de fratura (mirror), névoa (mist) e região de ramificação das trincas (hackle), **figura 4.16**, FERREIRA, *et al.*, (2002).

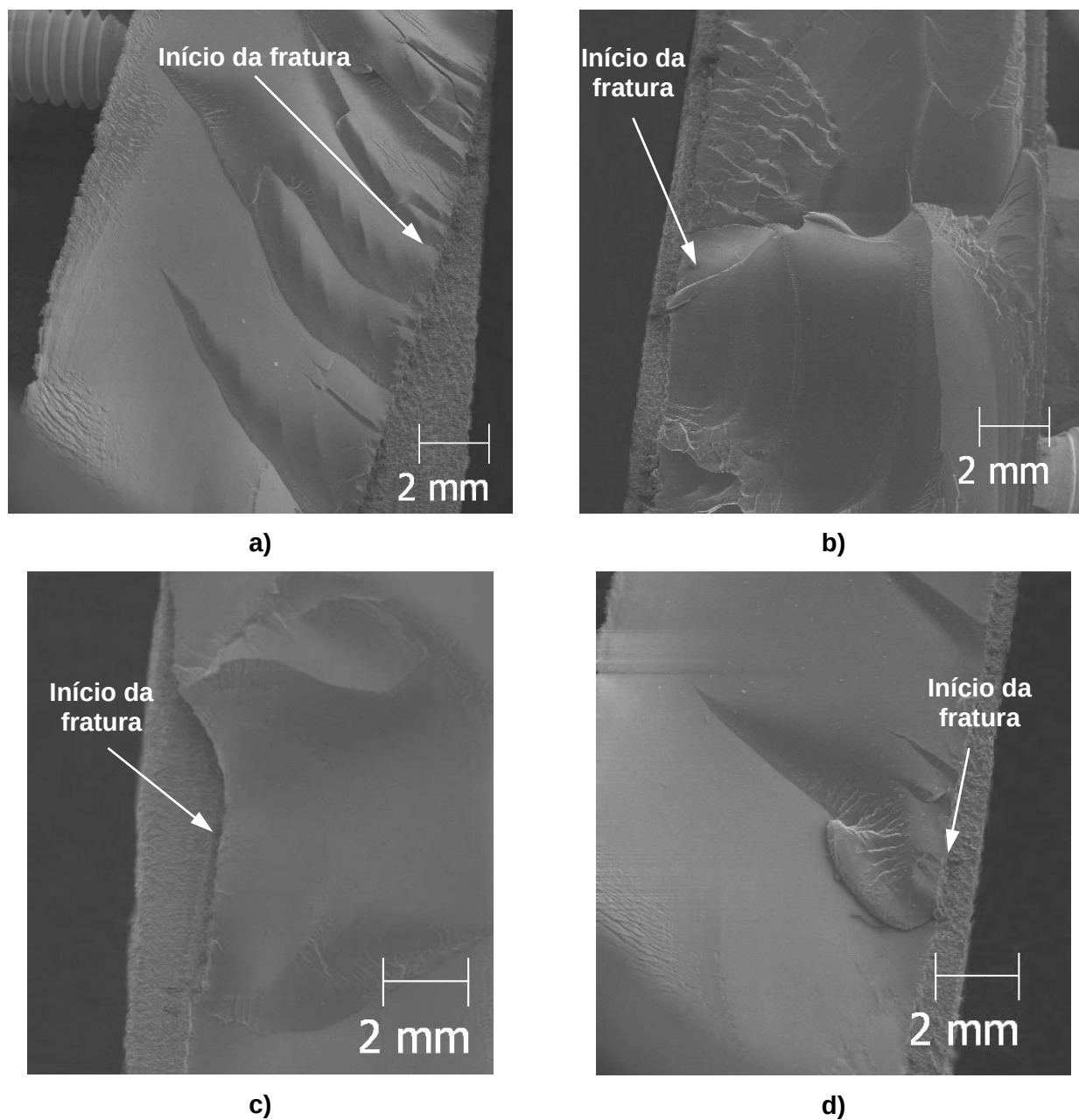
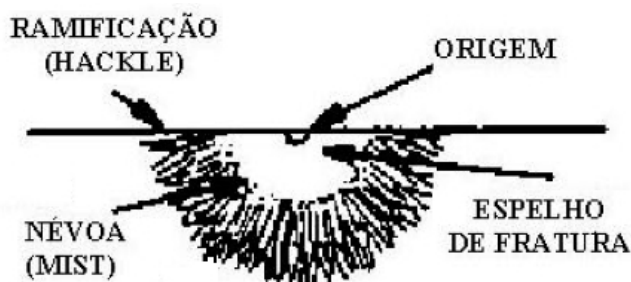
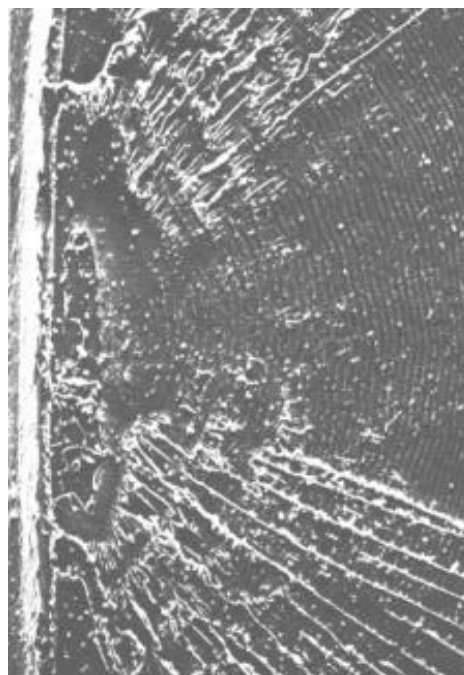


Figura 4.15 – Aspecto da região fraturada a -196°C ; a) E-575A1, b) E-585A1; c) E-590A1 e d) E-595A1, MEV.

Outros aspectos podem ser observados nas ampliações, **figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20**. Nessas figuras fica mais claramente evidenciada a não existência de porosidades. Observa-se que, apesar da existência de degraus na superfície da fratura (ver **figura 4.15**), o aspecto da fratura nos degraus é o de um material frágil.



a)



b)

Figura 4.16 – Regiões características típicas de uma fratura em material amorfo na condição de fragilidade. a) representação esquemática de uma fratura iniciada na superfície/borda do material e b) observação no MEV da superfície de fratura de um policarbonato (Mag. X21). FERREIRA, *et al.*, (2002).

Existe, para os quatro PU's, uma morfologia semelhante e descrita pela literatura como como de "papel de parede" ou "colcha de retalhos" (patch pattern), FERREIRA, *et al.*, (2002). Essa morfologia pode ser observada na **figura 4.17b**, **4.19b** e **4.20b**. Apesar dessa semelhança, na **figura 4.17b** percebe-se uma característica peculiar ao material E-575A1. Essa característica pode ser melhor observada na **figura 4.21** e refere-se a regiões de formato esférico de prováveis vazios da ordem de 1 a 3 μm . Esses vazios aparecem distribuídas na região entre a zona de ramificação, e ao redor das mesmas podem ser notadas estruturas semelhante a núcleos. A princípio não se pode afirmar nada a respeito da origem. Muito provavelmente são provenientes da diferença de energia coesiva que gera uma separação de fases pela segregação durante a formação de segmentos rígidos e flexíveis, como mostrado na sessão 2.2.6.1.

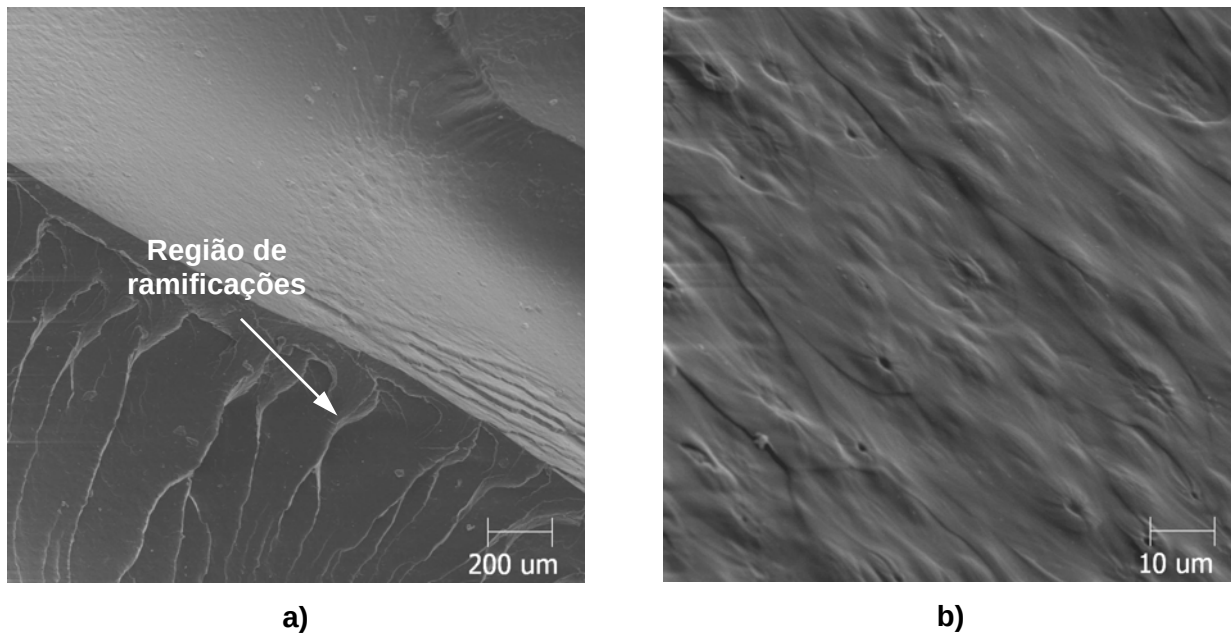


Figura 4.17 – Aspecto da região fraturada a -196°C; E-575A1. a) região de desenvolvimento de ramificações, b) detalhe da morfologia da superfície, MEV.

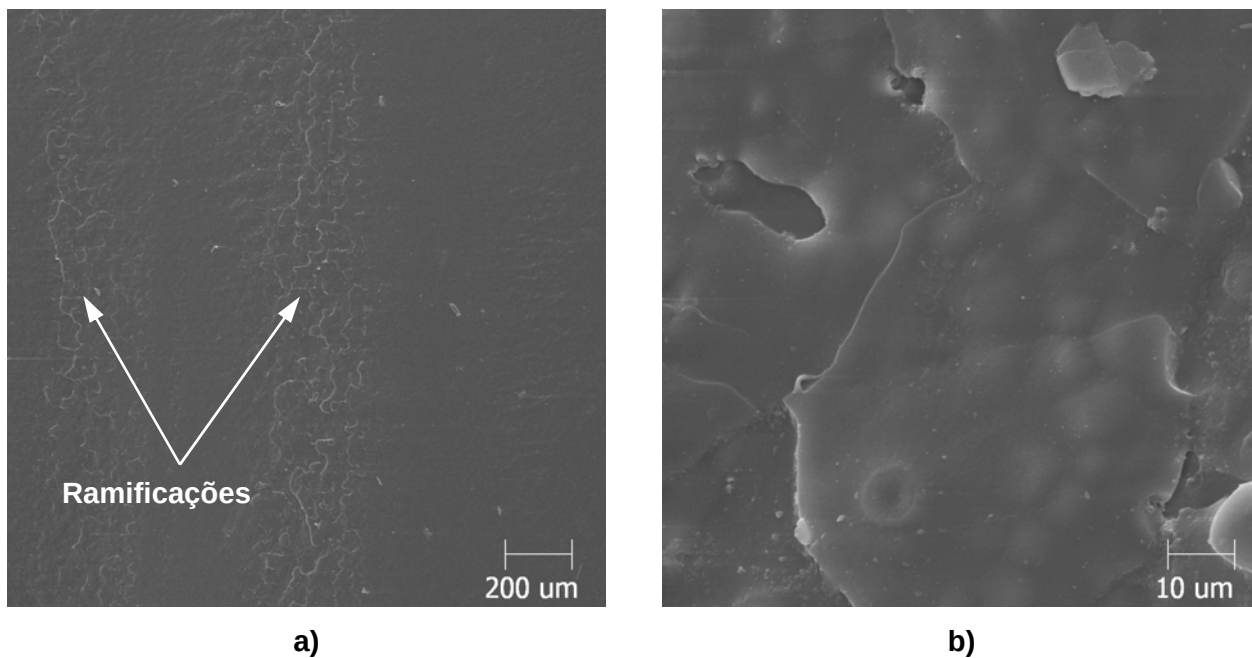


Figura 4.18 – Aspecto da região fraturada a -196°C; E-585A1. a) região característica de desenvolvimento da fratura com visualização de ramificações primárias e secundárias, b) detalhe de uma região de ramificação, MEV.

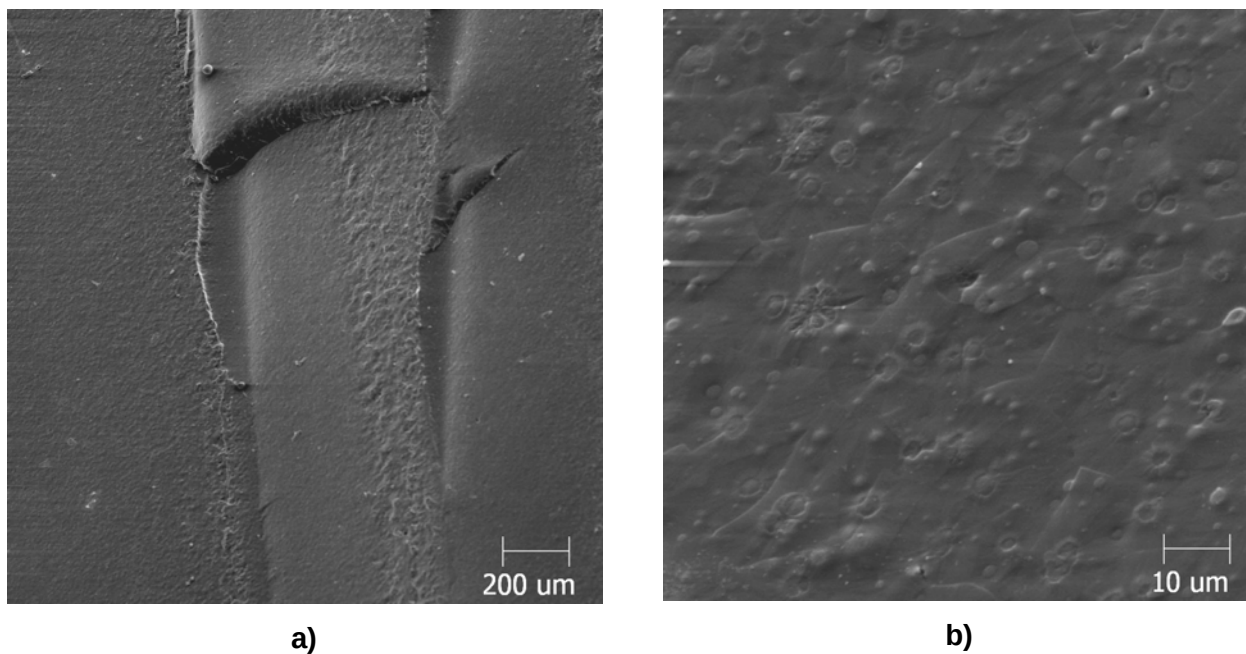


Figura 4.19 – Aspecto da região fraturada a -196°C; E-590A1. a) região característica de desenvolvimento da fratura com visualização de ramificações primárias e secundárias, b) detalhe da morfologia da superfície entre as ramificações primárias, MEV.

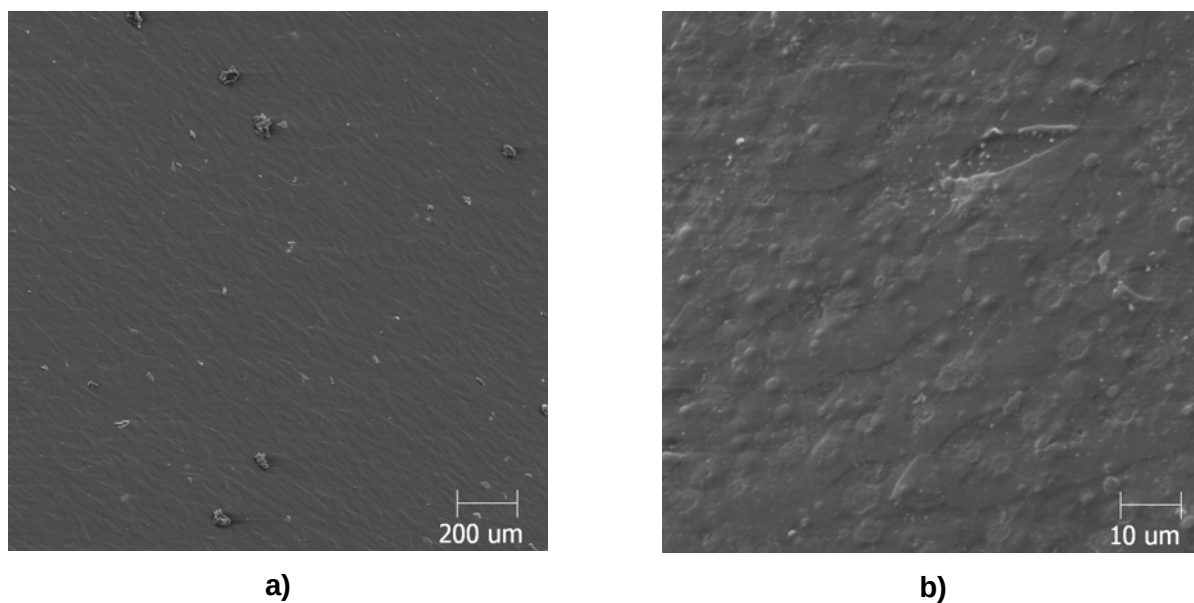


Figura 4.20 – Aspecto da região fraturada a -196°C; E-595A1. a) região de desenvolvimento de espelho, b) detalhe da morfologia da superfície, MEV.

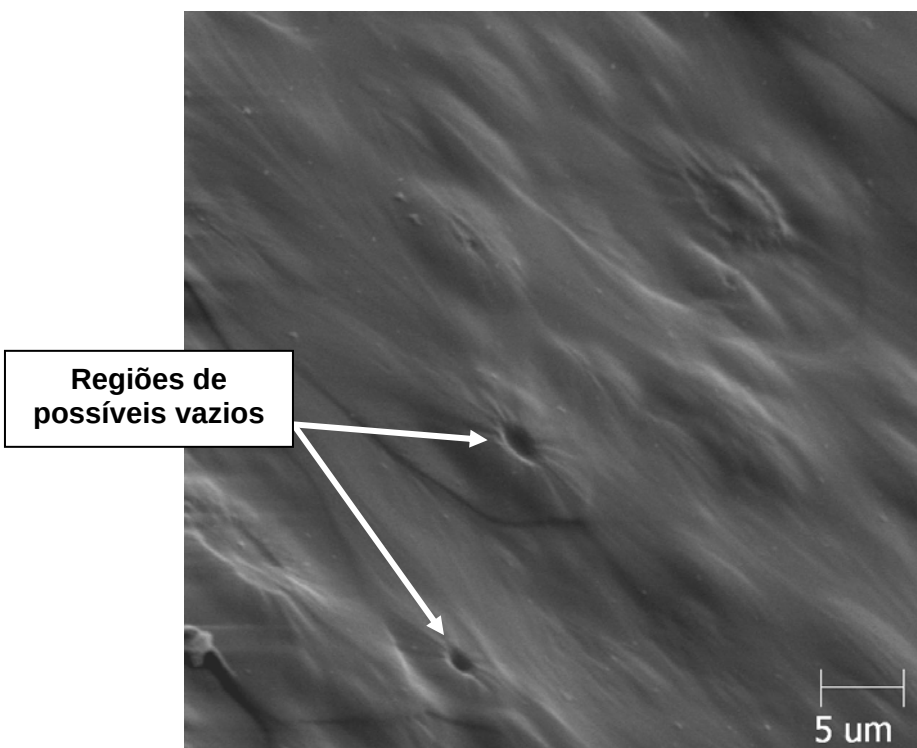


Figura 4.21 – Aspecto da região fraturada a -196°C . Detalhe das regiões de formato esférico de prováveis vazios para E-575A1, MEV.

A comparação entre os cinco materiais mostra que não existem grandes diferenças de comportamento quanto à fratura a -196°C . Esse ensaio não mostrou a existência de poros em nenhum material. Apenas a amostra E-575A1 revela a existência de possíveis vazios, porém, de dimensões microscópicas.

A **figura 4.22** mostra aspectos da região fraturada do PU–Ref por FERREIRA, *et al.*, (2002). Nela fica evidente a característica plana e em escamas.

4.4.7 – Ensaio de Indentação-Esférico-Instrumentada – IEI

A **figura 4.23** mostra as três curvas de carga *versus* profundidade de indentação característica do ensaio de IEI para o E-585A1.

A **figura 4.24** mostra o comportamento da curva carga *versus* profundidade para cada material. Foi selecionada aleatoriamente uma curva de cada material, visto que os desvios entre os três ensaios, para cada material, são pequenos, como observado na **figura 4.23**.