

7 Conclusões e Sugestões

7.1. Conclusões

No presente trabalho se conseguiu a estudar o comportamento da transição de uma trinca bidimensional para unidimensional. Isso foi possível devido às propriedades mecânicas do policarbonato especialmente a tenacidade e transparência que permitem observar a transição 2D para 1D através de uma corpo de prova.

Os resultados dos ensaios C2(T) foram separados em três grupos ou casos, o Primeiro Caso devido a Fratura Frágil, o Segundo Caso devido à alta plasticidade e presença do mecanismo chamado *tunneling* e finalmente o Terceiro Caso que permitiu conhecer verdadeiramente a transição 2D-1D e os fatores de intensidade de tensão predominantes $\Delta K_I(a)$, $\Delta K_I(c)$, $\Delta K_I(c')$.

Trincas de fadiga cresceram em policarbonato sob condições de $\Delta K_I(a)$ variável para $a/t < 1$ com o intuito de diminuir os fatores de intensidade de tensão e com $\Delta K_I(c)$ constante no estagio de transição de bidimensional para unidimensional.

Foi encontrada a propriedade de fadiga do policarbonato e ajustados os resultados tanto a regra de Paris quanto Elber.

Foram encontrados os fatores de forma experimental (fatores de intensidade de tensão normalizado) para os corpos de prova CP-12, f_c e f_a ($a/t \leq 1$), ensaio que representa a Primeiro Caso da serie de treze ensaios. Também foram encontrados os fatores de forma experimental para o CP-13, ensaio que representa ao Terceiro Caso (Transição 2D-1D), f_a e f_c ($a/t \leq 1$), e f_c e f_c' ($a/t > 1$).

As trincas bidimensionais foram examinadas com três fontes de aquisição de dados: um microscópio X-Y e duas câmeras fotográficas de alta resolução para medir os comprimentos da trinca c , c' e a , que foram relacionados com o número de ciclos da carga aplicada. Encontraram-se expressões analíticas das taxas de propagação dc/dN , dc'/dN baseados nos dados experimentais.

A técnica desenvolvida para a aquisição de dados serviu para obter os valores de propagação da trinca.

Neste trabalho foram ensaiados a fadiga: vinte corpos de prova de *polimetilmetacrilato*, PMMA, tipo C(T), vinte e oito de policarbonato tipo C(T), quatro de policarbonato tipo M(T) com trinca semi-elíptica, três de PMMA tipo M(T) com trinca semi-elíptica, quatro de policarbonato tipo ESE(T), quinze de policarbonato tipo C2D(T) com trinca quarto - elíptica e defeito com geometria linear, três de policarbonato para um ensaio de tração.

Dos quinze corpos de prova C2D(T): sete conseguiram passar da transição do estagio bidimensional para unidimensional, em dois apareceram trincas por fadiga ao longo do corpo de prova (um deles foi re-usado), um trincou por fadiga na base do corpo de prova, cinco propagaram em forma bidimensional, contudo tiveram fratura frágil.

As expressões usadas para calculo de fator de intensidade de tensões $K_I(a)$ e $K_I(c)$ serviram para comparar resultados experimentais para $a/t < 1$. Como não se tem expressões analíticas para a zona de transição, se conseguiu calcular fatores de intensidade de tensão $K_I(c')$ segundo os resultados experimentais e assumindo que as constantes de propagação da regra formulada por Elber servem também para dita zona de transição.

As fotografias feitas com microscópio digital com um aumento de 50 vezes mostram as deformações produzidas nos C2D(T) a cada ciclo de carga, se observando assim as marcas de fadiga da transição bidimensional para unidimensional. As taxas dc'/dN eram maiores na região de transição do que dc/dN aumentando os deslocamentos no semi-eixo c' até que uma trinca unidimensional foi atingida.

Através da modelagem numérica, entendeu-se melhor como é o comportamento da trinca para diferentes estágios antes da transição durante a transição e depois da transição. Foi utilizado o método dos elementos finitos como ferramenta de simulação. O *software* FRANC3D foi utilizado para a criação do modelo, geração de malhas em cada passo da propagação, aplicação das condições de contorno, das propriedades dos materiais e do carregamento, e cálculo dos fatores de intensidade de tensão. Esse programa tem a opção de trabalhar com o programa ABAQUS, que analisa o modelo de elementos finitos.

7.2. Sugestões

Aproveitando que o policarbonato é um material fotoelástico, usamos filtros polarizadores para observar o campo de tensões tanto no corpo quanto ao redor da ponta da trinca. Poderia ser abordado o estudo dos campos de tensões ao redor da trinca com o uso da fotoelasticidade e fotoplasticidade tanto para comparar o campo de tensões elastoplástico que se encontra ao redor da ponta da trinca quanto à zona plástica propriamente dita. A fotoelasticidade fornece indicações dos pontos mais sobrecarregados, valores de tensões cisalhantes máximas, direções principais. Na Figura 7.1.a percebe-se as tensões residuais causadas pela ferramenta de corte no entalhe para os ESE(T), e a Figura 7.1.b. mostra um C2D(T) em seu quase estágio final de fratura. Esta informação poderia ser usada para futuros trabalhos onde se tentaria comparar os resultados de fator de intensidade de tensão na ponta da trinca com os obtidos neste trabalho.

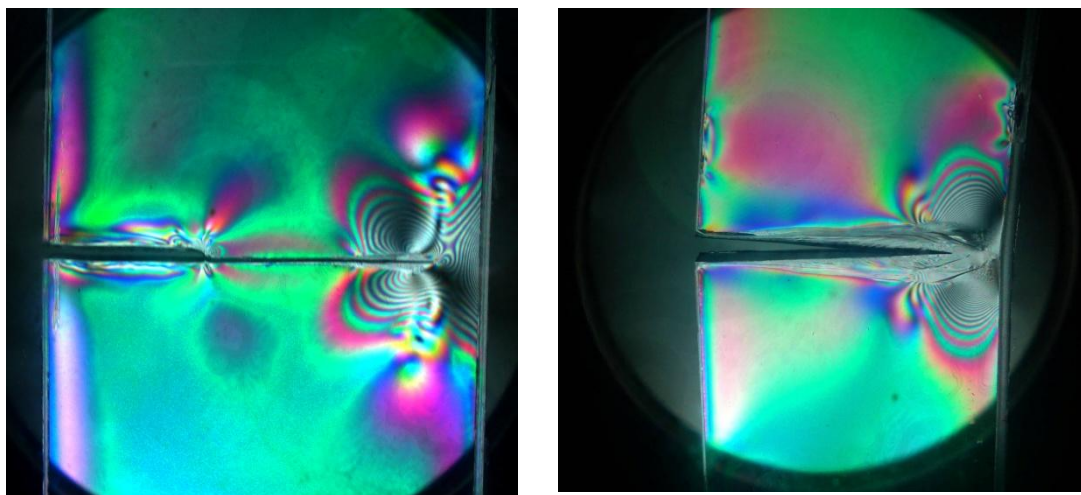


Figura 7.1 – Fotoelasticidade do policarbonato a)ESE(T) b)C2D(T)

(Lab. Fadiga PUC-Rio, 2010)

Já que o policarbonato permite a visualização da trinca se efetuou um ensaio num corpo de prova tipo ESE(T) no qual foram aplicados três furos posicionados simetricamente. Miranda (2009) usou esta técnica num corpo de prova com um furo para observar como a trajetória linear da propagação muda de direção pelo efeito dos campos

de tensões residuais deixados no furo. Note-se na Figura 7.2 como inicialmente a trinca é atraída pelo primeiro furo mudando a trajetória e depois ela é atraída ao segundo furo, mudando nova a direção da trajetória da curva de propagação. Este tipo de ensaio pode ser aproveitado para simular junções de placas aparafusadas com placas de espessura menor, como, por exemplo, é usado na fuselagem dos aviões.

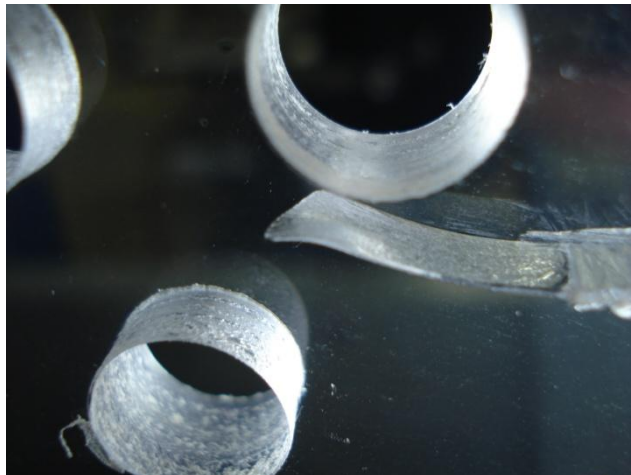


Figura 7.2 – Corpo de Prova com 3 furos tipo ESE(T),
Trajetória da propagação muda duas vezes de sentido
(Lab. Fadiga PUC-Rio, 2010)