

INTERFACE GRÁFICA

Esse documento consiste dos seguintes tópicos:

- I. Descrição das telas e menus principais.
- II. Seqüenciamento de entrada dos dados e obtenção dos resultados.

I. Descrição das telas e menus principais

I.1 – Tela Principal

Existem apenas cerca de 10 janelas e alguns poucos menus para que o usuário possa fazer toda a operação do programa. A **Tela Principal** é mostrada na Figura 1.

FIGURA 1 – Tela principal.

O sistema admite laminados de até 20 lâminas. Existe um banco de dados de propriedades de lâminas e de laminados, que pode ser alterado e armazenado. Alguns dados são predefinidos na tela, mas não todos. O preenchimento é feito de cima para baixo na tela. Primeiramente, a faixa horizontal dos **DADOS GENÉRICOS**. Ali é necessário escolher, à direita, um critério de falha e o método de eliminação de propriedades. Após isso, apertar a tecla **CONFIRMA**.

A segunda faixa de dados, **DADOS DE CARREGAMENTO**. São esforços específicos de placa (Newtons/milímetro) no ponto. Os primeiros seis valores formam o **PERFIL DE CARGA**, que será amplificado por um fator comum, o **FATOR DE FALHA**, até levar o laminado à falha. Os seis valores seguintes são esforços iniciais.

Na terceira faixa de dados, **DADOS DAS LÂMINAS**, todos os campos devem ser preenchidos para cada lâmina. Quando uma lâmina é preenchida, apertar tecla **OK** para gerar a próxima lâmina. Quando os dados de todas as lâminas forem entrados (o número de lâminas é definido nos **Dados Genéricos**), a tecla **OK** faz o cálculo do laminado e gera a tela mostrada na FIGURA 2 a seguir. Implicitamente, a lâmina 1 é a inferior do laminado, e as demais seguem em ordem crescente.

O menu **HELP** contém um documento com mais informações sobre cada tipo de dado e de saída produzido. Detalhes sobre as teorias subjacentes são vistos no livro **Materiais Compostos e Estruturas Sanduíche – Projeto e Análise**, Paulo de T. R. Mendonça, Ed. Manole, 2005. Ali são vistos também exemplos detalhados que podem ser calculados pelo programa.

I.2 – Barra de Menus


A barra de MENUS, no topo da janela, tem a seguinte estrutura:

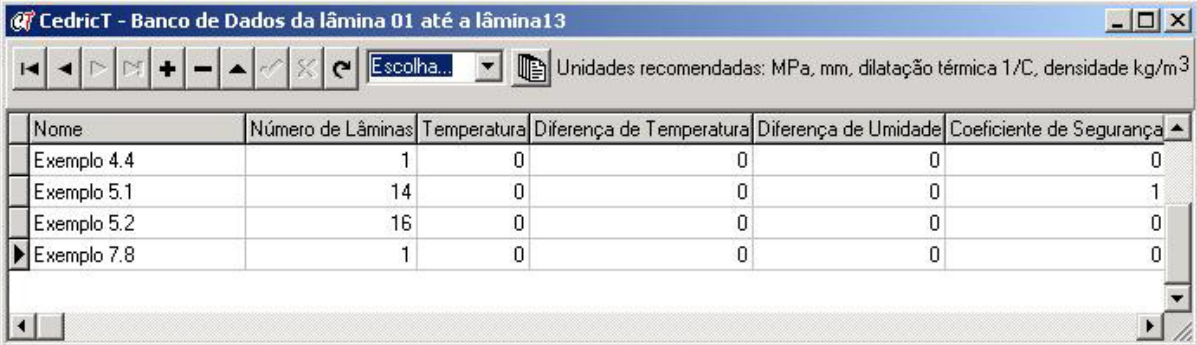
Arquivos	Lâminas	Banco de dados	Help
↓	↓	↓	↓
Novo Experimento	Lâmina 1	Banco de Dados até a Lâmina 13	Dados e saídas
Sair	Lâmina 2	Banco de Dados até a Lâmina 13	Interface gráfica
	etc., até Lâmina 20	Banco de Dados de compostos comerciais	Senha
			Termo de responsabilidade
			Sobre CedricT

I.3 – Menu BANCO DE DADOS

Todos os dados de um laminado que o usuário entra via **Tela principal** são armazenados num banco de dados, onde podem ser alterados e salvos em arquivo. Adicionalmente, existe um banco de dados separado para propriedades de algumas lâminas comercialmente disponíveis (Figuras 3 e 4).

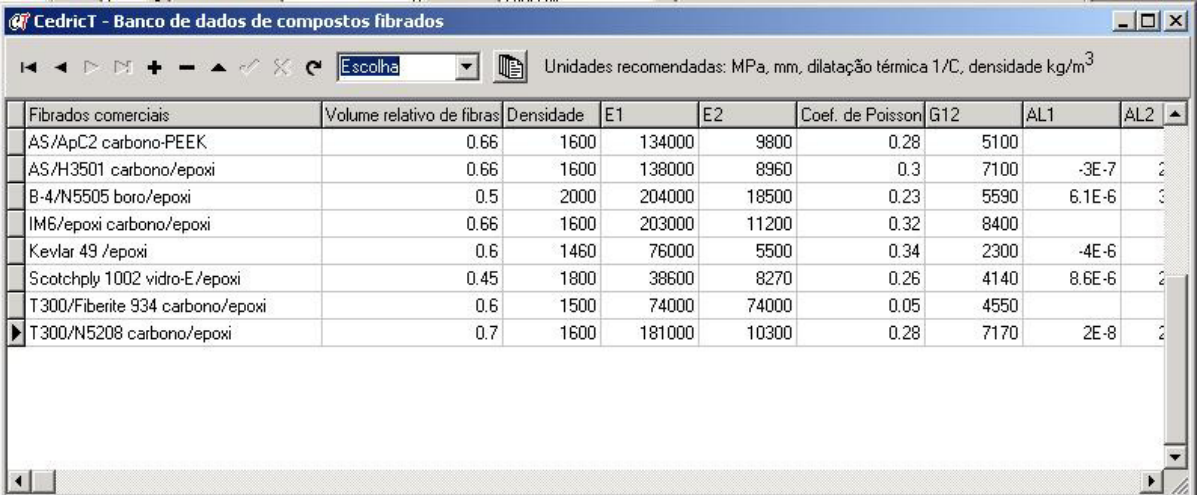
COPIA DE MATERIAL. Os dados de um material podem ser copiados integralmente para facilitar a geração de um outro material. Para isso, na **caixa Escolha**, escolha o nome do material a

ser copiado, e aperte o botão a direita , que pedirá o nome do novo material. Com isso uma nova linha é gerada, para o novo material, com os dados do antigo. Esses dados podem ser editados e alterados de forma usual.



Nome	Número de Lâminas	Temperatura	Diferença de Temperatura	Diferença de Umidade	Coeficiente de Segurança
Exemplo 4.4	1	0	0	0	0
Exemplo 5.1	14	0	0	0	1
Exemplo 5.2	16	0	0	0	0
▶ Exemplo 7.8	1	0	0	0	0

FIGURA 3– Menu **BANCO DE DADOS** de laminados do usuário.



Fibrados comerciais	Volume relativo de fibras	Densidade	E1	E2	Coef. de Poisson	G12	AL1	AL2
AS/ApC2 carbono-PEEK	0.66	1600	134000	9800	0.28	5100		
AS/H3501 carbono/epoxi	0.66	1600	138000	8960	0.3	7100	-3E-7	2
B-4/N5505 boro/epoxi	0.5	2000	204000	18500	0.23	5590	6.1E-6	3
IM6/epoxi carbono/epoxi	0.66	1600	203000	11200	0.32	8400		
Kevlar 49 /epoxi	0.6	1460	76000	5500	0.34	2300	-4E-6	
Scotchply 1002 vidro-E/epoxi	0.45	1800	38600	8270	0.26	4140	8.6E-6	2
T300/Fiberite 934 carbono/epoxi	0.6	1500	74000	74000	0.05	4550		
▶ T300/N5208 carbono/epoxi	0.7	1600	181000	10300	0.28	7170	2E-8	2

FIGURA 4– Menu **BANCO DE DADOS de laminados comerciais**. (Obs.: os valores mostrados não necessariamente correspondem aos valores reais, uma vez que cada fabricante pode alterar as características do produto de forma independente.)

I.4 – Tela SELEÇÃO DE RESULTADOS dos resultados

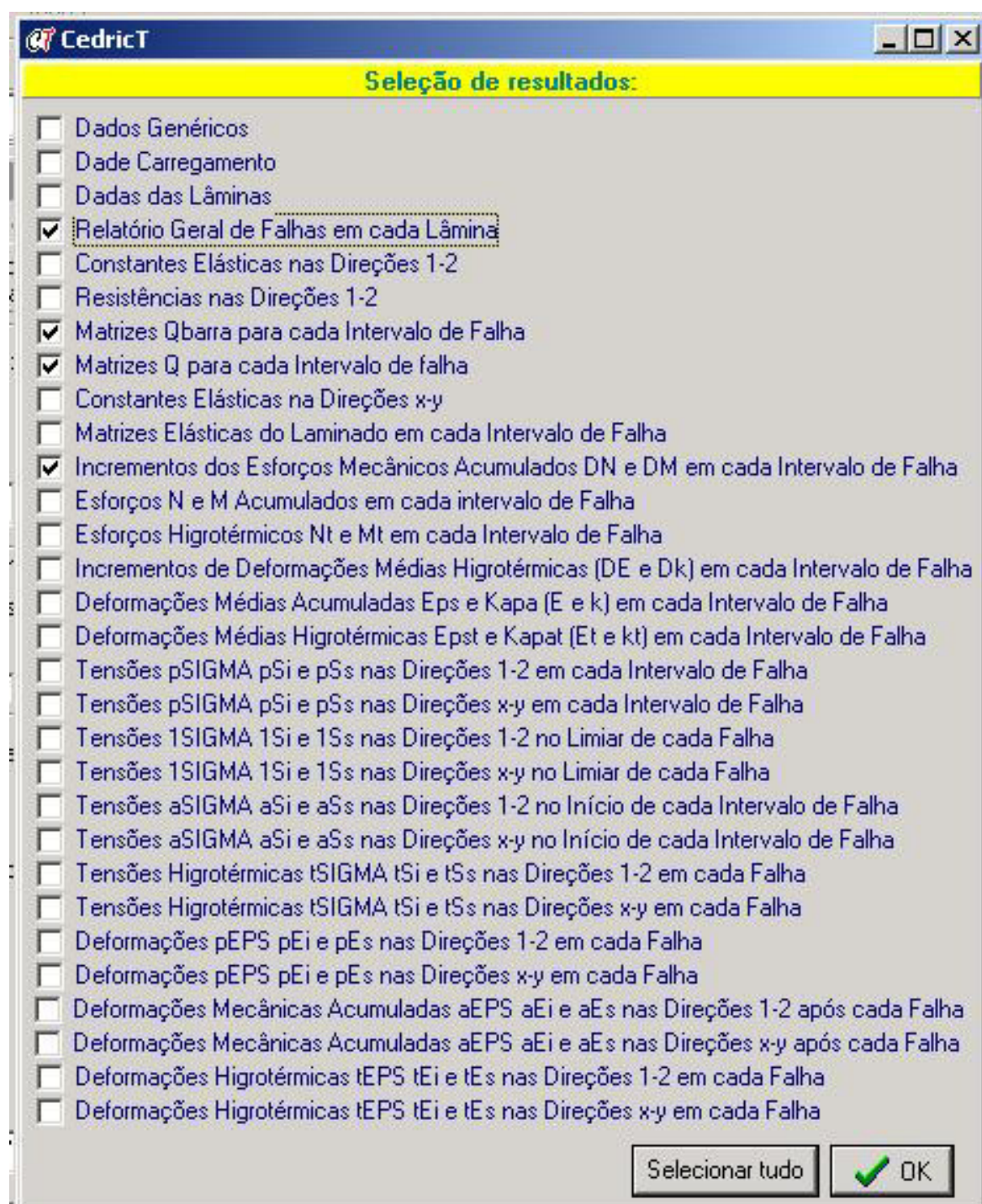


FIGURA 5 – Tela de SELEÇÃO DE RESULTADOS dos resultados de laminados.

I.5 – Tela RESULTADOS numéricos

Uma vez que o volume de resultados pode ser grande, permite-se ao usuário selecionar apenas alguns resultados de interesse numa dada análise na Tela **SELEÇÃO DE RESULTADOS** (FIGURA 5), que são apresentados na Tela **RESULTADOS** (FIGURA 6). Os valores são mostrados podem ser enviados a arquivo texto para documentação.

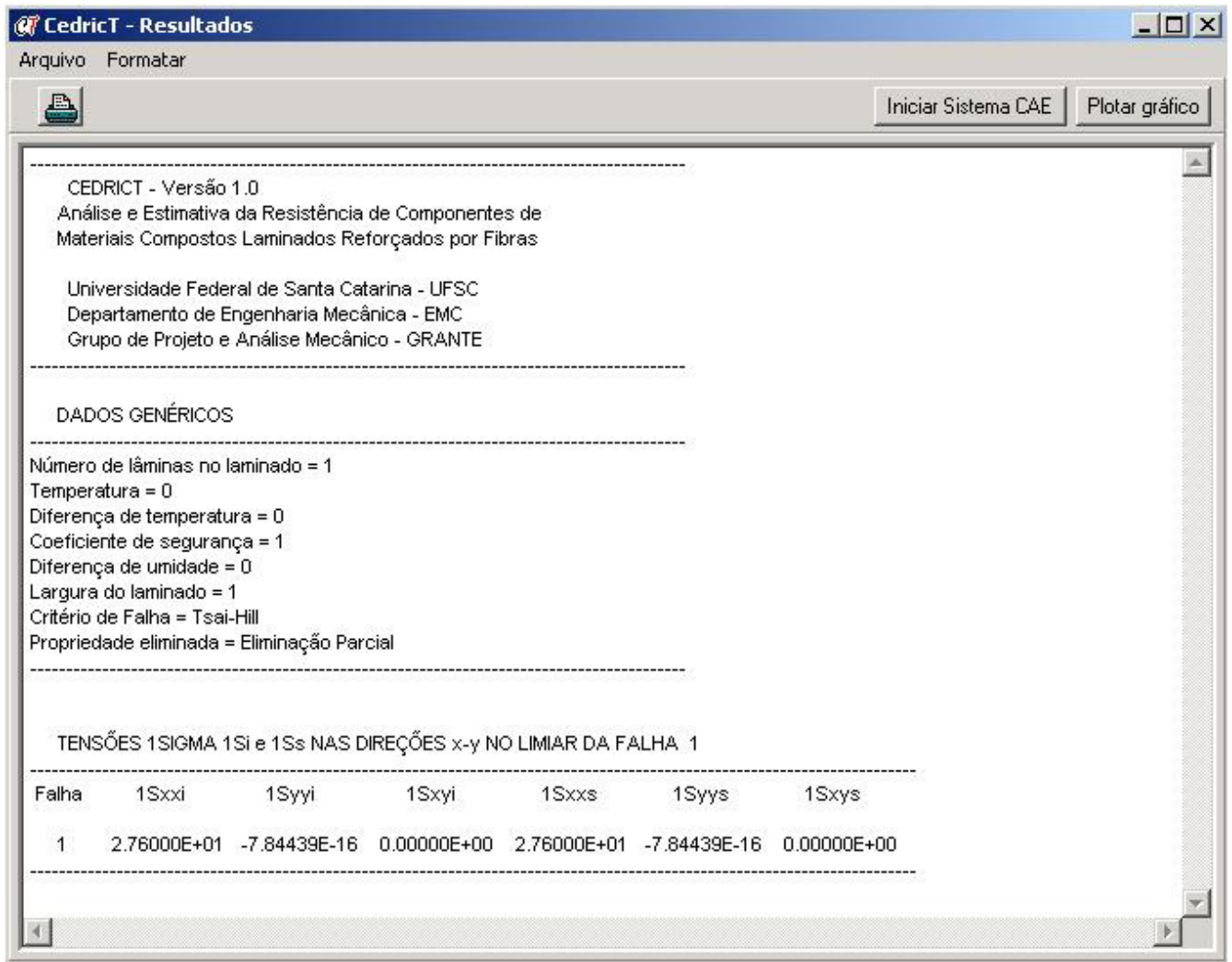


FIGURA 6 – Tela **RESULTADOS** da análise de falha de laminados.

Também, os dois botões no canto superior direito, permitem escolher a visualização dos resultados em forma de gráficos (**Plotar gráfico**), ou iniciar o **Sistema CAE** para análise de vigas, tubos e placas de materiais compostos.

I.6 – Tela SISTEMA CAE

Sistema CAE

Arquivo

Carregamento

Caso 01 - VIGA EM BALANÇO sob carga concentrada F na extremidade.

Resultados Plotagem Visualizar resultados

Vigas

Carga concentrada (N): 250

Momento aplicado (Nmm): 40000

Posição de carga concentrada (mm): 300

Momento torção (Nmm): 40000

Carga distribuída (N/mm): 0.001

Pressão (MPa): 0.01

Fator de correção ao cisalhamento: 0.8333333

Sanduíche

Carga distribuída (N/mm2): 0.001

Densidade da face 1 (Kg/m3): 2710e-9

Módulo da face 1 (MPa): 70000

Densidade da face 2 (Kg/m3): 2710e-9

Módulo da face 2 (MPa): 70000

Densidade do núcleo (Kg/m3): 50e-9

Espessura da face 1 (mm): 0.5

Espessura do núcleo (mm): 10

Espessura da face 2 (mm): 0.5

G1t (MPa): 300

Coefficiente de Poisson: 0.33

Gwt (MPa): 150

Geral

Comprimento (mm): 3000

Seção Transversal

Caso 01 - Seção PLANA.

Largura (mm): 1000

Largura menor (mm): 900

Altura (mm): 1000

Raio Interno (mm): 60

Executar

Caso 01 - VIGA EM BALANÇO sob carga concentrada F na extremidade

Seção PLANA

Módulo de elasticidade equivalente = 5499.9954 MPa

Comprimento da placa = 3000 mm

Largura da placa = 1000 mm

Área da seção transversal = 1000 mm2

Fator de correção ao cisalhamento = 0.83333 mm

Momento de inércia = 83.3333 mm4

Força = 250 N

Reação de Momento = 750000 Nmm

Momento fletor máximo = 750000 Nmm

Esforço cortante máximo = 250 N

Deslocamento máximo = 4909185 mm

FIGURA 7 – Tela do Sistema CAE para análise de vigas, tubos e sanduíches de materiais compostos.

São 20 casos de elementos estruturais em diversos tipos de apoios e cargas. São vigas biapoizadas, em balanço, sob carga concentrada ou distribuída, e tubos sob pressão interna. Adicionalmente, são analisados painéis sanduíche retangulares. As vigas podem ter diversos tipos de seção (plana, tubular circular, retangular, etc). As análises envolvem cargas de tração, flexão ou torção.

Dos dados da Tela Principal, (FIGURA 1), apenas os dados do laminado e de cada lâmina são usados na análise da viga. O carregamento é dado em separado na janela acima. A análise da viga é feita de forma elástico-linear, sem considerar falha.

I.7 – Tela PLOTAR GRÁFICO

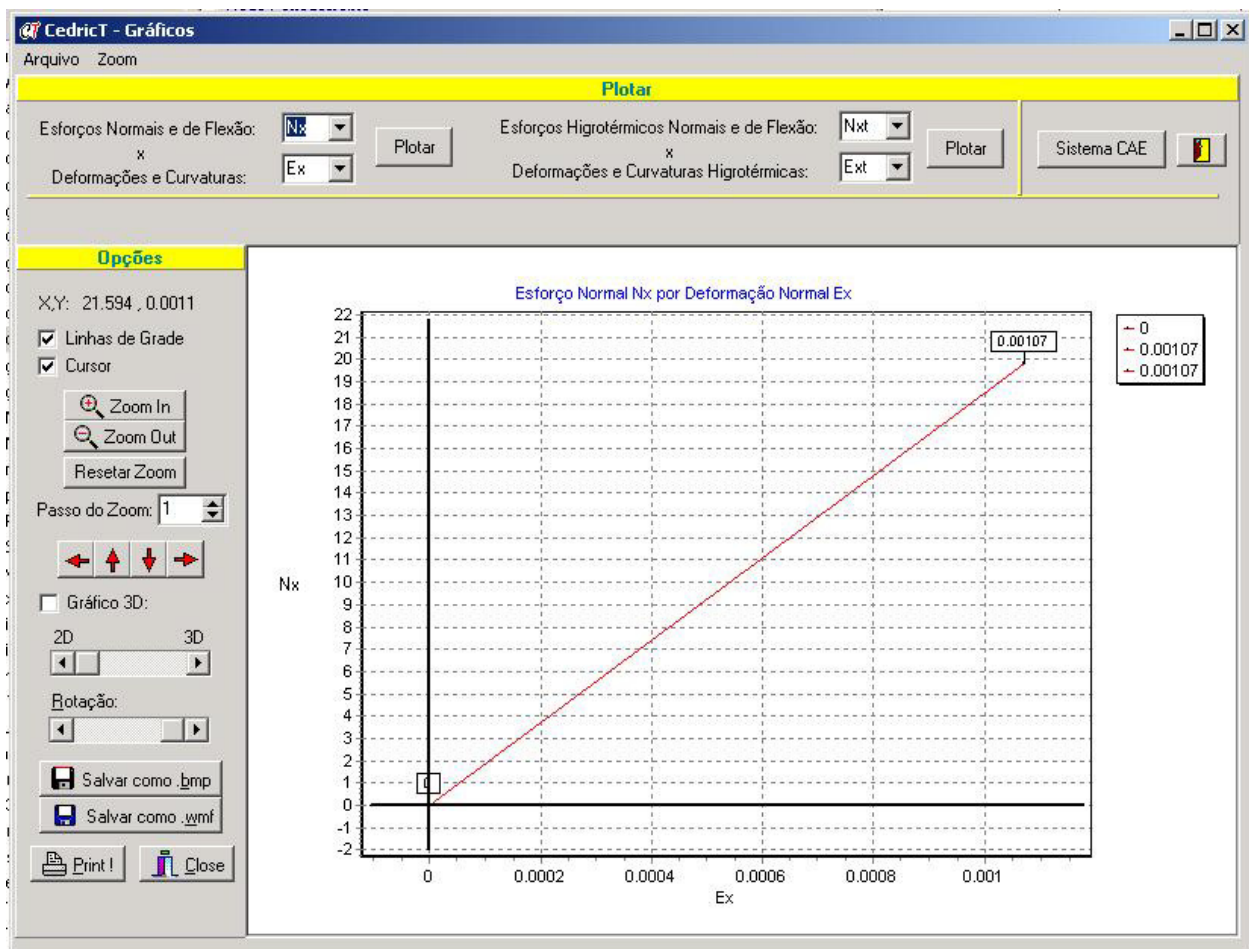


FIGURA 8 – Tela **Plotar gráfico** dos resultados da análise do laminado.

Todas as componentes de esforços e deformações, tanto mecânicas quanto higrorotéricas, podem ser plotadas ao longo dos intervalos de falha. Ferramentas de zoom são disponíveis. O gráfico pode ser exportado em formatos .BMP ou .WMF.

I.8 Tela de **Análise Micromecânica**

Caso o usuário não possua os dados de uma certa lâmina, o programa permite fazer uma estimativa dessas propriedades a partir das propriedades da fibra e da matriz, usando algumas teorias de micromecânica de materiais compostos (FIGURA 9). Particularmente, é usada a teoria CCA de Hashin, e nos casos em que ela falhe, o modelo de Halpin-Tsai.

São disponíveis dois bancos de dados, (FIGURAS 10 e 11), o **bancos de dados de propriedades de fibras**, outro de o **bancos de dados de propriedades da matriz**. Os resultados obtidos são listados para o usuário em uma tela separada (FIGURA 12), e podem ser salvos em arquivo texto. Automaticamente os valores estimados são incorporados nos dados do laminado, na **tela principal**.

CedricT - Composição da Lâmina por Microestrutura

Banco de dados

Fibra: Resina:

Fibra

Densidade ρ_f (Kg/m³):

Módulo de elasticidade E_{fL} (GPa):

Módulo cisalhante axial G_{fLT} (GPa):

Módulo de elasticidade transversal E_{fT} (GPa):

Módulo cisalhante transversal G_{fTT} (GPa):

Coefficiente de Poisson ν_{LT} :

Resistência à tração σ_{grtf} (MPa):

Diâmetro (10⁻⁶m):

Coefficiente de dilatação térmica axial (10⁻⁶/°C):

Coefficiente de dilatação térmica radial (10⁻⁶/°C):

Resina

Densidade ρ_m (Kg/r³):

Módulo de elasticidade E_m (GPa):

Resistência à tração σ_{grtm} (MPa):

Resistência à compressão σ_{grcm} (MPa):

Coefficiente de dilatação térmica (10⁻⁶/°C):

Coefficiente de dilatação higrométrica BETAM (10⁻⁶):

Coefficiente de Poisson:

☒ Lâmina 1

FIGURA 9 – Tela **Análise Micromecânica** para geração de dados de lâminas.

CedricT - Banco de dados de fibras

Unidades recomendadas: MPa, mm, dilatação térmica E-6/°C, densidade kg/m

Fibras	Densidade	Resistência à tração	Módulo de elasticidade	Coefficiente de poisson	Diâmetro	C. dilat. térm. axial	C. dila
Asbesto crisolite	2500	5500	160000	0.3	0.02	9.2	
Aços	7800	4100	207000	0.292	1	11.7	
Boro 100	2610	3450	385000	0.3	100	4.9	
Boro 200	2390	3450	385000	0.3	200	4.9	
Carbeto de silício	3040	3450	427000	0.26	140	5	
Carbono grafite PAN	1770	2500	290000	0.26	7.5	-0.7	
Carbono grafite pitch	2160	2240	690000	0.26	7	-0.7	
Carbono grafite rayon	1700	2070	400000	0.26	6.5	-0.7	
Kevlar - 29	1440	2760	62000	0.4	12	-2	
Kevlar - 49	1470	3620	131000	0.4	12	-2	
Vidro-E	2540	2500	72400	0.25	10	5	
Vidro-F	2490	3200	85500	0.2	10	2.9	

FIGURA 10 – Tela **bancos de dados de propriedades de fibras**. (Obs.: os valores mostrados são apenas indicativos, uma vez que os valores reais dependem de variações de composição, de processo e de fabricante.)

Resinas	Densidade	Resistência à tração	Resistência à compressão	Módulo de elasticidade	Coeficiente de poisson	Coef. dil.
Epoxi 1	1213	29	158	2700	0.35	
Epoxi 2	1213	130	158	3380	0.35	
Fenólico 1	1320	50	190	3500	0.25	
Fenólico 2	1450	55	250		0.25	
Poliamida	1460	120		3500	0.25	
Poliester 1	1100	34	90	2100	0.25	
Poliester 2	1400	100	250	4400	0.25	
Silicone 1	1850	17	60		0.25	
Silicone 2	2810	34	100		0.25	
Termoplástico peek	1300	92		4000	0.25	
Termoplástico polisufone	1250	75		2800	0.25	

FIGURA 11 – Tela **bancos de dados de propriedades de matriz**. (Obs.: os valores mostrados são apenas indicativos, uma vez que os valores reais dependem de variações de composição, de processo e de fabricante.)

CedricT - Resultados da Composição por Micromecânica	
Arquivo Formatar	
Fibra = Alumínio Resina = Epoxi 1	
Propriedades utilizadas da FIBRA e da RESINA	
Densidade da fibra, ρ_{of}	$= 2680 \text{ kg/m}^3$
Módulo de elasticidade longitudinal da fibra, E_{fl}	$= 2700 \text{ GPa}$
Módulo de elasticidade transversal da fibra, E_{ft}	$= 1 \text{ GPa}$
Módulo cisalhante longitudinal da fibra, G_{flt}	$= 1 \text{ GPa}$
Módulo cisalhante transversal da fibra, G_{ftt}	$= 20 \text{ GPa}$
Resistência a tração da fibra, σ_{grft}	$= 1 \text{ MPa}$
Diâmetro da fibra, d_f	$= 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
Coeficiente de dilatação térmica axial da fibra, α_{faa}	$= 6.1 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Coeficiente de dilatação térmica radial da fibra, α_{far}	$= 6.1 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Densidade da resina, ρ_{om}	$= 1213 \text{ kg/m}^3$
Módulo de elasticidade da resina, E_m	$= 2700 \text{ GPa}$
Resistência a tração da resina, σ_{grtm}	$= 29 \text{ MPa}$
Resistência a compressão da resina, σ_{grcm}	$= 158 \text{ MPa}$
Coeficiente de dilatação térmica da resina, α_{fam}	$= 45 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Coeficiente de dilatação higrométrica da resina, β_{am}	$= 1 \cdot 10^{-6}$
Propriedades estimadas da LÂMINA	
Volume relativo de fibra, V_f	$= 0.25$
Volume relativo de resina, V_m	$= 0.75$
Módulo cisalhante da resina, G_m	$= 1000 \text{ GPa}$
Densidade da lâmina, ρ_{oc}	$= 1579.75 \text{ kg/m}^3$
Massa relativa de fibra, M_f	$= 0$
Massa relativa de resina, M_m	$= 1$
Módulo de elasticidade da lâmina na direção 1, teoria CCA, E_1	
	$= 2700.0001 \text{ G}$
Coeficiente de poisson, ν_{12}	$= 0.35$
Módulo cisalhante no plano 12, G_{12}	$= 600.6396 \text{ GPa}$

FIGURA 12 – Tela de **Resultados da análise micromecânica** da lâmina.

II. Seqüenciamento de entrada dos dados e obtenção dos resultados

A seqüência de operações para a entrada de dados e obtenção dos resultados é feita seguindo as seguintes etapas.

II. 1 Na **TELA PRINCIPAL**,

- a) Use os botões < e > para selecionar um laminado já presente no **Banco de dados**.
- b) Caso deseje gerar um laminado novo, entre no **Menu** -> **Banco de dados**.

II.2 Em **BANCO DE DADOS**,

- a) Use teclas ↓ e ↑ para escolher o laminado a ser editado, ou para criar um laminado novo.
- b) Use as teclas -> e <- para escolher o campo a ser preenchido ou alterado.
- c) Use o botão ✓ para gravar os dados.
- d) Feche a janela do **Banco de dados** e retorne à **Tela principal**.

II.3 Na **TELA PRINCIPAL**,



- a) Aperte o botão **Novo experimento** e verifique que o Banco de dados aponta para o laminado correto.
- b) Preencha os **Dados genéricos** e aperte **Confirmar**. Lembre que todos os campos devem ser preenchidos.
- c) Preencha os **Dados de Carregamento** e aperte **Confirmar**.
- d) Preencha os **Dados das lâminas**, uma a uma. A barra inferior apresenta tiras indicando Lâmina 1, Lâmina 2, etc, que são ativadas conforme os dados são preenchidos. Todos os campos devem ser preenchidos.

Algumas observações sobre UNIDADES e valores admissíveis são:

- a. Ângulos são entrados em graus.
- b. É usado o ponto decimal.
- c. E indica exponencial.
- d. As unidades devem ser autoconsistentes.

As mais indicadas são o conjunto: N, mm e MPa.

- e. Os módulos de elasticidade entram em MPa.

- f. Entretanto, as densidades são dadas em kg/m³.
- g. Os coeficientes de dilatação térmica e higroscópicas são dados em E-6/C.
- e) Uma vez preenchidos os dados da **Lâmina 1**, apertar o botão **OK**. Isso permitirá a edição da **Lâmina 2**, e assim sucessivamente, até última lâmina prevista para o laminado nos **Dados genéricos**.
- f) Após completar todas as lâminas, apertar **Executar** para realizar a análise de falha do laminado.

II.4 Tela de **VISUALIZAÇÃO** dos resultados

Selecionar os resultados de interesse, apertar **OK**. Os valores numéricos correspondentes são transferidos à **Tela RESULTADOS**.

Para imprimir o relatório ou transferi-lo a um arquivo texto, usar o **Menu ARQUIVO**.

II.5 Tela de **VISUALIZAÇÃO GRÁFICA** dos resultados

Gráficos com as tensões e deformações ao longo da espessura do laminado podem ser gerados apertando **Plotar gráfico** na **tela RESULTADOS**.

Os gráficos são gerados e podem ser diretamente impressos ou transferidos a arquivos de formato .BMP ou .WMF.

II.6 Cálculos em vigas e sanduíches

Para obter resultados em vigas e sanduíches, apertar **Sistema CAE** na **tela RESULTADOS**. Os dados de material do laminado são aqueles gerados na **tela principal**. Os demais dados da viga, placa, e do carregamento, são entrados tela de **Sistema CAE**.

II.7 Na tela de **Sistema CAE**

- a) Usar os dois campos de seleção, para escolher o caso de viga, de tubo ou de sanduíche desejado.
- b) Preencher os dados. Note que os campos de dados são fixos, e nem todos eles serão usados para uma dada análise. Por exemplo, para uma viga sob carga distribuída, os dados de carga concentrada e pressão não são usados, da mesma forma que os dados de sanduíche.
- c) Apertar **Executar** e visualizar os resultados na janela inferior a direita.