T5B – COMPORTAMENTO VISCOELÁSTICO DE UMA BORRACHA VULCANIZADA

[redacted]

⇒ · Objetivos:

· Verificar a ocorrência dos comportamentos de histerese elástica, creep e relaxação temporal numa banda de borracha vulcanizada

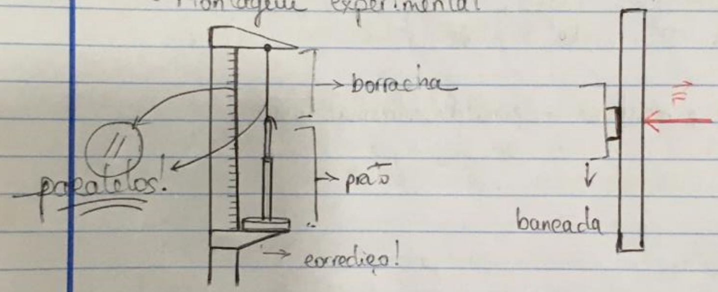
· Cálculo da energia elástica dissipada no processo de carga e descarga no estudo da histerese

· Determinação de valores representativos do módulo de Young

· Identificação do tipo de perfil $F(\Delta L)$ para cada comportamento.

⇒ CHECK-LIST:

o Montagem experimental



o Pesar cada uma das massas individualmente e rotulá-las

o Medir os valores de a, b e L_0 para efeitos de estimar a gama experimental dos parâmetros τ e λ (a, b (início) □ ; a, b (fim) □)

o Evitar quaisquer oscilações do prato, quer verticais quer horizontais

o Durante a carga, colocar as massas rápida mas cuidadosamente e evitar oscilações da régua pressionando-a contra a bancada. A cada colocação registar a posição

o Durante a colocação das cargas (assim como na descarga) ter em atenção:

o Uma mão segura o prato, a outra coloca a massa

o NÃO subir o prato durante o processo

o Ser consistente no tempo de colocação das massas e intervalo entre cada colocação senão irá sobrepor-se o efeito do creep!

o Para o estudo do creep devo

→ colocar ≈ 80-100g acompanhando o prato até o poder libertar

→ deixar "atuar" durante 15/20 min

→ aproveitar esse tempo para começar a análise de dados da histerese!

o Para o estudo da relaxação temporal:

→ após os 15/20 min, retirar todas as massa exceto uma (Talvez porque se tirar todas fica mais suscetível a oscilações? ou "a 1ª tensão" é quando se coloca a 1ª massa e portanto no estudo da relaxação mantém-na* para os valores corresponderem?)

→ novamente, acompanhar o prato até o poder libertar e deixar estabilizar

⚠ No estudo dos últimos 2 fenómenos utilizar uma câmara de vídeo e software tipo Tracker para obter um maior número de pontos!

o Proceder à análise de dados

⇒ Dados obtidos

· Estudo da histerese

	m (g)	F(N)	Lc(mm)	Ld(mm)	ΔLc (m)	ΔLd (m)	a(m)	b(m)	S (m^2)	τ (N/m²)	λc (m)	λd (m)
sup	10	0,09807	390	x	0,000	x	x	x	x	x	x	x
s+1	20	0,19613	392	396	0,002	0,006	0,001	0,0005	5,00E-07	3,92E+05	0,01869	0,05607
s+2	30	0,2942	394	400	0,004	0,010						
s+3	40	0,39227	397	405	0,007	0,015						
s+4	50	0,49033	400	409	0,010	0,019						
s+5	60	0,5884	404	414	0,014	0,024						
s+6	70	0,68647	408	420	0,018	0,030						
s+7	80	0,78453	413	425	0,023	0,035						
s+8	90	0,8826	419	430	0,029	0,040						
s+9	100	0,98067	426	437	0,036	0,047						
s+10	110	1,07873	434	445	0,044	0,055						
s+11	120	1,1768	441	450	0,051	0,060						
s+12	130	1,27486	450	457	0,060	0,067						
s+13	140	1,37293	460	460	0,070	0,070	0,0005	0,00025	1,25E-07	1,10E+07	0,65421	0,65421

* Excluí a primeira linha da análise pela ambiguidade das notas, e falta de valores para Ld. Porém, estava claro que $L_c = 390$ mm correspondia à posição do prato sem qualquer massa adicional sem ser a sua (10g).

Da Tabela podemos também observar a gama experimental estudada

$(0.392 < \tau < 11)$ MPa

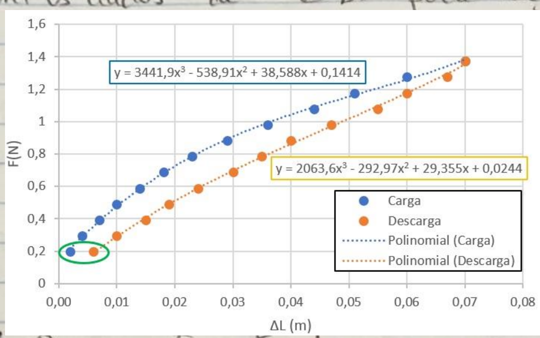
$(0{,}01869 < \lambda < 0{,}65421)$ m

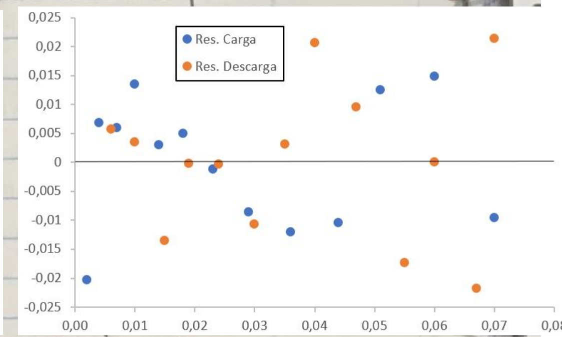
Cedência = ?

Mantive a gama experimental disponibilizada pois para uma borracha vulcanizada uma Tensão de 11 MPa (máx) pareceu-me razoável após uma pesquisa (*)1

(?) Como se calcula % alongamento (?)

Com os dados de F e ΔL pode traçar-se as seguintes curvas:

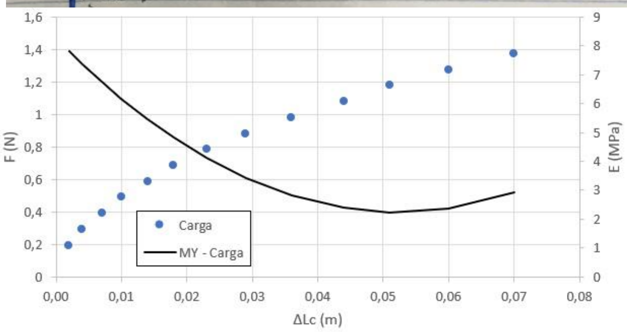


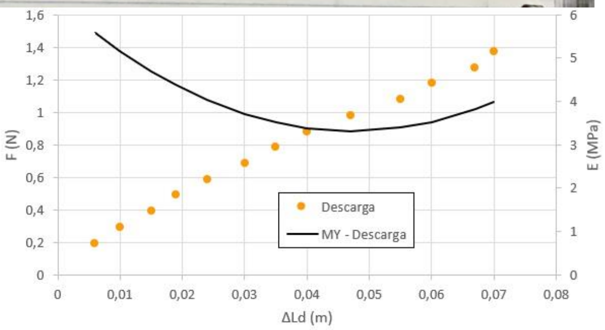


~~Em~~ O comportamento das curvas é o esperado para a histerese. Porém, é de notar que os pontos rodeados não são coincidentes, facto que poderá dever-se à demora na colocação das cargas que resultou na ocorrência de creep.

~~Se~~ À direita está representado o gráfico de resíduos relativamente ao ajuste polinomial adotado.

Para o cálculo dos valores do módulo de Young, devido à não linearidade do ~~mater~~ comportamento do material estudado, ~~deverá~~ é sugerido que se calcule em pontos estratégicos. Porém, para uma visualização mais clara, optei pela seguinte representação:





A curva do módulo de Young foi obtida com a expressão:

$$E = \frac{dF}{d\Delta L} \times \frac{L_0}{ab},$$

onde a e b foram tomados como constantes, e adotei os valores iniciais.

Ainda no estudo da histerese, calculei a energia dissipada a qual é dada pela área (no gráf. $F(\Delta L)$) do ciclo de histerese.

$\boxed{\text{OBS}}$: Como os pontos iniciais não eram correspondentes usei para limites de integração: 0 → inicial e 0,070 → final

$\boxed{\text{carga}}$

$$E_d = \int_0^{0.070} 3441.9x^3 + 538.91x^2 + 38.588x + 0.1414 \; dx \Leftrightarrow$$

$$E_d = \frac{3441.9}{4}x^4 - \frac{538.91}{3}x^3 + \frac{38.588}{2}x^2 + 0.1414x \Big|_0^{0.070} \Leftrightarrow$$

$E_d = 0.06348$ J

$\boxed{\text{descarga}}$

$$E_d = \int_0^{0.070} 2063.6x^3 - 292.97x^2 + 29.355x + 0.0244 \; dx \Leftrightarrow$$

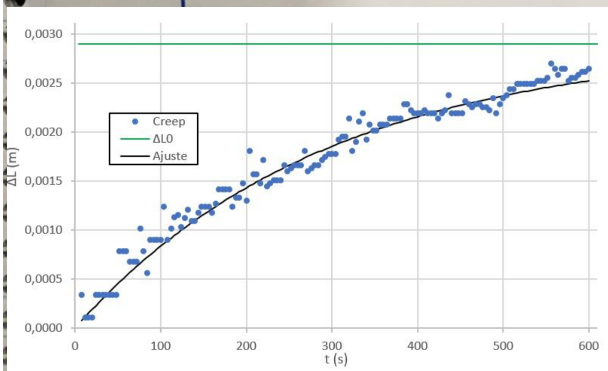
$$E_d = \frac{2063.6}{4}x^4 - \frac{292.97}{3}x^3 + \frac{29.355}{2}x^2 + 0.0244x \Big|_0^{0.070} \Leftrightarrow$$

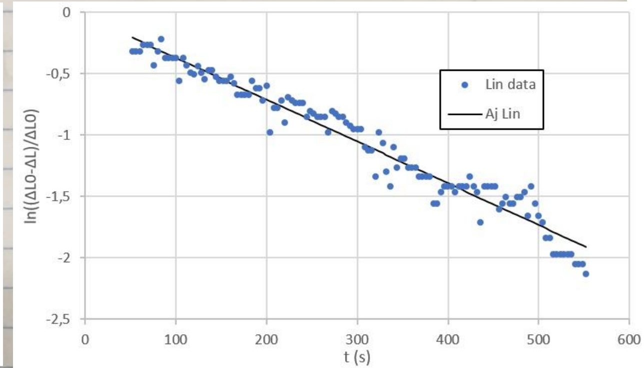
$E_d = 0,05252$ J

$E_{dissipada} = 0.06345 - 0,05252 = \boxed{0,01096 \text{ J}}$

⇒ Estudo do creep

Com os dados obtidos e depois de linearizar a expressão obtive:





m	-0,00341	-0,03	b
Δm	6E-05	0,02	Δb
r^2	0,96	0,11	s(y)

→

creep ⇒ $\Delta L = \Delta L_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ lin ⇒ $\ln\left(\frac{\Delta L_0 - \Delta L}{\Delta L_0}\right) = -\frac{1}{\tau}t$

O valor de ΔL_0 foi determinado manualmente até obter um bom ajuste. A expressão para a linearização foi $\ln(\Delta L)$ e a partir do declive obtido no ajuste linear, calculei o parâmetro τ.

Para o estudo do creep reduzi a gama experimental (no início e fim) pois esses pontos não permitiam um bom ajuste.

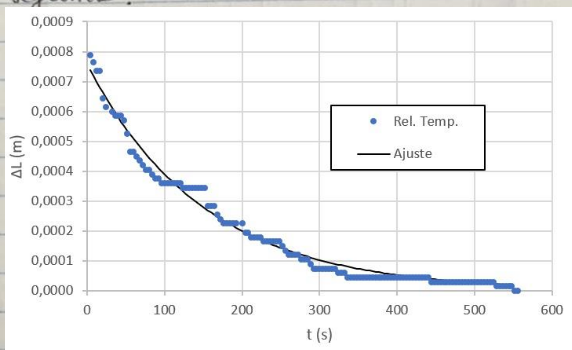
⇒ Estudo da relaxação temporal

Neste caso, fiz algumas alterações nos dados. Numa primeira vez, calculei ΔL para cada ponto mas reparei que no final alguns desses valores eram negativos e apresentavam oscilações acentuadas pelo que ordenei, mantendo os tempos, os valores de ΔL.

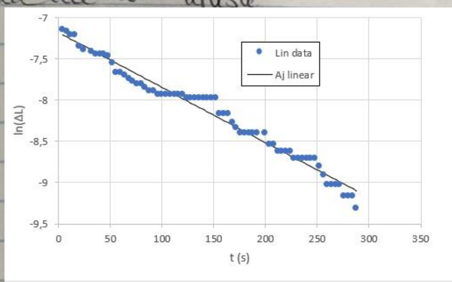
De seguida, linearizei a expressão:

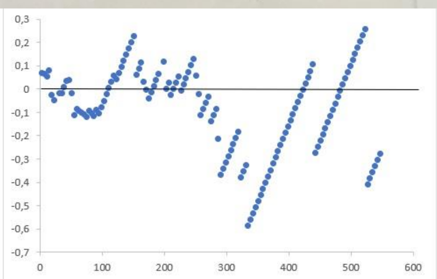
$$\ln(\Delta L) = \ln(\Delta L_0) - \frac{1}{\tau} t$$

e obtive o seguinte:



→ Também neste caso reduzi a gama experimental para efeitos de um melhor ajuste.





m	-0,007	-7,18	b
Δm	0,0001	0,02	Δb
r^2	0,98	0,09	s(y)

→ O padrão dos resíduos mostra claramente a reorganização dos ΔL, fenómeno artificial.

Não ! Se foram medidas
a inc. é sempre a da balança

m_1
$m_1 + m_2$
...

[OBS] Gerais]

• As massas não foram medidas individualmente, porque desde logo implica erros no estudo da histerese.

• Não houve respeito pelos intervalos de tempo idênticos durante a carga e descarga no estudo da histerese e isso traduziu-se na ocorrência de creep

não ! há sempre creep, só que a rel. temp. não o compensou

CONCLUSÕES

• A representação da curva do módulo de Young permite ~~atribuir~~ identificar o comportamento de um elastómero pré-tensionado pois esses valores são extraídos da derivada de $F(\Delta L)$ e apresentam um mínimo, o que corresponde a um ponto de inflexão no gráfico $F(\Delta L)$, ou seja, precisamente o esperado na curva de um elastómero pré-tensionado.

• A gama experimental calculada a partir das grandezas intensivas, τ e λ, permite localizar o material fora de um regime plástico ~~[illegible]~~ abaixo do ponto de cedência e, portanto foi uma escolha prudente. (*) A vantagem da medição de grandezas intensivas em detrimento das extensivas deve-se ao carácter universal das primeiras, uma vez que não dependem da quantidade de borracha que se utilizou.

• O comportamento das curvas no estudo do creep e relaxação temporal corresponderam ao esperado ? → incompleto ! energia dissipada ?

(*)1 www.ctborracha.com

(*)2 www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf

ANEXO

Fórmulas:

$$\tau = -\frac{1}{m} \quad , m \rightarrow \text{declive do ajuste}$$

$$u(\Delta l_0) = \sqrt{(e^{b})^2 \, u^2(b)}$$

$$\Delta L = \Delta l_0 \, e^{-\frac{t}{\tau}} \quad , \text{para a relaxação temporal}$$