



# 5º EAICTI

5º Encontro Anual de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação

## **Análise computacional dos períodos elásticos, elastoplástico e de escoamento de material biológico com propriedade viscoelástica não linear**

Matheus Maciel(PIBITI/CNPq/Unioeste), Wu Feng Chung(Orientador), Narco Afonso Ravazzoli, Huei Diana Lee, Newton Spolaôr, e-mail: matheusm1999@live.com

Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Centro de Engenharias e Ciências Exatas/Foz do Iguaçu-PR

**Área/subárea:** Ciências Exatas e da Terra/ Metodologia e Técnicas da Computação.

**Palavras-chave:** Cicatrização, Biomecânica, Informática na saúde.

### **Resumo**

O extravasamento fezes na cavidade abdominal promove elevados índices de morbidade e mortalidade. O objetivo desse trabalho foi analisar o comportamento biomecânico de segmentos de íleo de ratos submetidos à tração nos períodos elásticos, elastoplásticos e de escoamento. Dados de dez ratos provindos do teste Energia Total de Ruptura foram usados no delineamento das curvas Força vs. Elongação e ajustadas pelo modelo Sigmoidal de Boltzmann para depois serem comparadas por meio de coeficiente de determinação. Os períodos elásticos, elastoplásticos e de escoamento das curvas foram demarcadas aplicando-se da linguagem de programação R, e, as áreas (ETRs) dos períodos, calculadas. Os resultados mostraram que os coeficientes de determinação das curvas experimentais com relação às modeladas apresentaram valores  $\geq 0,988$ . Quanto às ETRs, em grama x centímetro, o período elastoplástico alcançou média de 59,131, seguido o de escoamento com média de 6,9351 e o elástico com média de 0,0094 ( $p$ -valor $>0,05$ ), e com rejeição de hipótese nula de 0,05%. Como conclusão, o modelo Sigmoidal de Boltzmann foi fidedigno para modelar e representar o real comportamento das amostras e, o período elastoplástico precisou de maior acúmulo de ETR para promover a deformação do material biológico, seguido do período de escoamento e, por final, o elástico. Com isso, foi possível analisar, integralmente, as curvas representativas dos materiais viscoelásticos não linear sob carga de tração.

### **Introdução**

A resistência adequada da parede intestinal é essencial, pois a ruptura dessa estrutura promove a presença de fezes na cavidade abdominal, e eleva o tempo de internação, reduz a qualidade de vida e aumenta índices de mortalidade em até 40% (Townsend *et al.*, 2014). Para reduzir esses reveses, as propriedades mecânicas da parede de intestinos têm sido estudadas, pois, com esse conhecimento, novas técnicas cirúrgicas, materiais operatórios e terapêuticos poderão ser comparados (Wu



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG

5º EAICTI  
ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO

Data: 05 e 06 de novembro de 2019  
Local: Unioeste - Campus de Cascavel

ISSN 2448-0681



# 5º EAICTI

5º Encontro Anual de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação

*et al.*, 2004). Frente a isso, diversos métodos foram desenvolvidos para avaliar a resistência de alças intestinais, entretanto, esses testes são passíveis de críticas, pois não consideram integralmente essa grandeza, apresentando-a de modo uniaxial ou biaxial (Nieri, 1999), e, decorrente ao fato, os períodos elástico (DE), elastoplástico (DEP) e de escoamento (DEC) da parede intestinal não são explicitamente investigados (Nieri, 1999; Wu *et al.*, 2004). Assim sendo, neste trabalho, analisou-se os períodos de deformações DE, DEP e DEC das curvas representantes de alças ileais sob tração, material esse com propriedade viscoelástica não linear.

## Material e Métodos

Este trabalho foi realizado de acordo com os princípios éticos adotados pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal – Cobeia (2724-1A/Ceua/Unicamp) e utilizou-se dos seguintes materiais: a) Dados de dez segmentos de íleo de ratos em forma de curvas Força vs. Elongação (Wu *et al.*, 2004), b) Notebook Lenovo g40 com 8gb de RAM, processador i7, 2.40GHz e sistema operacional Windows 10, c) Software *GraphPad Prism 5* e d) Linguagem computacional R (R, 2011). Os dados obtidos do teste Energia Total de Ruptura foram delineados em curvas Força vs. Elongação, e ajustadas utilizando-se do modelo Sigmoidal de Boltzmann (MSBolt), sendo a qualidade da modelagem verificada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Por meio de *script* na linguagem R, as áreas, que representam a energia acumulada (ETR) eram delimitadas e calculadas nos períodos DE, DEP e DEC. Com isso, por meio do software *GraphPad Prism 5*, testes estatísticos descritivos e analíticos foram realizados fixando-se o intervalo de confiança de 95%.

## Resultados e Discussão

Os  $R^2$  das curvas experimentais comparadas às ajustadas pelo MSBolt estão apresentados na Tabela 1 e demonstraram, na totalidade, iguais ou maiores que 0,988. Esses valores são considerados elevados quando comparados aos valores aceitáveis em engenharias (Steiner *et al.*, 2008). Em relação aos modelos de ajuste de curvas, neste trabalho, aplicou-se o MSBolt, pois as curvas Força *versus* Elongação geradas pelo teste Energia Total de Ruptura já foram testadas em outros modelos como Chapman, Logístico e MSBolt, sendo que essa última modalidade proporcionou melhor ajuste (Niz *et al.*, 2006). A modelagem matemática é fundamental, pois possibilita simulações computacionais do ensaio biomecânico e a obtenção dos parâmetros do material biológico (Wu *et al.*, 2004). Na Tabela 2 e 3 estão, respectivamente, as médias e os desvios-padrão das ETRs dos períodos DE,

Tabela 1:  $R^2$  das curvas experimentais com relação às ajustadas (Modelo Sigmoidal de Boltzmann).



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG

5º EAICTI  
ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO

Data: 05 e 06 de novembro de 2019  
Local: Unioeste - Campus de Cascavel

ISSN 2448-0681



# 5º EAICTI

5º Encontro Anual de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R <sup>2</sup>	0,988	0,996	0,995	0,995	0,991	0,998	0,993	0,993	0,988	0,994

DEP e DEC dos segmentos de alça e o p-valor, após análise estatística. As ETRs das regiões DE, DEP e DEC passaram pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk ( $p$ -valor $>0,05$ ) e, com isso, compararam-se as médias das ETRs dos períodos ( $p$ -valor $<0,0001$ ) (Teste ANOVA One-Way) com pós-teste de Tuckey (Tabela 4), sendo considerado o intervalo de confiança de 95%.

Tabela 2: Médias e desvios padrão das ETRs dos períodos elástico, elastoplástico e de escoamento.

ETRs	Elástica	Elastoplástica	Escoamento
Média	0,0094	59,1310	6,9351
Desvio padrão	0,0024	8,4337	0,8921

Tabela 3: Comparações entre as ETRs dos períodos elástico, elastoplástico e de escoamento.

Comparação ETR (Teste ANOVA One-Way)	P-valor
Elástica vs. Elastoplástica vs. Escoamento	$< 0,0001$

Tabela 4: Pós-teste de Tuckey entre as ETRs dos períodos elástico, elastoplásticos e de escoamento.

Comparação ETR (pós-teste de Tuckey)	P-valor
Elástica vs. Elastoplástica	$< 0,0001$
Elástica vs. Escoamento	$< 0,0001$
Elastoplástica vs. Escoamento	$< 0,0001$

O estudo da resistência da parede intestinal é essencial, pois complicações graves decorrentes da ruptura poderiam ser evitadas. Diversos pesquisadores buscam testes precisos e acurados para o estudo dessa grandeza e os mais solicitados são fundamentados em Pressão de Ruptura, Força de Ruptura à Tração (Wu et al., 2004), Tensão de Ruptura (García-Olmo et al., 1996) e Energia de Deformação (Nieri, 1999). Vale ressaltar que os parâmetros usados na verificação da resistência do intestino ainda se mostram de maneira parcial por serem uniaxiais ou biaxiais (Nieri, 1999; Wu et al., 2004; Coy et al., 2011). Assim sendo, nesse trabalho, foi usado dados de segmentos ileais obtidos pelo teste Energia Total de Ruptura que calcula a ETR necessária para romper o segmento de intestino (Wu et al., 2004; Coy et al., 2011; Wu et al., 2017). Dentre as propriedades mecânicas de materiais, a análise do comportamento elástico é essencial, pois, depois desse período, o material sofrerá deformações plásticas, e dependendo da aplicação, inutilizado (Askeland &



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG

5º EAICTI  
ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO

Data: 05 e 06 de novembro de 2019  
Local: Unioeste - Campus de Cascavel

ISSN 2448-0681



# 5º EAICTI

5º Encontro Anual de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação

Phulé, 2008). Todavia, este aspecto não se configura em intestinos, pois essas estruturas, fisiologicamente, são capazes de processos de reparos chamados de cicatrização (Cotran *et al.*, 2000; Townsend *et al.*, 2014), e, decorrente ao fato, nesse estudo, os períodos DE e DEP também foram abordados. Assim sendo, os resultados mostraram, de modo decrescente, que a média da ETR necessária para a deformação do período DEP foi a maior, seguido de DEC e DE, e cujas médias foram de 59,131 gr.cm, 6,9351 gr.cm e 0,0094 gr.cm, respectivamente ( $p$ -valor $>0,0001$ ). Este aspecto é fundamental, pois transpondo esse cenário para a prática clínica diária, o DEP representa o período no qual as lesões estruturais ocorrem e este cenário está diretamente relacionado à reparação tecidual, processo esse de maior interesse nos estudos de cicatrização (Cotran *et al.*, 2000; Townsend *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2017). Diferentemente, na região DE de qualquer material, a estrutura é mantida intacta e retorna ao estado original após deformação (Askeland & Phulé, 2008). Ainda, na região de escoamento, onde ocorreu destruição ampla da parede do intestino, como efeito, a carga foi reduzida até atingir a sua ruptura integral, inviabilizando a amostra. Os intestinos, cuja propriedade é viscoelástica não linear, são constituídos por diferentes células, vasos sanguíneos, matriz extracelular entre outros componentes, formando citoarquitetura complexa, no entanto, foi possível a discretização desse comportamento em períodos DE, DEP e DEC, e as características setoriais estudadas (Wu *et al.*, 2017). Com isso, neste trabalho, foi analisado o comportamento de curvas geradas pelo teste Energia Total de Ruptura de segmentos de íleos e espera-se fortalecer o conhecimento das propriedades mecânicas que regem os materiais biológicos, e poder contribuir para aquisição de novos conhecimentos e promover novas pesquisas transdisciplinares.

## Conclusões

O modelo Sigmoidal de Boltzmann foi capaz de ajustar o comportamento dos espécimes testados e o período elastoplástico necessitou de maior ETR para promover a deformação do espécime, seguido dos períodos de escoamento e elástico, e possibilitou a análise dos períodos que regem as curvas representativas dos materiais viscoelásticos não linear sob carga de tração.

## Agradecimentos

Ao PIBITI/Unioeste/CNPq pelo financiamento da bolsa de Iniciação Tecnológica.

## Referências

Askeland, D.R. & Phulé, P.P. (2008). *Ciência e Engenharia dos Materiais*. 1ª Ed. São Paulo: Cengage Learning.



# 5º EAICTI

5º Encontro Anual de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação

Cotran, R.S., Kumar, V. & Collins, T. (2000). *Robbins Patologia – Estrutural e Funcional*. 6ª Edição. Rio de Janeiro:Guanabara-Koogan.

Coy, C.S.R., Machado, R.B., Lee, H.D., Wu, F.C., Fagundes, J.J., Franco, R.L. & Ayrizono, M.L.S. (2011) INPI – Patente: Programa de Computador BR 01811002693-6. INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

García-Olmo, D., Payá, J. & García-Olmo, D.C. (1996). Role of immediate postoperative feeding on colonic anastomoses resistance. *An experimental study in a rat model*. *Nutr Hosp* **11**, 279-85.

Nieri, T.M. *Estudo sobre o Comportamento Mecânico do Cólon Íntegro e com Anastomose: Trabalho Experimental em Ratos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Ciências da Cirurgia, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

Niz, M.A.K., Burin, E.L.K., Wu F.C., Lee, H.L., Nogueira, F.M.A., Fagundes, J.J. & Góes, J.R.N. (2006). *Utilização dos Modelos Matemáticos de Boltzmann, de Chapman e Logístico para o Estudo do Comportamento Mecânico de Segmentos de Cólon Descendente de Ratos*. In Anais do Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. Acesso em 15 de Agosto de 2018.

Steiner, M.T.A.; Neto, A.C., Braulio, S.N. & Alves, V. (2008). Multivariate statistical methods applied to evaluation engineering. *Gestão & Produção* **15**(1).

Townsend, C., Beauchamp, R.D., Evers, B.M. & Mattox, K.L. (2014). *Sabiston. Tratado de Cirurgia – A base biológica da prática cirúrgica moderna*, Rio de Janeiro: Elsevier.

Wu, F.C., Lee, H.D., Machado, R.B., Dalmás, S., Coy, C.S.R., Góes, J.R.N. & Fagundes, J.J. (2004). Energia total de ruptura: um teste biomecânico para avaliação de material biológico com propriedade viscoelástica não linear. *Acta Cirúrgica Brasileira*. **19**, 609-616.

Wu, F.C., Coy, C.S.R., Lee, H.D., Maciejewski, N.A.R., Fagundes, J.J., Ayrizono, M.L.S., Junior, M.F. & Takaki, W.S.R. (2017). INPI Patente BR10201702587, INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito PCT: 30/11/2017.



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG

5º EAICTI  
ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO

Data: 05 e 06 de novembro de 2019  
Local: Unioeste - Campus de Cascavel

ISSN 2448-0681