

ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRINCIPAIS CRITÉRIOS DE FALHA APLICADOS A MATERIAIS DÚCTEIS E FRÁGEIS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

Athirson E. L. Silva Autor 1 (IFPB, Campus Patos), Werllanny C. P. Procópio Autor 2 (IFPB, Campus Patos), Rute H. A. Brito Autor 3 (IFPB, Campus Patos), Jayne S. L. Lopes Autor 4 (IFPB, Campus Patos), Elom S. da Nóbrega Autor 5 (IFPB, Campus Patos), Dennis O. Galdino Autor 6 (IFPB, Campus Patos).

E-mails: athirson.erick@academico.ifpb.edu.br, cristianny.procopio@academico.ifpb.edu.br, rute.helena@academico.ifpb.edu.br, jayne.lopes@academico.ifpb.edu.br, elom.nobrega@academico.ifpb.edu.br, dennis.galdino@ifpb.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e Componentes de Construção.

Palavras-chave: Critérios de falha; Materiais dúcteis; Materiais frágeis; Diagrama tensão-deformação; Dimensionamento estrutural; Mecanismos de fratura.

1. Introdução

O diagrama tensão-deformação é fundamental para a caracterização das propriedades mecânicas dos materiais, permitindo classificá-los como dúcteis ou frágeis. Segundo Callister e Rethwisch (2020), materiais dúcteis são aqueles que, antes de fraturar, suportam grandes deformações plásticas, enquanto os materiais frágeis apresentam ruptura com pequenas deformações, caracterizando uma fratura súbita.

A comparação entre os diferentes critérios evidencia que a escolha adequada depende diretamente do comportamento mecânico do material, sendo essencial para assegurar a segurança e o desempenho em projetos de engenharia. Este artigo tem como objetivo realizar uma análise comparativa dos principais critérios de falha aplicados a materiais dúcteis e frágeis, destacando, para os materiais dúcteis, os critérios de Máxima Tensão de Cisalhamento (Tresca) e de Energia de Distorção (von Mises). Para os materiais frágeis, que se caracterizam pela fratura abrupta, são analisados os critérios da Tensão Normal Máxima e da Energia de Deformação.

2. Materiais e métodos

A pesquisa foi caracterizada de natureza qualitativa e exploratória, com base em revisão bibliográfica e documental, buscando analisar os principais critérios de falha aplicáveis a materiais dúcteis e frágeis. A metodologia adotada envolve a seleção, sistematização e comparação de diferentes modelos teóricos de falha, com o objetivo de identificar suas aplicações, limitações e impactos na prática da engenharia civil.

Realizou-se uma ampla revisão da literatura especializada, contemplando livros clássicos de resistência dos materiais, como Hibbeler (2011) e Beer et al. (2011), bem como artigos científicos recentes publicados em periódicos nacionais e internacionais. O foco principal da pesquisa foi a identificação dos critérios de falha mais utilizados, como os de Von Mises, os de Tresca, Mohr-Coulomb, critério de Mohr e tração máxima aplicado a materiais frágeis.

A seleção dos critérios foi realizada com base na frequência de aplicação em projetos estruturais e na sua relevância normativa, considerando especialmente as diretrizes estabelecidas pelas normas brasileiras NBR 6118/2023, NBR 8681/2003 e NBR 8800/2025. Posteriormente, foi conduzida uma comparativa análise entre os critérios, considerando os seguintes aspectos: Tipo de materiais dúcteis como o Aço, que apresenta grande deformação antes da ruptura, alta ductilidade, sendo amplamente utilizado em estruturas metálicas. (Hibbeler, 2011; Beer et al, 2011). Exemplo também do Concreto Reforçado com fibras de aço (CRFA) que melhora a resistência pós fissuração, conferindo maior ductilidade em relação ao concreto convencional. (Debella et al, 2024). Ressaltamos também o exemplo da madeira, que em certas condições apesar de anisotrópica, pode apresentar ductilidade moderada dependendo do tipo e direção da carga.

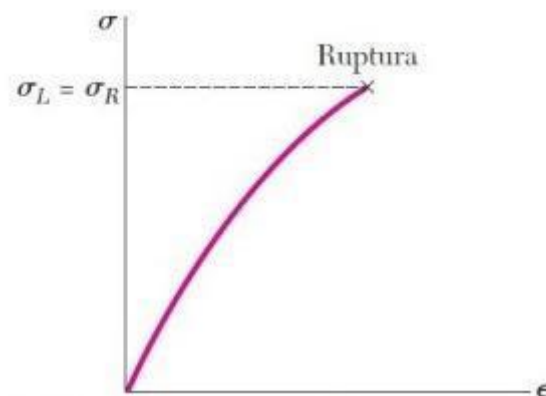
Já por vezes os materiais frágeis como o concreto convencional tem baixa deformação antes da ruptura, comportamento frágil típico, especialmente sob tração. (Hibbeler, 2011, Souza et al, 2020). Os solos arenosos não plásticos apresentam comportamento predominantemente frágil, especialmente sujeitos à liquefação e rupturas progressivas. (Faria, 2024), foram utilizados também como fundamento teórico do critério de tensão normal, tensão cisalhante, energia de distorção, etc. Aplicabilidade prática em contextos reais da engenharia civil, relação com as normas técnicas brasileiras e contribuição para a segurança estrutural.

Para ilustrar a aplicação prática dos critérios, foram selecionados estudos de caso e simulações estruturais extraído da literatura recente (Debella et al, 2024; Faria, 2024; Souza, 2021; Santos e Mello, 2024), nos quais foram

aplicados diferentes modelos de falha em elementos estruturais como pilares, vigas e barragens. Além disso, foram examinadas condições de carregamento, características dos materiais, influência da anisotropia e comportamento sob ruptura, a fim de destacar a importância da escolha adequada do critério de falha conforme o tipo de material e a situação do projeto.

Conforme já mencionado, o diagrama tensão-deformação permite classificar os materiais quanto à sua ductilidade, o que fundamenta a escolha dos critérios de falha. A Figura 1 ilustra um diagrama tensão-deformação típico de um material frágil, evidenciando a ruptura súbita ainda na fase elástica.

Figura 1- Diagrama tensão-deformação para um material frágil típico.



Fonte: Retirado de Beer et al. (2011).

A abordagem adotada visa oferecer subsídios técnicos para a escolha de métodos de dimensionamento mais seguros e compatíveis com as particularidades dos materiais e contextos estruturais envolvidos. O estudo também pretende ampliar a compreensão dos fatores que envolvem o desempenho dos materiais sob diferentes condições de carregamento, fornecendo aos profissionais e estudantes da área um prático sólido para aplicação em contextos reais.

3. Resultados Preliminares

As análises preliminares da literatura, em andamento dos critérios de falha aplicáveis neste estudo, indicou que os modelos mais recorrentes para materiais dúcteis, como o aço e o concreto reforçado com fibras metálicas, são os critérios de Von Mises e Tresca, devido a sua capacidade de detalhar com precisão os estados de tensão em materiais com elevada ductilidade. Para materiais frágeis, como o concreto convencional e solos arenosos não plásticos, os critérios de Mohr-Coulomb, de tração máxima e de tensão normal demonstram maior aderência, por analisarem as características de baixa deformação antes da ruptura.

A aplicação prática dos critérios, obtida em estudos de caso recentes, reforçou que a seleção adequada do modelo de falha influencia diretamente na previsão do comportamento estrutural, auxiliando para diagnósticos mais seguros em projetos e reforçando a importância da normatização técnica.

4. Considerações finais

Este estudo, com base na análise comparativa dos principais critérios de falha aplicados a materiais dúcteis e frágeis, observa-se a importância fundamental do comportamento mecânico desses materiais. Os dúcteis apresentam limites elásticos e plásticos bem definidos, permitindo deformações antes da ruptura, enquanto materiais frágeis tendem a falhar de forma repentina, com pouca deformação prévia. A utilização dos diagramas tensão-deformação é preciso para prever o comportamento estrutural adequado, auxiliando na escolha do material conforme as exigências técnicas do projeto. Assim, compreender os mecanismos de falha, seja por fratura frágil ou deformação plástica, é

obrigatório para garantir a segurança, durabilidade e vida útil em projetos de engenharia, enfatizando a importância dos critérios de falha na seleção e dimensionamento de componentes estruturais.

5. Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus por tudo quanto tem feito a nós, agradecemos ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB) pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada durante a realização deste trabalho. Estendemos nossos sinceros agradecimentos ao professor Dennis Oliveira Galdino pela orientação dedicada, pelo incentivo constante e pelas contribuições valiosas ao longo da pesquisa. Manifestamos também nossa gratidão aos colegas do grupo de pesquisa e demais colaboradores que contribuíram de forma significativa com sugestões e apoio.

6. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/670211420/NBR-6118-2023>. Acesso em: 23 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: https://www.galaxcms.com.br/up_arquivos/1149/NBR86812013-20190807181734.pdf. Acesso em: 25 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de concreto e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: https://engcivil20142.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/03/nbr8800_2008_1.pdf. Acesso em: 23 maio 2025.

BEER, F. P.; JOHNSTON Jr., E. R.; DeWOLF, J. T.; MAZUREK, D. F. *Mecânica dos Materiais*. 7. ed. Porto Alegre: McGraw Hill, 2011.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Fundamentos da Ciência e Engenharia dos Materiais*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

DEBELLA, L. C.; RESENDE, T. L. de; MONTOYA-CORONADO, L. A.; PIERALISI, R. Análise quantitativa dos mecanismos de transferência de força cortante de vigas de concreto armado reforçado com fibras de aço. *Ambiente Construído*, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/381443741>. Acesso em: 27 maio 2025.

FARIA, Thiago Silva Araujo. Análise paramétrica da estabilidade de barragem alteada a montante com utilização de rejeito dilatante na zona estruturante. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2024. Disponível em: <https://sig.cefetmg.br/sigaa/verArquivo?idArquivo=5577368&key=70099e4fd577230aad0fa8c8383bd453>. Acesso em: 27 maio 2025.

HIBBELER, R. C. *Resistência dos Materiais*. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

SOUZA, Guibison Alan Santos de. Análise comparativa do desempenho estrutural de pilares de canto, de borda e de centro executados em concreto armado. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário Unichristus, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/handle/123456789/1195>. Acesso em: 27 maio 2025