

# Fadiga em Braços de Suspensão Automotiva: Investigação de Ciclos de Carregamento e Previsão de Vida Útil

**Ary Cardoso Pinto**  
[ary.cardoso@aluno.ifsp.edu.br](mailto:ary.cardoso@aluno.ifsp.edu.br)

**Rafael Eduardo Simao**  
[rafael.simao@aluno.ifsp.edu.br](mailto:rafael.simao@aluno.ifsp.edu.br)







# Introdução



A fadiga é um processo de falha que se desenvolve gradualmente em materiais submetidos a carregamentos repetitivos, mesmo quando as tensões envolvidas permanecem abaixo do limite de escoamento. No contexto automotivo, os braços de suspensão estão entre os componentes mais expostos a esse fenômeno, pois enfrentam variações constantes de carga durante a condução. Quando ocorre uma falha nesses elementos, tanto a segurança quanto a confiabilidade e a durabilidade do veículo são diretamente afetadas, o que torna indispensável uma análise criteriosa de fadiga no desenvolvimento de projetos. Diante disso, este trabalho examina os ciclos de carga que atuam sobre braços de suspensão e utiliza métodos de previsão de vida em fadiga, com ênfase no regime de alto ciclo.






# Definições sobre Fadiga em Componentes Mecânicos

-  A fadiga é um tipo de falha progressiva que ocorre quando um material é submetido a carregamentos cíclicos, podendo acontecer mesmo abaixo do limite de escoamento. Diferente da ruptura estática, ela se manifesta de forma súbita e sem aviso, o que a torna especialmente crítica em componentes mecânicos.
-  A vida útil em fadiga é estimada principalmente por meio das curvas S-N (Wöhler), que relacionam tensão alternada e número de ciclos até a falha.
-  Critérios como Goodman, Gerber e Soderberg auxiliam a considerar o efeito das tensões médias no dimensionamento.
-  Por representar grande parte das falhas em serviço, a fadiga é um fator essencial no projeto de componentes sujeitos a carregamentos dinâmicos, como os da indústria automotiva.






# Histórico e Critérios de Projeto em Fadiga

-  O estudo da fadiga teve início com Wöhler, que mostrou que componentes podem falhar sob tensões repetidas mesmo abaixo da resistência máxima. Isso levou ao uso das curvas S–N para prever vida útil.
-  Os critérios de projeto mais usados são:
  - Goodman – linear e conservador.
  - Gerber – parabólico, menos conservador.
  - Soderberg – o mais rígido, baseado na tensão de escoamento.
-  Esses critérios são fundamentais no projeto automotivo, onde falhas em fadiga impactam diretamente segurança e confiabilidade.



# Braço de Suspensão Automotiva

-  O braço de suspensão é um dos componentes mais importantes do sistema de suspensão, pois conecta a roda ao chassi e garante o movimento adequado para absorver irregularidades do pavimento. Ele influencia diretamente o conforto, a dirigibilidade e a segurança do veículo.
-  Diferentes configurações existem, cada uma projetada conforme o tipo de veículo e requisitos de desempenho.
-  Como as cargas aplicadas variam constantemente, a análise dinâmica do componente é fundamental para garantir durabilidade e evitar falhas.







# Tipologias construtivas

Os braços de suspensão podem assumir diferentes geometrias conforme a aplicação: duplo A, McPherson, multilink, longitudinais e transversais.




Cada configuração atende a necessidades específicas, como rigidez, controle geométrico, simplicidade de fabricação ou redução de peso.

Não existe uma “melhor” arquitetura universal; a escolha depende do tipo de veículo, do espaço disponível e do nível de desempenho desejado.








# Pontos Críticos e Comportamento em Fadiga

-  As áreas mais vulneráveis do braço de suspensão são aquelas com descontinuidades: furos, soldas, cantos vivos e transições bruscas de seção.
-  Nessas regiões surgem concentrações de tensão, que aceleram a nucleação e a propagação de trincas.
-  Por isso, mesmo que o componente apresente boa resistência global, sua vida útil costuma ser determinada por esses pontos críticos.






# Importância da Análise Dinâmica

-  O braço de suspensão está sujeito a carregamentos que variam constantemente durante a condução — impactos, curvas, frenagens e irregularidades da pista. Por isso, não basta considerar apenas forças estáticas no projeto.
-  A análise dinâmica permite avaliar como o componente responde a milhões de ciclos de uso real, revelando efeitos que não aparecem em condições estáticas.
-  A fadiga é fortemente influenciada pela variação contínua das tensões, e não apenas pelo valor máximo isolado. Dessa forma, compreender o comportamento do braço sob cargas repetitivas é essencial para prever sua durabilidade, identificar pontos críticos e assegurar que o componente opere com segurança ao longo de toda sua vida útil.








# Ciclos de Carregamento

-  O braço de suspensão sofre **carregamentos dinâmicos** que mudam conforme o terreno: buracos, ondulações e obstáculos geram variação constante de tensão.
-  As forças atuam em **três direções principais**: verticais (impactos), laterais (curvas) e longitudinais (frenagens e acelerações).
-  Esses esforços se repetem milhares de vezes, formando **ciclos de tensão** que são responsáveis pela evolução da fadiga.



# Comportamento dos Ciclos Reais

-  Os ciclos de carregamento **não são regulares**, variando conforme o estilo de condução, tráfego e condições da pista.
-  A **amplitude, frequência e sequência** dos ciclos influenciam diretamente o dano acumulado — um único evento severo pode valer por milhares de ciclos leves.
-  Mesmo tensões de baixa amplitude podem gerar desgaste ao longo do uso, tornando necessário avaliar o **histórico completo de tensões**.



# Influências Externas na Fadiga



Fatores externos como **corrosão, temperatura e sujeira** afetam o material e aceleram processos de nucleação de trincas.






A falta de manutenção, como buchas desgastadas ou lubrificação insuficiente, aumenta as tensões e reduz a vida útil do braço.



Ensaaios laboratoriais e de campo fornecem **espectros de carga reais**, essenciais para prever o comportamento do componente durante toda a vida útil.

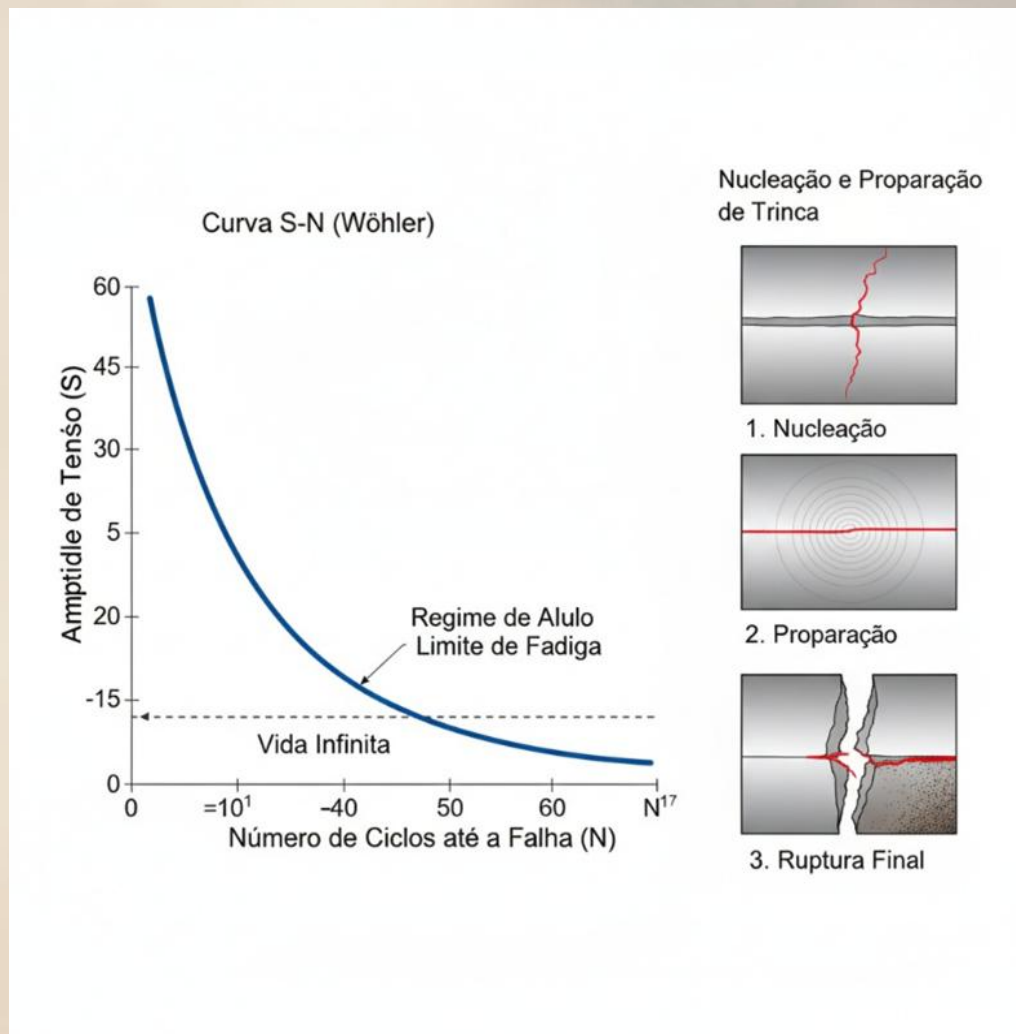


# Resultados Obtidos: Curva S-N

-  A Curva S–N relaciona a tensão aplicada ao número de ciclos até a falha, mostrando que **pequenas reduções na tensão** podem aumentar enormemente a vida útil.
-  A curva evidencia as três fases da falha por fadiga: **início da trinca em pontos críticos, propagação lenta e progressiva, e ruptura repentina.**
-  Em materiais como o aço, existe **limite de fadiga**, permitindo que o componente opere indefinidamente abaixo de uma tensão crítica — algo que alumínio e compósitos não possuem.



# Diagrama esquemático da Curva S-N (Wöhler) e do Processo de Falha por Fadiga





# Miner e Comparação de Materiais



A Regra de Miner soma o dano causado por cada nível de tensão, permitindo prever a vida útil a partir de **espectros mistos** de carregamento (ciclos leves + severos).



O estudo mostra que **poucos ciclos de alta amplitude** (como impactos fortes) consomem grande parte da vida útil, sendo mais críticos que milhares de ciclos moderados.






Comparação de materiais:

- **Aço:** maior vida em fadiga, possui limite de resistência; porém mais pesado.
- **Alumínio:** reduz peso, mas acumula dano mesmo em tensões menores.
- **Compósitos:** muito leves e resistentes, porém com falha menos previsível e custo elevado.





# Conclusões

-  A vida útil do braço de suspensão é determinada pelo **conjunto de ciclos de carregamento**, onde eventos severos têm maior impacto no dano acumulado.
-  O uso da Curva S–N e da Regra de Miner permite **quantificar o desgaste por fadiga** e prever com boa precisão quando o componente pode falhar.
-  A durabilidade depende de **material, geometria e qualidade de fabricação**, reforçando a necessidade de projetos que minimizem concentrações de tensão e otimizem o desempenho estrutural.

**Obrigado Pela Atenção**

