

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

Na engenharia civil, toda estrutura deve ser projetada para suportar a carga a que está submetida da forma mais segura possível utilizando o mínimo de material. Neste sentido, as estruturas de aço têm se mostrado cada vez mais eficientes e econômicas, o que vem acarretando a utilização cada vez mais ampla deste sistema construtivo. A busca da melhor solução requer a utilização de perfis mais leves e esbeltos e para isso as fórmulas de previsão da carga crítica devem ser bem ajustadas para evitar a utilização de margens de segurança inadequadas, gerando desperdício de material e, conseqüentemente, aumentando o custo da obra.

Quando se aplica uma carga concentrada no plano da alma de perfis de aço, pode ocorrer um problema de instabilidade local denominado “Patch Load”. Este fenômeno ocorre com frequência na prática. Os exemplos mais comuns são as vigas secundárias descarregando sobre vigas principais (Figura 1.1) ou a carga do binário de compressão de uma viga descarregando na mesa de uma coluna (Figura 1.2). Nestes casos, onde a localização da carga é conhecida, enrijecedores transversais podem ser usados para aumentar a resistência. Entretanto, o uso de enrijecedores deve ser evitado sempre que possível por razões econômicas. Quando as cargas móveis são consideradas, como no caso das pontes rolantes (Figura 1.3), torna-se imprescindível conhecer a resistência de almas não enrijecidas para uma carga localizada de compressão, pois não se tem a possibilidade de enrijecer a alma em um ponto fixo.

As cargas concentradas podem ocorrer perto dos apoios ou no interior das vigas, podendo estar aplicadas em uma das mesas, como no exemplo da Figura 1.1, ou nas duas mesas, como é o caso de duas vigas descarregando a compressão em cada uma das mesas da coluna.

Estas cargas localizadas podem provocar três tipos de colapso: a flambagem global da alma, o enrugamento (*crippling*) da alma, que pode ser definido como

uma instabilidade local da alma próxima à mesa superior carregada, e a plastificação. A carga última pode ser atingida ainda por uma combinação destes efeitos. A Figura 1.4 apresenta as configurações de enrugamento e flambagem de alma na seção transversal do perfil de aço.

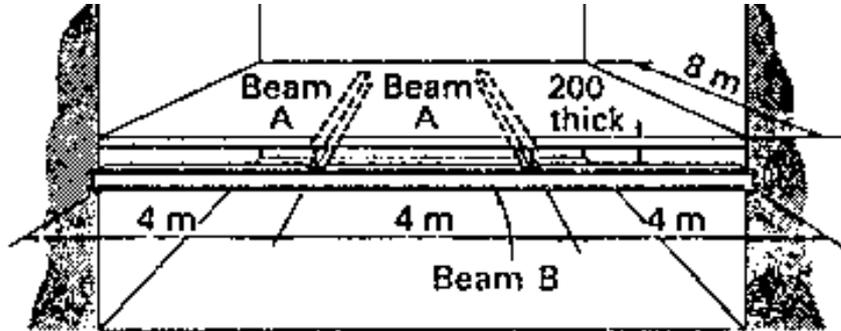


Figura 1.1 – Vigas Secundárias descarregando sobre Viga Principal. (Seward, 1998).

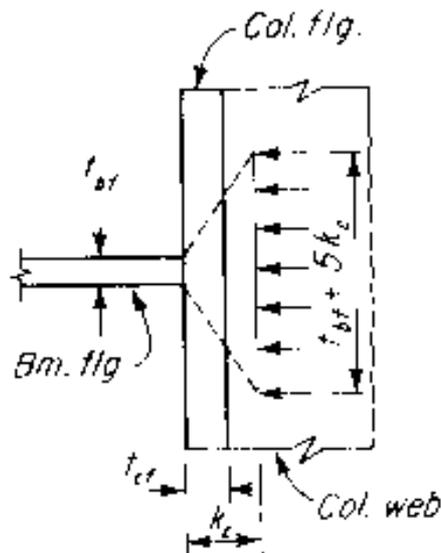


Figura 1.2 – Compressão da Viga na Mesa da coluna. (Gaylord et al., 1992).

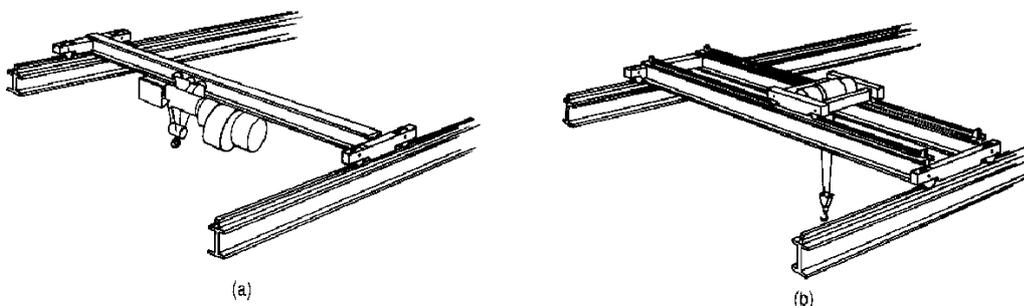


Figura 1.3 – Exemplos de Pontes Rolantes. (Newman, 1997).

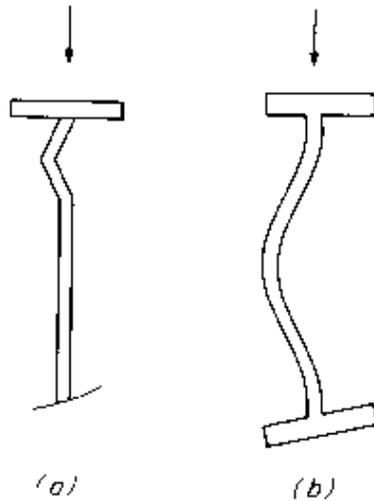


Figura 1.4 – Configurações de (a) enrugamento (*crippling*) e (b) Flambagem global da alma da Seção Transversal do Perfil.

Diversas teorias foram desenvolvidas para uma melhor formulação deste problema, mas ainda assim o erro máximo das fórmulas de previsão de cargas críticas de vigas sujeitas a cargas concentradas é superior a 40% (Fonseca, 1999). Duas são as causas desta dificuldade de se encontrar uma equação melhor: o grande número de parâmetros que influenciam o comportamento de uma viga sujeita a cargas concentradas (Figura 1.5), e o número insuficiente de dados experimentais presentes na literatura. Por outro lado, a criação de novos resultados experimentais é um processo que envolve tempo e dinheiro. Como alternativa, o método dos elementos finitos também foi utilizado para gerar novos dados mas estes ainda apresentaram erros da ordem de 30% em relação aos resultados experimentais (Fonseca, 1999).

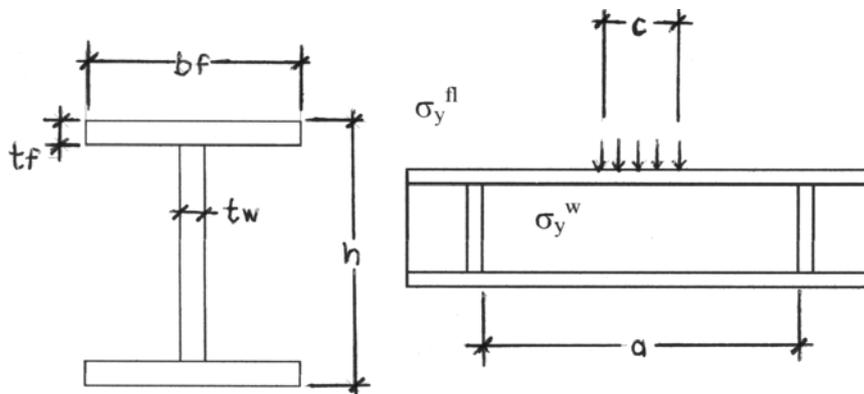


Figura 1.5 – Parâmetros Considerados no Cálculo da Carga de Ruína. Propriedades geométricas e do material.

As técnicas de inteligência computacional, onde estão inseridas as redes neurais, os algoritmos genéticos e a lógica nebulosa, têm sido cada vez mais empregadas nas diversas áreas da engenharia. Estas técnicas visam o desenvolvimento de ferramentas computacionais inteligentes, a serem utilizadas no estudo de problemas complexos, de difícil resolução por programas convencionais.

As redes neurais são modelos computacionais inspirados na estrutura do cérebro que apresentam características humanas como o aprendizado por experiência e a generalização do conhecimento a partir dos exemplos apresentados. Os algoritmos genéticos, por sua vez, foram inspirados no princípio Darwiniano de evolução das espécies através da recombinação genética e sobrevivência dos mais aptos e têm sido amplamente utilizados em processos de otimização. A Lógica Nebulosa permite o emprego de limites mais suaves de classificação através de conceitos da lingüística humana, tais como: “mais esbelta”, “mais flexível”, “maior ou menor variação da carga”. A utilização desta técnica como ferramenta de análise paramétrica tende a fornecer resultados de importância significativa para o estudo do efeito da carga concentrada última de vigas sujeitas a cargas concentradas.

## **1.2 Objetivo do Trabalho**

Este trabalho tem o objetivo de avaliar o problema de cargas concentradas em vigas de aço, através da identificação da influência dos diversos parâmetros na variação da carga última e nos tipos de comportamento resultantes (plastificação, enrugamento e flambagem), estabelecendo limites mais flexíveis entre cada um destes. Esta análise será executada empregando um sistema neuro-fuzzy (híbrido de redes neurais e de lógica nebulosa). Estudos anteriores (Fonseca et al., 1999), (Fonseca et al., 1999a), (Fonseca, 1999) demonstraram a grande capacidade e a confiabilidade das redes neurais na geração de novos dados para uma análise paramétrica mais completa. Para viabilizar esta análise, torna-se necessária a apresentação de um conjunto de dados de treinamento ao sistema onde o comportamento estrutural é conhecido. Este trabalho também apresenta um estudo

de otimização das fórmulas de projeto existentes empregando algoritmos genéticos.

Os resultados obtidos neste trabalho poderão permitir o desenvolvimento de uma fórmula de projeto mais precisa no futuro. De posse desta nova fórmula, uma sugestão para sua incorporação em normas de projeto de estruturas de aço poderá ser feita, garantindo desta forma um dimensionamento mais seguro e econômico.

### 1.3 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho são:

- uma ampla revisão bibliográfica do problema de cargas concentradas com um resumo dos principais trabalhos publicados nesta área;
- uma otimização das fórmulas de projeto empregando algoritmos genéticos e gerando uma proposta de fórmula empírica de cálculo da carga última com erros máximos inferiores a 30%;
- uma avaliação do desempenho de uma única rede neural para a previsão da carga última de diferentes comportamentos estruturais, a partir de uma normalizada da carga última por uma fórmula baseada na carga de plastificação;
- o desenvolvimento de um novo sistema de avaliação do comportamento estrutural de vigas de aço sujeitas a cargas concentradas, a partir da criação de um sistema baseado em um modelo neuro-fuzzy hierárquico e uma rede neural de previsão para permitir uma abordagem diferenciada do comportamento das vigas, apresentando a participação dos três fenômenos físicos no colapso de uma forma gradual;
- uma avaliação do desempenho deste novo sistema de avaliação;
- uma análise paramétrica do fenômeno físico, apresentando diversos estudos sobre a influência dos parâmetros isolados ou combinados em cada forma de colapso, e a participação de cada comportamento estrutural (plastificação, enrugamento e flambagem) no colapso;

- uma melhor identificação da influência dos parâmetros geométricos e do material na carga última de vigas de aço submetidas a cargas concentradas através de uma análise paramétrica envolvendo uma ampla faixa de variação dos parâmetros geométricos.

#### **1.4 Escopo do trabalho**

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos trabalhos desenvolvidos para avaliar o problema das cargas concentradas.

O capítulo 3 faz uma breve descrição das técnicas de inteligência computacional, através da apresentação de suas estruturas de funcionamento e de suas aplicações práticas, inclusive no problema de cargas concentradas. Neste capítulo também são descritos os programas utilizados neste trabalho.

A geração de uma fórmula empírica por algoritmos genéticos e o desenvolvimento de um modelo neuro-fuzzy são descritos no capítulo 4.

O capítulo 5 apresenta os resultados, uma avaliação do modelo neuro-fuzzy e uma análise paramétrica do fenômeno físico.

O capítulo 6 apresenta os resultados, uma avaliação da rede neural de previsão de carga e uma análise paramétrica da carga crítica.

Finalmente, o capítulo 7 mostra as considerações finais e as conclusões deste trabalho.

Os dados experimentais e as tabelas de resultados do sistema neuro-fuzzy são apresentados em anexo.