

COMPARATIVO ENTRE MODELOS DE ESCADAS ENCLAUSURADAS EM AÇO PARA EDIFICAÇÕES

Thiago Guolo (1), Marcio Vito (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)thiago.guolo@outlook.com (2)marciovito@unesc.net

RESUMO

Escada é uma série de degraus ou de lances de degraus que possibilitam o deslocamento entre dois ou mais níveis sucessivos com patamares que se conectam a cada nível. Quando enclausuradas devem ter suas paredes e portas resistentes ao fogo por um período mínimo de duas horas, impedindo que a temperatura em seu interior se eleve ao ponto de afetar os usuários e deformar ou colapsar os elementos da estrutura, desta forma sendo possível a utilização de uma escadaria confeccionada em estruturas de aço. Portanto, este trabalho tem como objetivo principal, analisar oito modelos estruturais diferentes de escadas em aço, denominadas de Modelo 01 à Modelo 08, todos possuem dimensões iguais, utilizando perfis “U” em suas vigas principais, cantoneiras de abas iguais “L” nas vigas auxiliares quando existir e chapa corrugada no piso e espelho, conforme solicita NBR 9077:2001, verificou-se qual dentre os modelos suportou com um menor consumo de aço as cargas mínimas exigidas pela NBR 6120:1980, através de um software de análise estrutural pelo método dos elementos finitos (STRAP V.10). Os resultados obtidos dos modelos apresentou um acréscimo de peso de 20% em relação ao Modelo 01 que teve um menor consumo de aço perante os modelos analisados, com um peso de 631,48 kg. Verificou-se que os modelos apresentaram variações consideráveis de peso, sendo definido como o melhor dentre os oito analisados o Modelo 01, pelo fato de utilizar uma menor quantidade de aço para suportar os mesmos esforços solicitantes e conseqüentemente ser mais econômico e proporcional a um sistema construtivo racionalizado.

Palavras-Chave: Escadas em Aço, Escadas Enclausuradas, Escadas Metálicas.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Burden (2006), escada é uma série interna ou externa de degraus ou de lances de degraus para o deslocamento entre dois ou mais níveis sucessivos, com patamares que se conectam em cada nível. E de acordo com a NBR 9077:2001, Escada Enclausurada à Prova de Fumaça (PF) é a escada cuja caixa é envolvida por paredes corta-fogo e dotada de portas corta-fogo, cujo acesso é por antecâmara igualmente enclausurada ou local aberto, de modo a evitar fogo e fumaça em caso de incêndio que de acordo com a Instrução Normativa - IN 009:2009 do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), as PFs devem ter suas caixas envolvidas por paredes resistentes ao fogo por um período de 4 horas e ainda

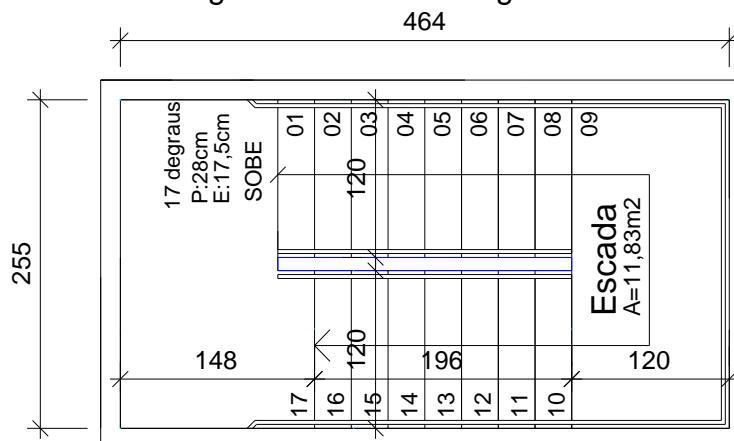
conforme a NBR 9077:2001 Escada Enclausurada Protegida (EP) é a escada devidamente ventilada situada em ambiente envolvido por paredes corta-fogo e dotada de portas resistentes ao fogo e que complementada da IN 009:2014 as EPs devem ter suas caixas envolvidas por paredes resistentes ao fogo por um período de 2 horas. Logo escada enclausurada nada mais é que um elemento de construção que possibilita a comunicação entre dois pontos de alturas diferentes por meio de degraus e patamares, envolvida de paredes e portas resistentes ao fogo por no mínimo 2 horas, podendo ou não ser precedida de uma antecâmara também enclausurada para evitar a fumaça em caso de incêndio. Por serem enclausuradas podem ser construídas em aço sem necessitar de revestimentos térmicos, como explica Vargas e Silva (2003) “as estruturas internas, da clausura das escadas e das antecâmaras, não precisam receber revestimento térmico. Para realizar sua função de emergência em incêndio, as escadas enclausuradas devem ser vedadas com materiais resistentes ao fogo, ser “estanques” ao calor e ter carga de incêndio extremamente baixa. Assim, as temperaturas dentro das escadas enclausuradas são relativamente baixas e não causam o colapso ou a deformação dos elementos da estrutura. Os elementos estruturais pertencentes à vedação da escada e situados, em altura que possam irradiar calor aos usuários da escada devem receber proteção térmica adicional, de forma a não causar altas temperaturas no interior da escada”.

A utilização de aço em estruturas torna este um sistema construtivo racional, pois é possível a reutilização de resíduos e pelo fato de ser produzido em indústria proporciona uma obra mais limpa. Sendo as escadarias um inevitável elemento para uma edificação, com possibilidade de construção estrutural em aço, gerou um questionamento sobre qual melhor modelo a se adotar em edificações verticais. Desta forma diante da escassez de estudos específicos na literatura que se propõem a comparar escadas enclausuradas em aço, verificou-se a necessidade de abordar uma análise entre variados modelos estruturais. Tendo como objetivo principal dimensionar todos os modelos através de software de análise estrutural e verificar qual apresenta uma maior economia de aço, sendo este o mais adequado para edificações com escadarias enclausuradas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O planejamento desta pesquisa estabeleceu inicialmente, em realizar o projeto geral de uma escada em aço, utilizando os mesmos parâmetros de dimensionamento, tais como possuir largura e comprimento idênticos no vão do fôssco da escadaria, quantidade e dimensão de patamares e espelhos, e também carregamento igual para todos os modelos adotados, que de acordo com a NBR 6120:1980, a carga mínima para escada com acesso ao público é de 3KN/m², adotando o modelo geral para todos os analisados de acordo com a Figura 1, diferenciando-se apenas na estrutura. O corrimão sendo item obrigatório, mas, no entanto podendo ser de madeira ou material metálico e também podendo ser fixado nas paredes para todos os modelos, não foi especificado no artigo.

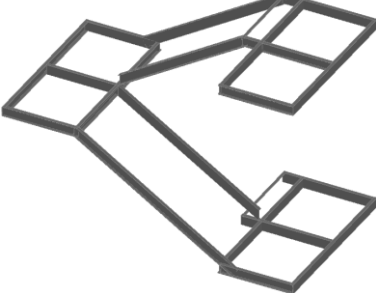
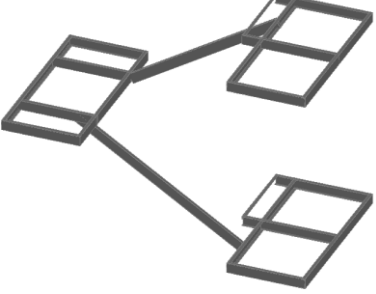
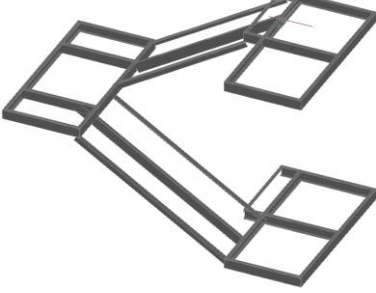
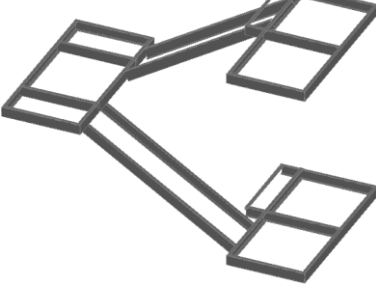
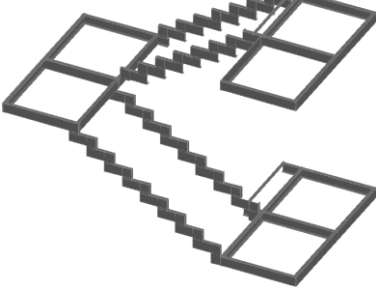
Figura 1 - Dimensões gerais

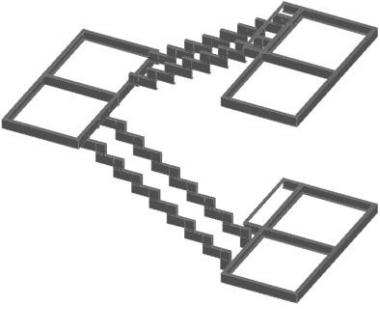
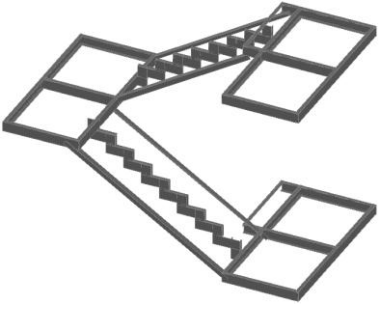
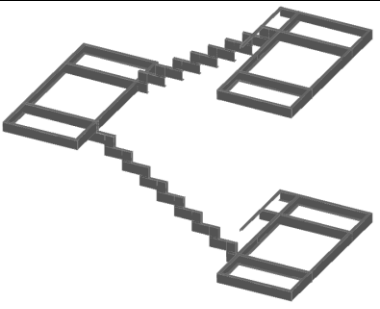


Fonte: Do autor (2014)

Em um primeiro momento houve a definição de se dimensionar oito modelos diferentes de escadas em aço, denominadas de Modelo 01 à Modelo 08, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos de escadas

| Modelos | Descrição | Ilustração |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo 01 | Viga principal continua na lateral de cada lanço. |  |
| Modelo 02 | Apenas uma viga central continua. |  |
| Modelo 03 | Viga central continua e cantoneira em cada borda. |  |
| Modelo 04 | Duas vigas contínuas distribuídas a um e três quartos da seção transversal do lanço. |  |
| Modelo 05 | Vigas nas extremidades acompanhando o formato dos degraus. |  |

| | | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Modelo 06</p> | <p>Duas vigas acompanhando formato dos degraus distribuídas a um e três quartos de cada lanço.</p> |  |
| <p>Modelo 07</p> | <p>Apenas uma viga central que acompanha o formato dos degraus com cantoneiras nas extremidades</p> |  |
| <p>Modelo 08</p> | <p>Apenas a viga central acompanhando o formato dos degraus.</p> |  |

Fonte: Do autor (2014)

Os oito modelos analisados utilizaram perfis de chapa dobrada “U” formados a frio em suas vigas principais, e os que possuem vigas auxiliares foram utilizados perfis laminados (cantoneiras) de abas iguais “L”, ambos em aço ASTM A36, cujas propriedades mecânicas encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas de Aços-carbono

| Especificação | Teor de carbono % | Limite de escoamento f_y (Mpa) | Resistência à ruptura f_u (Mpa) |
|---------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| ASTM A36 | 0,25 – 0,26 | 250 (36 ksi) | 400 - 500 |

Fonte: Pfeil (2009)

Também segundo a NBR 9077:2001 todo e qualquer tipo de escada deve ter os pisos com condições antiderrapantes, e que permaneçam antiderrapantes com o uso. De acordo com isto, foram utilizados nos patamares e degraus chapas corrugadas com as propriedades mecânicas iguais as dos perfis, estes tiveram suas espessuras determinadas através da verificação das tensões provocadas devido ao

momento fletor pela equação 01 e cisalhamento pela equação 02, oriundas da carga mínima por norma aplicada e seu peso próprio, além da verificação da flecha atuante através equação 03 conforme apresenta Pinheiro (2005).

$$\sigma_{at} = \frac{M}{W} \leq \sigma_{adm} = 0,6f_y \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

σ_{at} = Tensão atuante;

M = Momento fletor;

W = Módulo elástico de resistência;

f_y = Tensão de escoamento.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{V}{A} \leq \sigma_{adm} = 0,6f_v \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = Tensão máxima;

V = Carga de cisalhamento;

A = Área da seção;

f_v = Tensão de escoamento a cisalhamento = $0,6f_y$.

$$Flecha_{at} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} < Flecha_{adm} = \frac{L}{180} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

$Flecha_{at}$ = Deslocamento atuante;

q = Carga variável;

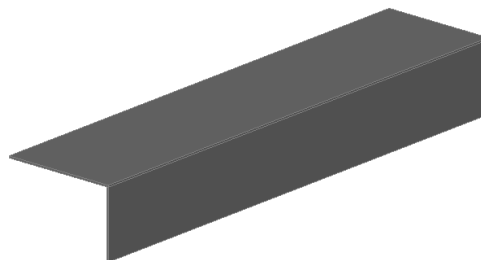
L = Comprimento;

E = Módulo de elasticidade;

I = Momento de inércia.

Como a NBR 9077:2001 e IN 009:2004 do CBMSC não mencionam se os espelhos entre degraus devem ser fechados, foi determinado por questão de segurança os espelhos fechados em todos os modelos para que não possam ocorrer possíveis quedas ou membros presos em caso de escorregões. Assim cada degrau (Figura 2) será formado de patamar e espelho utilizando apenas uma chapa dobrada.

Figura 2 - Degrau das escadas de aço.



Fonte: Do autor (2014)

Definidos os materiais e formas, houve num segundo momento a modelagem e dimensionamento, se utilizou para todos os mesmos esforços solicitantes supracitados, definiram-se os perfis utilizados em cada modelo com o auxílio do programa de análise estrutural STRAP V.2010, pelo método de elementos finitos (ASD-2005), que de acordo com Pfeil (2009), neste método o dimensionamento é considerado satisfatório quando a máxima tensão solicitante em cada seção é inferior a uma tensão resistente reduzida por um coeficiente de segurança. Posteriormente ao dimensionamento foi coletado o peso total de cada modelo, sendo assim realizado uma análise dos resultados obtidos e definido prioritariamente como mais adequado dentre os analisados o que teve um menor consumo de aço, pois, os insumos para uma escada em aço, desde a compra dos materiais até instalação da mesma são definidos de acordo com seu peso, ou seja, quanto mais pesada for a escada, maior o custo com material e maior o consumo com a mão de obra empregada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estabelecidos os métodos, foi possível dimensionar as escadas em aço. Para o comparativo inicial, foi definido através das equações 01, 02 e 03 a espessura de 3,35 mm para a chapa corrugada utilizada nos patamares e degraus, que segundo Pfeil (2009) possui uma massa de 26,30 kg/m² e devido à impossibilidade de inclusão no software, pois o mesmo trabalha apenas com linhas em sua modelagem, foi somado seu peso com o carregamento mínimo apresentado pela NBR 6120:1980 para se realizar o dimensionamento dos modelos apresentados.

Como todos utilizam a mesma quantidade de chapas de aço, foi estimada uma área consumida de 15,18 m² que multiplicado pelo seu peso unitário se obteve um peso total de 398,88 kg que é acrescido nos modelos. Desta maneira tem-se a seguir na Tabela 3 o peso dos modelos analisados, tendo como menor peso o Modelo 01, seguido dos Modelos 08, 02, 05, 03, 06, 04, e 07.

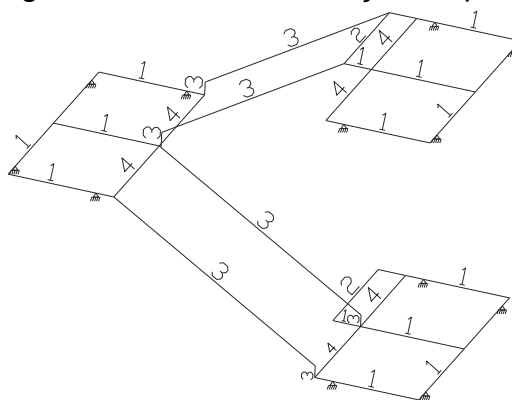
Tabela 3: Peso dos modelos analisados

| Modelo | Estrutura (kg) | Chapa (kg) | Total (kg) |
|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Modelo 01 | 232,60 | 398,88 | 631,48 |
| Modelo 02 | 301,50 | 398,88 | 700,38 |
| Modelo 03 | 329,60 | 398,88 | 728,48 |
| Modelo 04 | 362,80 | 398,88 | 761,68 |
| Modelo 05 | 314,70 | 398,88 | 713,58 |
| Modelo 06 | 336,00 | 398,88 | 734,88 |
| Modelo 07 | 393,70 | 398,88 | 792,58 |
| Modelo 08 | 266,40 | 398,88 | 665,28 |

Fonte: Do autor (2014)

Como observado na Tabela 3, o Modelo 01 resultou em um menor peso e conseqüentemente o mais adequado dentre os analisados, sendo este detalhado na Figura 3 onde se ilustra em que local cada perfil foi utilizado de acordo com o número da propriedade e na Tabela 4 os perfis de cada propriedade.

Figura 3 – Local de utilização de perfil



Fonte - Do autor (2014)

Tabela 4 - Perfis Escada 01

| Propriedade | Perfil (mm) |
|-------------|---------------------------|
| 1 | Chapa dobrada 120x40x3,35 |
| 2 | Cantoneira 51x3,2 |
| 3 | Chapa dobrada 160x50x3,00 |
| 4 | Chapa dobrada 170x60x3,75 |

Fonte – Do autor (2014)

Para um melhor entendimento dos resultados obtidos, é apresentado na Tabela 5 o consumo de aço que os demais tiveram a mais em relação ao Modelo 01.

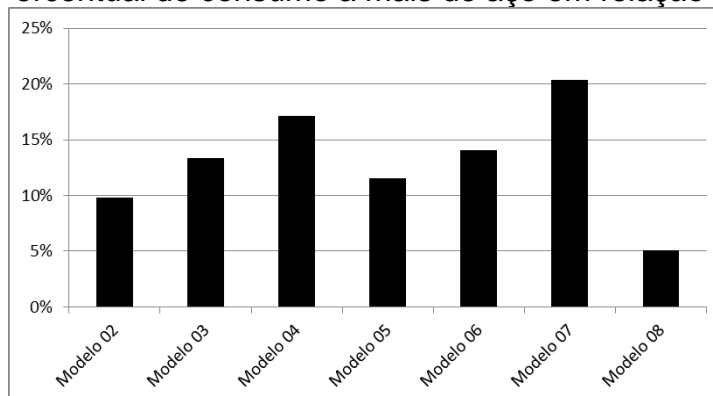
Tabela 5: Diferença de peso em relação ao Modelo 01

| Modelo | Peso total (kg) | Peso Modelo 01 (kg) | Diferença (kg) | (%) |
|-----------|-----------------|---------------------|----------------|-----|
| Modelo 02 | 700,38 | 631,48 | 68,90 | 10% |
| Modelo 03 | 728,48 | 631,48 | 97,00 | 13% |
| Modelo 04 | 761,68 | 631,48 | 130,20 | 17% |
| Modelo 05 | 713,58 | 631,48 | 82,10 | 12% |
| Modelo 06 | 734,88 | 631,48 | 103,40 | 14% |
| Modelo 07 | 792,58 | 631,48 | 161,10 | 20% |
| Modelo 08 | 665,28 | 631,48 | 33,80 | 5% |

Fonte – Do autor (2014)

Para ilustrar a Tabela 5 é apresentado em porcentagem no Gráfico 1 a diferença de peso que os demais modelos possuem a mais que o Modelo 01, que constatou-se ser o mais leve dentre os analisados.

Gráfico 1 – Percentual de consumo a mais de aço em relação ao Modelo 01



Fonte – Do autor (2014)

Sabendo ainda que as diferenças de peso apresentadas são apenas para um pavimento, foi elaborada uma projeção do crescimento da diferença de peso

(Tabela6) para edificações com até 15 pavimentos entre o Modelo 01 e 08 que apresentou uma maior proximidade de consumo de aço.

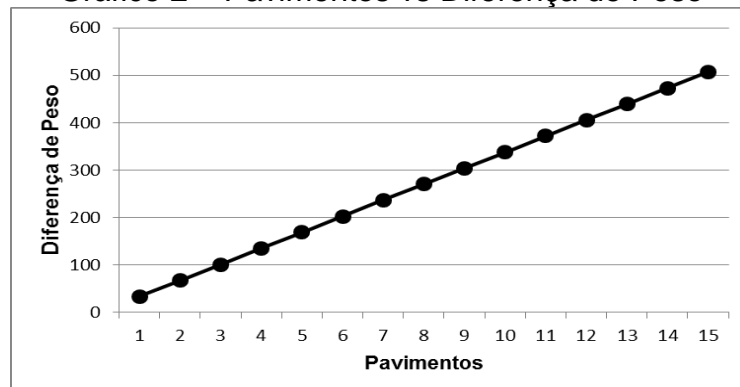
Tabela 6 – Diferença de peso entre Modelo 01 e 08 com aumento de pavimentos

| Pavimentos | Peso Modelo 01 (kg) | Peso Modelo 08 (kg) | Diferença (kg) |
|------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| 1 | 631,48 | 665,28 | 33,80 |
| 2 | 1262,96 | 1330,56 | 67,60 |
| 3 | 1894,44 | 1995,84 | 101,40 |
| 4 | 2525,92 | 2661,12 | 135,20 |
| 5 | 3157,40 | 3326,40 | 169,00 |
| 6 | 3788,88 | 3991,68 | 202,80 |
| 7 | 4420,36 | 4656,96 | 236,60 |
| 8 | 5051,84 | 5322,24 | 270,40 |
| 9 | 5683,32 | 5987,52 | 304,20 |
| 10 | 6314,80 | 6652,80 | 338,00 |
| 11 | 6946,28 | 7318,08 | 371,80 |
| 12 | 7577,76 | 7983,36 | 405,60 |
| 13 | 8209,24 | 8648,64 | 439,40 |
| 14 | 8840,72 | 9313,92 | 473,20 |
| 15 | 9472,20 | 9979,20 | 507,00 |

Fonte – Do autor (2014)

Declarados os valores de diferenças é demonstrado no Gráfico 2 – Pavimentos versus Diferença de Peso a evolução da economia de aço perante o aumento de pavimentos.

Gráfico 2 – Pavimentos vs Diferença de Peso



Fonte – Do autor (2014)

De acordo com o Gráfico 2 a diferença de peso que o Modelo 01 consome a menos que o Modelo 08, cresce linearmente a medida que o número de pavimentos aumenta, conseqüentemente tendo uma maior economia de aço.

4. CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos através da análise de oito distintos modelos de se construir escadas em aço, dimensionados pelo método dos elementos finitos e utilizado os mesmos critérios de cargas e dimensões. Podemos afirmar que dentre os propostos, o Modelo 01 mostrou ser o mais adequado para os esforços empregados, tendo um consumo de aço 5% menor que o Modelo 08 que foi o modelo posterior com o melhor resultado, taxa esta aparentemente pequena ao se comparar os pesos apenas para um pavimento, mas ao se projetar uma edificação este menor consumo de aço se multiplica retilineamente ao mesmo passo que o número de pavimentos vai aumentando, chegando a uma considerável economia de aço. Cabe ainda ressaltar o formato das duas estruturas, tendo o Modelo 01 em seus lances de degraus uma viga contínua de cada lado sem dobras ou cortes, já o Modelo 08 possui corte e união de duas peças formando um “L” a cada degrau que se eleva, acarretando em uma maior demanda por mão de obra. Por conta disto, constatou-se nesta pesquisa que, embora o consumo de aço entre os modelos analisados sejam razoavelmente próximos, a escolha de utilização pelo modelo que apresenta um menor consumo se torna mais vantajoso quanto maior for número de pavimentos de uma edificação, tanto para economia de aço como para a execução da estrutura.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Escadas são elementos de grande importância na engenharia, porém poucos são os estudos nesta área. Sendo assim, são feitas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar um estudo de montagem de escadas metálicas detalhado no canteiro de obras, para avaliar qual melhor método em determinada situação.

- Realizar um levantamento minucioso dos insumos consumidos para vários modelos de escadas metálicas e definir taxas em relação ao peso total da estrutura.
- Realizar um comparativo entre escadas em concreto armado e em aço, para fins de avaliar qual método é mais econômico na construção de uma edificação vertical.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - NBR 6120:1980**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Saídas de Emergência em Edifícios - NBR 9077:2001**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

BURDEN, Ernest E. **Dicionário ilustrado de arquitetura**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DIRETORIA DE ATIVIDADES TÉCNICAS – DAT. **Normas de segurança contra incêndios - INSTRUÇÃO NORMATIVA (IN 009/DAT/CBMSC)**. Santa Catarina: CBMSC, 2014.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. São Paulo: Blucher, 2005.

VARGAS, Mauri Resende; SILVA, Valdir Pignatta e. **Resistência ao fogo das estruturas de aço**. Rio de Janeiro: CBCA, 2003.