

6

Análise Paramétrica da Carga Crítica Através da Rede Neural de Previsão

6.1

Introdução

O Capítulo anterior apresentou a avaliação dos graus de ativação do fenômeno físico gerados pelo sistema neuro-fuzzy. Este capítulo mostra uma análise paramétrica da carga crítica baseada nos resultados do sistema apresentados nos capítulos anteriores.

A avaliação adicional da rede neural foi feita através de uma comparação dos resultados fornecidos pela rede de previsão, com os valores fornecidos pela fórmula de Roberts, equação (2.12), pela fórmula de Lyse & Godfrey (2.1) e pela Norma Canadense de 2001 (2.15 e 2.16) para diversos perfis comerciais situados dentro da faixa de treinamento. Estes resultados são apresentados no Anexo D. Desta forma, neste capítulo, uma análise paramétrica da carga crítica será feita empregando os resultados fornecidos pela rede neural previamente treinada e validada.

6.2

Avaliação dos resultados.

A rede neural de previsão apresentada no Capítulo 5 foi treinada e testada com uma quantidade limitada de dados experimentais. Estudos anteriores (Fonseca, 1999) avaliaram a viabilidade da utilização de dados gerados através de simulações de elementos finitos para treinamento e/ou avaliação das redes neurais. Estas simulações, no entanto, forneceram erros percentuais muito superiores aos previstos pela rede. Desta forma, será apresentado um método adicional de avaliação do treinamento da rede, de forma a validar os resultados da análise paramétrica a ser apresentada neste capítulo.

A avaliação da rede neural foi feita através da comparação dos resultados fornecidos pela rede de previsão, com os valores fornecidos pela fórmula de

Roberts, equação (2.12), pela fórmula de Lyse & Godfrey (2.1) e pela Norma Canadense (2.15 e 2.16) para diversos perfis comerciais laminados e soldados situados dentro da faixa de treinamento. Estes resultados são apresentados em detalhe no Anexo D. A Figura 6.1 apresenta a razão entre os resultados da rede e as fórmulas existentes.

Para uma melhor avaliação deste gráfico, é necessário observar a Figura 6.2 que apresenta a razão entre os resultados experimentais e as fórmulas de previsão. Verifica-se nos dois gráficos as mesmas ordens de grandeza do erro absoluto, estando, nos dois casos, a fórmula de Roberts mais ajustada aos dados experimentais e aos resultados gerados pela rede.

Verifica-se que a maioria dos dados experimentais usados no treinamento possui espessura de alma inferior a 12,5mm, estando muito concentrados entre 2 e 5 mm. Desta forma, os perfis utilizados na análise paramétrica da carga crítica não possuem espessuras de alma superiores a 12,5mm.

Estes resultados atuam como uma validação adicional para a análise paramétrica da carga crítica que será feita a seguir.

6.3—Análise paramétrica.

A análise paramétrica da carga crítica foi executada utilizando os dados gerados pela rede de previsão, para a mesma faixa de variação de parâmetros apresentada no Capítulo 6 para determinação dos graus de ativação do fenômeno físico.

Segundo vários autores, é de conhecimento geral que a carga última é proporcional ao quadrado da espessura da alma, enquanto os outros parâmetros exercem uma influência secundária. No entanto, a ordem de grandeza do erro encontrado nas fórmulas de projeto atuais se deve a não utilização ou a uma avaliação incorreta destes parâmetros secundários. A dificuldade da geração de novos dados experimentais para uma análise paramétrica completa é um fator que tem contribuído para que este erro permaneça alto (Fonseca, 1999). Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a influência da combinação destes parâmetros secundários a partir dos resultados fornecidos pela rede.

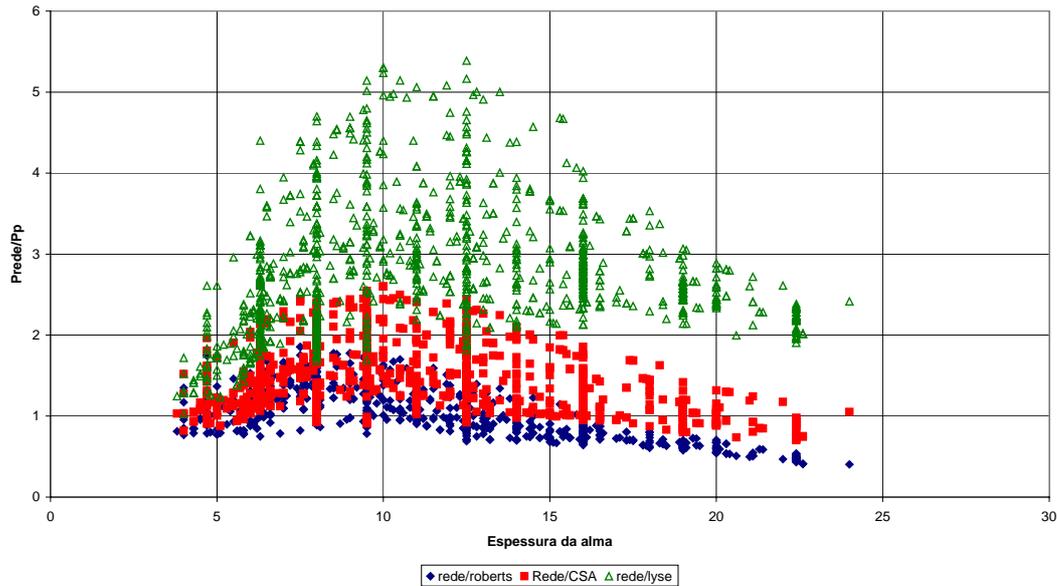


Figura 6.1 – Comparação entre os resultados fornecidos pela rede de previsão para os perfis apresentados no Anexo D e os resultados das equações de Lyse & Godfrey (2.1), Roberts (2.12) e CSA (2.15 e 2.16).

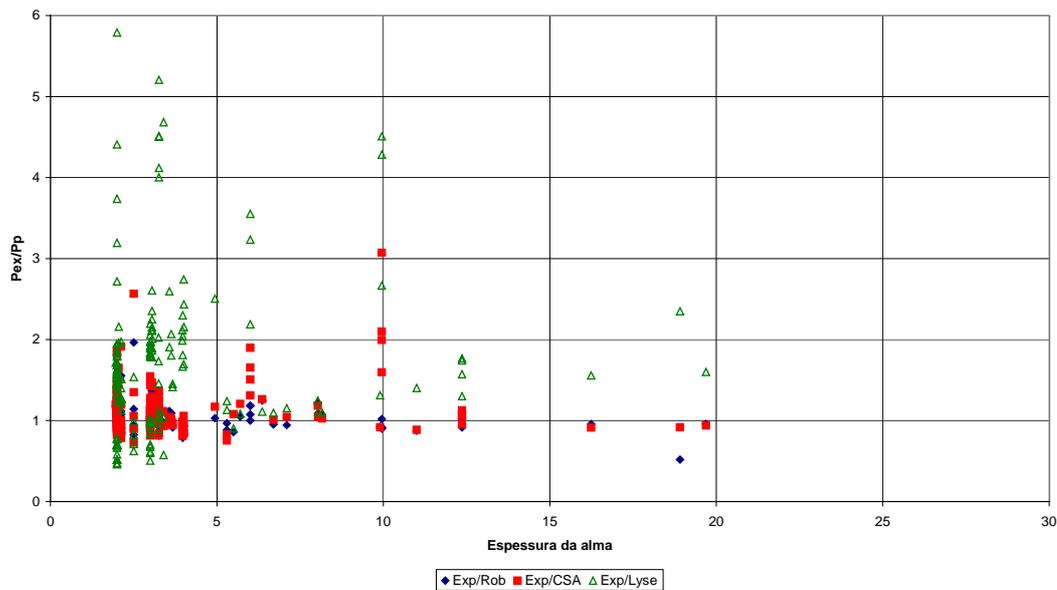


Figura 6.2 – Comparação entre os resultados experimentais disponíveis e os resultados das equações de Lyse & Godfrey (2.1), Roberts (2.12) e CSA (2.15 e 2.16).

As análises foram realizadas através da variação de dois parâmetros enquanto os demais permaneciam constantes. Os gráficos apresentados neste item mostram os valores de carga crítica previstos pela rede para todos os casos apresentados no capítulo anterior para determinação dos graus de ativação de cada fenômeno físico. Desta forma será possível avaliar a relação entre o comportamento estrutural e a carga crítica.

O primeiro estudo (Figura 6.3 a Figura 6.10) avalia a influência das espessuras de mesa e de alma na carga crítica. Os parâmetros são apresentados na Tabela 5.2, a tensão limite de escoamento é de 345 MPa e o fator de forma do painel de alma a/h adotado é igual a 3.

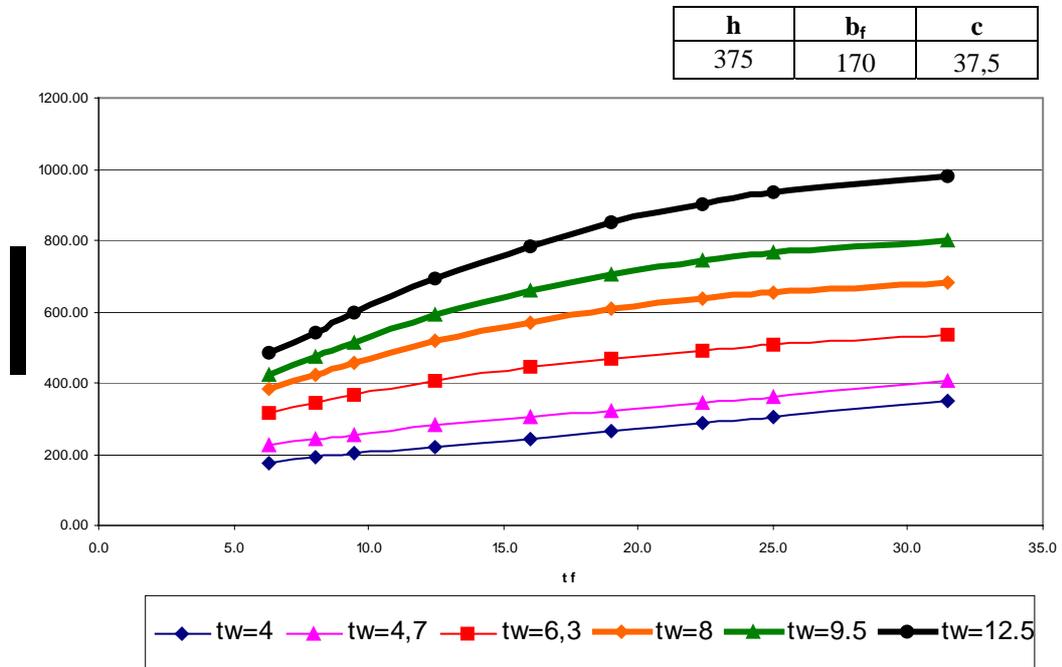


Figura 6.3 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes espessuras de alma – análise 1.

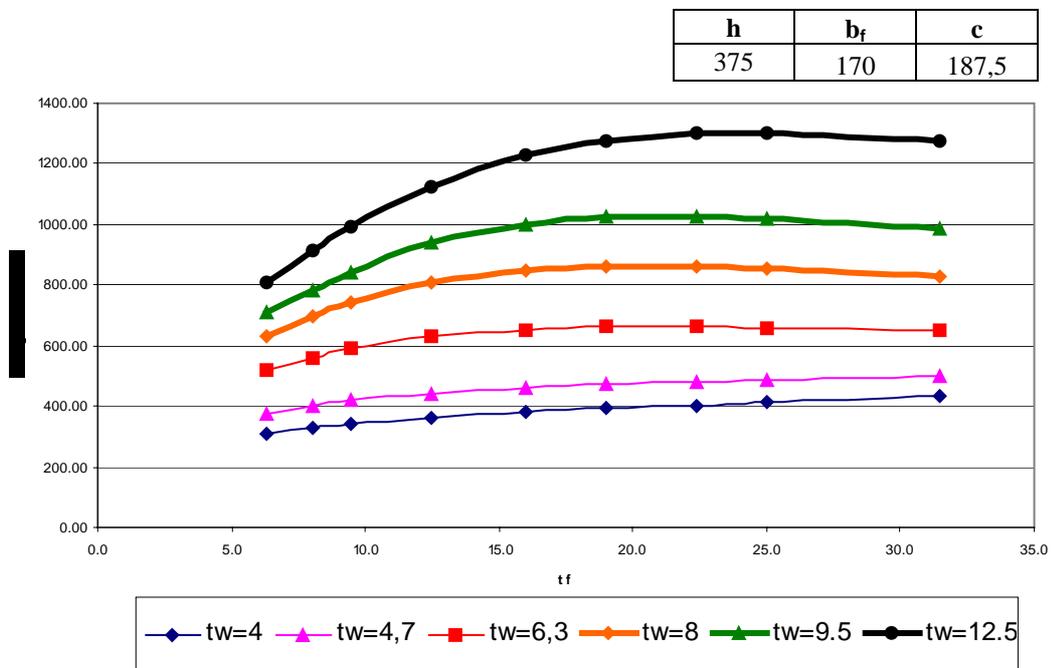


Figura 6.4 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes espessuras de alma – análise 2.

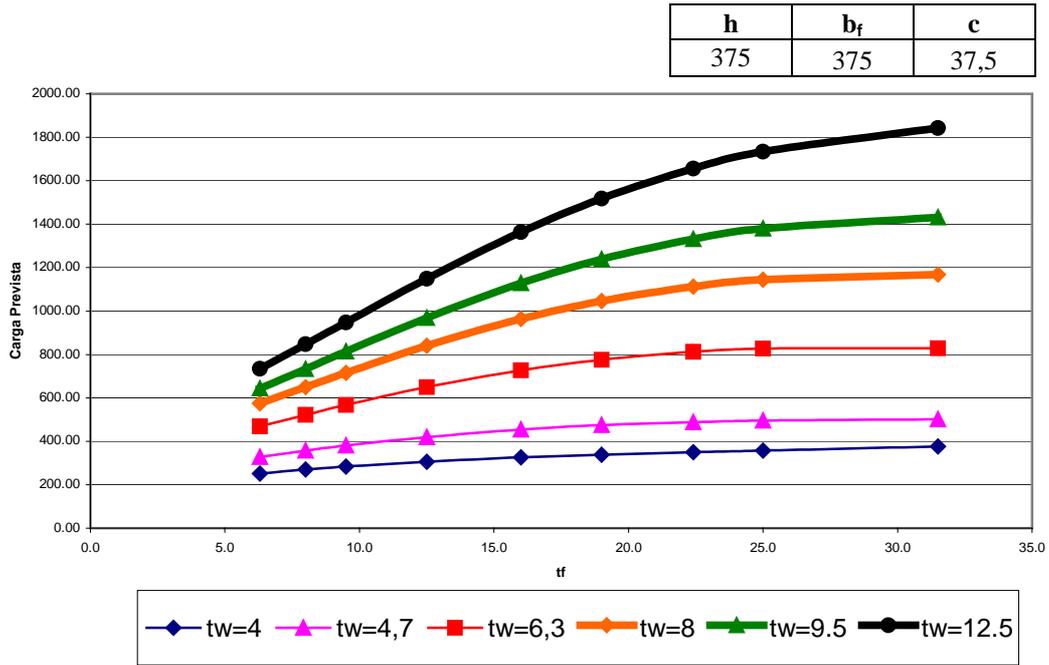


Figura 6.5 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes espessuras de alma – análise 3.

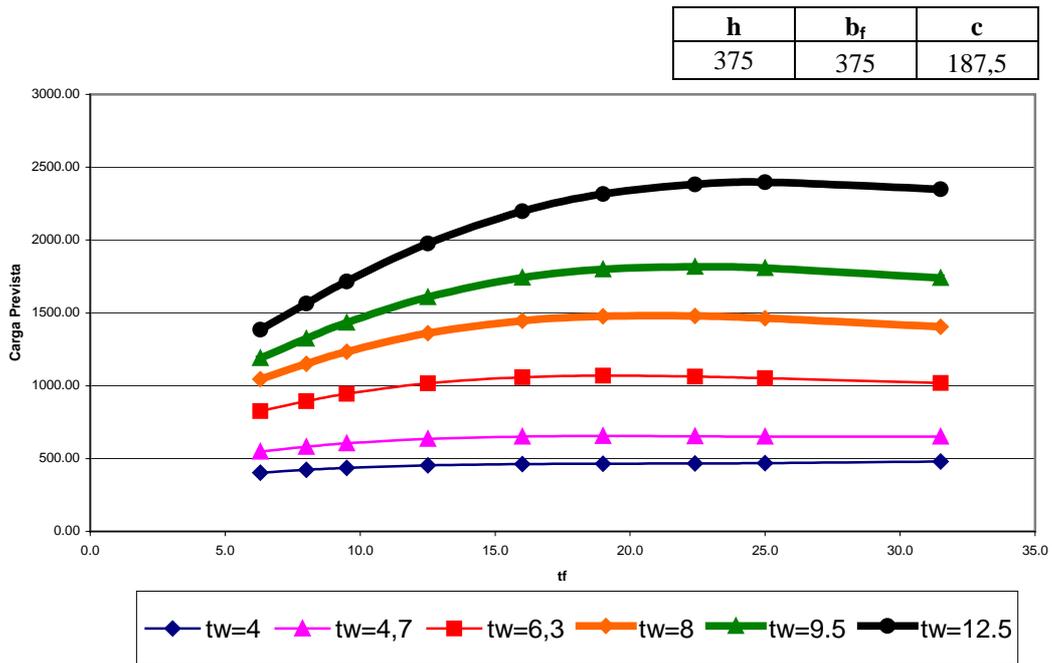


Figura 6.6 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes espessuras de alma – análise 4.

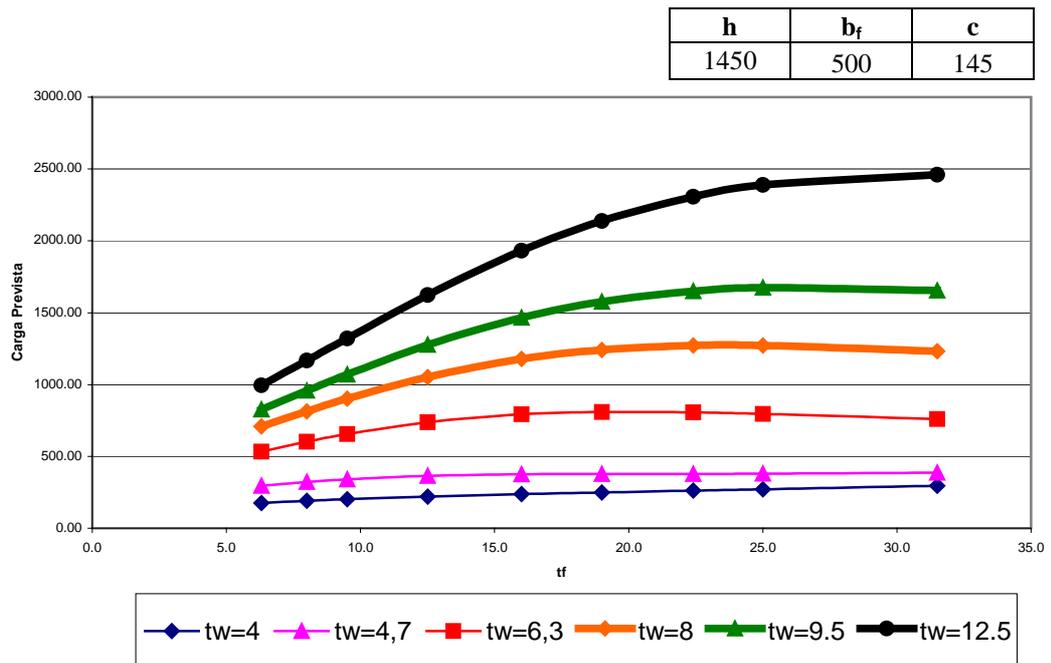


Figura 6.7 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes espessuras de alma – análise 5.

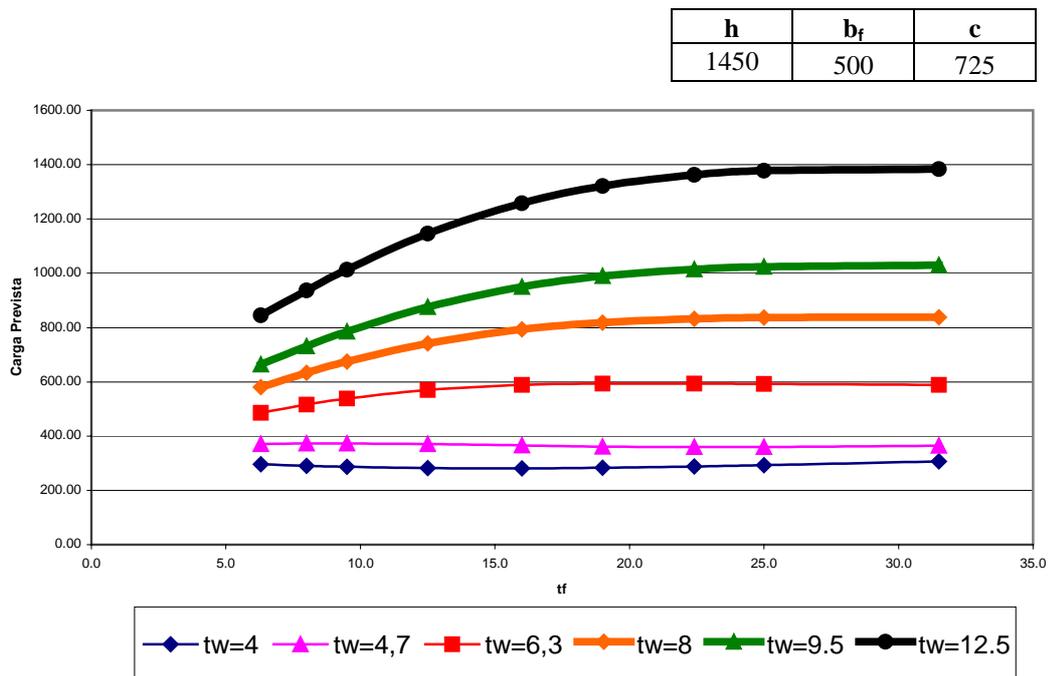


Figura 6.8 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes espessuras de alma – análise 6.

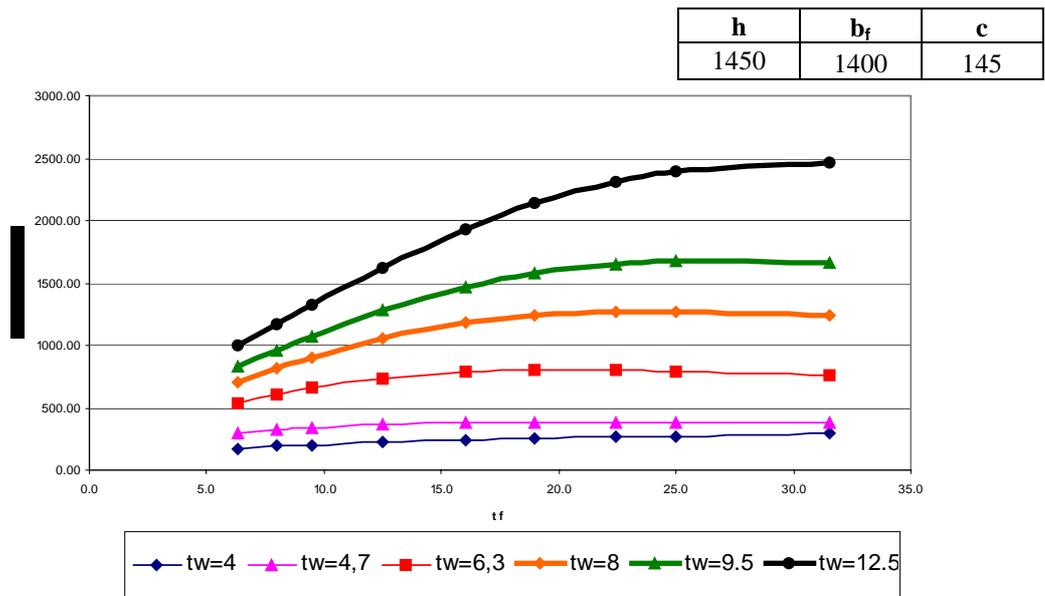


Figura 6.9 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes espessuras de alma – análise 7.

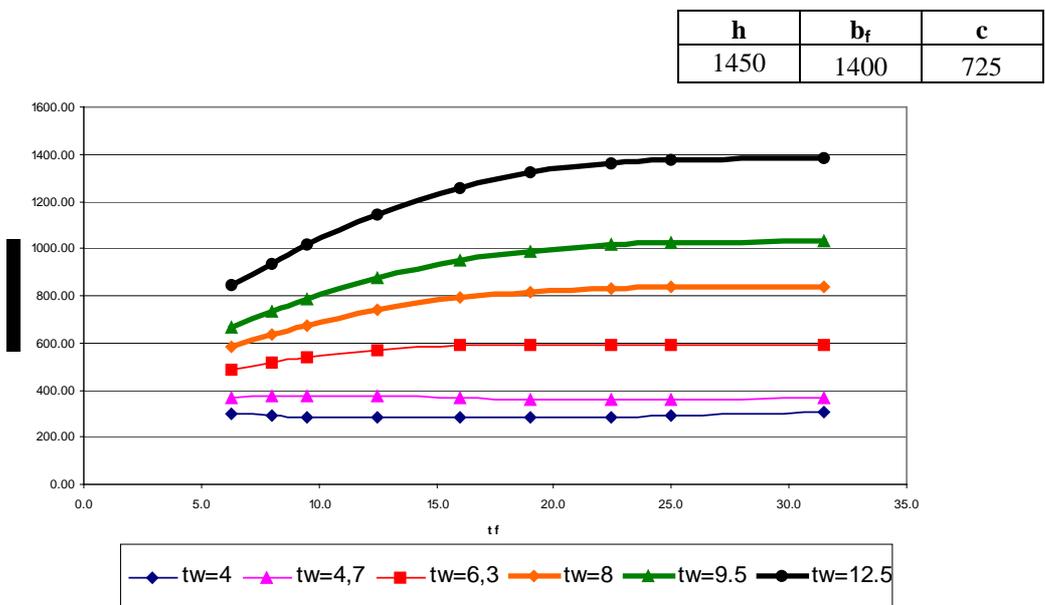


Figura 6.10 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes espessuras de alma – análise 8.

A espessura da mesa exerce uma grande influência na carga crítica das vigas com espessuras de alma maiores que 6,3mm. Também é possível verificar que a variação da carga crítica tende a diminuir para maiores espessuras de mesa. Nas vigas mais esbeltas e de almas mais finas (análises 5 a 8) a influência da espessura da mesa se mostra menor. As análises 1 e 3, únicas a apresentarem comportamento de plastificação para as almas mais espessas, conforme apresentado no capítulo anterior, mostram uma tendência da carga a continuar subindo com o aumento da espessura da mesa, enquanto que para os outros casos

a carga tende a se estabilizar a partir de valores mais significativos de espessura de mesa. No entanto, a influência da espessura da mesa está também relacionada a outros fatores, como o comprimento carregado ou o fator de forma do painel, que serão apresentados posteriormente.

Para avaliar a importância da mesa foi feito um estudo semelhante (Figura 6.11 a Figura 6.14), adotando os parâmetros apresentados na Tabela 5.3:

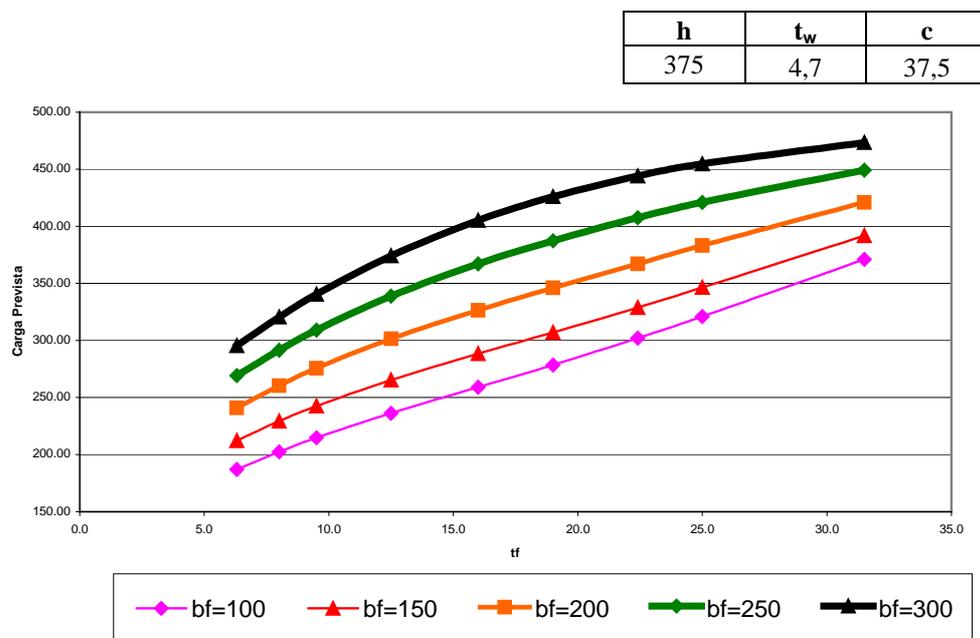


Figura 6.11 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes larguras de mesa – análise 1.

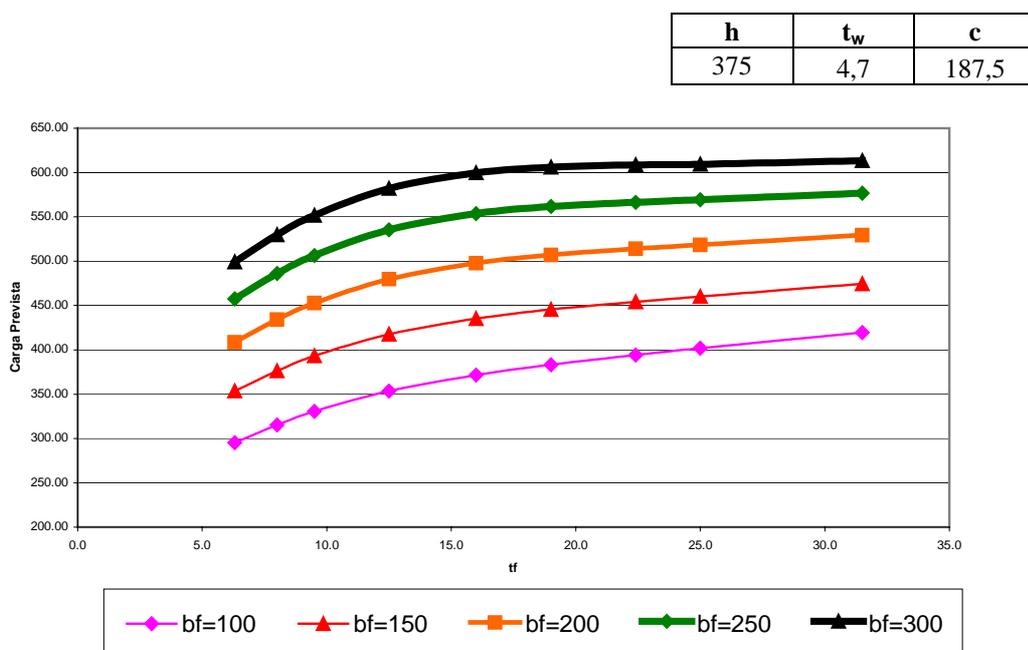


Figura 6.12 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes larguras de mesa – análise 2.

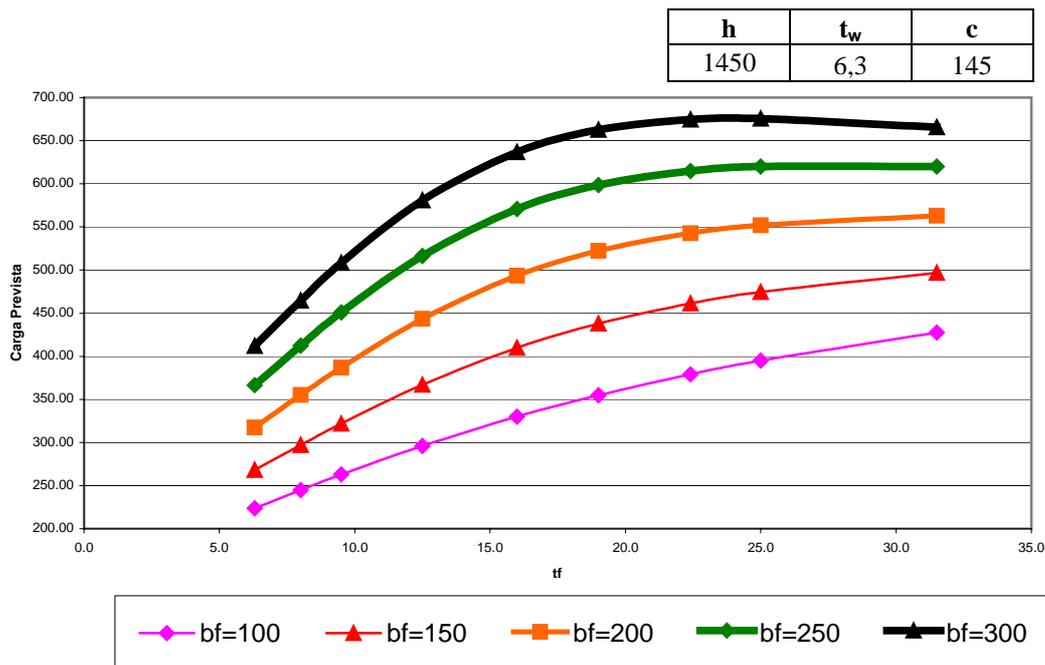


Figura 6.13 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes larguras de mesa – análise 3.

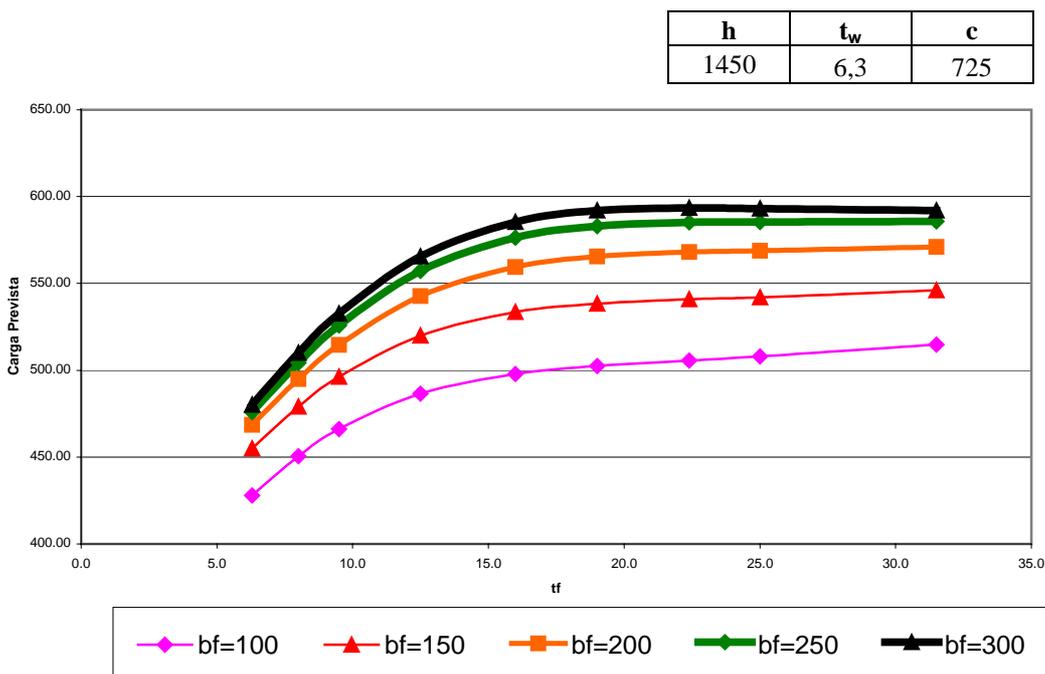


Figura 6.14 – Variação da Carga em função da Espessura da Mesa para diferentes larguras de mesa – análise 4.

Este estudo mostra que um aumento na largura da mesa aumenta ligeiramente a carga crítica das vigas. Também é possível observar que o comportamento do gráfico é mais linear nos casos de plastificação (análise 1) e que a variação da carga em função da espessura da mesa tende a se estabilizar

para mesas mais espessas onde o comportamento predominante é o de flambagem (análises 2 a 4). Também se verifica que vigas com menores comprimentos carregados mostram um maior aumento da carga à medida que a espessura da mesa aumenta.

A próxima análise (Figura 6.15 a Figura 6.30) apresenta uma avaliação da importância da altura da alma. Os parâmetros são apresentados na Tabela 5.4.

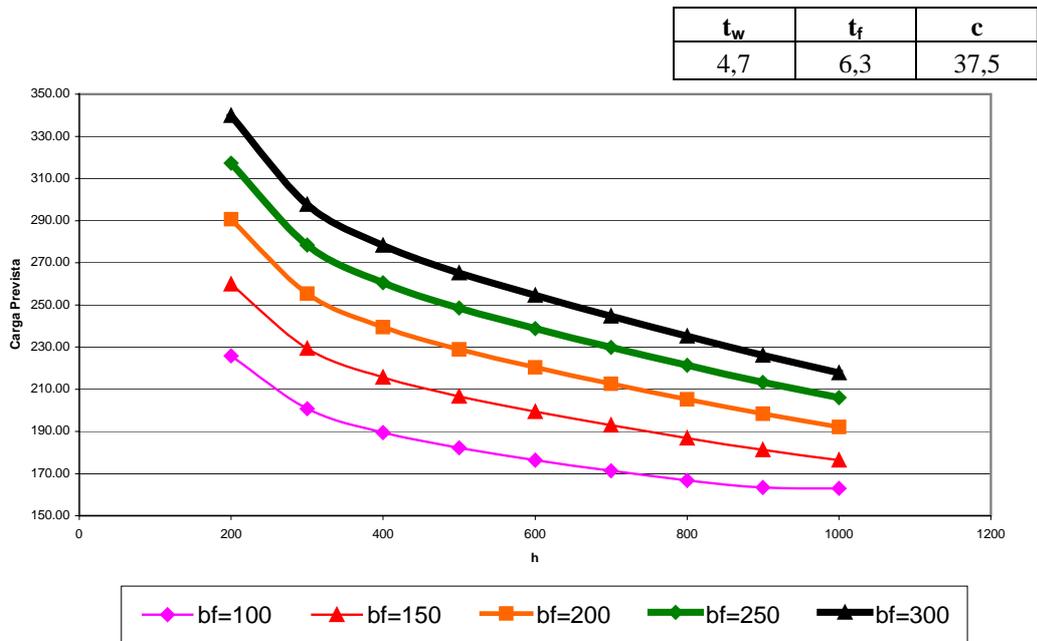


Figura 6.15 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 1.

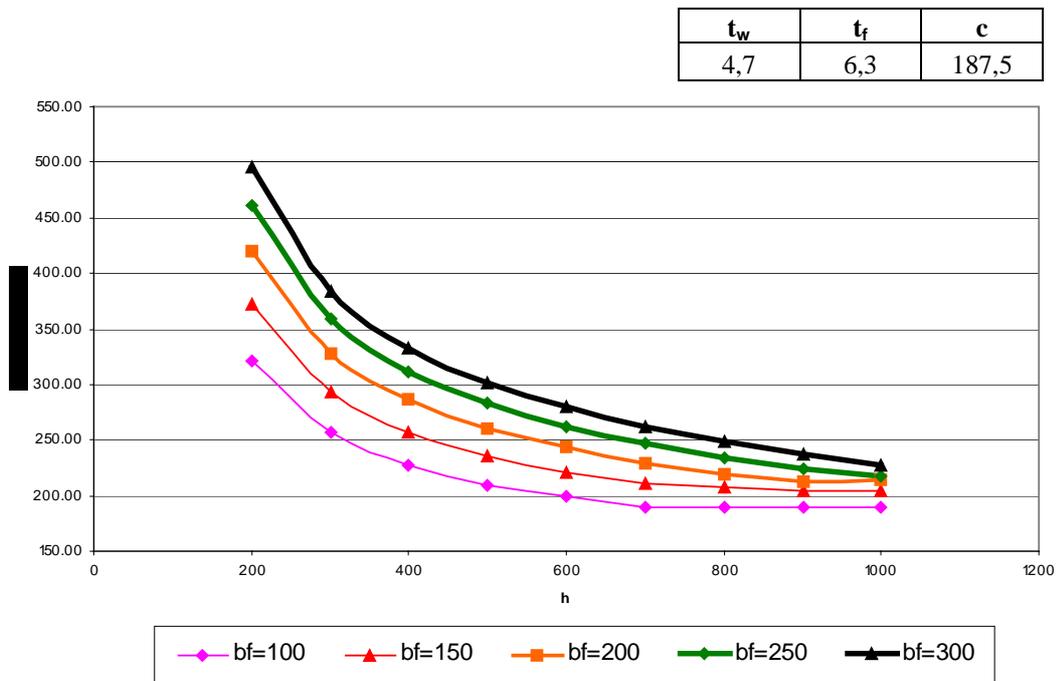


Figura 6.16 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 2.

t_w	t_f	c
4,7	16	37,5

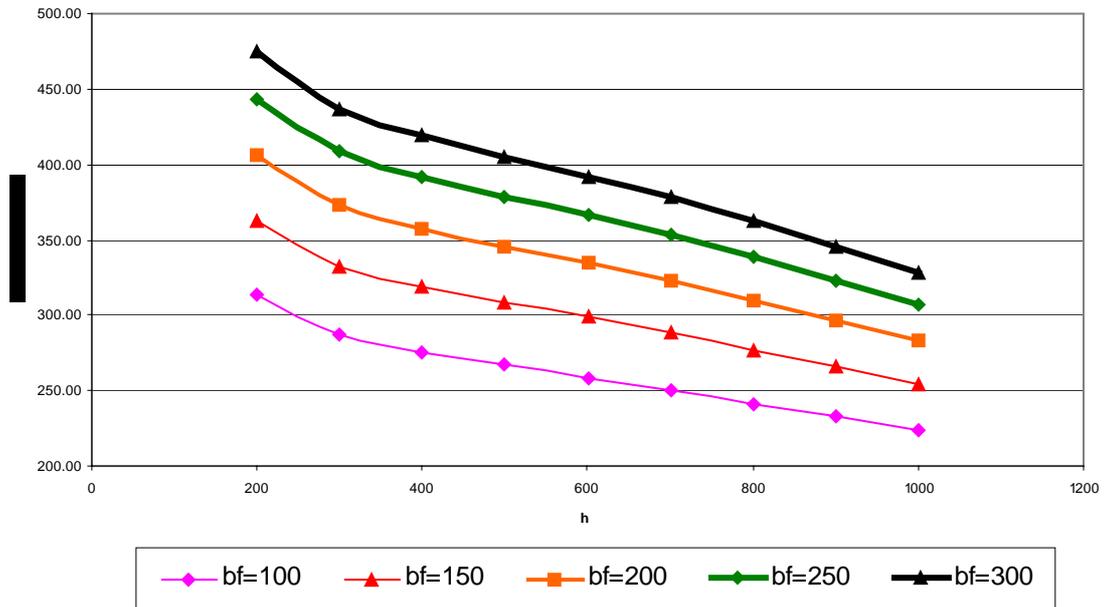


Figura 6.17 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 3.

t_w	t_f	c
4,7	16	187,5

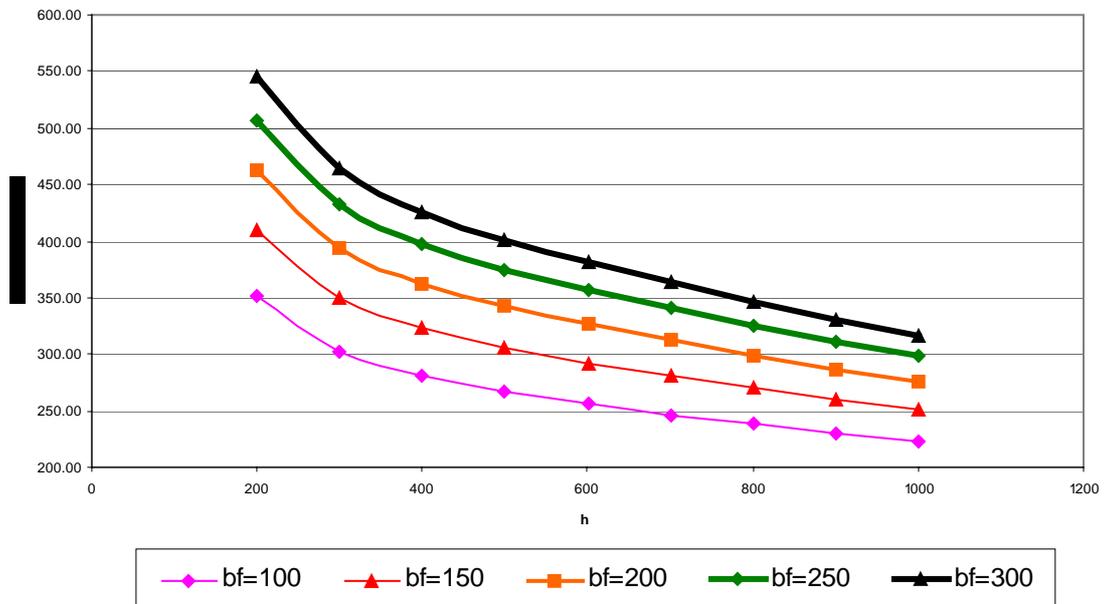


Figura 6.18 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 4.

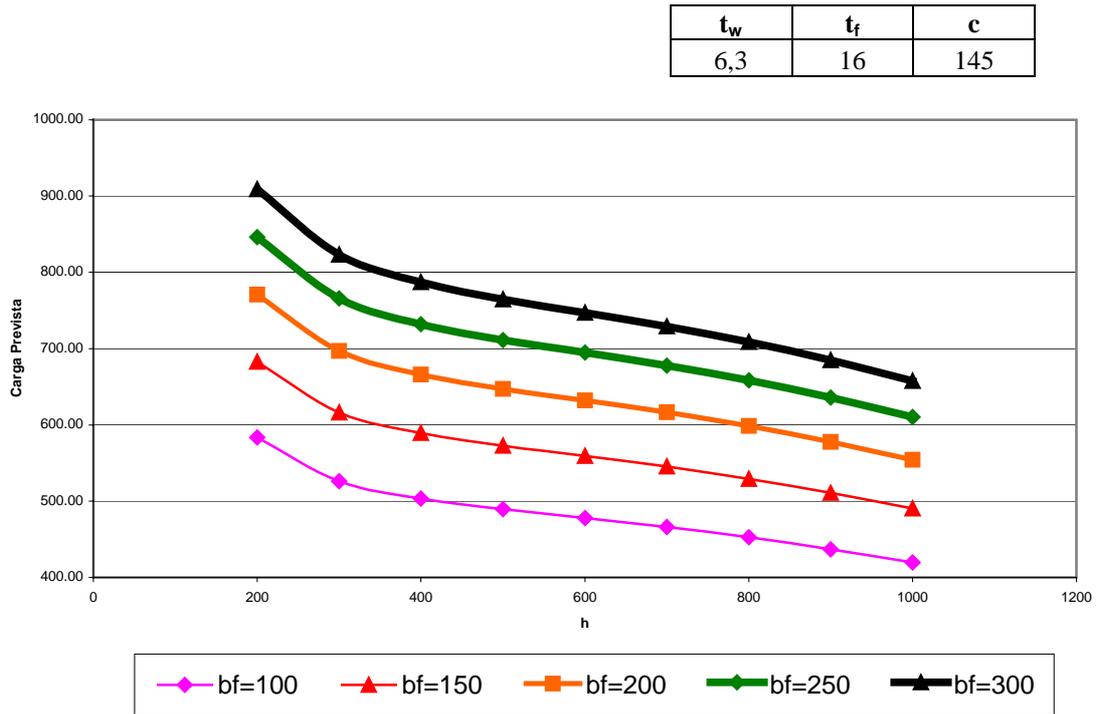


Figura 6.19 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 5.

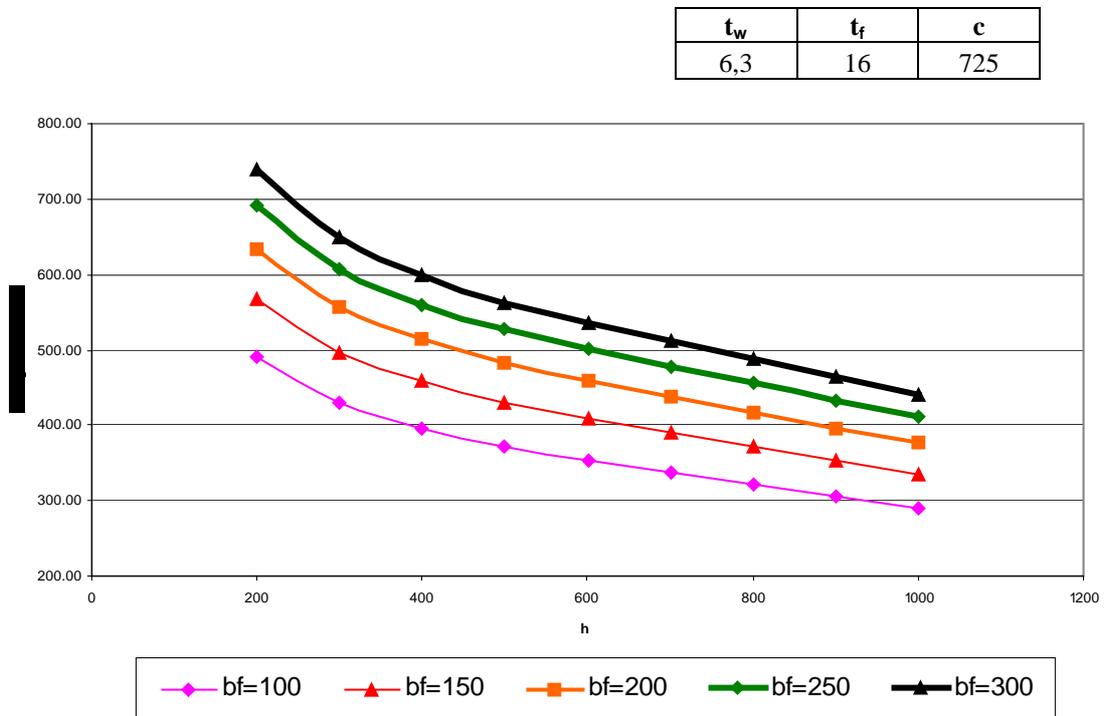


Figura 6.20 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 6.

t_w	t_f	c
6,3	32,5	145

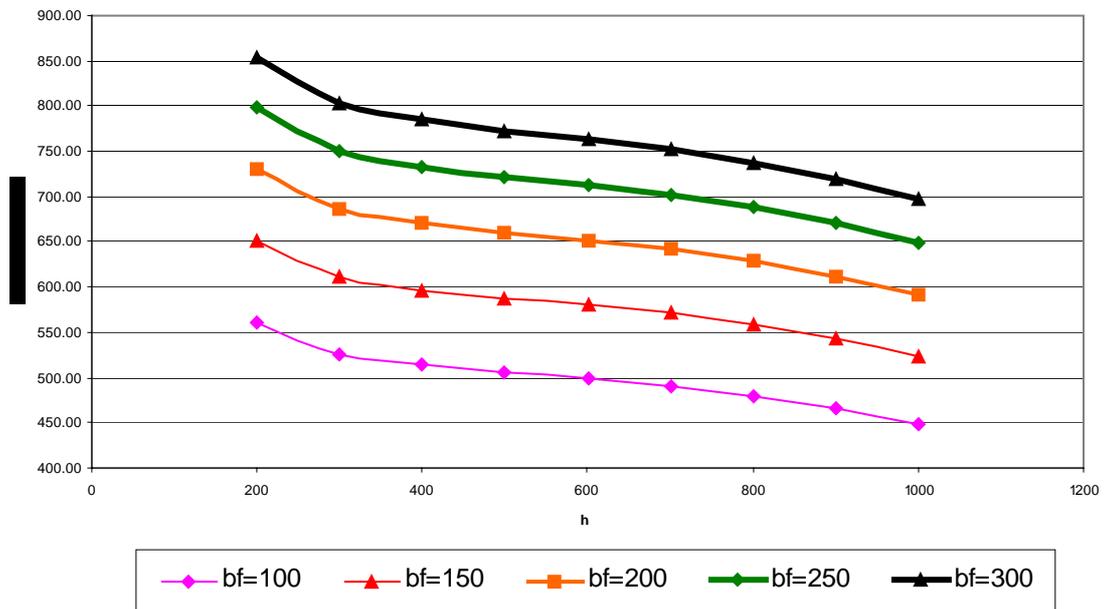


Figura 6.21 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 7.

t_w	t_f	c
6,3	32,5	725

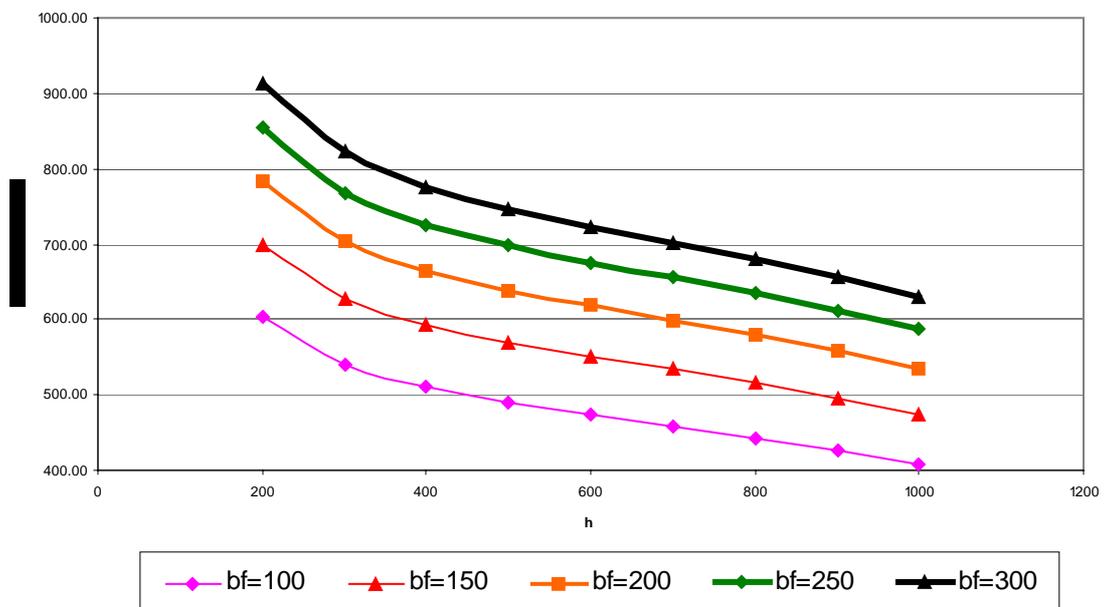


Figura 6.22 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 8.

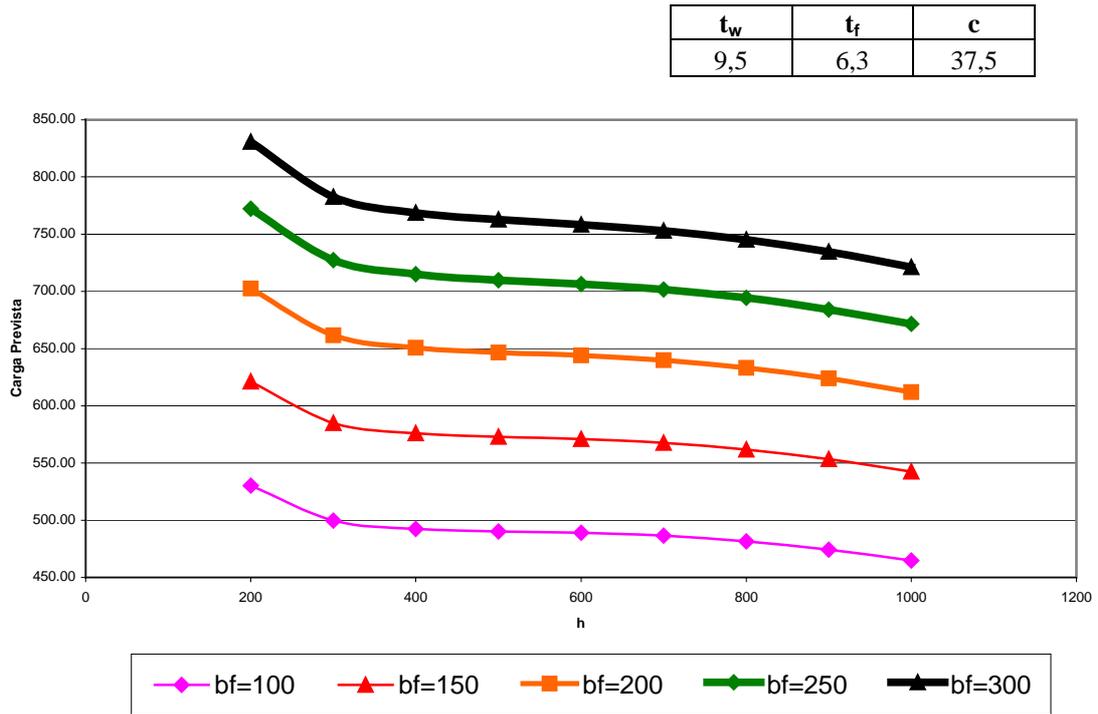


Figura 6.23 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 9.

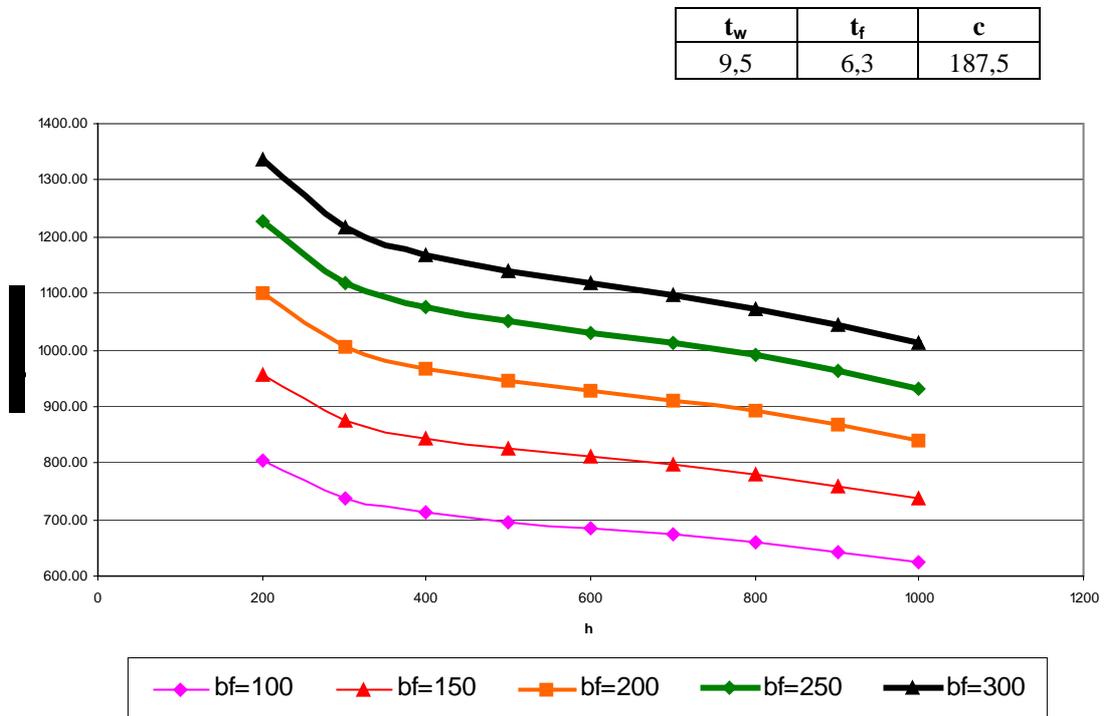


Figura 6.24 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 10.

t_w	t_f	c
9,5	16	37,5

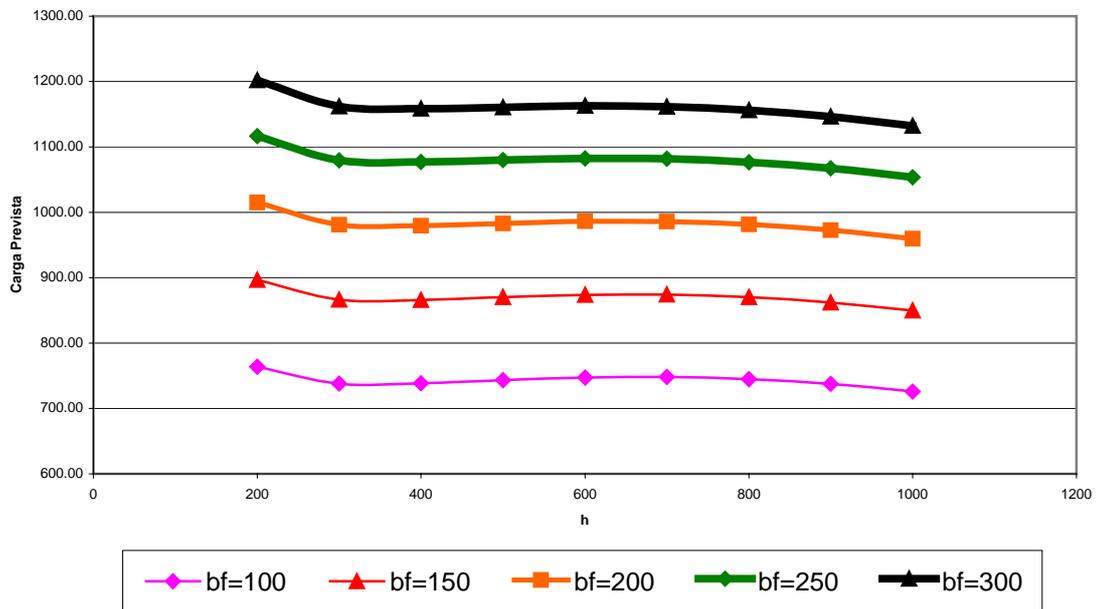


Figura 6.25 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 11.

t_w	t_f	c
9,5	16	187,5

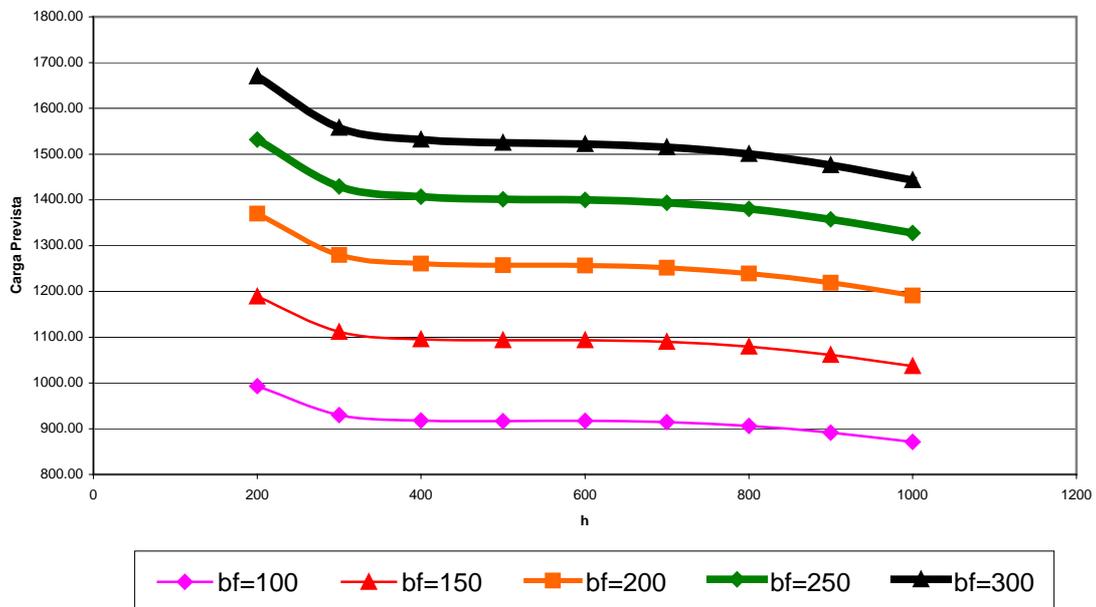


Figura 6.26 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 12.

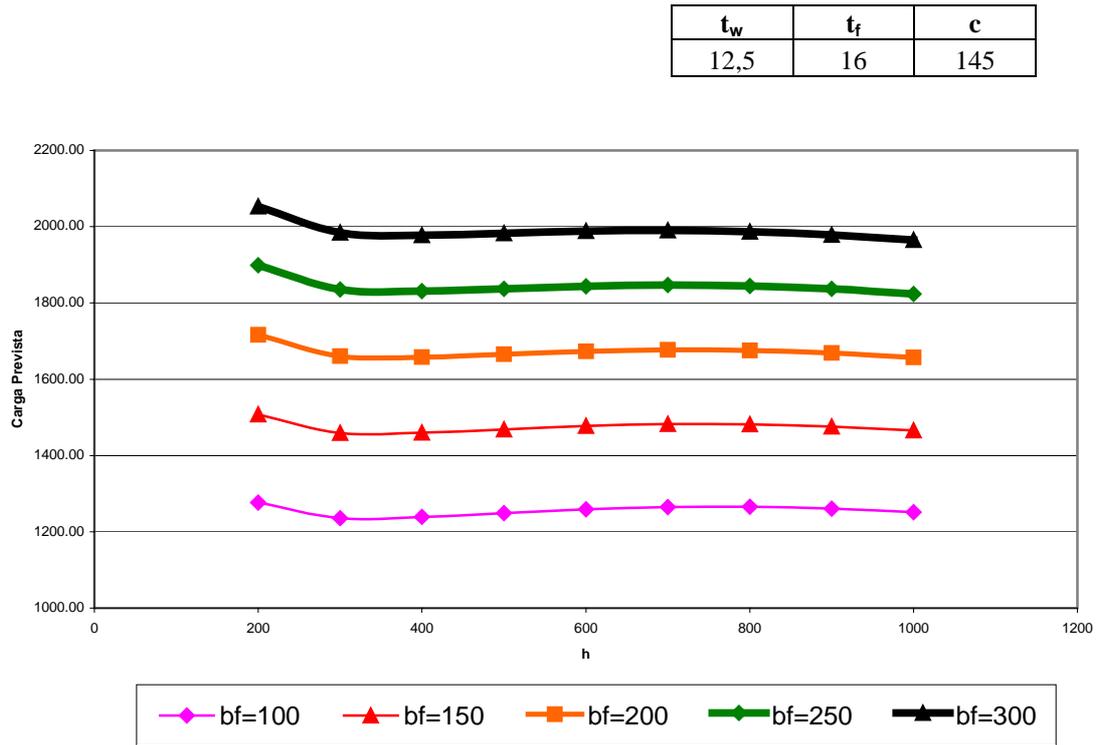


Figura 6.27 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 13.

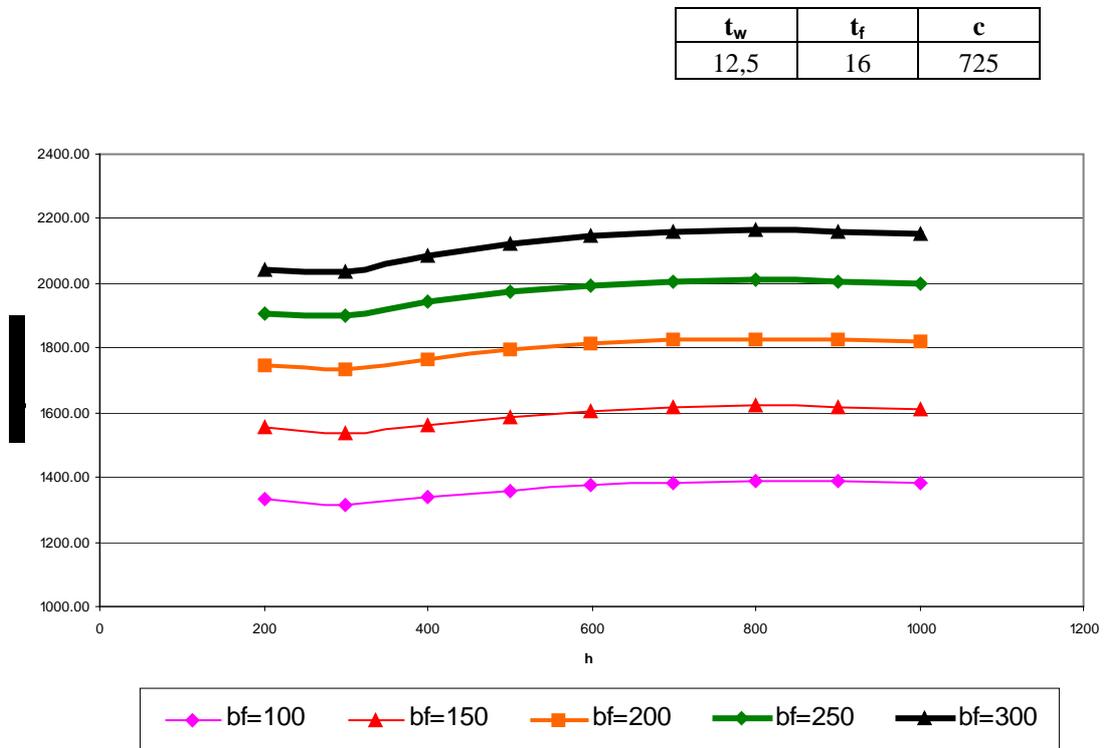


Figura 6.28 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 14.

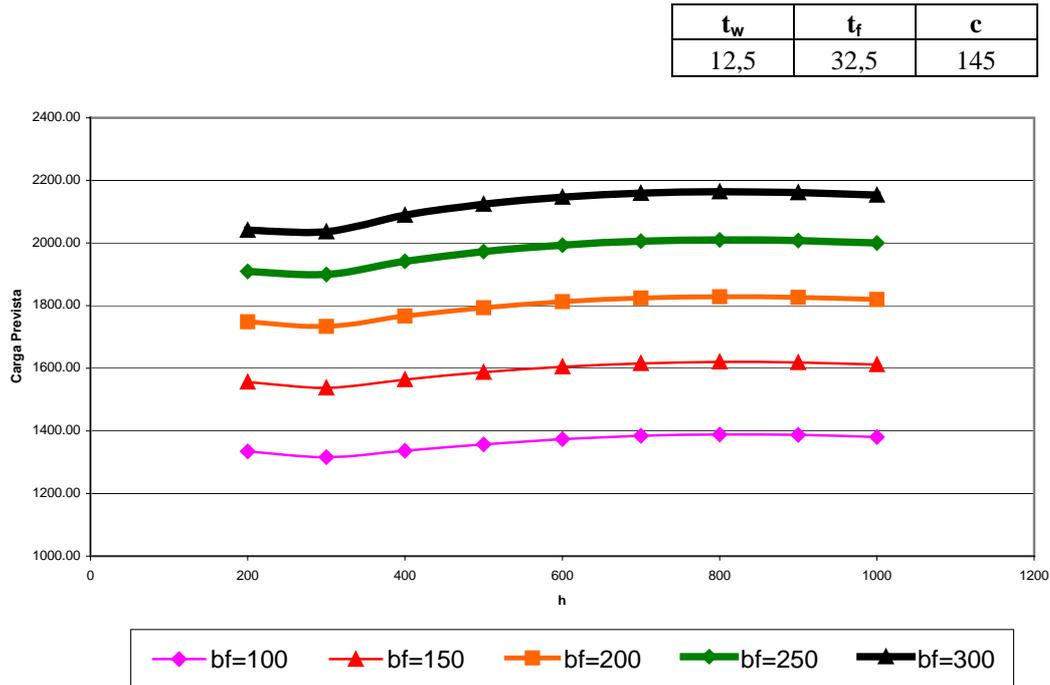


Figura 6.29 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 15.

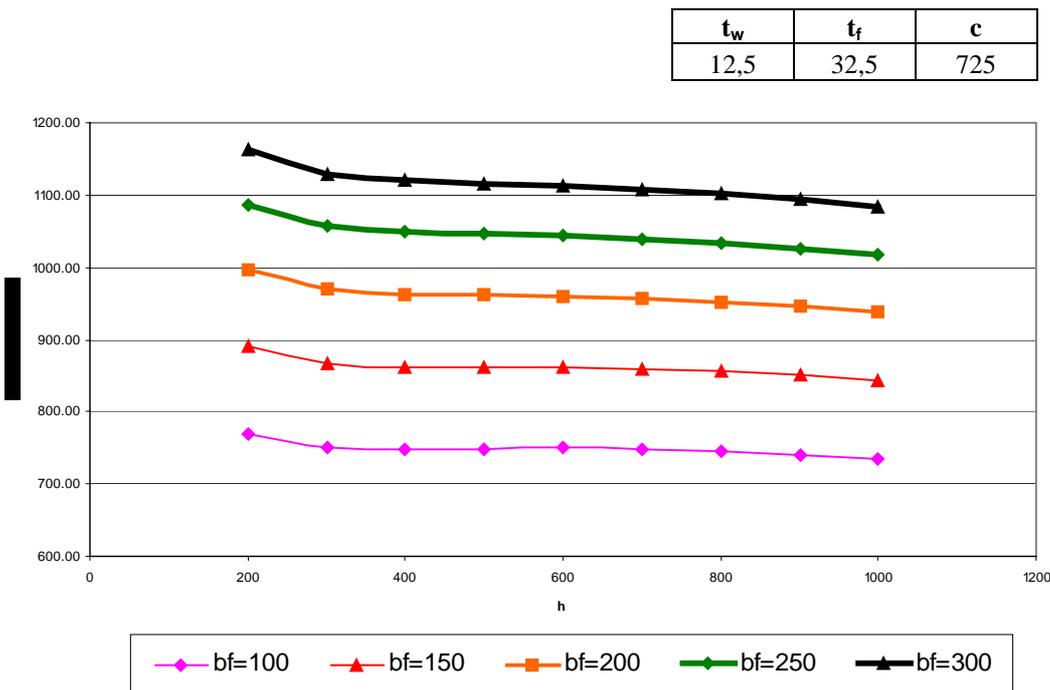


Figura 6.30 – Variação da Carga em função da Altura da alma para diferentes larguras de mesa – análise 16.

O aumento da altura da viga implica diretamente no aumento da esbeltez, mas também influi na redução do fator de forma do painel de alma (a/h) e da relação entre o comprimento carregado e a altura (c/h), ocasionando grandes variações no fenômeno físico, conforme apresentado no capítulo anterior. Isso

pode explicar a não-linearidade do decréscimo da carga em função do aumento da altura. Em vigas de alma mais fina, a carga diminui com o aumento da altura, no entanto, em vigas de alma e mesas mais espessas, o aumento da altura aumenta o momento de inércia e com isso a carga crítica. A influência isolada do fator de forma na carga crítica é apresentada a seguir (Figura 6.31 a Figura 6.38). Os valores adotados para os parâmetros foram apresentados na Tabela 5.5:

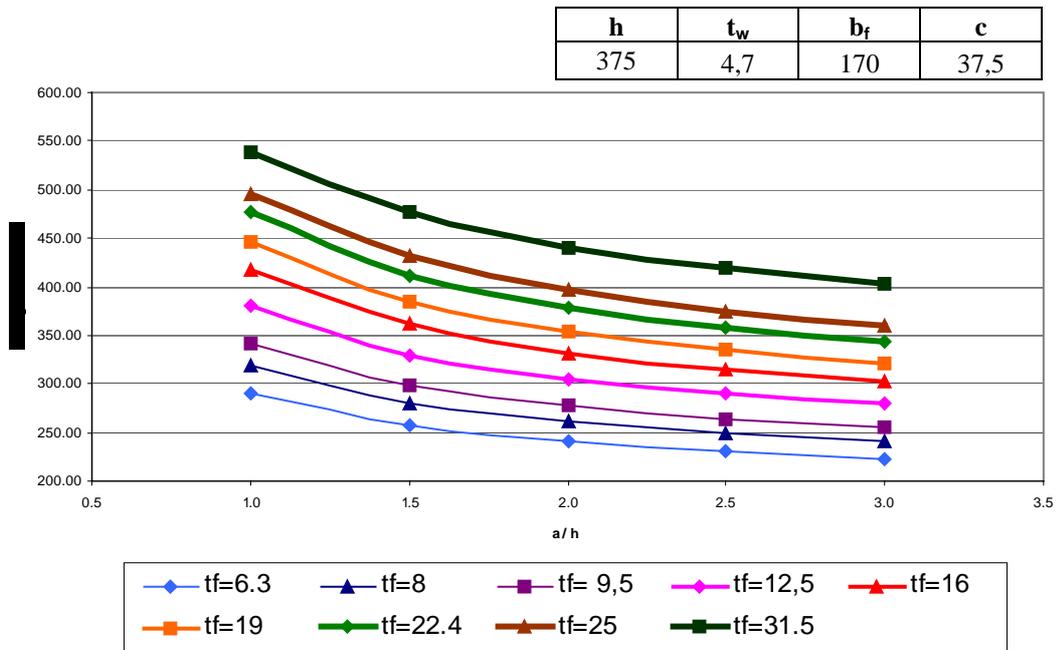


Figura 6.31 – Variação da Carga em função do fator de forma do painel de alma para diferentes espessuras de mesa – análise 1.

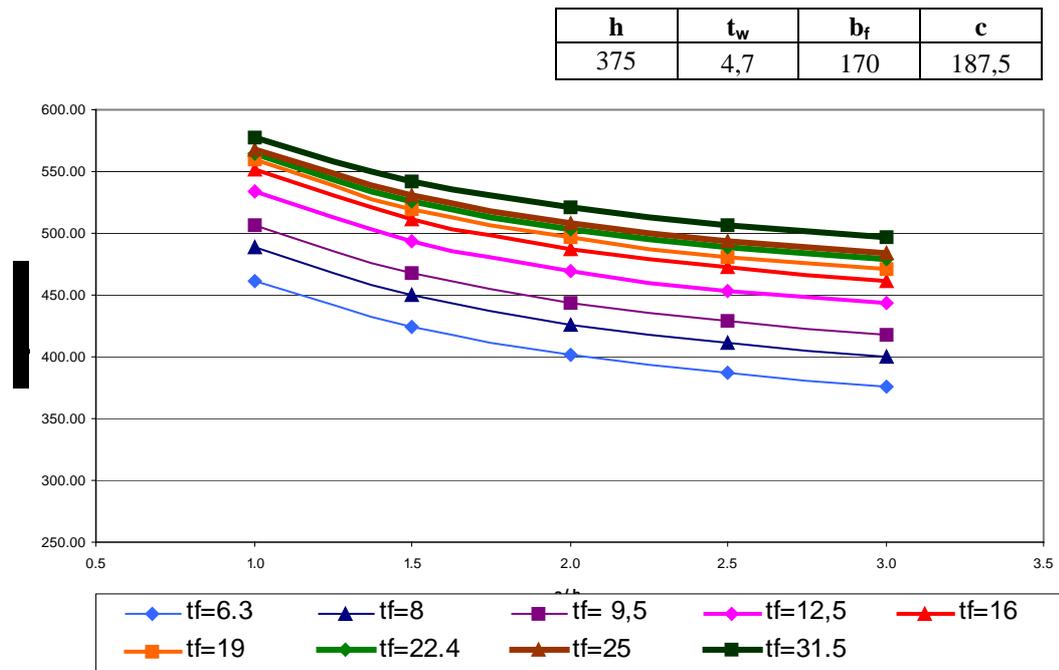


Figura 6.32 – Variação da Carga em função do fator de forma do painel de alma para diferentes espessuras de mesa – análise 2.

h	t _w	b _f	c
375	9,5	170	37,5

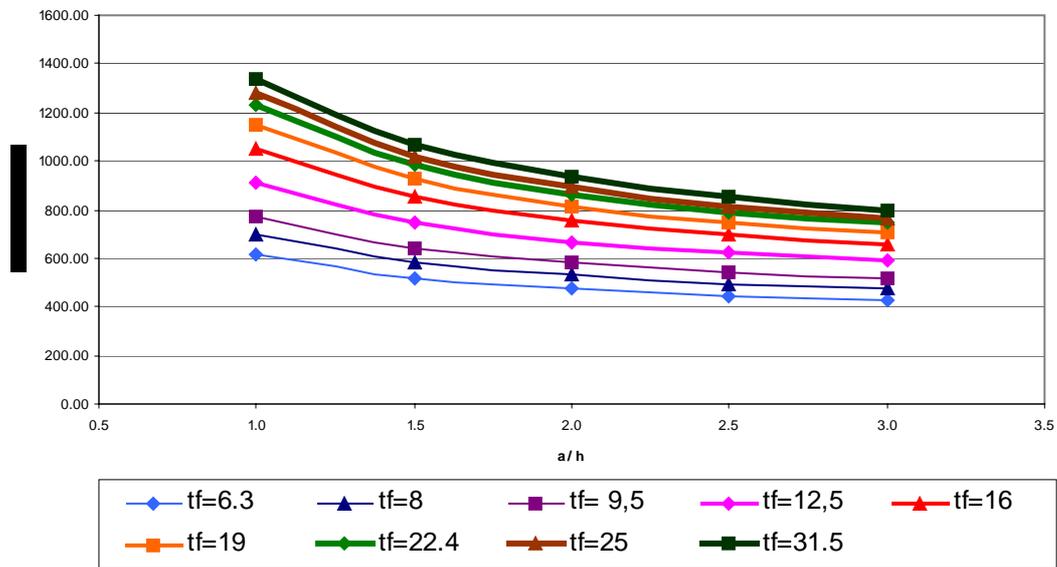


Figura 6.33 – Variação da Carga em função do fator de forma do painel de alma para diferentes espessuras de mesa – análise 3.

h	t _w	b _f	c
375	9,5	170	187,5

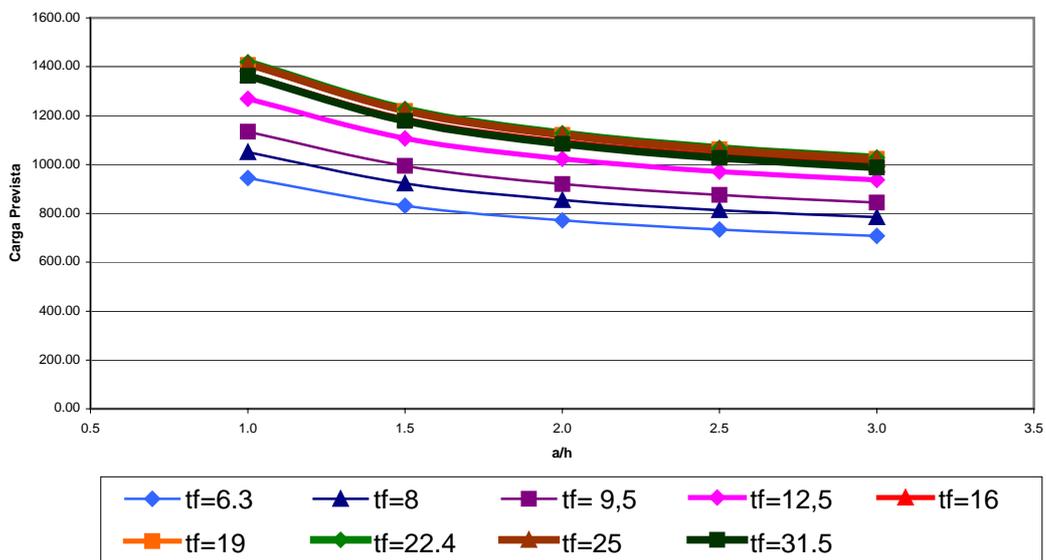


Figura 6.34 – Variação da Carga em função do fator de forma do painel de alma para diferentes espessuras de mesa – análise 4.

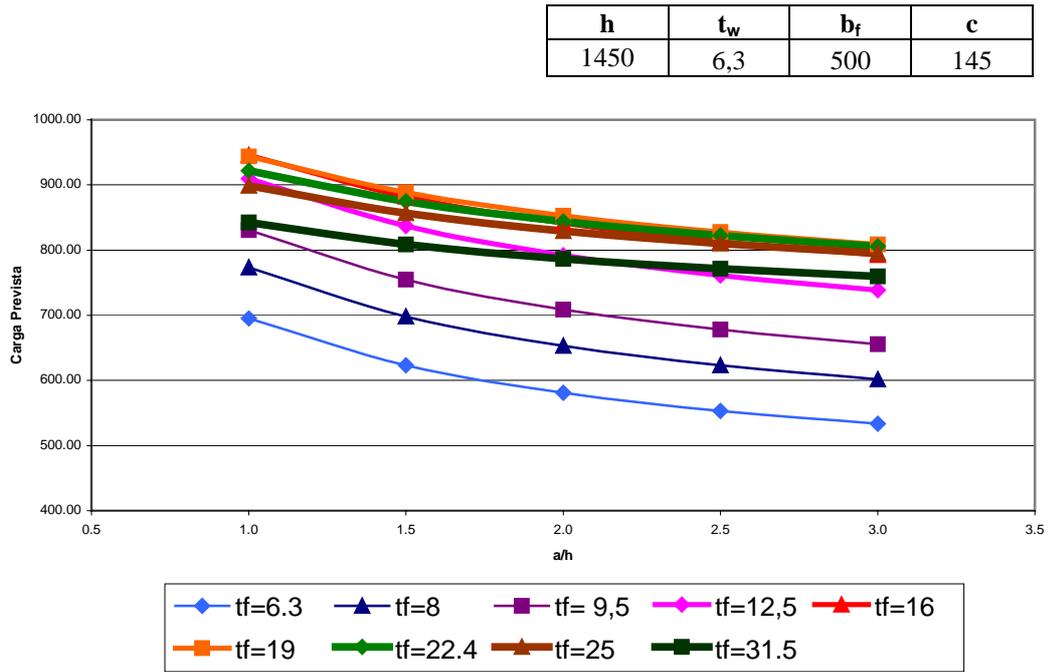


Figura 6.35 – Variação da Carga em função do fator de forma do painel de alma para diferentes espessuras de mesa – análise 5.

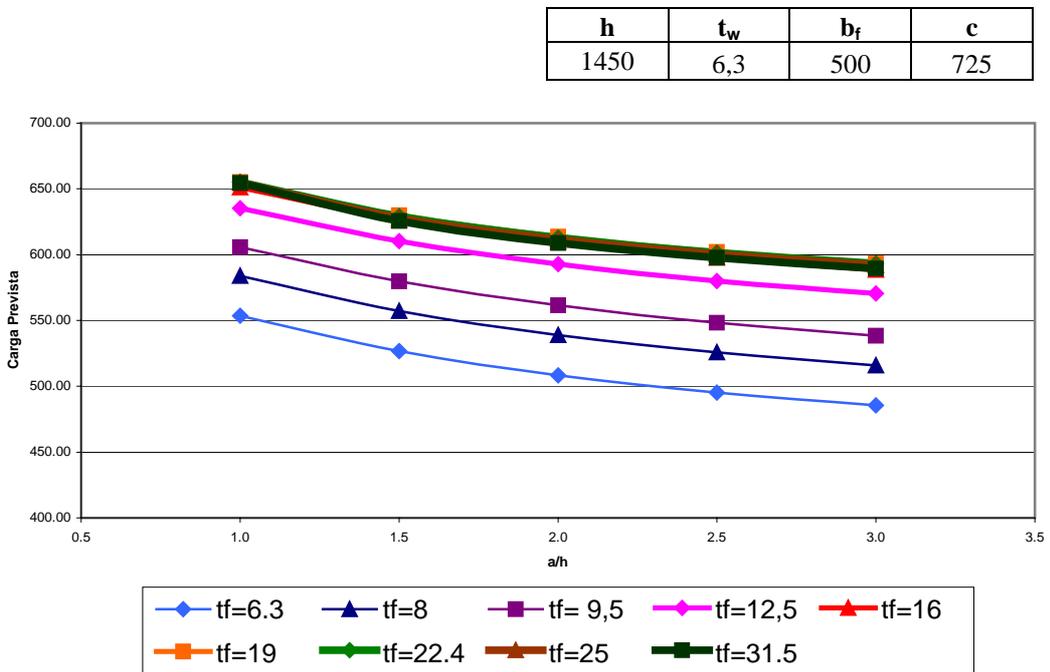


Figura 6.36 – Variação da Carga em função do fator de forma do painel de alma para diferentes espessuras de mesa – análise 6.

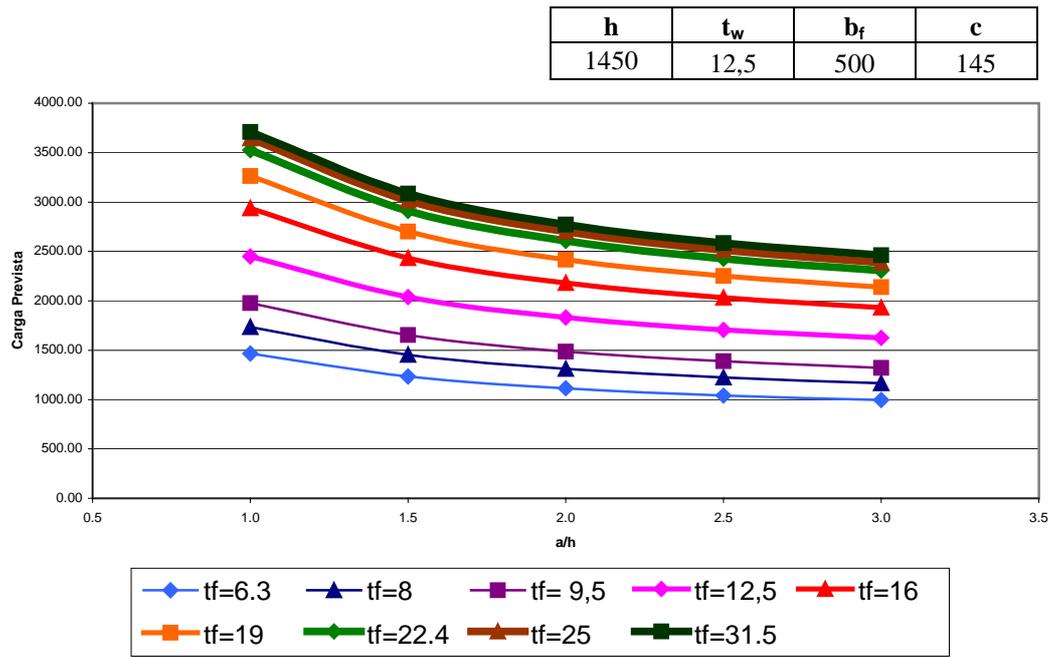


Figura 6.37 – Variação da Carga em função do fator de forma do painel de alma para diferentes espessuras de mesa – análise 7.

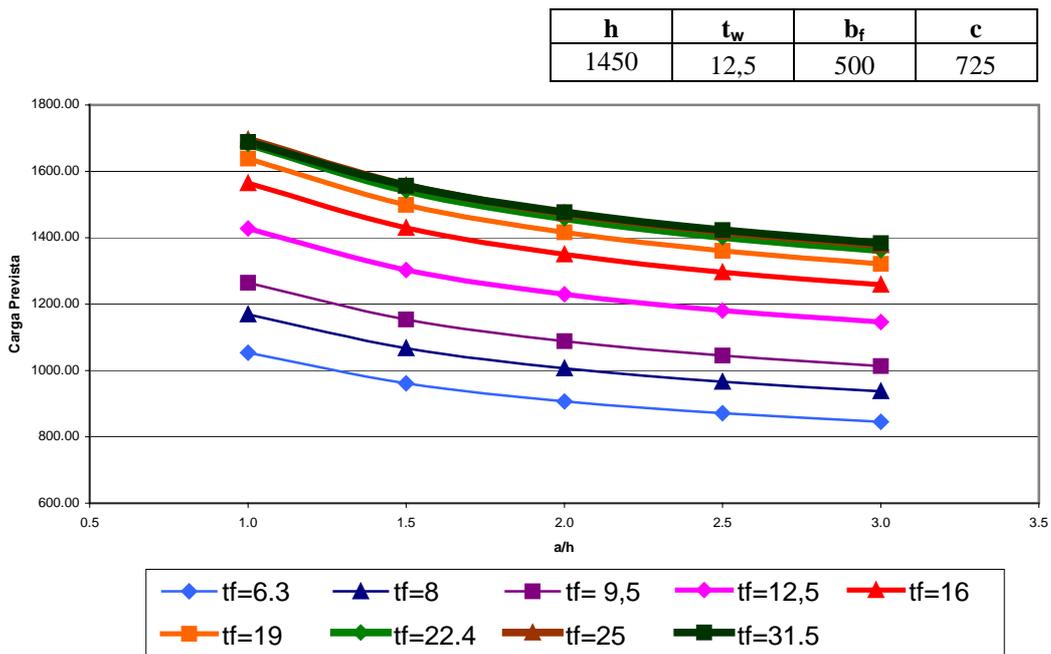


Figura 6.38 – Variação da Carga em função do fator de forma do painel de alma para diferentes espessuras de mesa – análise 8.

O aumento do fator de forma provoca uma pequena redução da carga crítica que tende a ser mais significativa para fatores de forma entre 1 e 2. A redução da carga em função da espessura da mesa, apresentada na análise 5, pode ser decorrente da pequena quantidade de dados experimentais com espessuras de

mesa maiores que 20 mm, no total de dez, dificultando a generalização da rede para dados desta ordem. Desta forma, foram retirados do Anexo D os perfis comerciais com mesas superiores a 20 mm.

Outro estudo (Figura 6.39 a Figura 6.42) avaliou os resultados da variação do comprimento carregado. A relação c/h variou de 0,1 a 0,5 para os parâmetros da Tabela 5.6:

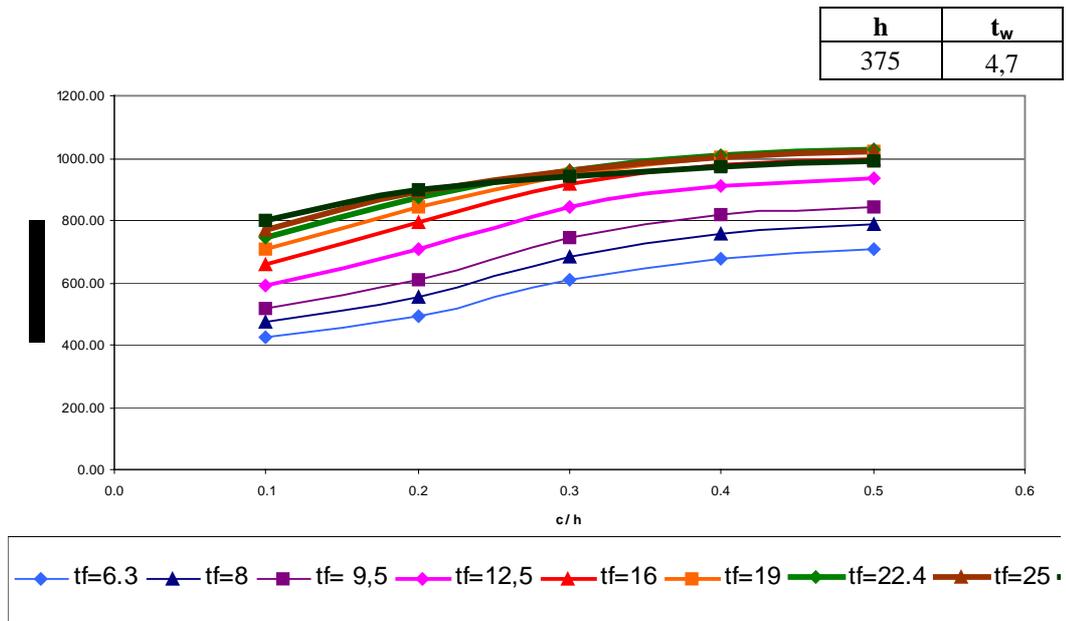


Figura 6.39 - Variação da Carga em função da relação c/h para diferentes espessuras de mesa – análise 1.

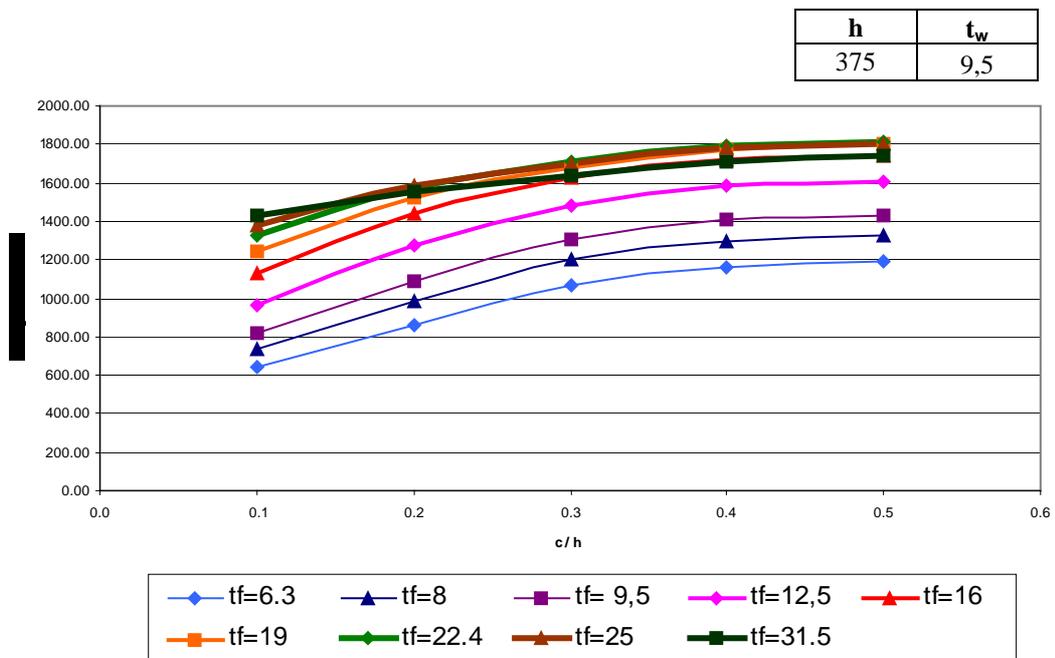


Figura 6.40 - Variação da Carga em função da relação c/h para diferentes espessuras de mesa – análise 2.

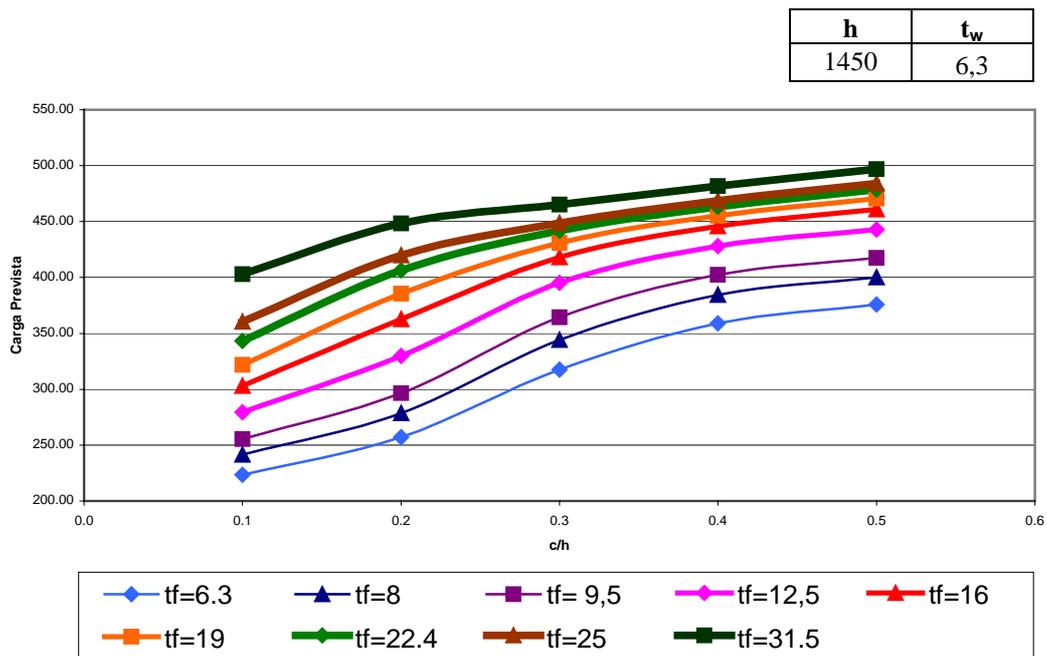


Figura 6.41 - Variação da Carga em função da relação c/h para diferentes espessuras de mesa – análise 3.

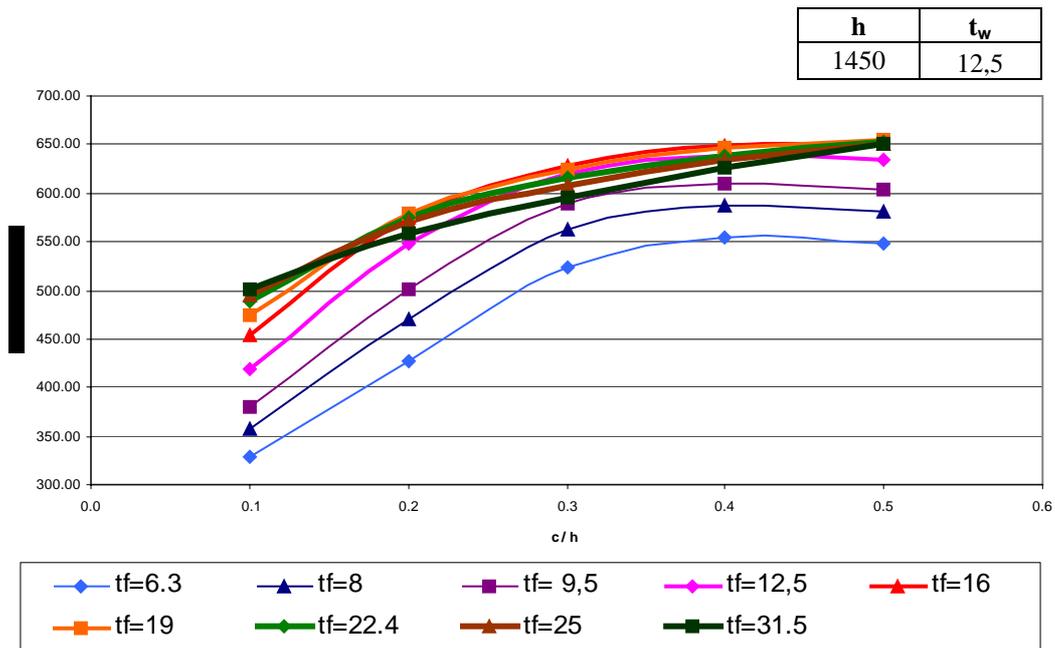


Figura 6.42 - Variação da Carga em função da relação c/h para diferentes espessuras de mesa – análise 4.

Este estudo mostra um aumento da carga em função do aumento do comprimento carregado, mais significativo para relações c/h menores. A redução da carga em função da espessura da mesa, apresentada nas análises 1, 2 e 4

também foi considerada decorrente da pequena quantidade de dados experimentais com espessuras de mesa maiores que 20 mm.

A relação entre o fator de forma e o comprimento carregado também foi avaliada (Figura 6.43 a Figura 6.50). A relação c/h variou de 0,1 a 0,5 e o fator de forma variou de 1 a 3 para os parâmetros apresentados na Tabela 5.7.

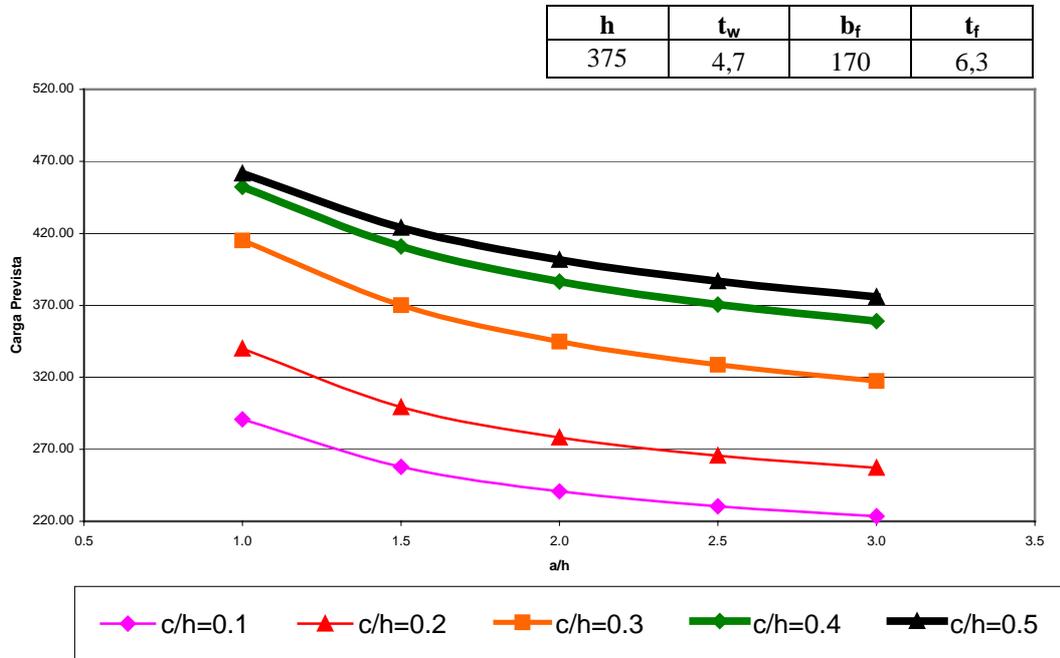


Figura 6.43 - Variação da Carga em função da relação a/h para diferentes comprimentos carregados – análise 1.

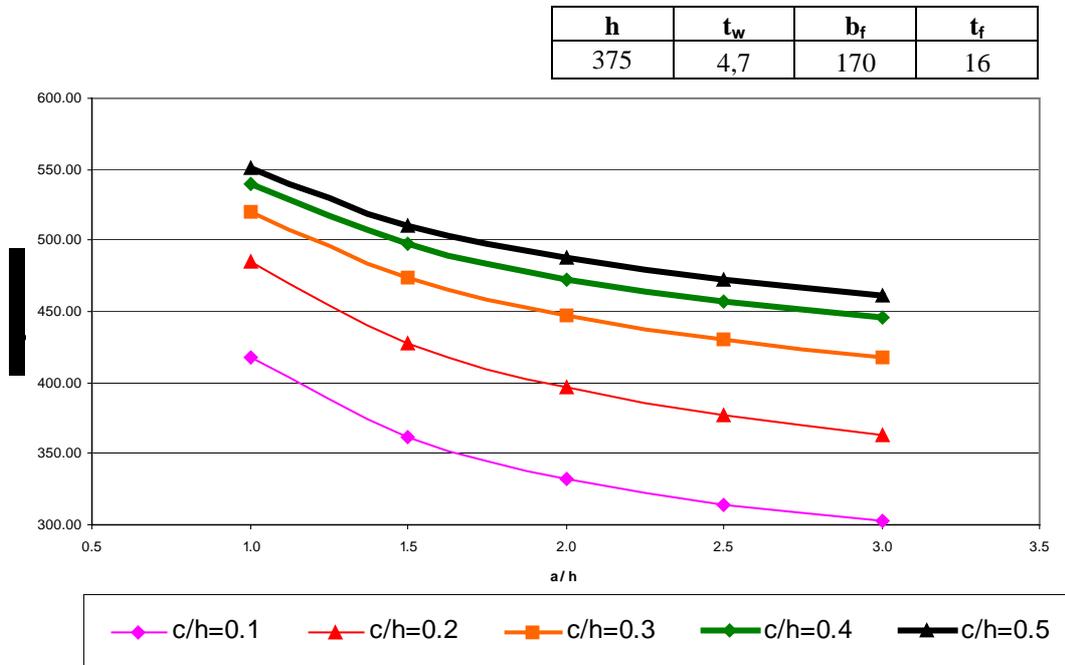


Figura 6.44 - Variação da Carga em função da relação a/h para diferentes comprimentos carregados – análise 2.

h	t_w	b_f	t_f
375	4,7	375	6,3

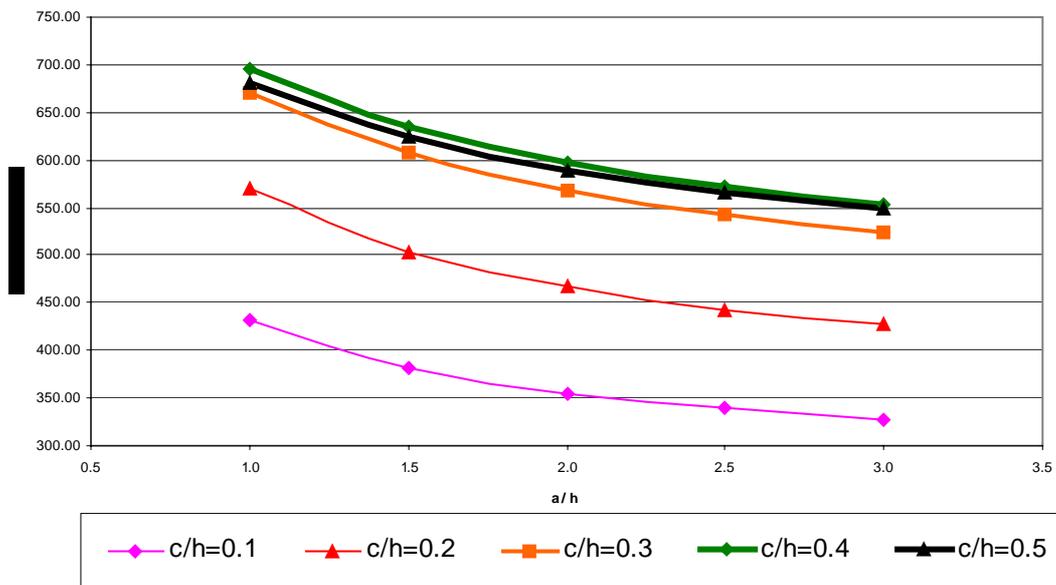


Figura 6.45 - Variação da Carga em função da relação a/h para diferentes comprimentos carregados – análise 3.

h	t_w	b_f	t_f
375	4,7	375	16

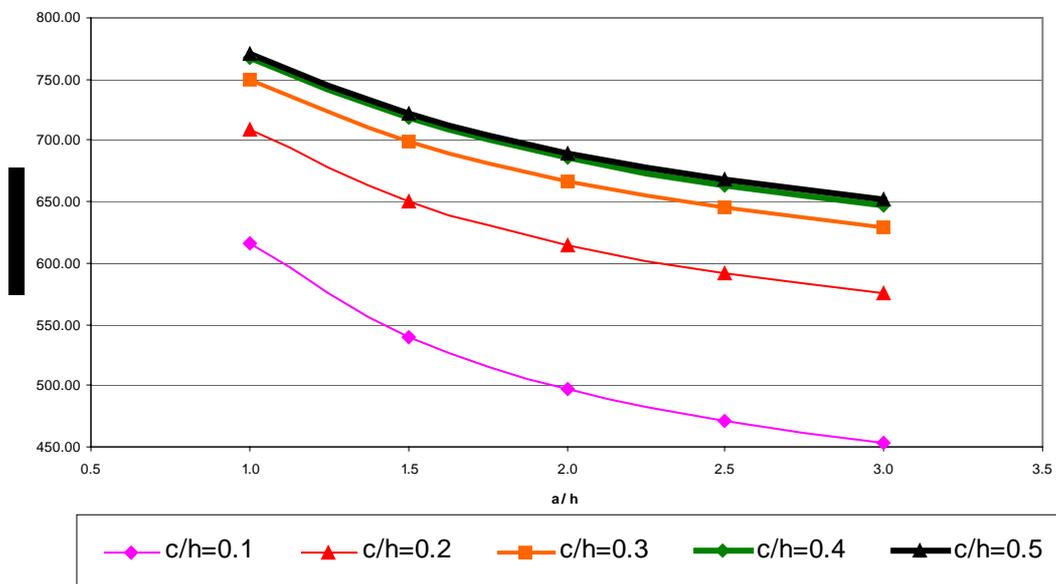


Figura 6.46 - Variação da Carga em função da relação a/h para diferentes comprimentos carregados – análise 4.

h	t _w	b _f	t _f
375	9,5	170	6,3

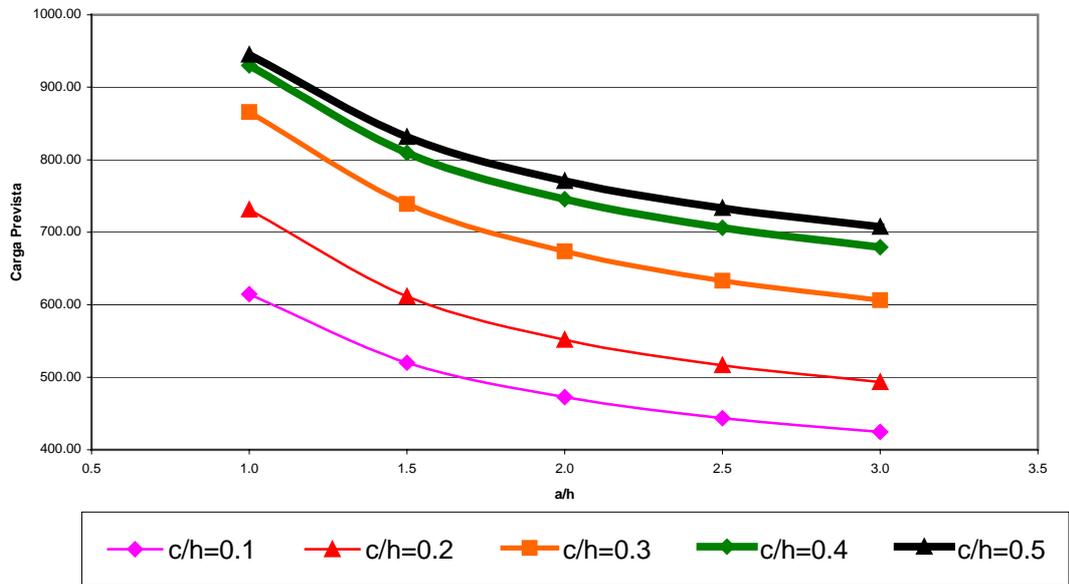


Figura 6.47 - Variação da Carga em função da relação a/h para diferentes comprimentos carregados – análise 5.

h	t _w	b _f	t _f
375	9,5	170	16

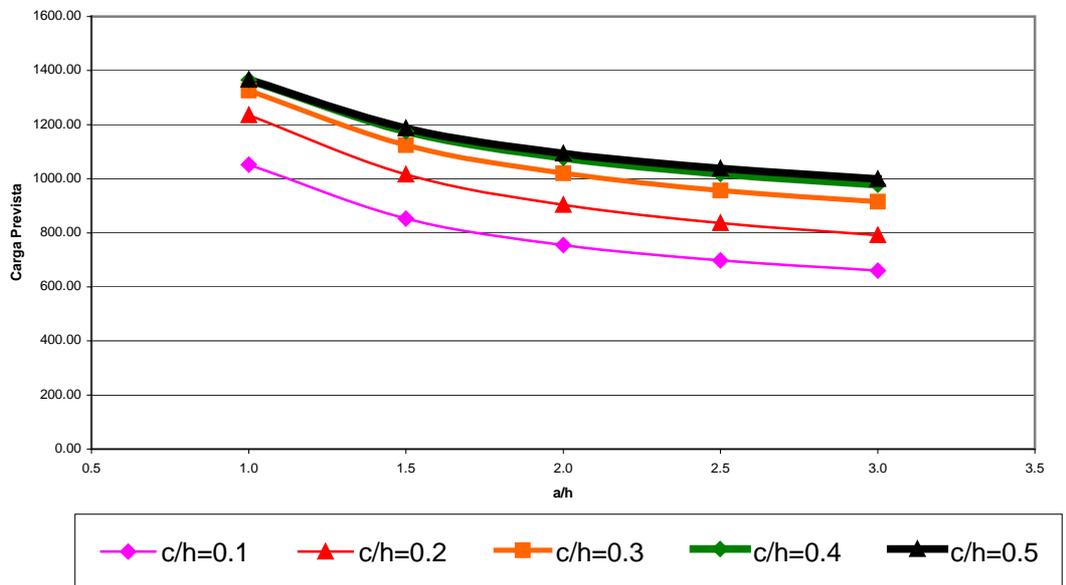


Figura 6.48 - Variação da Carga em função da relação a/h para diferentes comprimentos carregados – análise 6.

h	t_w	b_f	t_f
375	9,5	375	6,3

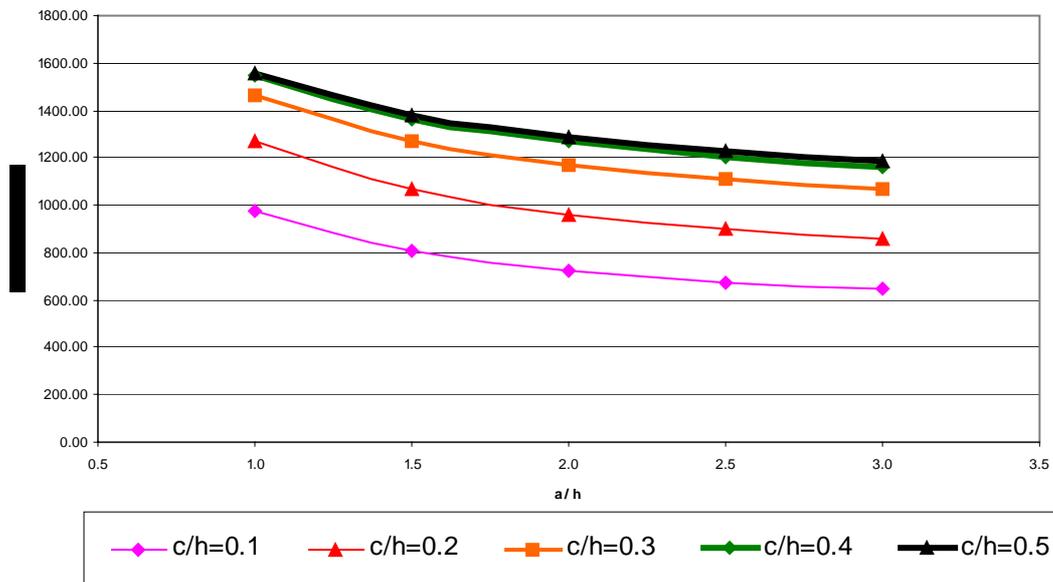


Figura 6.49 - Variação da Carga em função da relação a/h para diferentes comprimentos carregados – análise 7.

h	t_w	b_f	t_f
375	9,5	375	16

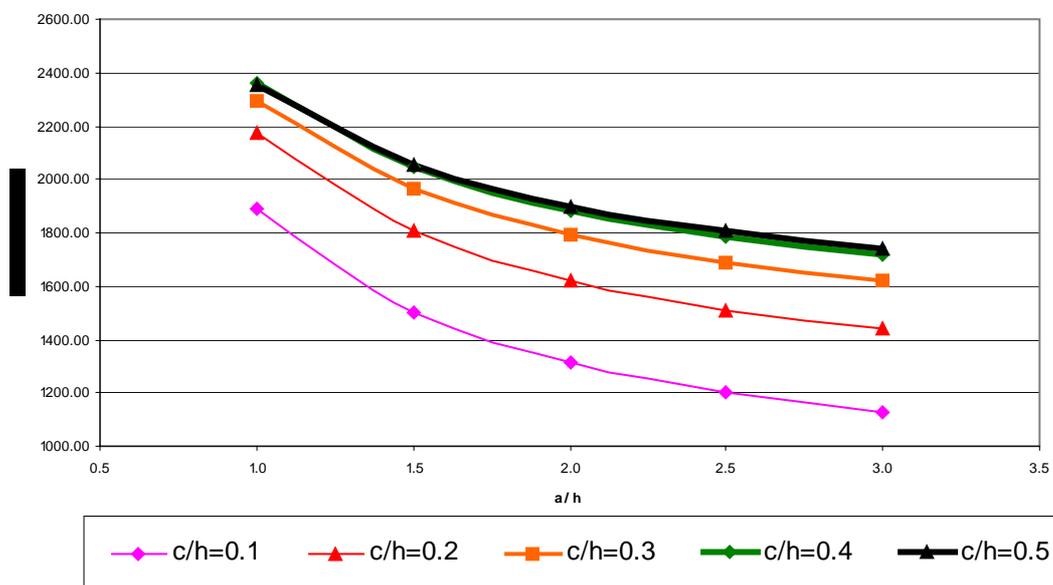


Figura 6.50 - Variação da Carga em função da relação a/h para diferentes comprimentos carregados – análise 8.

Em todas as análises, a variação da carga é mais significativa para comprimentos carregados menores e fatores de forma menores. O decréscimo da carga em função do aumento do fator de forma é mais acentuado para vigas de alma mais espessa e mesas mais flexíveis.

Alguns estudos adicionais foram realizados na análise paramétrica da carga, envolvendo as relações entra a espessura da alma e fatores como a altura da alma e o comprimento carregado. O primeiro, relacionando a altura e a espessura da alma, é apresentado a seguir (Figura 6.51 a Figura 6.58).

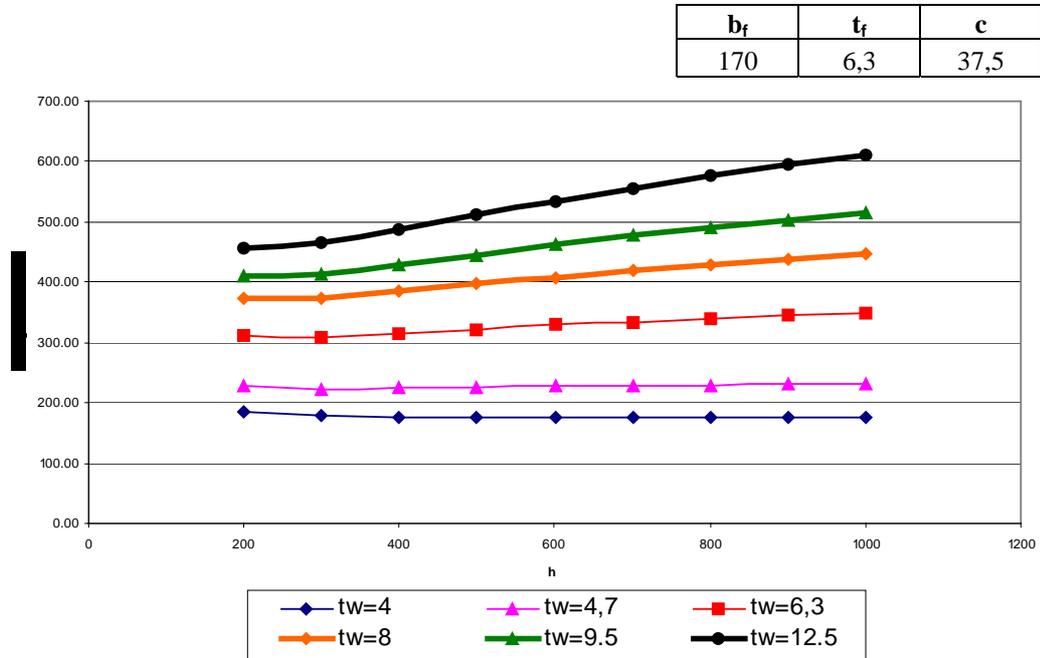


Figura 6.51 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de alma – análise 1.

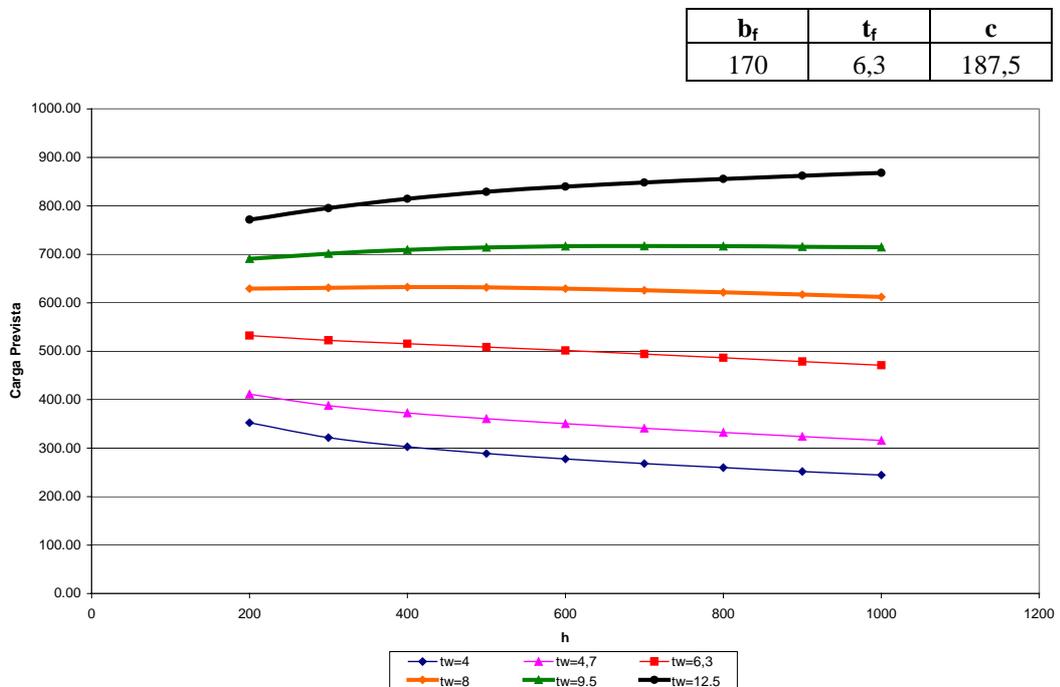


Figura 6.52 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de alma – análise 2.

b_f	t_f	c
170	16	37,5

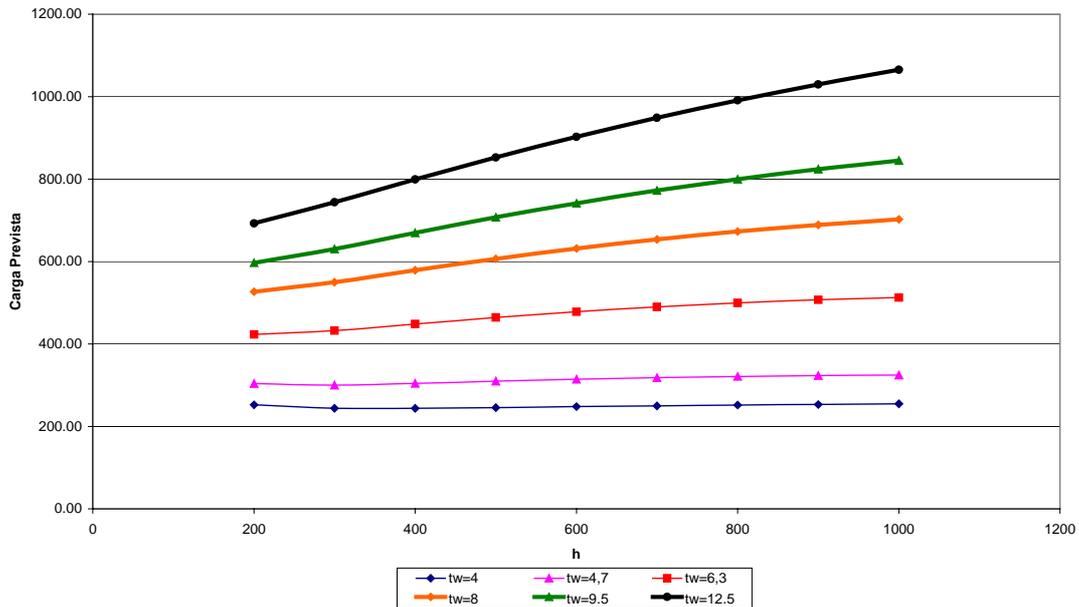


Figura 6.53 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de alma – análise 3.

b_f	t_f	c
170	16	187,5

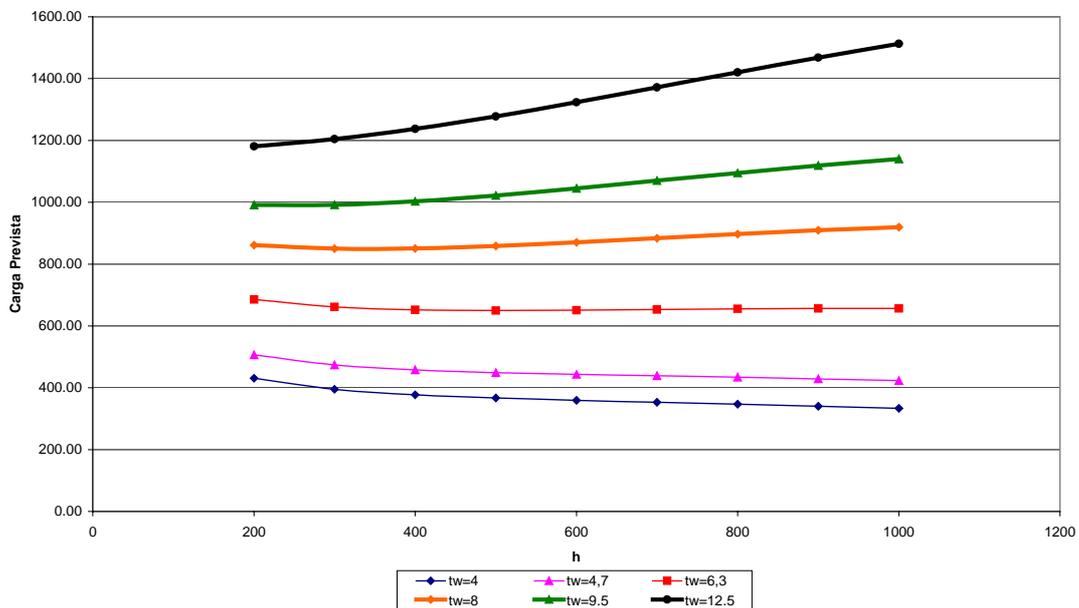


Figura 6.54 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de alma – análise 4.

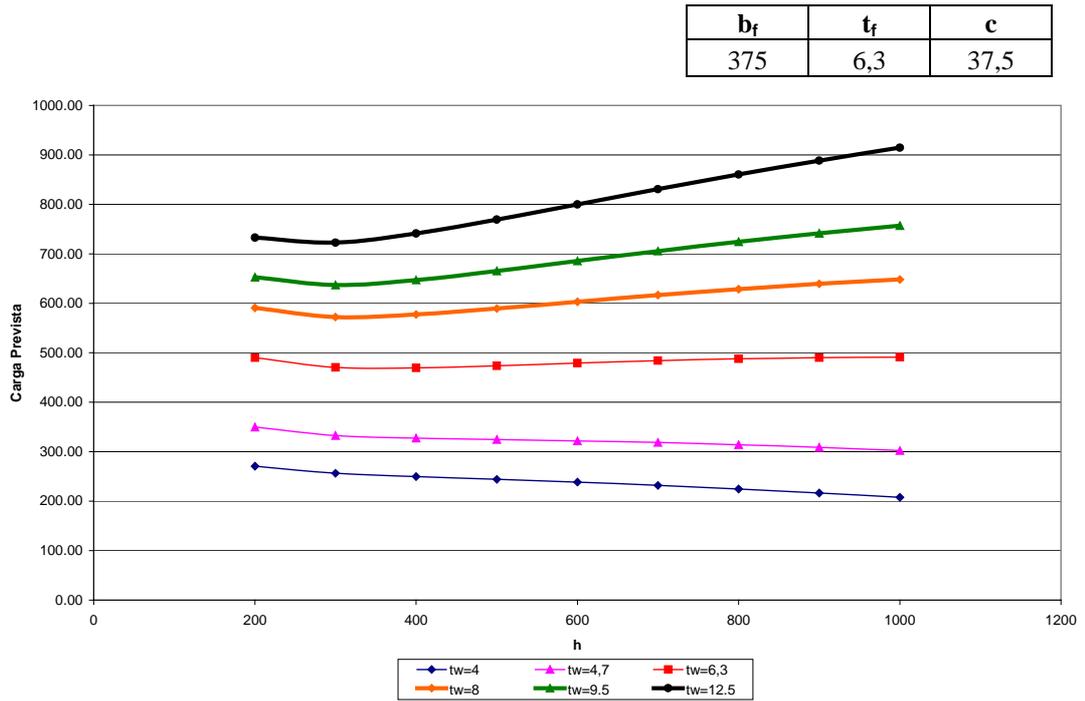


Figura 6.55 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de alma – análise 5.

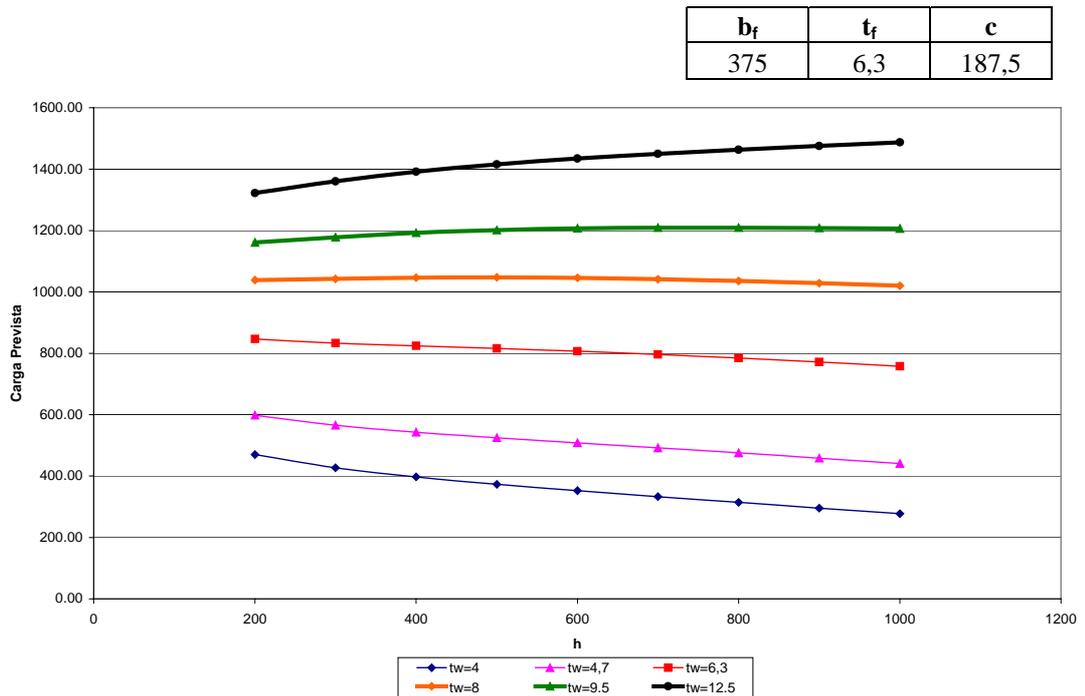


Figura 6.56 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de alma – análise 6.

b_f	t_f	c
375	16	37,5

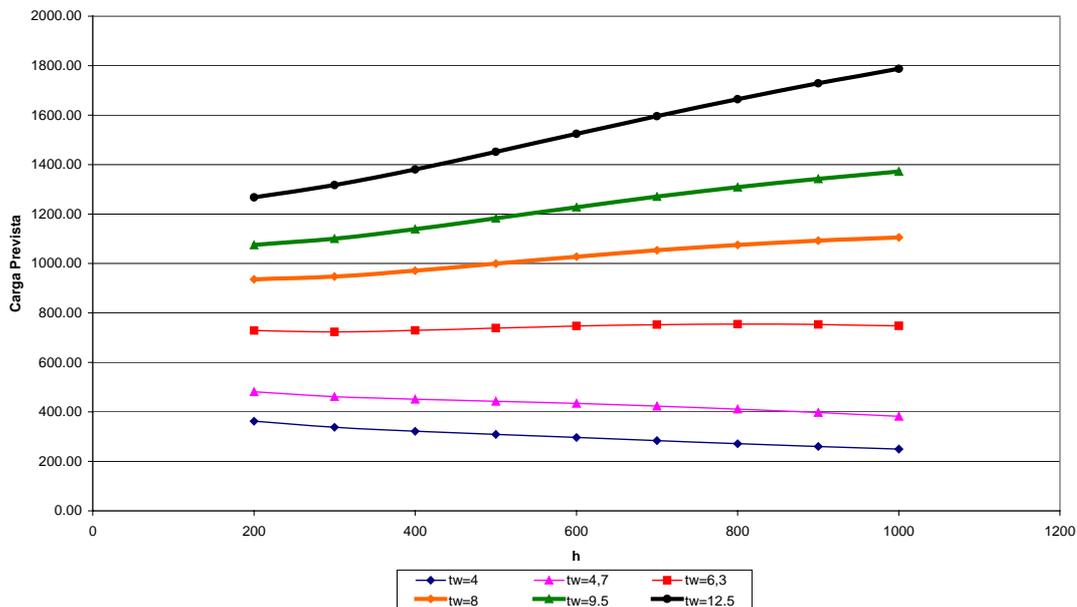


Figura 6.57 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de alma – análise 7.

b_f	t_f	c
375	16	187,5

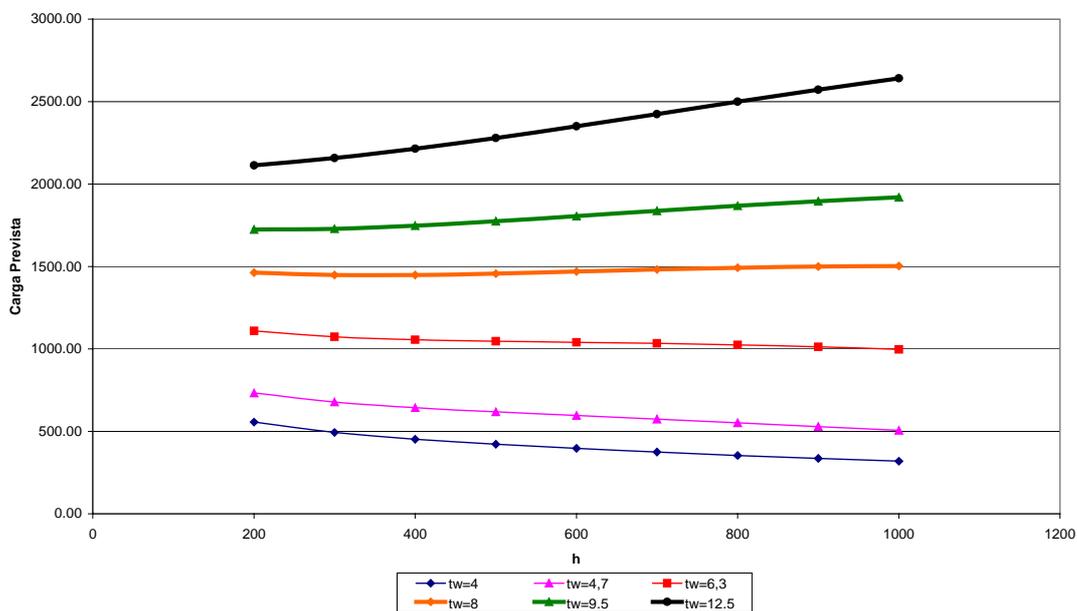


Figura 6.58 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de alma – análise 8.

De uma forma geral, esta análise se mostra muito compatível com a bibliografia, indicando o aumento da carga em função da altura para almas e mesas mais espessas e uma redução da capacidade de carga quando as almas são mais finas.

A relação entre a altura da alma e a espessura da mesa também foi avaliada e os resultados são apresentados a seguir (Figura 6.59 a Figura 6.62).

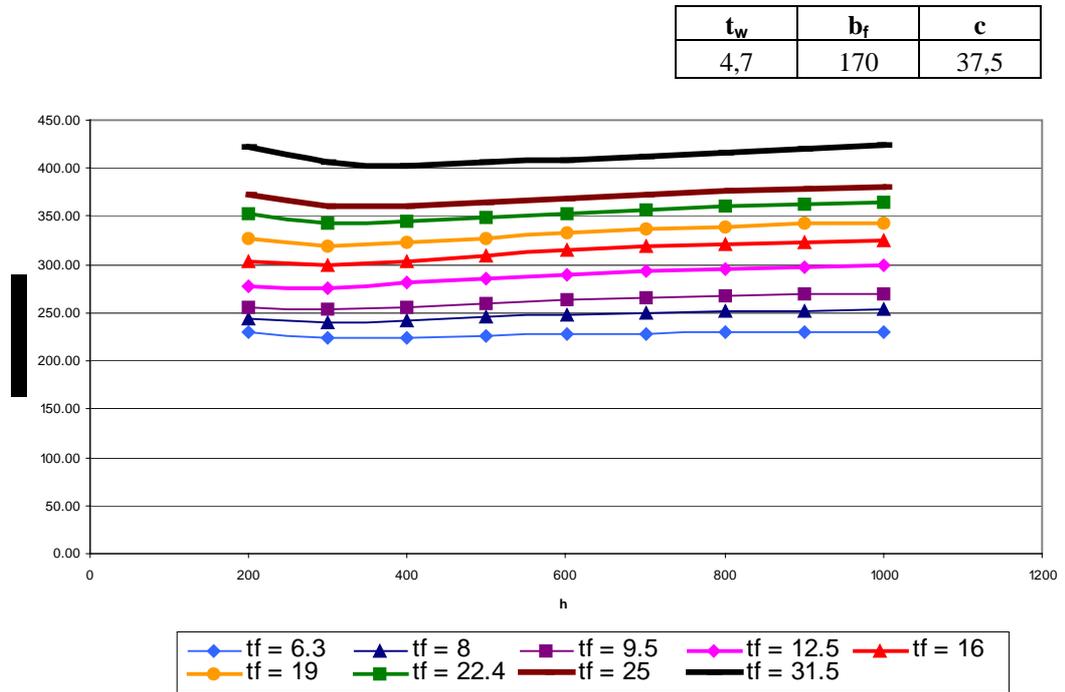


Figura 6.59 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de mesa – análise 1.

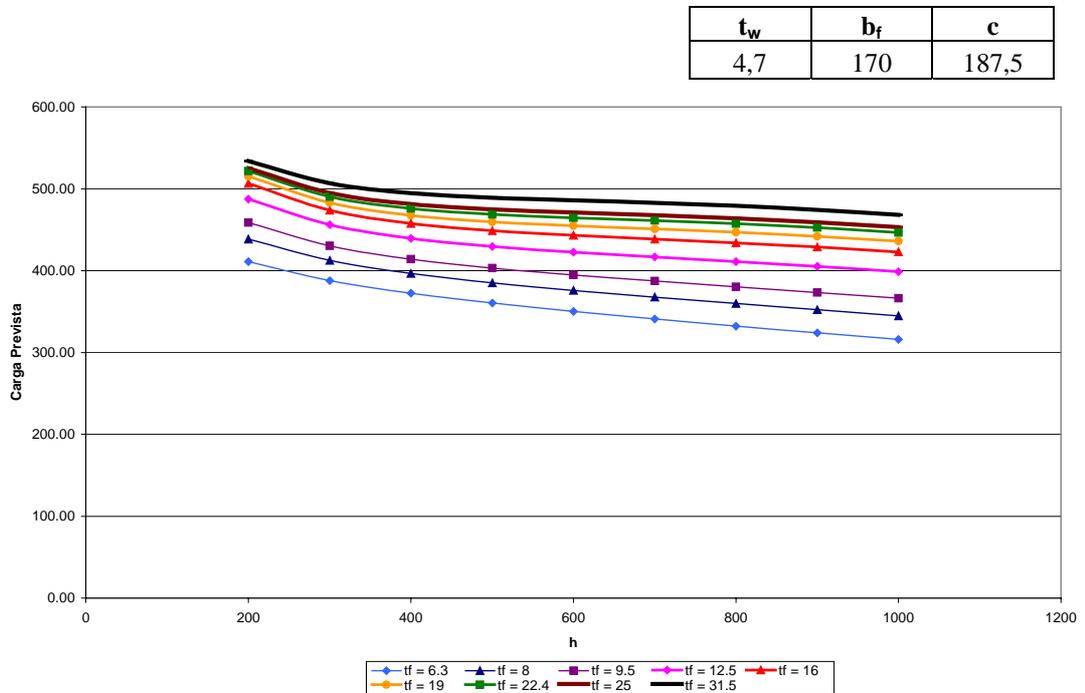


Figura 6.60 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de mesa – análise 2.

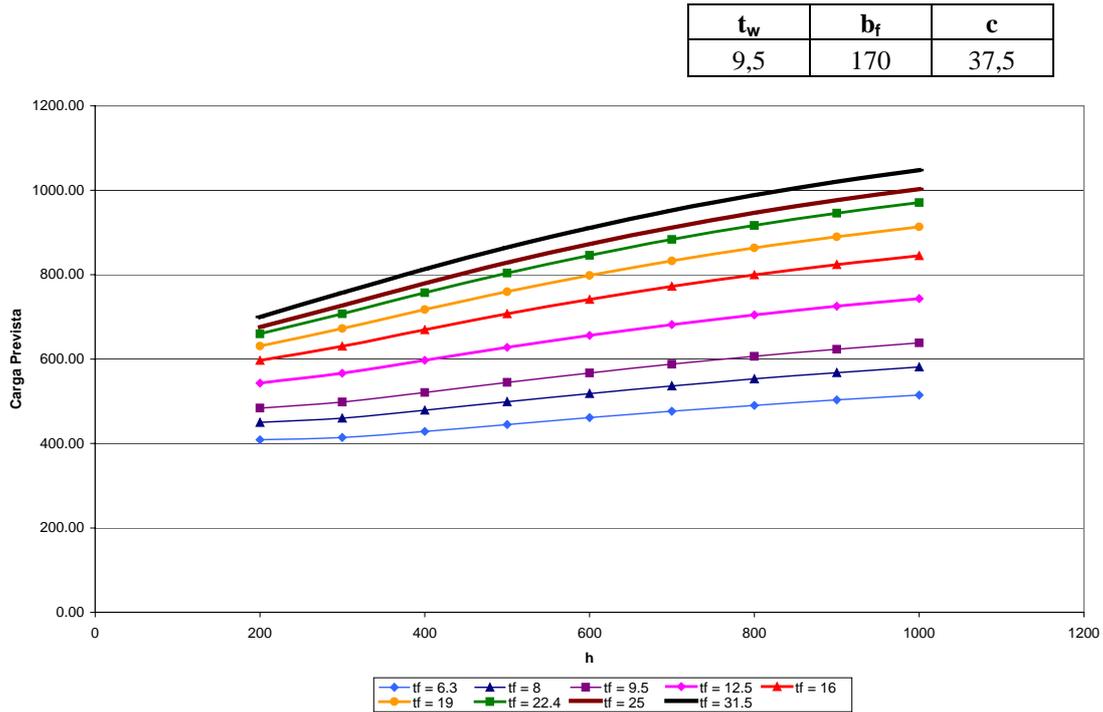


Figura 6.61 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de mesa – análise 3.

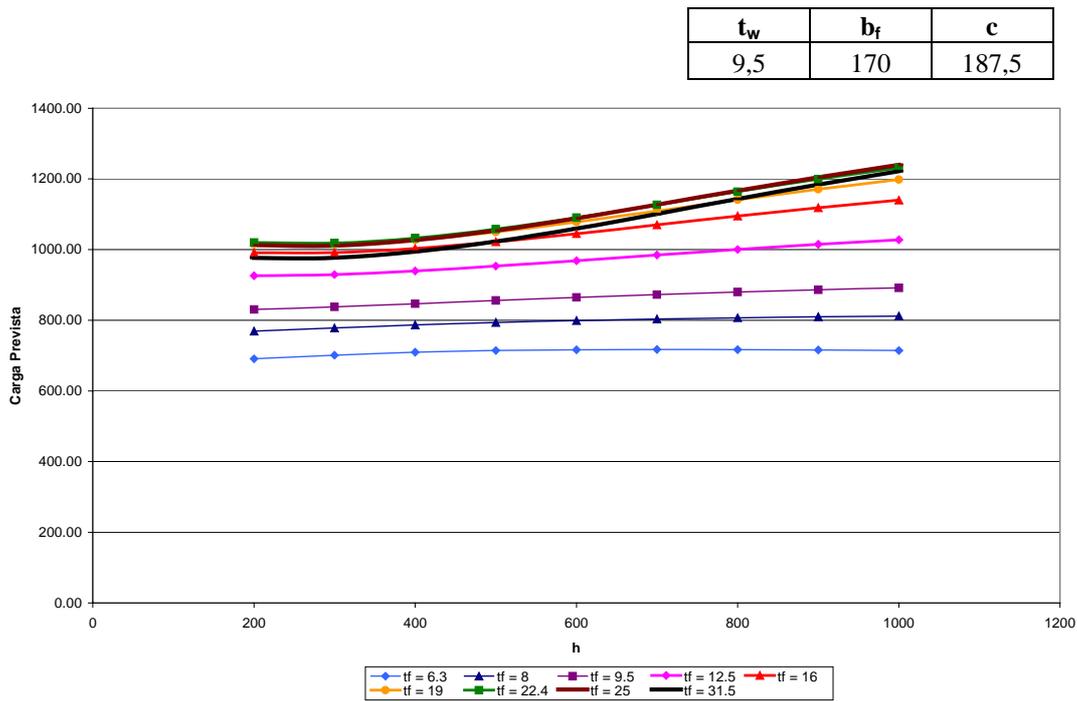


Figura 6.62 - Variação da Carga em função da altura da alma para diferentes espessuras de mesa – análise 4.

Em todos os casos a espessura da mesa aumenta ligeiramente o valor da carga, no entanto, verifica-se que em almas mais finas a altura se torna mais significativa que a espessura da mesa para comprimentos carregados maiores,

enquanto em almas mais espessas a altura e a espessura da mesa se tornam mais importantes em comprimentos carregados menores.

Um estudo avaliando o comprimento carregado e a espessura da alma é apresentado a seguir (Figura 6.63 a Figura 6.66).

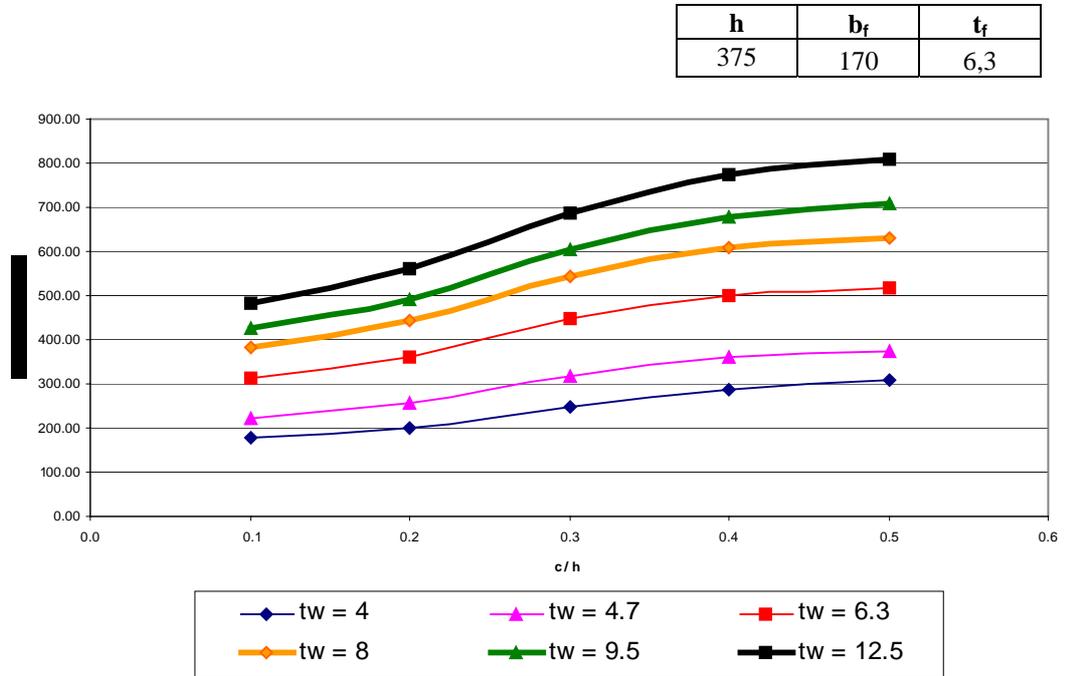


Figura 6.63 - Variação da Carga em função da relação c/h e da espessura de alma – análise 1.

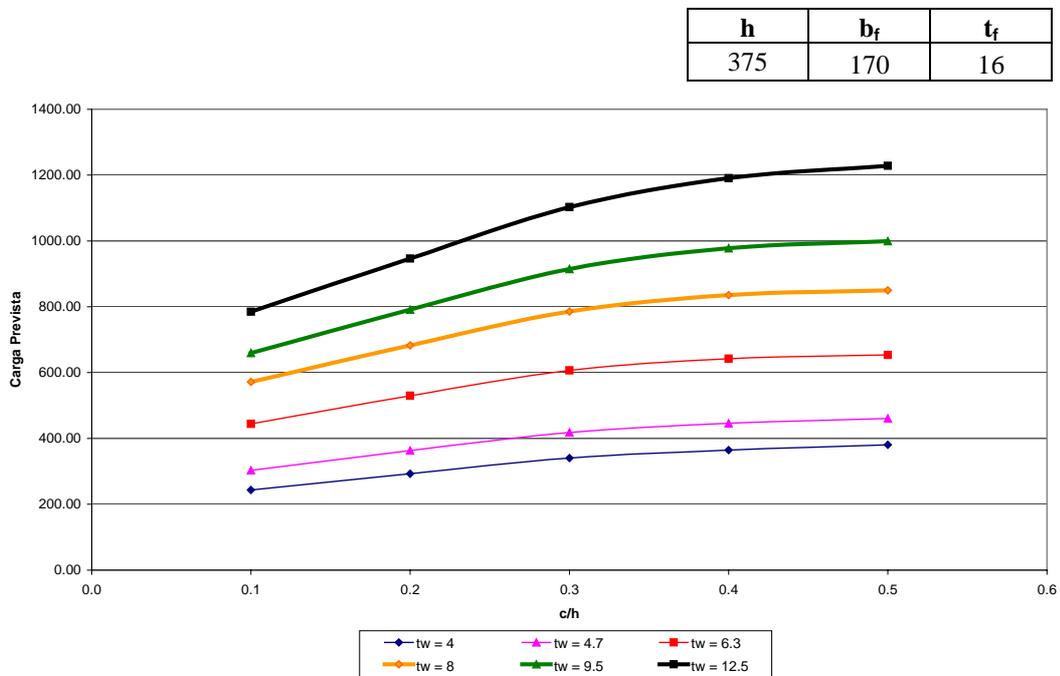


Figura 6.64 - Variação da Carga em função da relação c/h e da espessura de alma – análise 2.

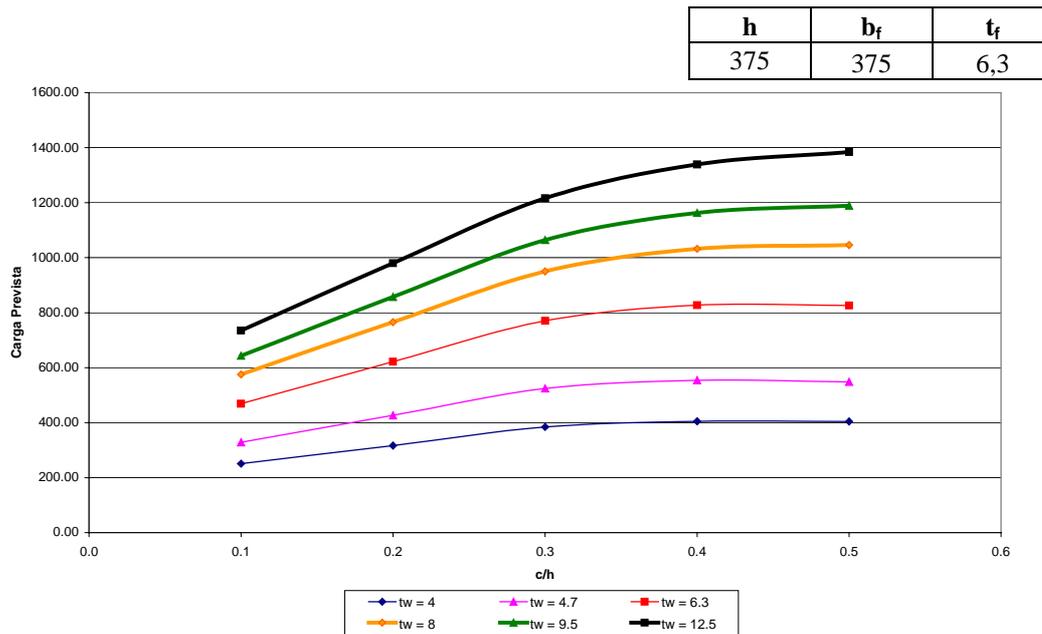


Figura 6.65 - Variação da Carga em função da relação c/h e da espessura de alma – análise 3.

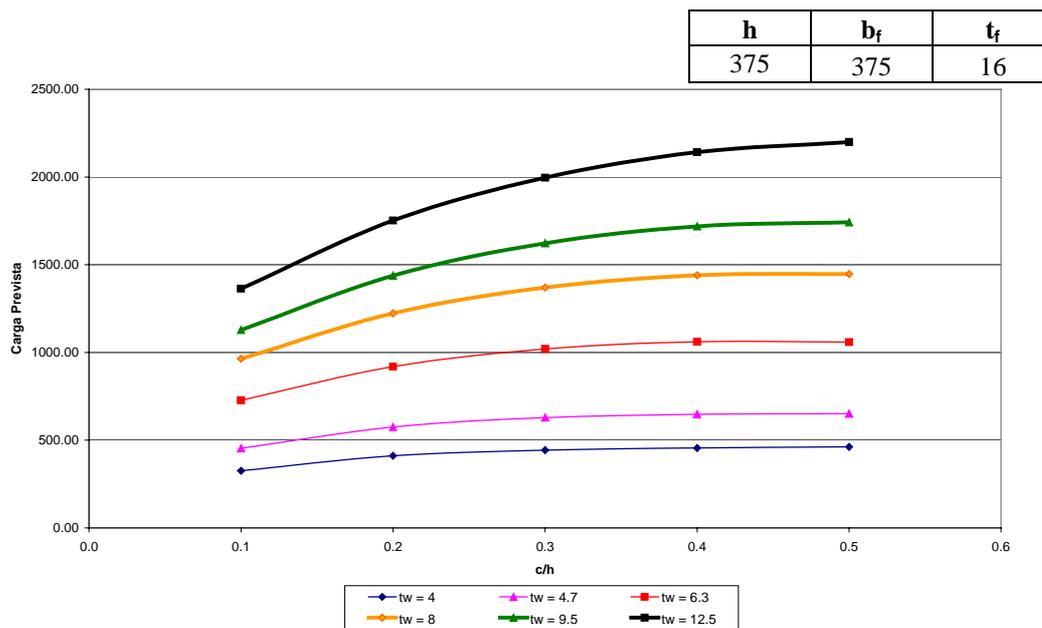


Figura 6.66 - Variação da Carga em função da relação c/h e da espessura de alma – análise 4.

Este estudo mostra um aumento da carga em função do aumento do comprimento carregado, mais significativo para relações c/h menores que 0,3 e almas mais espessas. Há também um aumento mais significativo da carga em função da altura para almas mais espessas e mesas mais largas e mais espessas.

O próximo capítulo apresenta as principais conclusões deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

