

DETERMINAÇÃO DE PONTE ROLANTE COM DIMENSIONAMENTO DE: TAMBOR, CABO E VIGA COM BASE NA NBR 8400

Emerson Fernando Lenschow¹, Jocelino da Silva Atanasio¹, Milena Coelho¹
te-emerson@hotmail.com, jocelino@msn.com, milenacoelho.2012@gmail.com

Professora Orientadora: Daniele da Silva Domingos

Coordenação de Engenharia Mecânica: Márcio Senhorinha

Resumo

O presente artigo trouxe à tona o projeto para dimensionamento de alguns componentes para construção de uma ponte rolante, seguindo as premissas e requisitos mínimos estabelecidos pelas normas vigentes. Foram selecionados três componentes: viga principal, tambor e o cabo de aço. Através do estudo pode-se chegar aos resultados que mostram a viabilidade e compatibilidade na construção do projeto, dessa maneira podendo ser feitas demais análises após a conclusão se é possível seguir o projeto da maneira em que está, ou podendo talvez realizar a redução de diâmetros de cabos, escolhas de vigas menores e até mesmo chapas para que possam ser reduzidos custos e o projeto não seja superdimensionado. Frisando a norma também como instrumento de direcionamento e segurança na hora de escolher, montar e dimensionar o projeto, apresentando todos os cálculos necessários para o desenvolvimento do projeto, assim trazendo maior segurança e assertividade na hora da entrega do equipamento proposto sem que haja maiores riscos, e preocupações.

Palavras-Chave: Ponte rolante. Dimensionamento. Norma.

1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento de máquinas e recursos com base em normas técnicas está no cotidiano dos engenheiros das mais diversas especializações.

Este artigo se trata de um projeto de ponte rolante em um cenário hipotético para aplicação da NBR 8400. A norma conta com diretrizes para cálculo da estrutura e componentes deste equipamento que é utilizado em elevação e movimentação de cargas.

A aplicação é muito comum, visto a necessidade logística e a diversidade ao que se refere capacidade de operação das pontes rolantes. Segundo RUDENKO (1976, p. 3): “Máquinas de elevação e transporte são empregadas para mover cargas em estabelecimentos ou áreas, departamentos, fábricas e indústrias, nos locais de construções, de armazenagem e recarga etc.”

A pesquisa foi realizada acerca dos estudos que envolvem o dimensionamento de alguns componentes, para um sistema de transporte de cargas, tais quais: Viga principal, tambor de tração e cabo de aço para elevação. Esse tipo de assunto traz à tona a curiosidade no desenvolvimento de um projeto real, que demanda análises críticas e minuciosas para entrega de uma estrutura segura e dentro dos padrões normativos. De acordo com a NBR 8400 (ABNT,1984, p1), existe a necessidade de fixação de diretrizes para o cálculo das partes estruturais e componentes mecânicos dos equipamentos de levantamento e movimentação de cargas, independente do grau de complexidade apresentado em paralelo ao tipo de serviço do equipamento.

¹ Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Sociedade Educacional de Santa Catarina.

2. DESENVOLVIMENTO

Para Hibbeler (2010), o conhecimento é comum de que as avaliações de tensões e deformações serão sempre feitas em função de certas particularidades e propriedades do material em questão. A resistência dos materiais é a área da mecânica que estuda as relações entre as cargas externas aplicadas em um corpo deformável e a intensidade das forças internas que consequentemente agem no interior do corpo.

Deve ser levado em consideração de que os cálculos simplificados dessas grandezas não são suficientes, se faz necessário o confronto de valores encontrados, versus os limites pré-estabelecidos para verificação do estado atual em que o material se encontra após sofrer as solicitações impostas.

2.1 Solicitações mecânicas em uma estrutura

Hibbeler (2004) cita que a solicitação mecânica em uma estrutura gera sua deformação. O volume do corpo sofre variação de uma maneira não uniforme, isto é, ao longo de seu comprimento sua geometria é remodelada. Ainda sobre comportamentos dos materiais:

“No projeto de qualquer estrutura ou máquina é necessário primeiro usar os princípios da estática para determinar as forças que atuam tanto sobre como no interior de seus vários membros. As dimensões dos elementos, sua deflexão e sua estabilidade dependem não só das cargas internas como também do tipo de material do qual esses elementos são feitos” (HIBBELER, 2004, p. 14)

2.1.1 Momento fletor

O momento fletor provém da definição da linha neutra, consequentemente das fibras mais solicitadas através de suas linhas, a qual se pode calcular a capacidade máxima cortante, ou seja, o momento fletor. (UFJF, 2020)

2.1.2 Tensão de Cisalhamento

O esforço cortante, ou força interna de cisalhamento, pode ser descrito como o resultado de forças na direção transversal ao eixo da barra na seção transversal de corte. (Hibbeler, 2010).

Para a tensão de cisalhamento, é importante que se utilizem elementos feitos de materiais dúcteis, tendo conhecimento de que a resistência do material depende de sua capacidade de suportar a tensão de cisalhamento. (UFJF, 2020)

2.2 Tipos de Ponte Rolante

Existem no mercado alguns tipos de ponte rolante, nesse projeto exclusivamente será utilizada a univiga, mas há tais quais de acordo com a NR11: Uni-viga, bi-viga, dupla viga, pontes suspensas e pórticos rolantes.

2.3 Materiais aplicados à confecção de vigas e suas propriedades

Materiais para aplicação existem inúmeros no mercado, mas comumente são mais vistos o aço SAE 1020 e os ASTM. Aço 1020 tem como indicação a utilização em perfis, trefilados duros peças e máquinas em geral, submetidos a esforços leves. O ASTM A572, são aços de uma qualidade mais robusta, vide a sua alta resistência e recomendados onde se exige elevados níveis de propriedades mecânicas, mantendo-se boa a tenacidade e a soldabilidade.

2.4 Norma NBR 8400

2.4.1 Definição da Classe de Utilização do Equipamento

A classe de utilização caracteriza a repetitividade do uso dos equipamentos. Não se podendo classificar a estrutura dos equipamentos em função da sua diversidade em seus ciclos de manobras, dessa maneira, é necessário classificá-la em função da utilização do movimento de levantamento de carga do equipamento, sendo assim, definindo-se quatro classes de utilização, conforme a Tabela 1, que servem de base para o cálculo das estruturas. Para o estudo realizado foi considerada a classe B. (ABNT,1984)

Tabela 1 - Classes de utilização (tabela 1 da norma)

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número convencional de ciclos de levantamento
A	Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso	$6,3 \times 10^4$
B	Utilização regular em serviço intermitente	$2,0 \times 10^5$
C	Utilização regular em serviço intensivo	$6,3 \times 10^5$
D	Utilização em serviço intensivo severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno	$2,0 \times 10^6$

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.2 Definição do Estado de Carga.

O estado de carga se dá através da proporção em que o equipamento levanta a carga máxima, ou somente uma carga reduzida, ao longo de sua vida útil. Esta noção pode ser visualizada por diagramas que representam os respectivos números de ciclos para os quais uma certa fração p da carga máxima ($F/F_{m\acute{a}x.}$) será igualada ou excedida ao longo da vida útil do equipamento, caracterizando o grau de serviço dele. Consideram-se, na prática, quatro estados convencionais de cargas, caracterizados pelo valor de p . Estes quatro estados de carga estão definidos na Tabela 2 e representados pelos diagramas da Figura 1. Para o estudo foi utilizado o estado 1(leve). (ABNT,1984)

Tabela 2 - Estados de carga (tabela 2 da norma)

Estado de tensões	Definição	Fração mínima de tensão máxima
0 (muito leve)	Elemento submetido excepcionalmente à sua tensão máxima e comumente a tensões muito reduzidas	$P = 0$
1 (leve)	Elemento submetido raramente à sua tensão máxima, mas comumente a tensões da ordem de $1/3$ da tensão máxima	$P = 1/3$
2 (médio)	Elemento frequentemente submetido à sua tensão máxima e comumente a tensões compreendidas entre $1/3$ e $2/3$ da tensão máxima	$P = 2/3$
3 (pesado)	Elemento regularmente submetido à sua tensão máxima	$P = 1$

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.3 Definição de Classificação de Estrutura.

Através do cruzamento dos dados de classe de utilização e estado de carga, através da Tabela 3 abaixo, poderá se chegar ao fator de número 3 para os equipamentos como um conjunto e determinam o valor do coeficiente de majoração, que por sua vez caracteriza o dimensionamento da estrutura. (ABNT,1984)

Tabela 3 - Classificação da estrutura dos equipamentos em grupos (tabela 3 da norma)

Estado de cargas (ou estado tensões para um elemento)	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento (ou de tensões para um elemento)			
	A $6,3 \times 10^4$	B $2,0 \times 10^5$	C $6,3 \times 10^5$	D $2,0 \times 10^6$
0 (muito leve) P = 0	1	2	3	4
1 (leve) P = 1/3	2	3	4	5
2 (médio) P = 2/3	3	4	5	6
3 (pesado) P = 1	4	5	6	6

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.4 Definição de Classe de funcionamento.

A classificação quanto ao funcionamento, é dada pelo tempo médio de utilização do equipamento, em números de horas diárias de uso. Reforçando que um mecanismo só é considerado em utilização quando está sob movimentação. Para os mecanismos que não são utilizados de forma regular durante o ano, se determina através da divisão das horas anuais por 250 dias. (ABNT,1984)

Tabela 4 - Classe de funcionamento (tabela 20 da norma)

Classe de funcionamento	Tempo médio de funcionamento diário estimado (h)	Duração total teórica da utilização (h)
V0,25	$t_m \leq 0,5$	≤ 800
V0,5	$0,5 < t_m \leq 1$	1600
V1	$1 < t_m \leq 2$	3200
V2	$2 < t_m \leq 4$	6300
V3	$4 < t_m \leq 8$	12500
V4	$8 < t_m \leq 16$	25000
V5	$t_m > 16$	50000

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.5 Definição das Solicitações dos Mecanismos.

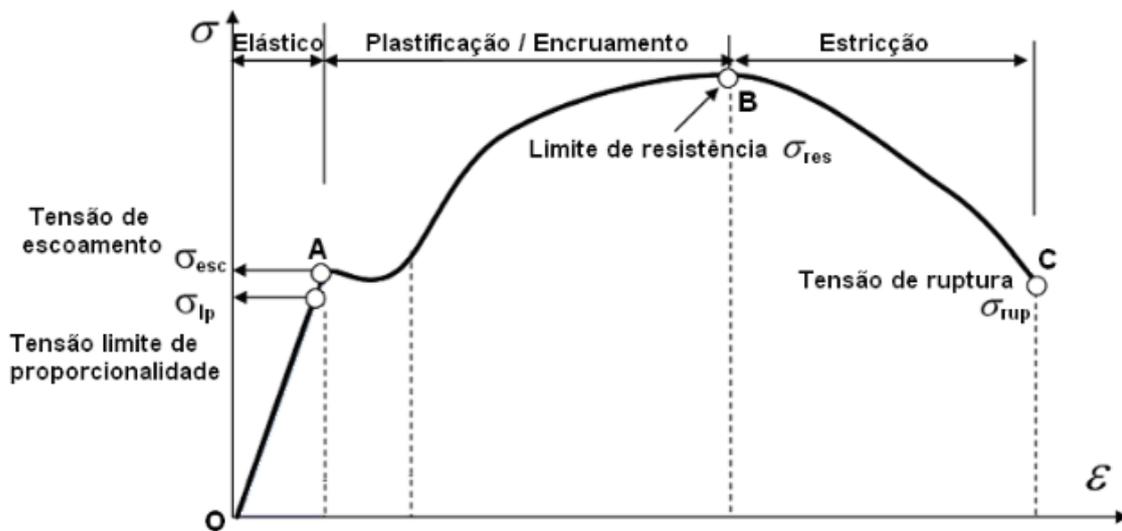
O estado de solicitação é caracterizado através de uma proporção de um mecanismo, ou um elemento de mecanismo, que é submetido à sua tensão máxima ou apenas solicitações reduzidas. São classificados em três estados de solicitação caracterizados pela fração da solicitação máxima, p, correspondente à menor solicitação do mecanismo durante o serviço, analogamente às estruturas. Os três estados de solicitação são caracterizados por $p = 0$, $p = 1/3$ e $p = 2/3$, sendo os diagramas correspondentes aos da Figura 5. O valor $p = 1$, se refere a um serviço contínuo a plena carga, não é praticamente utilizado nos mecanismos dos equipamentos de levantamento, caracterizados por esforços variáveis. Já $p = 2$, de certa forma uma intermitente entre $p = 1$ e $p = 3$, sendo o último utilizado designadamente até a carga máxima. (ABNT,1984)

Tabela 5 - Estados de solitação dos mecanismos (tabela 21 da norma)

Estados de solitação	Definição	Fração da solitação máxima
1	Mecanismos ou elementos de mecanismos sujeitos a solitações reduzidas e raras vezes a solitações máximas	$P = 0$
2	Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos, durante tempos sensivelmente iguais, a solitações reduzidas, médias e máximas	$P = 1/3$
3	Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos na maioria das vezes a solitações próximas à solitação máxima	$P = 2/3$

Fonte: NBR 8400 (1984)

Figura 1 - Gráfico Tensão x Deformação para materiais Dúcteis



Fonte: Critérios de Resistência (2022)

2.4.6 Definição Grupo de Mecanismos

Se executar tarefas consideradas perigosas (transporte de produtos químicos, corrosivos, etc.) deverão ser classificadas em um grupo superior ao qual seria. Através do estado de solitação definido e ao cruzar com as classes de funcionamento, os valores na tabela obterão o valor do grupo de mecanismos. (ABNT,1984)

Tabela 6 - Grupo dos Mecanismos (tabela 23 da norma)

Estados de solitação	Classes de funcionamento						
	V 0,25	V0,5	V1	V2	V3	V4	V5
1	1Bm	1Bm	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m
2	1Bm	1Bm	1Bm	2 m	3 m	4 m	5 m
3	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m	5 m	5 m

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.7 Definição do valor mínimo de Q

O coeficiente Q depende estritamente do grupo no qual está classificado o mecanismo de funcionamento do cabo dos quais incluem: normal ou não rotativo e do tipo de levantamento efetuado.

Tabela 7 - Valores mínimos de Q (tabela 27 da norma)

Grupo de mecanismo	Valores mínimos de Q	
	Cabo normal	Cabo não rotativo
1 Bm	0,265	0,280
1 Am	0,280	0,300
2 m	0,300	0,335
3 m	0,335	0,375
4 m	0,375	0,425
5 m	0,425	0,475

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.8 Definição dos tempos de aceleração

A Tabela 6 fornece os valores de tempos de aceleração e acelerações recomendados. Para o esforço horizontal a considerar deve ser no mínimo de 33% da carga sobre as rodas motoras e no máximo 25% desta carga. O valor das acelerações depende de cada equipamento, mas na prática escolhe-se uma aceleração na ponta de lança, podendo variar entre $0,1 \text{ m/s}^2$ e $0,6 \text{ m/s}^2$ conforme a rotação e o raio da lança, de maneira a obter tempos de aceleração da ordem de 5 s a 10 s nos casos comuns.

Tabela 8 - Tempos de aceleração e acelerações (tabela 6 da norma)

Velocidade a atingir		Equipamentos de velocidade lenta e média		Equipamentos de velocidade média e alta (aplicações comuns)		Equipamentos de alta velocidade com fortes acelerações	
(m/s)	(m/min)	Tempos de aceleração (s)	Acelerações (m/s^2)	Tempos de acelerações (s)	Acelerações (m/s^2)	Tempos de aceleração (s)	Acelerações (m/s^2)
4,00	240	-	-	8,0	0,50	6,0	0,67
3,15	189	-	-	7,1	0,44	5,4	0,58
2,50	150	-	-	6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	120	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	96	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,43
1,00	60	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	37,8	5,2	0,12	3,2	0,19	-	-
0,40	24	4,1	0,098	2,5	0,16	-	-
0,25	15	3,2	0,078	-	-	-	-
0,16	9,6	2,5	0,064	-	-	-	-

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.9 Definição do coeficiente dinâmico

O coeficiente dinâmico determina o valor da amplitude máxima das oscilações que se estabelecem na estrutura quando a carga será levantada. Quando a carga é baixada, é admitido que a amplitude da oscilação que se forma na estrutura é a metade da provocada no momento do levantamento.

Tabela 9 - Valores do coeficiente dinâmico (tabela 5 da norma)

Equipamento	Coeficiente dinâmico ψ	Faixa de velocidade de elevação da carga (m/s)
Pontes ou pórticos rolantes	1,15	$0 < V_L \leq 0,25$
	$1 + 0,6 V_L$	$0,25 < V_L < 1$
	1,60	$V_L \geq 1$
Guindaste com lanças	1,15	$0 < V_L \leq 0,5$
	$1 + 0,3 V_L$	$0,5 < V_L < 1$
	1,3	$V_L \geq 1$

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.10 Definição dos valores de H1

O valor do coeficiente H1 incide sobre o diâmetro do enrolamento dos cabos, sobre as polias e tambor, ou seja, as escolhas desses itens são feitas através do mesmo. Os valores do coeficiente, que depende do grupo em que está classificado o mecanismo, são dados na Tabela 28.

Tabela 10 - Valores de H1 (tabela 28 da norma)

Grupo de mecanismo	Tambores		Polias		Polia de compensação	
	Cabo normal	Cabo não rotativo	Cabo normal	Cabo não rotativo	Cabo normal	Cabo não rotativo
1 Bm	16	16	16	18	14	16
1 Am	16	18	18	20	14	16
2 m	18	20	20	22,4	14	16
3 m	20	22,4	22,4	25	16	18
4 m	22,4	25	25	18	16	18
5 m	25	28	28	31,5	18	20

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.11 Definição dos valores de H2

Já para os tambores e polias de compensação, $H_2 = 1$ independente de qual seja o tipo de sistema de cabos. Considerando as polias móveis, os valores do coeficiente H2 irão depender do número de polias no circuito e do número de inversões dos sentidos de enrolamento.

Tabela 11 - Valores de H2 (tabela 29 da norma)

W_T	≤ 5	6 a 9	≥ 10
H_2	1	1,12	1,25

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.12 Definição dos valores q

Calculam-se as peças submetidas à flambagem, verificando-se que a tensão calculada não ultrapassa uma tensão limite estabelecida, determinada em função da tensão crítica, além da qual haverá o risco de flambagem. Leva-se em consideração para esta verificação o valor do coeficiente q, que depende do grupo no qual é classificado o mecanismo conforme a Tabela 24.

Tabela 12 - Valores de q (tabela 24 da norma)

Grupos de mecanismos	q
1 Bm	1
1 Am	1
2 m	1,12
3 m	1,25
4 m	1,40
5 m	1,60

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.12 Definição dos valores FSr

O fator de segurança com relação a ruptura é verificado para os elementos dos mecanismos, efetua-se considerando que a tensão calculada não ultrapasse uma tensão admissível relacionada com a tensão de ruptura do material utilizado.

Tabela 13 - Valores de FSr (tabela 25 da norma)

Casos de solicitação	FS _r
Casos I e II	2,8
Caso III	2

Fonte: NBR 8400 (1984)

2.4.14 Definição do valor do coeficiente de majoração

O coeficiente de majoração é utilizado para definição do cálculo das estruturas, que por sua vez é caracterizado pelo dimensionamento. Porém, para os cálculos de fadiga, nem sempre possível utilizar o grupo do equipamento como critério único para a verificação de todos os elementos da estrutura, pois outros itens tais quais: o número de ciclos de solicitação e os estados de tensões podem, para certos elementos, ser sensivelmente diferentes da classe de utilização e dos estados de carga do equipamento.

Tabela 14 - Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais (tabela 10 da norma)

Grupos	1	2	3	4	5	6
M _x	1	1	1	1,06	1,12	1,20

3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste projeto para dimensionamento de uma ponte rolante, consistiu no cumprimento das orientações apresentadas na norma ABNT NBR 8400, estas que se traduzem nas fórmulas matemáticas. Os cálculos foram realizados com o auxílio do software Microsoft Excel para o desenvolvimento e esclarecimento do comportamento da estrutura final.

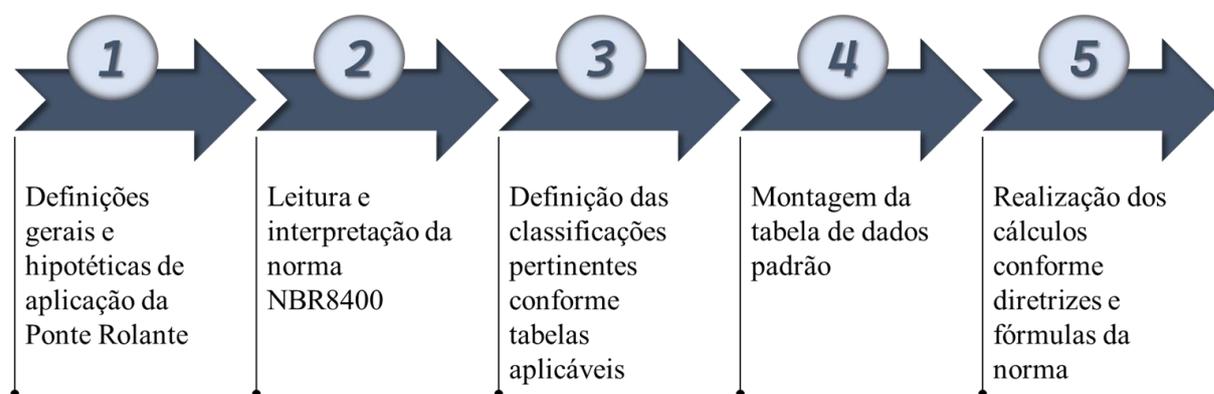
Segundo Maccahan et al. (2017) a declaração de um problema é essencial para desenvolver um projeto de sucesso, visto que esta etapa se tornará a base para atender a necessidade de acordo com a aplicação previamente definida. Dessa forma, inicialmente foram definidas todas as classificações conforme tabelas apresentadas na NBR 8400:

Tabela 15 – Definições conforme norma

Definições perante tabelas apresentadas na norma		
Aplicação	Carga de içamento	500 Kg
Aplicação	Vão	3 metros
Aplicação	Altura de içamento	0 a 3 metros
Tabela 1	Classe de Utilização	2,0 x 10 ⁵
Tabela 2	Estado de Carga	P= 1/3
Tabela 4	Classificação da estrutura	3
Tabela 20	Classe de Funcionamento	V3 (12500 horas teóricas)
Tabela 21	Solicitação dos Mecanismos	P= 1/3
Tabela 23	Grupo de Mecanismos	3m
Tabela 27	Fator de Dimensionamento	0,335 (cabo normal)
Tabela 6	Velocidade de içamento	0,4 m/s
Tabela 5	Coeficiente dinâmico	1 + 0,6.vL
Tabela 28	Valores de H1 (cabo normal)	20 - tambores 22,4 - polias 16 - polia compensadora
Tabela 29	Valores de H2 (Wt = 6)	1,12
Tabela 24	Valores de q	1,25
Tabela 25	Valor de FSr	2,8
Tabela 10	Coeficiente de majoração	3

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Fluxograma de trabalho e avaliação do projeto:



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022)

A partir das definições supracitadas, o dimensionamento do cabo, tambor e viga principal puderam ser realizados. Assim utilizando o formulário abaixo:

Cálculo da carga de trabalho:

$$T = \frac{Q}{\eta_{rend} * \eta_{cabos}} = \frac{S_G + \psi S_L}{\eta_{rend} * \eta_{cabos}} \dots(1)$$

Diâmetro externo mínimo para cabos:

$$dc = Q\sqrt{T} \dots(2)$$

Tensão de compressão localizada:

$$\tau_{CR} = \frac{F_{max.cabo}}{2p * h} \dots(3)$$

Módulo de flexão:

$$WF = \frac{\pi * (D_e^4 - D_i^4)}{32D_e} \dots(4)$$

Número de Espiras:

$$\eta_e = \frac{L_C}{\pi * D_{pt}} \dots(5)$$

Comprimento total do tambor:

$$LT - (2 * L) + (2 * a) + e \dots(6)$$

Tensão de Flexão Total:

$$\sigma_f = \frac{M_{m\acute{a}x}}{WF} \dots(7)$$

Momento de Inércia:

$$J = \frac{\pi * (D_e^4 - D_i^4)}{32} \dots(8)$$

Tensão de Cisalhamento Total no Tambor:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{M_t * C_2}{j} \dots(9)$$

Coefficiente de Majoração:

$$p = M_x * (S_G + \psi S_L + S_H) + S_w \dots(10)$$

Fator de Segurança:

$$FS = \frac{CRM}{CT} \dots(11)$$

Tensão admissível:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_t}{q * FS_t} \dots(12)$$

Tensão de flexão localizada:

$$\sigma_{flex\tilde{a}o} = 0,96 * T^4 \sqrt{\frac{1}{(D^2) * (h^6)}} \dots(13)$$

Comprimento do cabo:

$$L_c = Vm * He \dots(14)$$

Comprimento Total da Área com Espiras

$$L = \eta_e * p \dots(15)$$

Solicitações totais do sistema:

$$S = 2 * (T + P_{moit\tilde{a}o} + P_{cabo}) \dots(16)$$

Momento Máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{S * L}{4} \dots(17)$$

Tensão de Cisalhamento:

$$\tau_a = \frac{\sigma_r}{q * FS_r} \dots(18)$$

Momento de Torção:

$$M_t = S * 9,81 * Raio\ Primitivo \dots(19)$$

Momento Fletor:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{p * g * L}{4} \dots(20)$$

Módulo Resistente:

$$W_{m\acute{i}n} = \left| \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}} \right| \dots(21)$$

<p>Cálculo Tensão Normal:</p> $y = \frac{h}{2} + tf \quad \dots(22)$ $\sigma_x = \frac{M_{m\acute{a}x} * y}{I} \quad \dots(23)$ <p>Tensão Cisalhante Calculada:</p> $\tau_{cisX} = \parallel \frac{V_{m\acute{a}x}}{A_{alma}} \parallel \quad \dots(24)$	<p>Tensão Admissível:</p> $\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad \dots(25)$
--	--

Fonte: Elaborado pelos Autores (2022)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cálculo da Carga de Trabalho

Conforme equação (1), foi calculada a carga de trabalho para definição dos esforços a serem atendidos pelos componentes do projeto. Onde:

$$\begin{aligned} \eta_{cabos} &= 4\eta_{rend} = \eta_{mancal} \\ \eta_{rend} &= 0,99^4 \\ \eta_{rend} &= 0,97 \end{aligned}$$

Visto que não se conhecia o peso dos acessórios periféricos, considerou-se inicialmente $S_G = 0$ para fins de cálculos. Assim obteve-se:

$$\begin{aligned} T &= \frac{(1,1 * (1 + (0,6 * 0,4)) * 500 * 9,81) + 0}{0,97 * 4} \\ T &= 1724,33 \text{ N} \\ T &= \frac{1724,33}{9,81} = 172,43 \text{ daN} \end{aligned}$$

4.2 Dimensionamento de Cabos

A norma contempla a fórmula para cálculo do diâmetro mínimo externo conforme fator de dimensionamento tabelado (tabela 27 da norma). Além disso, o valor da carga de trabalho anteriormente encontrado, foi inserido na variável de “esforço de tração”. Com isso, o diâmetro encontrado resultou em (2):

$$\begin{aligned} Q &= \text{Fator de dimensionamento(Tabela 27)} = 0,335 \\ T &= \text{Esforço de tração} = 172,43 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dc &= 0,035 * \sqrt{172,43} \\ dc &= 4,399 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diversas tabelas possuem o Fator de Segurança para aplicação em pontes rolantes entre 6 e 8. Em geral, os projetistas utilizam a constante mínima a fim de reduzir os custos de fabricação através do otimizado dimensionamento dos componentes. Seguindo esta mesma estratégia, foi adotado FS=6 (11).

$$CT - \text{Carga de trabalho em Kgf} \left(\frac{1724,33}{9,81} = 175,77 \text{ kgf} \right)$$

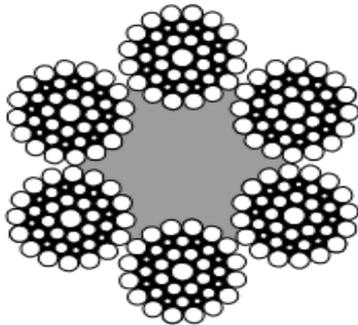
$$CRM = 6 * 175,77$$

$$CRM = 1054,64 \text{ Kgf}$$

Ou seja, a carga de trabalho precisa ser menor que a de ruptura, porém os cabos devem ser dimensionados na pior situação. Dessa forma, a CRM serviu de base para escolha do cabo juntamente ao diâmetro acima calculado.

No catálogo do fabricante CIMAF (2014), há uma gama de modelos e diversas recomendações, dentre eles encontrou-se modelos específicos para empregar à ponte rolante. Optou-se pela configuração 6x41WS - AF, este cabo possui alma de fibra, 6 pernas com 29 a 57 arames em cada e é altamente flexível.

Figura 2 – Cabo de aço definido conforme catálogo do fabricante



6x41WS+AF

Fonte: Catálogo CIMAF (2012)

Abaixo tabela do fornecedor com as especificações e estratificação sinalizada do cabo ideal para o projeto. Concluiu-se que a opção de Ø 6,4 mm atendia a necessidade, uma vez que era superior ao diâmetro calculado. Assim como, a carga de ruptura no modelo IPS, que é um material de menor qualidade, era de 2,5 tf, sendo assim, se sobressaiu à carga de ruptura calculada de 1,054 tf.

Tabela 16 – Especificações do cabo de aço definido

Modelo		6x41WS+AF			6x41WS+AACI			
Diâmetro		Massa Aprox. kg/m	Carga de Ruptura mínima em tf		Massa Aprox. kg/m	Carga de Ruptura mínima em tf		
mm	pol		IPS	EIPS		IPS	EIPS	EEIPS
6,40	1/4"	0,150	2,50	2,72	0,173	2,70	3,10	-
8,00	5/16"	0,228	3,90	4,26	0,266	4,15	4,79	-
9,50	3/8"	0,353	5,55	6,10	0,399	5,96	6,86	-
11,50	7/16"	0,479	-	8,27	0,538	8,10	9,30	-
13,00	1/2"	0,580	-	10,80	0,605	-	12,10	-

Fonte: Catálogo CIMAF (2012)

4.3 Dimensionamento do Tambor

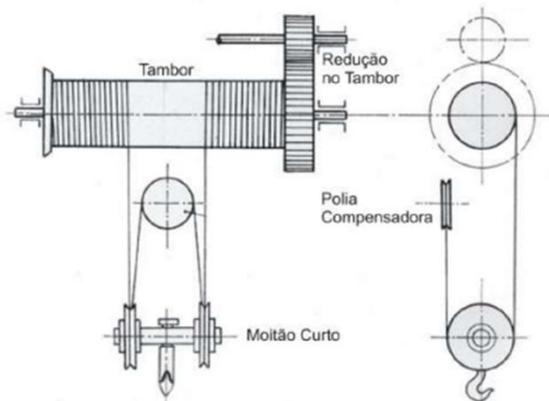
O sistema escolhido para o projeto, foi o moitão gêmeo com 4 ramais e polia compensadora, modelo conforme abaixo:

Figura 3 – Moitão gêmeo real



Fonte: Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG)

Figura 4 – Desenho do esquema do moitão gêmeo



Fonte: PINHEIRO (2015)

O dimensionamento do tambor foi realizado através de uma correlação de constantes também tabeladas e do diâmetro mínimo do cabo de aço.

$$D_e \geq H_1 \times H_2 \times d_c$$

O fator H1 encontra-se na tabela 28 conforme grupo de mecanismos anteriormente definidos, já o H2 depende do número de polias e refere-se à soma dos fatores W conforme item 6.7.3.2 da norma. Ao todo, teve-se duas polias sem inversão de frequência (2+2) e duas ligações no tambor (1+1). A polia compensadora não foi considerada no cálculo. Sendo assim, $W_{total} = 6$.

Para calcular o diâmetro em unidade de milímetro, bastou multiplicar o diâmetro do cabo pelos fatores supracitados, chegaremos nos seguintes valores:

Tabela 17 – Resultado encontrado para fator H1

Mecanismo	∅ cabo	H1	H2	Resultado (mm)
Tambor	6,4	20	1	128,00
Polia Móvel	6,4	22,4	1,12	160,56
Polia Fixa (compensadora)	6,4	16	1	102,40

Fonte: NBR 8400 (1984), adaptada pelo autor.

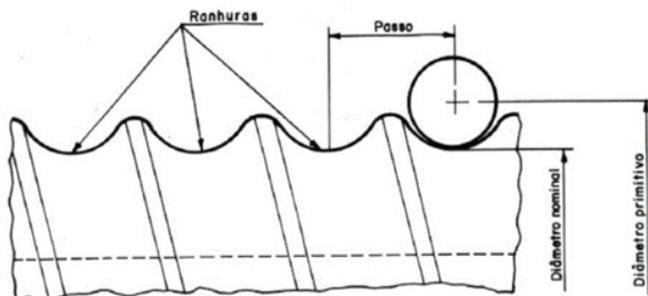
Através destes valores, foi possível encontrar o diâmetro nominal, externo e primitivo; valor de “a” que é o deslocamento do centro do cabo até o diâmetro externo; passo. Já no diâmetro interno, não foi possível calcular neste primeiro momento, visto que a espessura do tambor não foi definida.

Tabela 18 – Resumo dos principais dados coletados

∅ nominal = FR (fundo de ranhura)	128 mm
∅ primitivo = ∅FR + ∅ cabo	134,4 mm
a=0,222*raio cabo	0,71 mm
∅ externo = ∅primitivo - (2*a)	133 mm
Passo = 1,14 * ∅ cabo	7,3 mm
∅ interno (espessura do tambor)	????

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Figura 5 – Desenho do tambor e denominação das principais características



Fonte: PB-1447 (2022)

Foi importante a definição do material a ser utilizado na construção do tambor, visto que os cálculos das solicitações mecânicas, dependeram diretamente das propriedades dele. Neste sentido, o material escolhido foi o aço 1020 laminado à quente, cujas especificações serão consideradas conforme tabela abaixo:

Tabela 19 – Especificações de alguns aços

APÊNDICE – C – Propriedades Mecânicas de alguns materiais ⁽¹⁾										
	ρ	E	G	Tensão de Escoamento ⁽²⁾		Tensão Última (Ruptura)			ε	α
Materiais	Massa Especif. (ton/m ³)	Módulo Elastic. longitud. (GPa)	Módulo Elastic. transver. (GPa)	σ Tração (MPa)	τ Cisalh. (MPa)	σ Tração (MPa)	σ Compres. (MPa)	τ Cisalh. (MPa)	Elong. Percent. (%)	Coef. Dil.Tér (10 ⁻⁶ C ⁻¹)
Aço Estrutural	7,86	200	76	250	150 ⁽³⁾	450	450 ⁽³⁾	270 ⁽³⁾	28	11,7
Aço 1010 ⁽⁴⁾ Lamin. quente)	7,86	205	79	180	108	330	330	198	25	11,7
Aço 1010 (Lamin. a frio)	7,86	205	79	300	180	370	370	220	20	11,7
Aço 1020 (Lamin. quente)	7,86	205	79	210	125	380	380	225	22	11,7
Aço 1020 (Lamin. a frio)	7,86	205	79	350	210	420	420	250	18	11,7

Fonte: Apêndice C de Materiais (2022)

4.3.1 Primeira Correlação de Tensões de Compressão e Flexão Localizadas

Inicialmente, foi calculada a tensão admissível (12) para o projeto através da fórmula disponibilizada na norma, obtêm-se então:

$$\sigma_{adm} = \frac{380}{1,25 * 2,8} = 108,57 \text{ MPa}$$

O foco da análise, se deu por comparar a condição do projeto à tensão admissível previamente definida conforme correlação: $\sigma_c + \sigma_f \leq \sigma_a$

4.3.1.1 Tensão de Compressão Localizada

Será utilizada a fórmula (3) para encontrar a tensão de compressão localizada. Para o valor de “h”, busca-se em catálogos de fornecedores as espessuras de chapas usuais. Dessa forma, houve uma suposição inicial para fins de cálculos e a condição será alterada caso a opção escolhida não atenda as especificações da norma. A espessura será de 6,35 mm, seguindo o catálogo da empresa Aços Globo, onde consta inclusive a massa por metro, informação a ser utilizada mais à frente.

Tabela 20 – Espessura de chapas padrão de um fornecedor real

CHAPAS GROSSAS		
Espessura		Peso
Pol.	mm	kg/m ²
7/32	5,56	43,572
1/4	6,35	49,797
9/32	7,14	56,021
5/16	7,94	62,246
11/32	8,73	68,470
3/8	9,53	74,695
13/32	10,32	80,920
7/16	11,11	87,144
15/32	11,91	93,369

Fonte: Aços Globo Ltda.

A tensão de compressão foi de 18,6 MPa.

4.3.1.2 Tensão de Flexão Localizada

Para a flexão localizada, tem-se a fórmula (13). Sendo D o diâmetro primitivo, a tensão resultou em 8,92 MPa.

4.3.2 Primeira Análise

Conforme item 6.6.1 da norma, o projeto encontra-se conforme quando a seguinte correção é verdadeira:

- Tensão Compressão + Tensão Flexão < Tensão admissível

Sendo assim,

$$18,6 + 8,92 < 108,57$$

Condição dentro da conformidade.

4.3.3 Segunda Correlação de Tensões: Flexão Total e Cisalhamento

A fórmula para se chegar nas tensões de flexão e cisalhamento total do tambor, exige algumas variáveis que foram definidas conforme a seguir.

4.3.3.1 Módulo de Flexão (Wf)

$$D_e - \varnothing_{\text{externo}} = 133\text{mm} \quad D_i - \varnothing_{\text{interno}} = 120,3\text{mm}$$

Utilizada a fórmula (4), sendo assim, $W_f = 76369,14 \text{ N.mm}$

4.3.3.2 Comprimento do Cabo (Lc)

Utilizada a fórmula (14):

Lc – Comprimento do cabo

Vm – Vantagem Mecânica

He – Altura de Elevação

$$L_c = 4 * 3$$

$$L_c = 12\text{m}$$

Para cada lado do tambor, foram considerados 6 metros de cabo de aço.

4.3.3.3 Número de Espiras (ne)

Utilizada a fórmula (5):

$$D_{pt} = \text{Diâmetro Primitivo}$$

$$L_c = \text{Um lado apenas em mm}$$

$$\eta_e = 14,22$$

Para garantir o funcionamento do sistema, adicionar de 2 ou 3 espiras. Sendo assim, considera-se 17 para cada lado do tambor.

4.3.3.4 Comprimento Total da Área com Espiras (L)

Para utilizar a fórmula (15), adotar valor $\eta_e = 14,22$.

Nesta condição, a área com espiras, ou seja, com ranhuras usinadas, percorrem 124,1 mm cada lado do tambor de maneira simétrica.

Figura 6 – Vista isométrica de um tambor



Fonte: Moviservi - Engenharia de Movimentação Industrial (2022)

4.3.3.5 Comprimento Total do Tambor

A constante “a” da fórmula (6), é a distância do mancal até o final da área com espiras, para fins de cálculo, foi definido 50 mm em ambos os lados. Já para o valor de “e”, que se refere à distância central entre os inícios das áreas com espiras, cuja a mesma não possui ranhuras, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$e = \varnothing\text{polia Móvel} + (5 * \varnothing\text{Cabo})$$

$$e = 192,56\text{mm}$$

Desta forma, $L_t = 540,76$ mm.

4.3.3.6 Solicitações Totais do Sistema

Através da equação (16), definiu-se as solicitações totais, obtendo-se:

$$T = 175,77 \text{ Kgf}$$

$$\text{Peso do moitão} = 10 \text{ Kgf (Para fins de Cálculo)}$$

$$\text{Peso do cabo} = 0,15 * 12 = 1,8 \text{ kgf}$$

Valor total das solicitações: $S = 375,14$ Kgf

4.3.3.7 Momento Máximo

Para cálculo do momento, se fez necessário converter a solicitação em N e resgatar o valor de L anteriormente encontrado. O resultado foi: 497515,88 N.mm.

4.3.4 Tensão de Flexão Total

Tensão de flexão total foi encontrada a partir da fórmula (17), em conjunto com os valores acima definidos também.

O resultado foi de 6,51 MPa. Em análise individual, já atende a tensão admissível conforme norma.

4.3.5 Tensão de Cisalhamento

Seguindo a lógica do início, foi definida a tensão admissível de cisalhamento para correlação completa do projeto (18). O resultado foi de 64,29 MPa.

$$\tau_a = \frac{225}{1,25 * 2,8}$$

4.3.5.1 Momento de Inércia

Para se calcular (8) a torção foi importante encontrar o momento de inércia a fim de entender o comportamento e resistência da grandeza em questão, quando submetida ao movimento de rotação.

$$D_e - \phi_{externo} = 133mm \quad D_i - \phi_{interno} = 120,3mm$$

$$J = 10157096,17 \text{ mm}^4$$

4.3.5.2 Momento de Torção

Através da fórmula (19), encontra-se o momento de torção:

$$M_t = 375,14 * 9,81 * 67,2$$

$$M_t = 247304,29 \text{ N.mm}$$

4.3.5.3 Tensão de Cisalhamento Total no Tambor

A tensão de cisalhamento (9) resultou em um valor ainda melhor que a de flexão, dessa forma, individualmente, também atendeu a especificação da norma.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{(247304,29 * 67,2)}{10157096,17}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 1,64 \text{ MPa}$$

4.3.6 Segunda Análise

Realizada nova correlação, levando em consideração a tensão de cisalhamento calculada e as duas tensões admissíveis: flexão (108,57 MPa) e cisalhamento (64,29 MPa).

Neste caso, deve-se utilizar a pior situação, que foi a tensão de cisalhamento, pois permitiu uma menor carga para suportar as solicitações do sistema.

$$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_f)^2 + 3 * \tau^2} \leq \sigma_{admissivel}$$

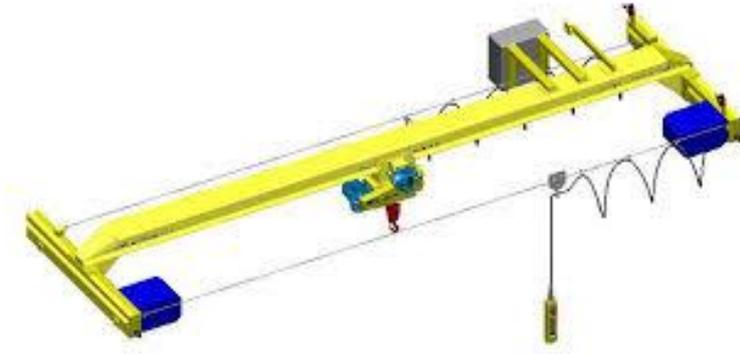
Como resultado, obteve-se 27,67 MPa < Tensão admissível de cisalhamento (64,29 MPa).

4.4 Dimensionamento da viga principal

4.4.1 Viga

O dimensionamento da viga se deu pelo cálculo das forças de reação e realização das validações de acordo com as solicitações dos movimentos verticais. Para iniciar, foi necessário definir o tipo de apoio, no caso do projeto em questão, foi univiga. Ou seja, todos os componentes encontram-se concentrados em uma única viga robusta.

Figura 7 – Desenho ponte rolante tipo univiga



Fonte: Memori - Sistemas de Cálculo (2022)

O perfil definido para este projeto, foi o tipo W. Este possui um momento de inércia maior em relação aos demais modelos, dessa forma foi positivo para o projeto, pois trouxe maior estabilidade.

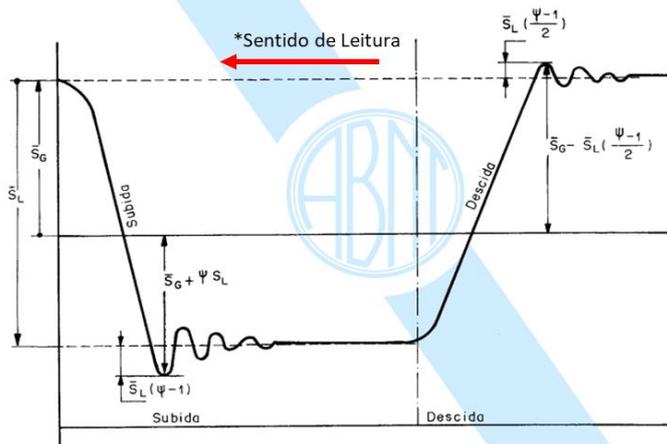
4.4.2 Condições de dimensionamento

Algumas predefinições para cálculo da viga: o equipamento é operado em área sem vento, variação de temperatura, impactos ou choques. Também não foi considerado esforço no sentido horizontal e alternância da carga a ser içada.

A fim de analisar o comportamento das solicitações mecânicas na viga, a norma traz um gráfico onde aponta os momentos de maiores oscilações e conseqüentemente, maiores exigências de resistência da estrutura.

A leitura do gráfico deve ser realizada da direita para a esquerda, onde é possível verificar que, em uma circunstância orientativa, as oscilações ocorrem predominantemente no início dos movimentos de descida e subida, porém a amplitude de oscilação durante o içamento da carga é maior.

Figura 8 – Principais momentos de oscilações da estrutura durante a operação



Fonte: NBR 8400 (1984), adaptada pelos autores.

4.4.3 Coeficiente de Majoração

A norma traz a seguinte fórmula (10) para definir uma nova carga considerando o coeficiente de majoração. Onde,

$$S_H = \text{Efeitos Horizontais } (S_H = 0)$$

$$S_w = \text{Efeitos do Vento } (S_w = 0)$$

$$S_G = 120 \text{ Kg (Carga devido ao peso próprio estimado)}$$

$$S_L = 500 \text{ Kg} + 120 \text{ Kg (Carga de Serviço Total)}$$

$$P = 1 * (120 + ((1 + (0,6 * 0,4)) * 620 + 0) + 0)$$

$$P = 888,8 \text{ Kgf}$$

O valor encontrado considerou a carga na posição central da viga, onde ocorre o maior momento fletor e a menor força cortante.

4.4.4 Cálculo da Flexão da Viga

4.4.4.1 Momento Fletor

Calculou-se o momento máximo (20) considerando a componente “L”, o comprimento do vão da ponte rolante a partir da equação abaixo:

$$M_{m\acute{a}x} = (888,8 * 9,81 * 3)$$

$$M_{m\acute{a}x} = 6539,346 \text{ N.m}$$

4.4.4.2 Reação dos apoios

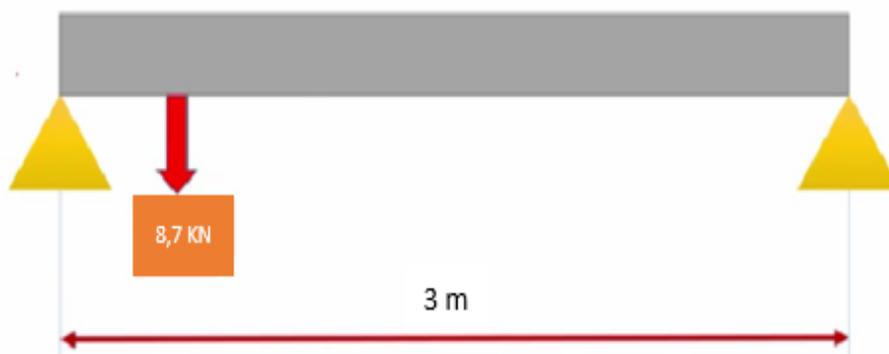
Para encontrar o valor das reações de apoio em Newton, transformou-se o valor da carga “P” nesta grandeza e dividiu-se por 2 posteriormente, visto que nesta condição, a carga estava posicionada ao centro da viga.

$$R_A = R_B = 4359,564 \text{ N}$$

4.4.4.3 Carga à esquerda da viga

Foi considerada uma distância de 0,2 metros do fim de curso à esquerda. Nesta condição, ocorreu o menor momento e a maior força cortante.

Figura 9 – Diagrama de corpo livre



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

◆Somatória de Momentos:

$$\sum Ma = 0$$

$$(-8,7 * 0,2) + R_B * 3 = 0$$

$$R_B = 0,58 \text{ KN}$$

◆Somatória de Forças em y:

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A - 8,7 + R_B = 0$$

$$R_A - 8,7 + 0,58 = 0$$

$$R_A = 8,14 \text{ KN}$$

◆Máxima força cortante (ponto 0 metros):

$$V1 = 8,14 \text{ KN}$$

4.4.4.4 Tensão Admissível de Flexão

Conforme catálogo disponibilizado pelo fabricante Gerdau, o material para a viga foi o ASTM A 572 Grau 50.

Tabela 21 – Limite de escoamento para o aço escolhido

PROPRIEDADES MECÂNICAS		
	ASTM A 572 Grau 50	AÇO COR 500
Limite de Escoamento (MPa)	345 mín.	370 mín.
Limite de Resistência (MPa)	450 mín.	500 mín.
Alongamento após ruptura, % ($l_0 = 200 \text{ mm}$)	18 mín.	18 mín.

Fonte: S. Soufer Industrial (2022)

A norma orienta utilizar o limite de resistência para chegar no valor da tensão admissível por meio da fórmula abaixo (12):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_t}{q \cdot FS_t}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{450}{(1,25 * 2,8)}$$

$$\sigma_{adm} = 128,57 \text{ MPa}$$

4.4.4.5 Módulo Resistente

O módulo resistente é a condição de uma viga ao se opor à flexão. Definiu-se da seguinte forma (21):

$$W_{mín} = \left| \frac{6539,346 * 1000}{128,57} \right|$$

$$W_{mín} = 50,86 \text{ cm}^3$$

Através desta informação, foi possível escolher a viga adequada, uma vez que o valor tabelado do módulo resistente, superou o módulo calculado acima.

Ainda no catálogo do fabricante, encontrou-se uma gama de especificações para vigas, dentre elas, as três primeiras já atenderam o projeto em questão:

Tabela 21 – Especificação de vigas de um fabricante real

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X	
				t _w mm	t _f mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7

Fonte: S. Soufer Industrial (2022)

O critério para a definição final foi a área da viga, o ideal foi selecionar a bitola com menor peso, a fim de que a estrutura ficasse mais leve. A bitola escolhida foi a primeira: W 150 x 13,0.

4.4.4.6 Cálculo Tensão Normal

Para realizar o cálculo da tensão normal, foi necessário encontrar o valor de y, caracterizado pela distância do centro até a extremidade da viga no sentido vertical (22). Apenas a metade foi considerada no cálculo, pois durante uma flexão, a parte superior sofre compressão e a inferior sofre tração. O módulo da força foi o mesmo para ambas deformações, visto que a viga é prismática.

$$h - \text{Altura total da alma da viga} = 138\text{mm}$$

$$t_f - \text{Espessura da Aba} = 4,9\text{mm}$$

$$y = 73,9 \text{ mm}$$

A partir deste fator, foi possível calcular a tensão (23):

$$\sigma_x = \frac{((6539,346 * 1000)) * 73,9}{6,35 * 10^6}$$

$$\sigma_x = 76,1 \text{ N}$$

4.4.5 Análise Flexão

$$\sigma_a > \sigma_x$$

$$128,57 > 76,1$$

Projeto em conformidade.

4.4.6 Tensão Cisalhante

4.4.6.1 Tensão Admissível

Seguindo o mesmo modelo da tensão de flexão, foi calculado o valor da tensão cisalhante admissível (25) para correlacionar à calculada e por fim, validar o dimensionamento do projeto. Dessa forma, a norma estabelece a seguinte fórmula para encontrar este valor:

$$\tau_a = \frac{345}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_a = 199,19 \text{ MPa}$$

4.4.6.2 Tensão Cisalhante Calculada

Seguindo a equação (24), calculou-se a tensão cisalhante referente aos requisitos do projeto em questão, considerando os seguintes valores:

$$\begin{aligned}
 V_{m\acute{a}x} - \text{Força cortante máxima} &= 8,14 \text{ KN} \\
 A_{alma} = (Tw * h) &= (4,3 * 138) = 593,4 \text{ mm}^4 \\
 \tau_{cisX} &= \left\| \frac{8140}{539,4} \right\| \\
 \tau_{cisX} &= 13,72 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

4.4.7 Análise Tensão Cisalhante

$$\begin{aligned}
 \sigma_a &> \sigma_x \\
 199,19 &> 13,72
 \end{aligned}$$

Projeto em conformidade.

CONCLUSÕES

Conforme estratégia traçada inicialmente, todas as exigências hipotéticas para fundamentação dos cálculos foram estabelecidas. A carga de içamento, as condições climáticas do local, a distância percorrida horizontal e verticalmente, tipo de viga e sistema mecânico, bem como materiais de fabricação dos componentes, foram conduzindo o dimensionamento do projeto através das diretrizes e fórmulas matemáticas apresentadas na norma NBR 8400.

Os objetivos foram alcançados, uma vez que houveram vivências de fato presenciadas no âmbito de projetos, com utilização de catálogos de fornecedores reais, suposições lógicas, análises críticas, interpretação de regulamentações técnicas e todas as considerações referente aos coeficientes de majoração e fatores de segurança atribuídos aos cálculos segundo norma.

Conclui-se que o estudo se compôs dos diversos conhecimentos adquiridos ao longo da trajetória do curso de Engenharia Mecânica, dentre os principais: resistência dos materiais, elementos de máquinas e física mecânica. Essa experiência interdisciplinar foi fundamental para assimilar a teoria à realidade do mercado e seus respectivos desafios, estes que formam profissionais cada dia mais aperfeiçoados e prontos para a evolução natural.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela existência, também por ajudar no dia a dia passando por diversas barreiras ao longo desses anos.

A família que mesmo não estando diversas vezes ao lado deles, mesmo assim me incentivaram a nunca desistir.

Aos professores os seus ensinamentos e correções em todo este período de aprendizado.

E a todos que de forma direta ou indiretamente fizeram parte da formação, meu muito obrigado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Brasil, ABNT. 1984.

AÇOSPORTE. **Aço SAE 1020**. Disponível em: <<https://www.acosporte.com.br/aco-sae-1020#:~:text=O%20a%C3%A7o%20sae%201020%20%C3%A9%20indicado%20para%20parafusos%2C%20refilados%20duros>>. Acesso em: 12 out. 2022.

AÇOSPORTE. **Aço ASTM A572**. Disponível em: <<https://www.acosporte.com.br/aco-astm-a572#:~:text=Os%20a%C3%A7o%20astm%20a572%20s%C3%A3o>>. Acesso em: 12 out. 2022.

Capítulo 2-**Critérios de Resistência (Escoamento/Plasticidade e Ruptura)2.1. Generalidades**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.labciv.eng.uerj.br/rm4/Cap_2_criterios.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.

DROMO - TAMBOR» **Moviservi - Engenharia de Movimentação Industrial**. Disponível em: <<https://www.moviservi.com.br/produto/dromo/>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

GLOBO, A. Home. Disponível em: <<https://www.acosglobo.com.br/doutor/uploads/2/downloads/2017/11/download-chapas-grossas-7ff3450362.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2022

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. Tradução de Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

INDUSTRIAL, **S. Soufer Industrial - 56 anos**. Disponível em: <<https://www.soufer.com.br>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

PRUV – **Ponte Rolante Univiga | Memori - Sistemas de Cálculo**. Disponível em: <<https://www.memori99.com.br/pruv-ponte-rolante-univiga/>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

PINHEIROS, J. C. C. **Projeto e desenvolvimento de uma linha de pontes rolantes padronizadas para uma empresa metal mecânica**. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Mecânica, Unijuí, 2015.

PAULO, S. **ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE FALHA EM MATERIAIS DÚCTEIS: UM ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-24122013-114652/publico/Dissertacao_Eduardo_Domingo_Morales_unprotected.pdf>.

RUDENKO, N. Máquinas de elevação e transporte. Tradução de João Plaza. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A. 1976.

Universidade Federal de Juiz de Fora. **Apostila Resistência dos Materiais II**, p. 1-133, 2020. MACCAHAN, Susan. **Projetos de Engenharia - Uma Introdução**. Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788521634546. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634546/>>. Acesso em: 10 out. 2022. **Vestibular IFMG**. Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/arcos/ensino-1/tai/20172_TAI3_Ponterolante.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2022.

W - **Apendice C Materiais** | PDF | Estresse (Mecânica) | Materiais de construção. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/50913286/W-Apendice-C-Materiais>>. Acesso em: 16 nov. 2022.